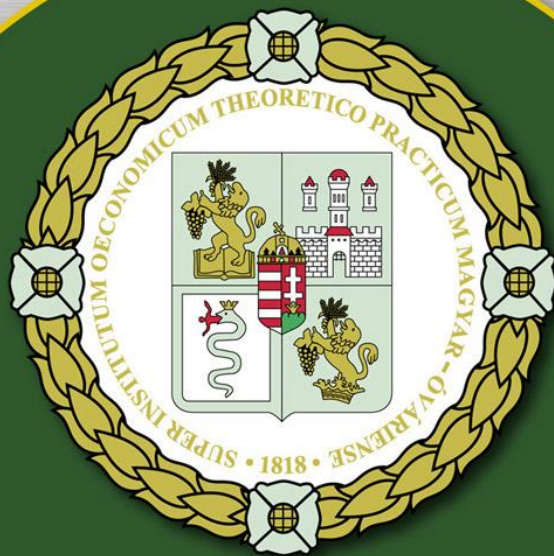


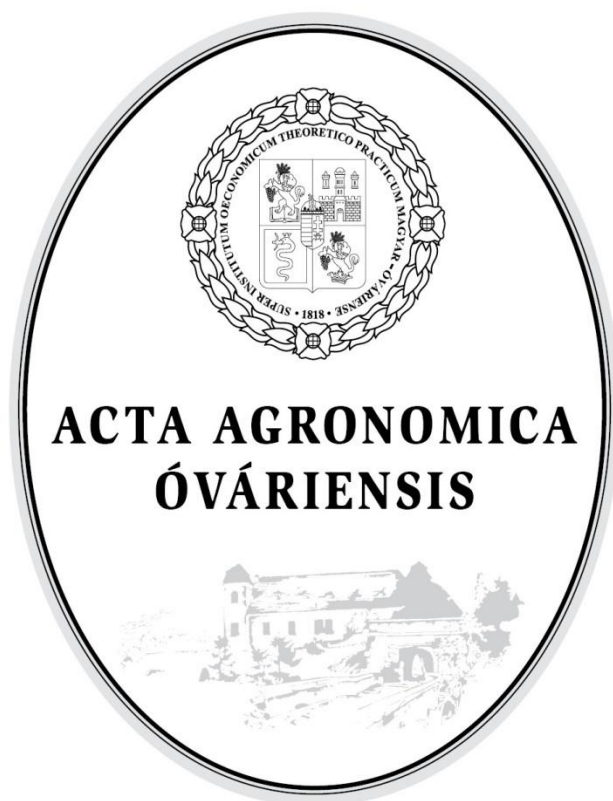


ACTA AGRONOMICA ÓVÁRIENSIS



SZÉCHENYI ISTVÁN UNIVERSITY
Albert Kázmér Faculty of Agricultural and Food Sciences
Mosonmagyaróvár
Hungary

SZÉCHENYI ISTVÁN EGYETEM
Albert Kázmér Mosonmagyaróvári Kar
Mosonmagyaróvár



ISSN: 2498-907X (Online)

VOLUME 66.

NUMBER 2.

Cover design/Borítóterv: Andorka Zsolt © 2000
Competitor-21 Kiadó Kft., Győr

Responsible publisher/Felelős kiadó: Széchenyi István Egyetem
Albert Kázmér Mosonmagyaróvári Kar dékánja
Dean of Széchenyi István University
Albert Kázmér Faculty of Agricultural and Food Sciences

Address of editorial office/A szerkesztőség címe:
9200 Mosonmagyaróvár, Vár tér 2., Hungary

Mosonmagyaróvár
2025

Editorial Board/Szerkesztőbizottság

Ásványi Balázs PhD	Palkovics László Amand DSc
Bertók Botond PhD	Pinke Gyula DSc
Egri Borisz DSc	Reisinger Péter CSc
Hanczné Dr Lakatos Erika PhD	Schmidt Rezső CSc
Gombkötő Nóra PhD	Szabó Ferenc Dsc
Kacz Károly PhD <i>Editor</i>	Szalka Éva PhD <i>Chair of the Editorial Board</i>
Kalocsai Renátó PhD	Torma András PhD
Kovács Attila József PhD	Tózsér János DSc <i>Editor-in-Chief</i>
Kovácsné Gaál Katalin CSc	Troján Szabolcs PhD
Molnár Zoltán PhD	Tóth Tamás PhD
Nagy Frigyes PhD	Urbányi Béla MHAS
Neményi Miklós MHAS	Varga László DSc
Nyéki Anikó Éva PhD	Amtmann Petra <i>Layout Editor</i>
Mezei Katalin PhD	Kálmán Edina Nikolett <i>Copy Editor</i>

Advisory council of the Board of Editors/Szerkesztőség tanácsadó testülete

<i>Abdul M Mouazen PhD</i> Faculty of Bioscience Engineering, Ghent University Belgium	<i>Razvan Teodorescu PhD</i> University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine of Bucharest Romania
<i>Adel Salah Khattab PhD</i> Tanta University, Egypt	<i>Róbert Pál PhD</i> Montana's Premier STEM University, USA
<i>Eleonóra Marišová PhD</i> Slovak University of Agriculture in Nitra, Slovakia	<i>Sabina Fijan PhD</i> University of Maribor, Slovenia
<i>Zsuzsanna Csereklyei PhD</i> School of Economics, Finance and Marketing Royal Melbourne Institute of Technology, Australia	<i>Marco Cullere PhD</i> University of Padova, Italy
<i>Thomas Banhazi PhD</i> UPWr, Wroclaw University of Environmental and Life Sciences Poland PLF Agritech Pty Ltd., Australia	<i>Zoltan Machaty PhD</i> Purdue University United States of America
	<i>Wendy Stirk PhD</i> Research Centre for Plant Growth and Development School of Life Sciences, University of KwaZulu-Natal Republic of South Africa

Language editors/Nyelvi lektorok

Natasha Bailey-Borbély, Brant von Goble, John Kowalchuk, Szabó Gábor

Table of Contents/Tartalomjegyzék

ENHANCING AGRICULTURAL SUSTAINABILITY USING AI-DRIVEN SOIL MOISTURE MODELING: A SOIL-TYPE AND DEPTH APPROACH WITH SHAP INTERPRETABILITY	5
https://doi.org/10.17108/ActAgrOvar.2025.66.2.5	
MICROBIOLOGICAL MONITORING OF RAW COW MILK IN HUNGARY	17
https://doi.org/10.17108/ActAgrOvar.2025.66.2.17	
PECTOBACTERIUM CAROTOVORUM SUBSP. CAROTOVORUM CAUSING SEVERE SOFT ROT IN CELERIAC ON A FAMILY FARM IN SLOVAKIA	32
https://doi.org/10.17108/ActAgrOvar.2025.66.2.32	
DETERMINATION OF NUTRIENT, FATTY ACID, MICRO, AND MACRONUTRIENT CONTENT OF FROZEN FRESHWATER FISH	47
https://doi.org/10.17108/ActAgrOvar.2025.66.2.47	
A FOLTOSSZÁRNYÚ MUSLICA (DROSOPHILA SUZUKII MATSUMURA, 1931) KÁRTÉTELE BOGYÓS GYÜMÖLCSÖKBEN, ÉS A SZALICILSAV, MINT LEHETŐSÉG A KÁRTEVŐ ELLENI VÉDEKEZÉSBEN	67
https://doi.org/10.17108/ActAgrOvar.2025.66.2.67	
ALTERNATIVE FERMENTED FEEDS IN RUMINANT NUTRITION: EFFECTS ON RUMEN FERMENTATION AND MILK PRODUCTION (A REVIEW)	84
https://doi.org/10.17108/ActAgrOvar.2025.66.2.84	
A KARBONLÁBNYOM CSÖKKENTÉSÉNEK NÉHÁNY ASPEKTUSA A SERTÉSTENYÉSZTÉSBEN	99
https://doi.org/10.17108/ActAgrOvar.2025.66.2.99	
AZ EURÓPAI UNIÓBAN ENGEDÉLYEZETT ROVARFAJOK ELEMZÉSE: SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS.....	118
https://doi.org/10.17108/ActAgrOvar.2025.66.2.118	
A RÖVID ÉLELMISZER-ELLÁTÁSI LÁNCOK TERMÉKEINEK INTEGRÁCIÓS LEHETŐSÉGEI ÉS KIHÍVÁSAI A KÖZÉTKEZTETÉSBEN: TUDOMÁNYOS PUBLIKÁCIÓK ELEMZÉSE.....	131
https://doi.org/10.17108/ActAgrOvar.2025.66.2.131	
A HEDONIKUS ÁRMODELLEK SZEREPE A VADÁSZATI HASZONBÉRLETI DÍJAK ELEMZÉSÉBEN: NEMZETKÖZI TAPASZTALATOK ÉS HAZAI VONATKOZÁSOK	147
https://doi.org/10.17108/ActAgrOvar.2025.66.2.147	
PRECÍZIÓS SERTÉSTARTÁSI TECHNOLÓGIÁK SZEREPE A FENNTARTHATÓ ÉS VERSENYKÉPES ÁLLATTENYÉSZTÉSBEN (IRODALMI ÁTTEKINTÉS)	167
https://doi.org/10.17108/ActAgrOvar.2025.66.2.167	
ELŐDEINK MUNKÁSSÁGA.....	183



Enhancing Agricultural Sustainability using AI-Driven Soil Moisture Modeling: A Soil-Type and Depth Approach with SHAP Interpretability

TAREK ALAHMAD*, MIKLÓS NEMÉNYI, ANIKÓ NYÉKI

Albert Kázmér Faculty of Agricultural and Food Sciences of Széchenyi István University
Department of Bioengineering and Precision Technology, Mosonmagyaróvár, Hungary

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-1683-7086>

Email: alahmad.tarek@sze.hu

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-7705-7190>

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-5388-2241>

*Corresponding author/Levelező szerző

Received/Érkezett: 13.06.2025

Revised/Átdolgozva: 22.06.2025

Accepted/Elfogadva: 22.10.2025

Published/Megjelent: 23.12.2025

ABSTRACT

The accurate prediction of soil moisture content (SMC) is important for optimizing irrigation, reducing water wastages and enhancing sustainability in agriculture. This study developed a Random Forest Regression model for soil-depth-specific prediction of SMC during two vegetation seasons. The model was applied to two soil types (loam and silt loam) at five depths with two different scenarios based on the used inputs: the first used only vegetation indices and the second integrated meteorological data with the vegetation indices. The results showed a significant rise in model's accuracy in the second scenario in both soil types at all depths, highlighting the importance of integrating meteorological features. In loam soil, R^2 increased from 0.65, 0.61, and 0.82, in the first scenario, to 0.94, 0.83 and 0.87, in second scenario, at 5, 20 and 40 cm depth, respectively. Similarly in silt loam, at 5, 20 and 40 cm depths the R^2 in the second scenario improved to get an R^2 of 0.97, 0.96 and 0.94, respectively, compared with an R^2 of 0.88, 0.94 and 0.82 in the first scenario at same depths, respectively. SHAP (SHapley Additive ExPlanations) research revealed that the most influential features on SMC prediction were precipitation, humidity, Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) in loam soil, and solar radiation and NDVI in silt loam. These results emphasized that integrated meteorological data increases the model's performance in SMC prediction, and the importance of SHAP explainability for enhancing model interpretability and support real-time irrigation decision making. This research allows for better water resource management and enhances sustainability.

Keywords: soil moisture content prediction, Random Forest Regression (RFR), IoT sensors, soil-depth specific modelling, irrigation strategies



1. INTRODUCTION

One of the most important parameters determining agricultural and hydrological cycles is soil moisture content (SMC), providing important information regarding the available water for crops (Luo et al., 2019), transpiration, and evaporation (Ågren et al., 2021). A thorough understanding of the spatio-temporal patterns of SMC is crucial for managing water resources in hydrological systems, helping to reduce the effects of agricultural drought (Tarolli & Zhao, 2023), addressing water scarcity, and improving crop production. (Bibek Acharya, 2025). To ensure long-term production, recent advancements, such as artificial intelligence (AI) and the Internet of Things (IoT) and their applications, need to be utilized in agriculture. Additionally, by providing essential data for informed decision-making, real-time monitoring of IoT sensors could increase the effectiveness of agricultural operations (Alahmad et al., 2025a).

Unlike prior studies, which focus on single-layer or generalized SMC prediction, this study introduces depth-specific RFR modeling with SHAP-based interpretation across two soil types, advancing transparency in prediction. The objectives of this research are to develop depth- and soil-specific Random Forest Regression (RFR) models for predicting SMC in loam and silt loam soils at five depths (5-80 cm); to evaluate model performance in two input scenarios using different predictors combinations; and to identify the main factors influencing SMC prediction using SHAP-based feature importance analysis. The findings will support farmers for better irrigation management, demonstrating how specific model outputs could reduce water waste by aligning irrigation timing/depth with real-time soil moisture dynamics, which will enhance agricultural sustainability.

2. LITERATURE REVIEW

By allowing for real-time data, IoT sensors address the limitations of conventional soil moisture measuring methods, for instance their time consuming and lack of real-time monitoring (Songara & Patel, 2022). Additionally, by capturing the health and moisture content of vegetation, vegetation indices such as NDMI Normalized Difference Moisture Index (NDMI) and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) have become effective tools for indirectly assessing soil moisture (Alahmad et al., 2025b; Saha et al., 2019). Accurate prediction of SMC is essential to improve irrigation management and optimize crop production (Zhu et al., 2024). At the same time, the traditional methods fail to capture the multivariate and nonlinear relations between factors that affect SMC (Zheng et al., 2024). In contrast, Machine Learning (ML) algorithms could handle these complex interactions providing a high potential in high accurate SMC predicting (Li et al., 2024). Recently, the integration of artificial intelligence with prediction models enhances model performance and accuracy (Nyéki et al., 2021).

However, recent research has the limitation of soil-depth-specific modeling, which considers vital factors due to their high impact on SMC. In contrast to soil with high sand content, the soils with higher clay and silt content, which have higher water holding capacity and this leads to higher SMC (Celik et al., 2022). Furthermore, SMC is significantly impacted by soil depth. To address these limitations, researchers have been working to improve prediction accuracy and utilize ML models that could consider SMC variation in both surface and subsurface soil. By combining several meteorological features and vegetation indices, machine learning models, in particular, those that use Random Forest Regression (RFR) have demonstrated potential in predicting SMC (Alahmad et al., 2024; Ning et al., 2023). Chen et al. (2025) in their research predicted 1-2-day hourly soil water content (SWC) at 10 cm and 20 cm depths in Taichung, Taiwan, using Random Forest (RF) model



utilizing precipitation data. With cumulative precipitation of (6-8 days), the model achieved low number of errors with MAE of 0.6 % at 10 cm, and 1.0 % at 20 cm depth, along with a high accuracy with R^2 of 0.5 and 0.9, MAPE 5.1-25.2 %, and RMSE 2.0-2.4 % at 10 and 20 cm depth, respectively. RF performed well, offering guidelines for SMC prediction and irrigation management.

3. MATERIALS AND METHODS

3.1 Experiment location and data collection

A field study was conducted in a 23 ha rainfed maize field in Mosonmagyaróvár, Hungary (47°54'11.8"N 17°15'08.9"E), with several soil types according to USDA soil taxonomy classification (USDA. ND., 2020). Two soil types of loam, and silt loam were selected for this research (*Figure 1A*). The region has moderate precipitation and temperate climate, characteristic of Central Europe. The terrain has a slight slope of 5 % with elevation varying between 133 and 138 m, soil pH ranged between 7.12-7.8 (Nyéki et al., 2021). Soil samples were collected from six locations around the sensor station (three per soil type) across two growing seasons (2023-2024) on 23 dates. At each site, samples were taken at five depths (5, 20, 40, 60, 80 cm), yielding 30 samples per date. Depths of 5-40 cm corresponded to maize root zones (Gao et al., 2014), while 60-80 cm represented deep layers. Soil samples were sealed and moved to the laboratory, and SMC was calculated using the gravimetric method (Dirksen, 1999). An IoT-based meteorological sensor was utilized to collect meteorological data (*Figure 1B*). The LoRaWAN communication protocol was used at intervals of 10 to 15 minutes. For model training, meteorological characteristics including temperature (°C), precipitation (mm), wind speed (km/h), humidity (%), and solar radiation (W/m^2) were collected. The data was allocated to each sample point and represents the field average. Vegetation indices were downloaded using Sentinel-2A satellite image from Sentinel hub platform (Sentinel Hub, 2024) provide multispectral data in 13 bands at spatial resolutions of 10, 20, and 60 m. The data utilized in this study has a spatial resolution of 10 m. The NDVI and the NDMI were derived utilizing the Near-Infrared (NIR), Red, Red Edge 4, and Shortwave Infrared (SWIR1) bands (Drusch et al., 2012). The data collection dates represent most of maize growth stages in the two seasons with different ground coverage percentages. The mapping and data extraction for both NDVIs was done by QGIS (version 3.36.2) (QGIS, 2024).

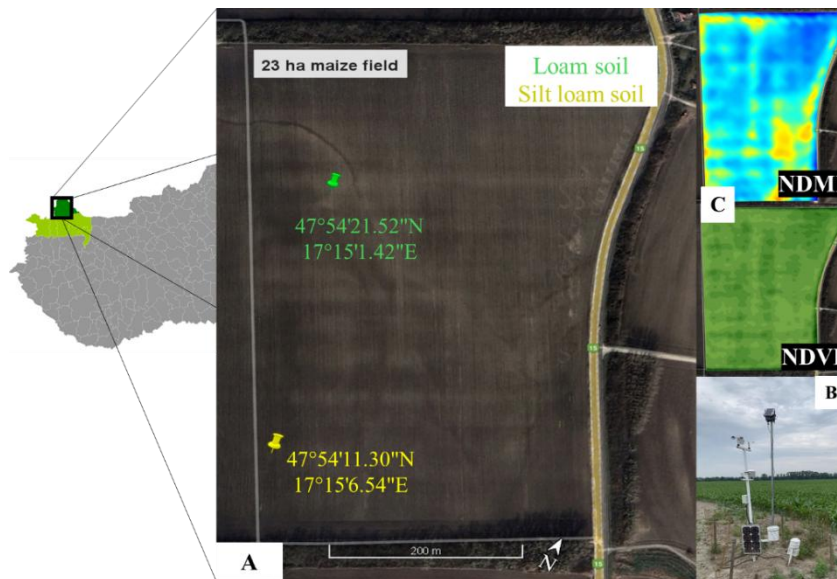


Figure 1: (A) Maize field with GPS location of soil sampling and soil types, (B) NDVI and NDMI indices from sentinel 2A, (C) IoT-based sensor station for meteorological data

3.2 Data preprocessing, feature engineering and model development

The dataset was preprocessed using Python (v3.10.12) (Python Software Foundation, 2024). Data cleaning, imputation, and synchronization were performed to align meteorological, remote sensing and soil measurements. Soil type and depth were used to subset the data for soil- and depth-specific modeling. Two feature input scenarios were tested: Scenario 1 which used NDVI and NDMI; Scenario 2 which used NDVI, NDMI and meteorological features. Features and target variables (SMC %) were scaled using MinMaxScaler to normalize data distributions. The target variable was reshaped before scaling and inverse-transformed after prediction for interpretability. Since its ability to capture the nonlinear relationships between the features used in this research, the RFR model was used to predict SMC. To improve soil-depth-specific prediction, the model was trained independently for each soil type and each depth. GridSearchCV was used to optimize the models' hyperparameters, eliminate overfitting, and improve robustness (`n_estimators`: [50, 100, 200], `'max_depth'`: [None, 10, 20, 30], `'min_samples_split'`: [2, 5, 10]). A three-fold cross validation was also used to validate performance. 20 % of the dataset was used for testing and the remaining 80 % was used for training. To interpret model predictions and understand feature contributions, SHAP values were calculated using the TreeExplainer method. Mean absolute SHAP values were computed per feature, soil type, depth, and scenario. Python was used in modeling and visualization. For evaluating the models' performance, three metrics were calculated using the hold-out test set and cross-validation.

Root Mean Squared Error (RMSE):

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (y_t - \hat{y}_t)^2} \quad (1) \text{ (Willmott et al., 1985)}$$



Mean Absolute Error (MAE):

$$MAE = 1/n \sum_{t=1}^n |y_t - \hat{y}_t| \quad (2) \text{ (Willmott et al., 1985)}$$

Coefficient of Determination (R^2):

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{t=1}^n (y_t - \hat{y}_t)^2}{\sum_{t=1}^n (y_t - \bar{y})^2} \quad (3) \text{ (Wright, 1921)}$$

Where, n is the total number of observations in the dataset, t is the time index or sequence index of an observation, y_t is the observed value at time t , $\hat{y}_t$ is the predicted value by the model at time t , and $\bar{y}$ is the mean of observed values.

4. RESULTS AND DISCUSSIONS

4.1 Model performance results

The results demonstrated that RFR performed well in predicting SMC in both soil types. The model performance was evaluated using test data and validated by using 3-fold cross-validation. Model performance in the second scenario was the best over both soil types emphasizing the importance of integrating meteorological factors in SMC along with vegetation indices (*Table 1*).

Table 1: Performance metrics results for the RFR model across soil types, depths and input scenarios

Soil type	Depth (cm)	Input Scenario	RMSE	MAE	R^2
Loam	5	Vegetation indices	2.45	1.75	0.65
Loam	5	Meteorological and vegetation indices	0.94	0.63	0.95
Loam	20	Vegetation indices	1.97	1.48	0.61
Loam	20	Meteorological and vegetation indices	1.30	0.95	0.83
Loam	40	Vegetation indices	1.40	1.07	0.82
Loam	40	Meteorological and vegetation indices	1.20	0.80	0.87
Loam	60	Vegetation indices	1.69	1.20	0.81
Loam	60	Meteorological and vegetation indices	1.40	1.06	0.87
Loam	80	Vegetation indices	1.69	1.42	0.85
Loam	80	Meteorological and vegetation indices	1.21	0.98	0.92
Silt loam	5	Vegetation indices	1.40	1.07	0.88
Silt loam	5	Meteorological and vegetation indices	0.70	0.52	0.97
Silt loam	20	Vegetation indices	0.94	0.77	0.94
Silt loam	20	Meteorological and vegetation indices	0.74	0.58	0.96
Silt loam	40	Vegetation indices	1.97	1.47	0.82
Silt loam	40	Meteorological and vegetation indices	1.12	0.85	0.94
Silt loam	60	Vegetation indices	1.95	1.53	0.91
Silt loam	60	Meteorological and vegetation indices	1.72	1.41	0.93
Silt loam	80	Vegetation indices	2.37	1.93	0.88
Silt loam	80	Meteorological and vegetation indices	2.10	1.66	0.91

The model performance in loam soil had a higher accuracy in the second scenario, achieving an R^2 of 0.95 and RMSE of 0.94 % at 5 cm depth compared with an R^2 of 0.65 and RMSE of 2.45 % in the first scenario (Figure 2).

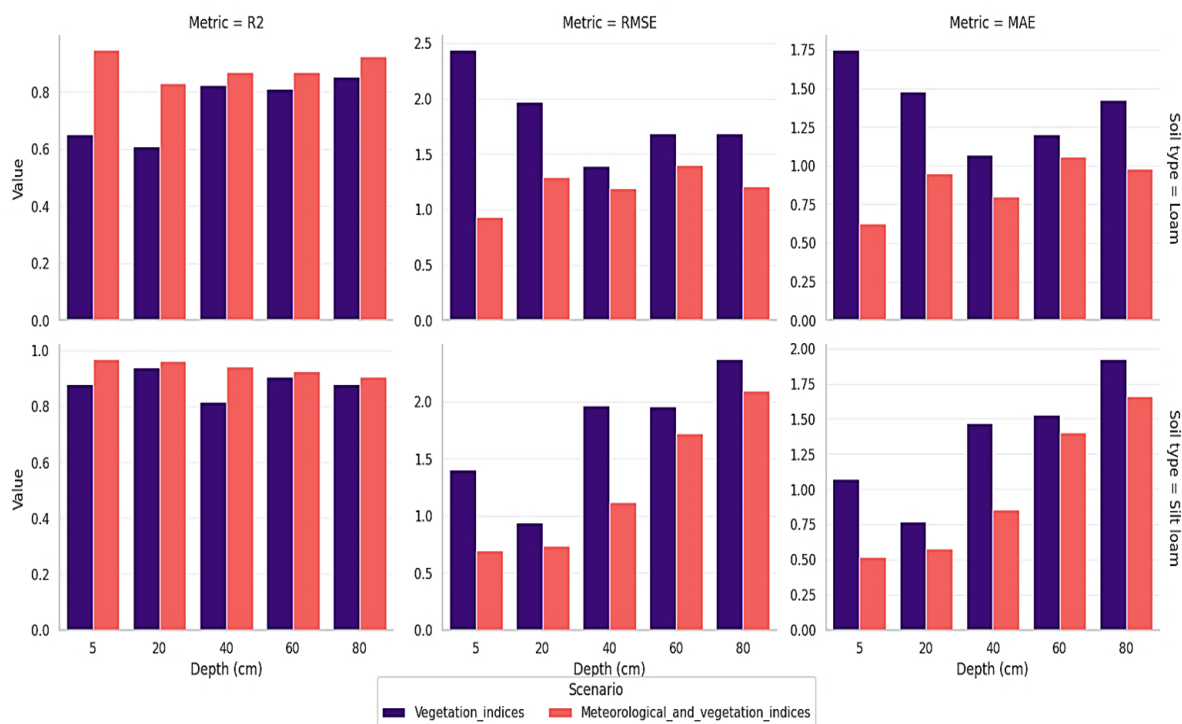


Figure 2: Evaluation metrics values (R^2 , MSE, RMSE, MAE, NSE) in both soil types (loam and silt loam) at 5 depths in two scenarios with an RFR model

Integrating meteorological data significantly enhanced prediction accuracy, especially in loam soil in which there is a relatively balanced texture that actively responds to environmental changes (Sihag et al., 2019). Vegetation indices (NDVI, NDMI) alone were not able to capture all the variability in the SMC (Bramley et al., 2024). Integrating meteorological data increased accuracy in the upper layers of 5 and 20 cm, where R^2 increased from 0.61 to 0.83 and RMSE from 1.97 % to reach 1.30 % after integrating the meteorological data at a 20 cm depth. In contrast, in the deeper layers (40, 60, and 80 cm) the model had a slight improvement in predicting SMC, regarding the influence of other factors in SMC variation. The model had an R^2 of 0.82, 0.81 and 0.85 with RMSE 1.4 %, 1.69 % and 1.69 % at 40, 60 and 80 cm depths, respectively, in the first scenario and improved to get an R^2 value of 0.87, 0.87 and 0.92 and RMSE of 1.20, 1.40 and 1.21 at the same depths, respectively. In silt loam soil, the RFR model showed a consistently strong performance particularly in the second scenario, due to the soil's higher water retention and balance structure. The model had the highest accuracy in the upper soil layers of 5 and 20 cm, achieving an R^2 of 0.97, 0.96 and RMSE of 0.7 %, 0.74 %, respectively, compared with an R^2 of 0.88, 0.94 and RMSE of 1.4 %, 0.94 %, respectively, in the first scenario. The utilization of meteorological data, which significantly impacts the dynamics of soil moisture content in these layers, is the reason for this model improvement. In deeper layers (40, 60, and 80 cm) the model also had a slightly higher accuracy, regarding the high-water retention and less SMC variability in silt loam. The model achieved an R^2 value of 0.82, 0.91 and 0.88 with RMSE 1.97 %, 1.95 % and 2.37 % at 40, 60 and 80 cm depths, respectively, in the first scenario, and

improved to get an R^2 value of 0.94, 0.93 and 0.91 with RMSE 1.12 %, 1.72 % and 2.10 % at the same depths, respectively.

4.2 SHAP analysis results

For better understanding the influence of meteorological features and soil depth on SMC prediction, SHAP (SHapley Additive exPlanations) analysis was conducted across all models, soil types, depths, and feature scenarios. This explainable AI approach quantifies the average marginal contribution of each feature to the prediction, enabling the interpretation of complex nonlinear models like Random Forest Regressor.

In loam soil, SHAP analysis highlighted significant variability in feature importance between the two scenarios and across depths. In the first scenario, NDVI consistently ranked higher than NDMI, especially at shallow depths of 5 and 20 cm with values of 1.12, and 1.14, respectively, compared with NDMI that had values of 1.11 in both depths (*Figure 3*). This suggests that the NDVI is more responsive to moisture variations near the surface, likely due to its sensitivity to canopy water content and its stronger correlation with soil water compared to NDMI. In the second scenario, when meteorological features were introduced, precipitation and humidity emerged as the dominant features in most depths, with precipitation values of 0.12, 0.08 and 0.05 at 5, 20 and 80 cm and humidity with values of 0.05, 0.05 and 0.04 at same depths, respectively (*Figure 4*). This aligns with the physical behavior of loam soils, which have moderate water-holding capacity and are highly responsive to recent precipitation and atmospheric moisture. At deeper depths, depth itself and precipitation gained importance, highlighting the role of infiltration dynamics and reduced influence of surface-level vegetation.

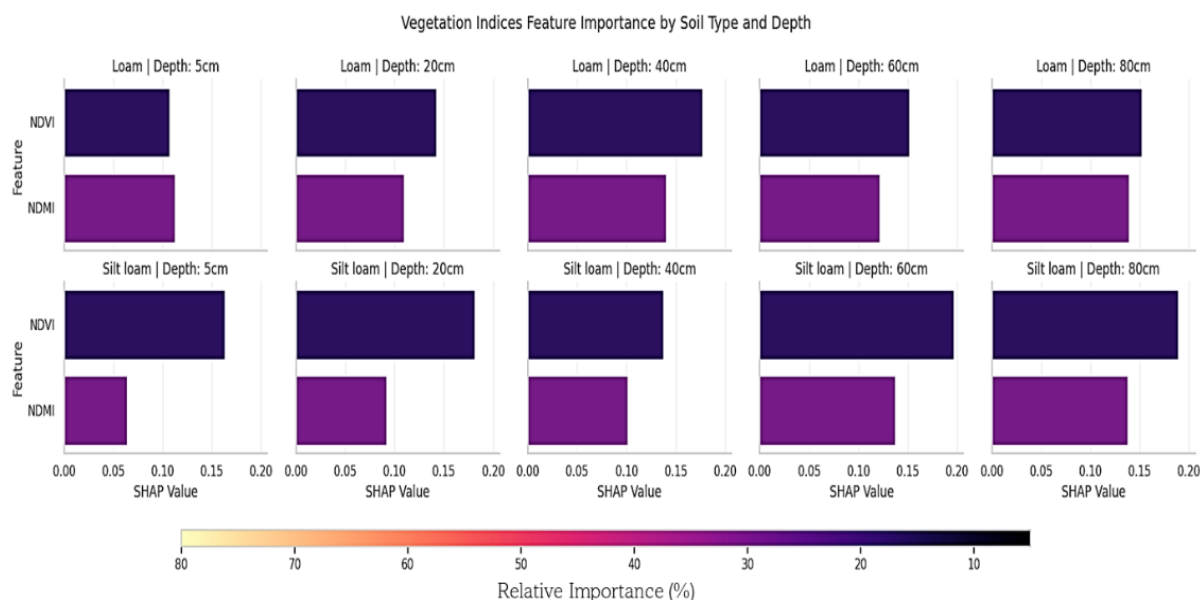


Figure 3: SHAP analysis results of the RFR model in loam and silt loam soils in the first scenario at five depths

Silt loam soil, known for its superior water retention and balanced texture, showed a different pattern of feature importance especially in the second scenario, where solar radiation was the most influential feature across nearly all depths, with the highest SHAP values of 0.1 and 0.08 at 60 and

80 cm depths, respectively. This dominance reflects the strong control of evapotranspiration processes in this soil type, where retained moisture is highly influenced by energy input at the surface. In the upper layers precipitation had relatively high impact at all depths with an average impact value of 0.05 at all depths. NDVI also showed high impact at all depths especially at 20, 60 and 80 cm with values of 0.12, 0.07 and 0.06, respectively. At shallower depths of 5 and 20 cm, humidity with precipitation were the most influential factors. Humidity had a higher impact at 5 cm depth with a value of 0.08. In the first scenario, NDVI also had the highest impact at most depths with values of 0.20, 0.19 and 0.18 at 60, 80 and 20 cm, respectively.

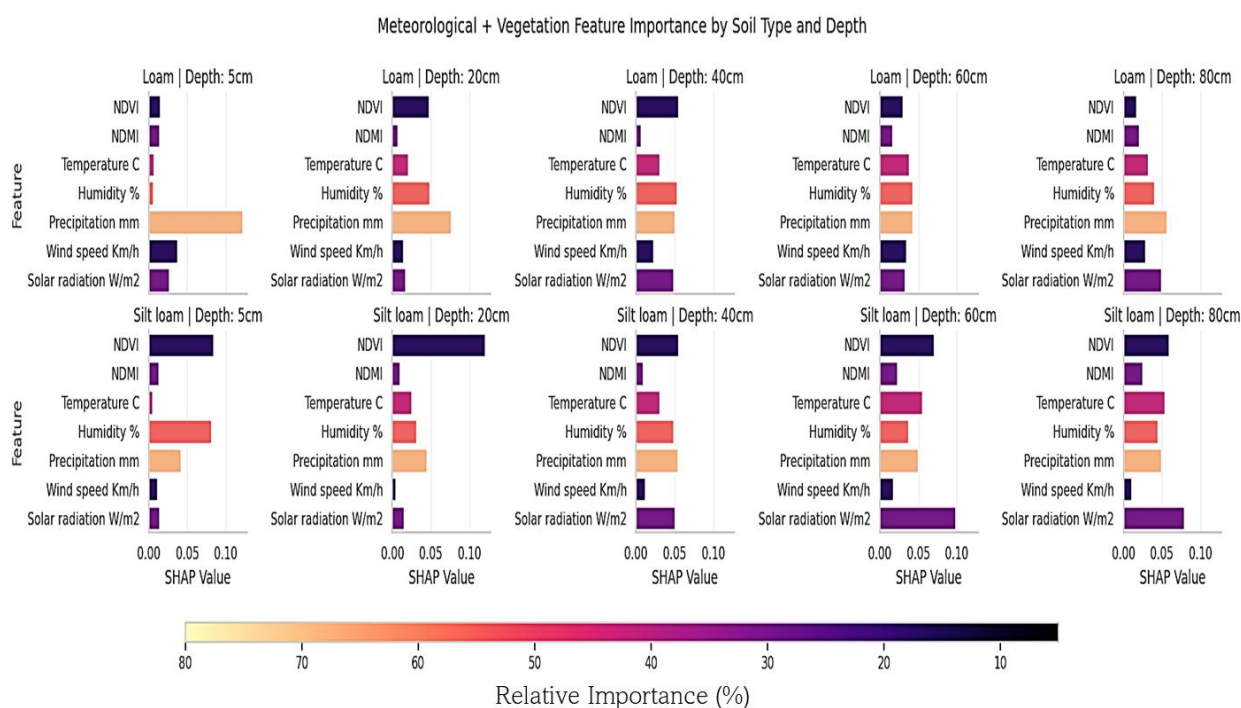


Figure 4: SHAP analysis results of the RFR model in loam and silt loam soils in the second scenario at five depths

These results highlighted the ability of the RFR model to capture nonlinear relations in SMC dynamics across studied soil types and depths. Also, the significant rise in model accuracy in the second scenario showed that vegetation indices alone are not enough to capture all variations in SMC (Guo et al., 2024). SHAP analysis revealed soil-specific drivers: precipitation and humidity dominated in loam soil, while solar radiation and NDVI were key in silt loam, especially below 40 cm. This reflects their distinct water behaviors. The utilization of SHAP analysis validated the choice of input features and enhanced the model transparency (Hussein et al., 2024). These findings underscore the necessity of soil- and depth-specific modeling, particularly for optimizing irrigation strategies in surface layers (5-40 cm), where meteorological factors dominate. The results successfully addressed objectives by establishing RFR's capability to accurately predict SMC (Alahmad et al., 2024), and providing actionable insights for reducing water waste through tailored irrigation scheduling. While deeper layers (60-80 cm) showed reduced meteorological dependency, future research should incorporate soil hydraulic properties and broader spatial validation to



enhance generalizability. This research advances precision agriculture by linking AI-driven predictions with sustainable water management practices.

5. CONCLUSION

This study showed that soil- and depth-specific RFR models, incorporating meteorological data with vegetation indices (NDVI/NDMI), significantly improve SMC prediction accuracy across loam and silt loam soils at all studied depths of 5 to 80 cm. Integrating meteorological inputs (Scenario 2) significantly improved model performance in all depths, achieving R^2 values of 0.95, 0.92 (loam) and 0.97, 0.91 (silt loam) at 5 and 80 cm depths, respectively, compared to vegetation indices alone (Scenario 1). According to their different hydrological systems, SHAP analysis highlighted soil-dependent drivers in which precipitation and humidity were important in dynamic loam soils and solar radiation and NDVI were crucial in water-retentive silt loam. While upper soil layers (5 to 40 cm) showed higher sensitivity to meteorological features, the deeper layers (60-80 cm) were influenced by other factors, such as soil properties and other soil hydrological factors. These findings highlight the importance of tailored feature selection to optimize prediction accuracy and align irrigation strategies with real-time soil moisture dynamics. By integrating AI-driven insights into precision water management, this framework advances agricultural sustainability through reduced water wastage. Future studies should integrate soil hydraulic properties for deeper layers and expand spatial validation to enhance model generalizability across diverse agronomic systems.

Acknowledgments

This research was supported by the EKÖP-24-3-I-Sze-107 University Research Fellowship Program of the Ministry for Culture and Innovation from the source of the national research, development, and innovation fund, and by the “Precision Bioengineering Research Group” supported by the “Széchenyi István University Foundation”. And by the János Bolyai Research Scholarship (Bo/00578/24) of the Hungarian Academy of Sciences.



A mezőgazdasági fenntarthatóság javítása MI-alapú talajnedvesség-modellezéssel: talajtípusra és -mélységre vonatkozó elemzés SHAP-modellel

TAREK ALAHMAD*, NEMÉNYI MIKLÓS, NYÉKI ANIKÓ

Széchenyi István Egyetem, Albert Kázmér Mosonmagyaróvári Kar
Bioműszaki és Precíziós Technológiai Tanszék, Mosonmagyaróvár

ORCID iD: 0000-0003-1683-7086,

Email: alahmad.tarek@sze.hu

ORCID iD: 0000-0002-5388-2241,

ORCID iD: 0000-0002-7705-7190

*Corresponding author

ÖSSZEFOGLALÁS

A talajnedvesség-tartalom (SMC) pontos előrejelzése elengedhetetlen az öntözés- és a vízfelhasználás optimalizálása, összességében a mezőgazdaság fenntarthatóságának javítása érdekében. A tanulmányban egy Random Forest regressziós modellt alkalmaztak a talajnedvesség-tartalom talajmélység-specifikus előrejelzésére két vegetációs időszak alatt (2023, 2024). A modellt két fizikai talajtípuson (vályog és iszapos vályog) öt mélységben tesztelték. Az elemzésben két forgatókönyvet alkalmaztak, melyben az első kizárólag vegetációs indexeket, a második pedig a vegetációs indexeket mellett meteorológiai adatokat is integrált. Az eredmények mindkét talajtípuson és mélységnél szignifikáns különbséget mutattak a második forgatókönyvben, bizonyítva ezzel a meteorológiai adatok integrálásának fontosságát. Vályog talaj esetén az R^2 érték az 5, 20 és 40 cm-es mélységeken az első forgatókönyvben 0,65; 0,61 és 0,82-ről; a második forgatókönyvben 0,94; 0,83 és 0,87-re nőtt. Hasonlóképpen, az iszapos vályog talajnál ugyanezen mélységek (5, 20, 40 cm) esetén az R^2 a második forgatókönyvben 0,97; 0,96 és 0,94 értékre javult, szemben az első forgatókönyvben prognosztizált 0,88; 0,94 és 0,82 adatokkal. A SHAP (SHapley Additive exPlanations) elemzés feltárta, hogy a talajnedvesség előrejelzésére legnagyobb hatással bíró jellemzők a vályog talajnál a csapadék, a páratartalom és az NDVI, míg az iszapos vályognál a napsugárzás és az Normalizált Differenciált Vegetációs Index (NDVI) voltak. Ezek az eredmények hangsúlyozzák, hogy a meteorológiai adatok integrálása jelentősen javítja a modell teljesítményét a talajnedvesség előrejelzésében.

Kulcsszavak: talajnedvesség-tartalom előrejelzése, random forest regresszió, IoT-érzékelők, talajmélység-specifikus modellezés, öntözési stratégiák

REFERENCES

Ågren, A. M., Larson, J., Paul, S. S., Laudon, H., & Lidberg, W. (2021). Use of multiple LIDAR-derived digital terrain indices and machine learning for high-resolution national-scale soil moisture mapping of the Swedish forest landscape. *Geoderma*, 404, 115280. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115280>



- Alahmad, T., Neményi, M., & Nyéki, A. (2024). Soil Moisture Content Prediction in Loam Soil with RFR Model. *Acta Agronomica Óváriensis*, 65(2), 43-56. <https://doi.org/10.17108/ActAgrOvar.2024.65.2.43>
- Alahmad, T., Neményi, M., & Nyéki, A. (2025a). Soil Moisture Content Prediction Using Gradient Boosting Regressor (GBR) Model: Soil-Specific Modeling with Five Depths. *Applied Sciences*, 15(11), 5889. <https://doi.org/10.3390/app15115889>
- Alahmad, T., Neményi, M., & Nyéki, A. (2025b). Soil moisture prediction with machine learning: combining vegetation indices and meteorological data. In *Precision agriculture'25* (pp. 1319-1326). Wageningen Academic.
- Bibek, A., & Vivek, S. (2025). Comparative analysis of soil and water dynamics in conventional and sod-based crop rotation in Florida. *Frontiers in Agronomy*, 7. <https://doi.org/doi:10.3389/fagro.2025.1552425>
- Bramley, R. G. V., Perry, E. M., Richetti, J., Colaço, A. F., Mowat, D. J., Ratcliff, C. E. M., & Lawes, R. A. (2024). Within-field extrapolation away from a soil moisture probe using freely available satellite imagery and weather data. *Precision Agriculture*, 25(4), 1877-1893. <https://doi.org/10.1007/s11119-024-10138-9>
- Celik, M. F., Isik, M. S., Yuzugullu, O., Fajraoui, N., & Erten, E. (2022). Soil Moisture Prediction from Remote Sensing Images Coupled with Climate, Soil Texture and Topography via Deep Learning. *Remote Sensing*, 14(21), 5584. <https://doi.org/10.3390/rs14215584>
- Chen, P.-Y., Chen, C.-C., Kang, C., Liu, J.-W., & Li, Y.-H. (2025). Soil water content prediction across seasons using random forest based on precipitation-related data. *Computers and Electronics in Agriculture*, 230, 109802. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2024.109802>
- Dirksen, C. (1999). *Soil physics measurements*. Catena Verlag.
- Drusch, M., Del Bello, U., Carlier, S., Colin, O., Fernandez, V., Gascon, F., Hoersch, B., Isola, C., Laberinti, P., Martimort, P., Meygret, A., Spoto, F., Sy, O., Marchese, F., & Bargellini, P. (2012). Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services. *Remote Sensing of Environment*, 120, 25-36. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.11.026>
- Gao, Y., Xie, Y., Jiang, H., Wu, B., & Niu, J. (2014). Soil water status and root distribution across the rooting zone in maize with plastic film mulching. *Field Crops Research*, 156, 40-47. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.10.016>
- Guo, F., Huang, Z., Su, X., Li, Y., Luo, L., Ba, Y., Zhang, Z., & Yao, Y. (2024). Soil Moisture Content Inversion Model on the Basis of Sentinel Multispectral and Radar Satellite Remote Sensing Data. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 24(4), 7919-7933. <https://doi.org/10.1007/s42729-024-02087-z>
- Hussein, E. E., Zerouali, B., Bailek, N., Derdour, A., Ghoneim, S. S. M., Santos, C. A. G., & Hashim, M. A. (2024). Harnessing Explainable AI for Sustainable Agriculture: SHAP-Based Feature Selection in Multi-Model Evaluation of Irrigation Water Quality Indices. *Water*, 17(1), 59. <https://doi.org/10.3390/w17010059>
- Li, B., You, Z., Ni, K., & Wang, Y. (2024). Prediction of Soil Compaction Parameters Using Machine Learning Models. *Applied Sciences*, 14(7), 2716. <https://doi.org/10.3390/app14072716>
- Luo, W., Xu, X., Liu, W., Liu, M., Li, Z., Peng, T., Xu, C., Zhang, Y., & Zhang, R. (2019). UAV based soil moisture remote sensing in a karst mountainous catchment. *CATENA*, 174, 478-489. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.11.017>



- Ning, J., Yao, Y., Tang, Q., Li, Y., Fisher, J. B., Zhang, X., Jia, K., Xu, J., Shang, K., Yang, J., Yu, R., Liu, L., Zhang, X., Xie, Z., & Fan, J. (2023). Soil moisture at 30 m from multiple satellite datasets fused by random forest. *Journal of Hydrology*, 625, 130010. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2023.130010>
- Nyéki, A., Kerepesi, C., Daróczy, B., Benczúr, A., Milics, G., Nagy, J., Harsányi, E., Kovács, A. J., & Neményi, M. (2021). Application of spatio-temporal data in site-specific maize yield prediction with machine learning methods. *Precision Agriculture*, 22(5), 1397-1415. <https://doi.org/10.1007/s11119-021-09833-8>
- Python Software Foundation. (2024). Python Language Reference, version 3.10. <https://www.python.org>
- QGIS. (2024). QGIS. <https://qgis.org/>
- Saha, A., Patil, M., Goyal, V. C., & Rathore, D. S. (2019). Assessment and Impact of Soil Moisture Index in Agricultural Drought Estimation Using Remote Sensing and GIS Techniques. *Proceedings*, 7(1), 2. <https://doi.org/10.3390/ECWS-3-05802>
- Sentinel Hub. (2024). <https://www.sentinel-hub.com>
- Sihag, P., Tiwari, N. K., & Ranjan, S. (2019). Prediction of cumulative infiltration of sandy soil using random forest approach. *Journal of Applied Water Engineering and Research*, 7(2), 118-142. <https://doi.org/10.1080/23249676.2018.1497557>
- Songara, J. C., & Patel, J. N. (2022). Calibration and comparison of various sensors for soil moisture measurement. *Measurement*, 197, 111301. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2022.111301>
- Tarolli, P., & Zhao, W. (2023). Drought in agriculture: Preservation, adaptation, migration. *The Innovation Geoscience*, 1(1), 100002. <https://doi.org/10.59717/j.xinn-geo.2023.100002>
- USDA. ND. (2020). Natural Resources Conservation Service. Soil classification. Retrieved October 17, 2020, from <https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/main/soils/survey/class/>
- Willmott, C. J., Ackleson, S. G., Davis, R. E., Feddema, J. J., Klink, K. M., Legates, D. R., O'Donnell, J., & Rowe, C. M. (1985). Statistics for the evaluation and comparison of models. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 90(C5), 8995-9005. <https://doi.org/10.1029/JC090iC05p08995>
- Wright, S. (1921). Correlation and causation. *Journal of Agricultural Research*, 20(7), 557.
- Zheng, J., Jin, X., Li, Q., Lang, J., & Yin, X. (2024). Soil moisture variation and affecting factors analysis in the Zhangjiakou–Chengde district based on modified temperature vegetation dryness index. *Ecological Indicators*, 168, 112775. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.112775>
- Zhu, S., Cui, N., Jin, H., Jin, X., Guo, L., Jiang, S., Wu, Z., Lv, M., Chen, F., Liu, Q., & Wang, M. (2024). Optimization of multi-dimensional indices for kiwifruit orchard soil moisture content estimation using UAV and ground multi-sensors. *Agricultural Water Management*, 294, 108705. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2024.108705>

©Copyright 2025 by the Authors.

The journal is Open Access (Platinum). This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).





Microbiological Monitoring of Raw Cow Milk in Hungary

ÁGNES NAGY*, BABETT GREFF, ERIKA HANCZNÉ LAKATOS, VIKTÓRIA KAPCSÁNDI

Albert Kázmér Faculty of Agricultural and Food Sciences of Széchenyi István University

Department of Food Science, Mosonmagyaróvár, Hungary

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-7639-0987>

Email: nagy.agnes@sze.hu

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-7441-368X>

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-5148-6715>

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-4161-6015>

*Corresponding author/Levelező szerző

Received/Érkezett: 09.05.2025

Revised/Átdolgozva: 06.09.2025

Accepted/Elfogadva: 18.10.2025

Published/Megjelent: 23.12.2025

ABSTRACT

Our study aimed to assess the microbiological status of bulk tank milk from dairy farms across Hungary, with a focus on pathogenic microorganisms. In Hungary, raw milk certification involves testing for total germ count, somatic cell count, and the presence of inhibitors, following established standards. However, other pathogenic bacteria are not routinely tested, despite milk being an ideal medium for microbial growth. The increasing consumption of raw dairy heightens the risk of foodborne illnesses and the spread of antibiotic-resistant pathogens. To address this, we sought a comprehensive understanding of the microbiological profile of larger cattle farms in Hungary. Over the course of six months, we collected raw milk samples from 16 locations. We tested them for *Listeria*, *Salmonella*, Coliforms, *E. coli*, *Staphylococcus aureus*, *Clostridium*, and *Enterococcus faecalis*, in accordance with Decree 4/1998 (XI. 11.) of the Ministry of Education and Science. Of the samples, 91.9 % had acceptable total germ counts. However, Coliforms, *Listeria*, and *E. faecalis* exceeded limit values in 14.0 %, 15.5 %, and 20,0 % of samples, respectively. Total germ counts exceeded the threshold in only four counties. Additionally, 13.3 % of samples had *E. coli* bacteria levels above acceptable limits, and *Listeria spp.* was detected in one-third of the analysed samples. These findings highlight the potential health risks associated with foodborne diseases and emphasise the need for periodic testing to ensure the safety of raw milk before consumption.

Keywords: *pathogens, monitoring, human health, bulk tank milk*

1. INTRODUCTION

Milk is an excellent source of nutrition for humans (Singh et al., 2015), and cow's milk, along with its dairy products, ranks among the most widely consumed foods worldwide. It is one of the best sources of complete protein for human nutrition, boasting outstanding nutritional and biological value due to its rich vitamin and mineral content (Szakály, 2001). However, these nutrients also



provide an ideal environment for microbial growth (Quigley et al., 2013). The microbiological composition of milk directly affects the microbiological quality of derived products, influencing their food safety properties. It also impacts the organoleptic characteristics, such as taste and texture, of the final product, and may affect its shelf life and quality. Psychrotolerant or psychrotrophic bacteria can grow in refrigerated milk, leading to spoilage (Quigley et al., 2013). The total germ count of milk obtained from a healthy, clean animal is typically 10^3 - 10^4 /ml, remaining stable for 24-48 hours when stored at 4 °C. Several studies have explored the microbiota of cattle milk, describing a complex and diverse community dominated by *Staphylococcus*, *Streptococcus*, *Pseudomonas*, and *Enterococcus* taxa (Oikonomou et al., 2020). These microorganisms can impact animal health and the quality of milk production (Addis et al., 2016). Therefore, understanding the bacterial community in milk is crucial for maintaining a hygienic farming environment and enhancing the quality of dairy products. *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*), *Listeria monocytogenes* (*Listeria*), *Campylobacter jejuni*, and *Bacillus cereus*, which are present in milk, not only cause foodborne illnesses but also contribute to milk acidification and spoilage (Willis et al., 2018). Furthermore, their production of lipases and proteases can impair milk quality (Li et al., 2018).

Nowadays, raw milk is becoming increasingly popular as a 'natural and local product' (Loss et al., 2011; Sozańska et al., 2013). However, raw milk can be contaminated by pathogenic bacteria such as coliforms (Godziszewska et al., 2018; Khalid et al., 2024), which can be easily transferred from milk to consumers (Claeys et al., 2013). In a study by Oliver et al. (2005), coliform bacteria were detected in 95 % of bulk tank milk samples collected in 21 U.S. states. The study also showed that pathogenic *Escherichia coli* (*E. coli*) strains often cause human infections (Oliver et al., 2005). A more significant problem is that antibiotic-resistant *E. coli* may also be present in raw milk (Nagy et al., 2021). In New Zealand (Hill et al., 2012), pathogens (*E. coli*, *S. aureus*, *Listeria*, *Salmonella*, and *Campylobacter*) were previously examined in raw milk, where the presence of *S. aureus*, *Listeria*, and *E. coli* was confirmed. In Estonia (Stulova et al., 2010), bulk tank milk was examined, yielding positive results. Specifically, 91 % of the samples were compliant, with *Pseudomonas* being the predominant species in non-compliant milk. The situation in southwestern Ethiopia has deteriorated (Berhanu et al., 2021). Ninety per cent of the 150 milk samples were not suitable, which is a significant problem, as the population consumes raw cow's milk rather than processed cow's milk. In northern Italy, the presence of *Listeria* in raw milk was studied over a three-year period, with a prevalence of 1.66 % in the samples (Dalzini et al., 2016). The examination of milks used in cheese-making in Ireland yielded fairly positive results. *Bacillus cereus*, *S. aureus*, *Listeria*, *Salmonella*, and *E. coli* were observed, and in only 1 of 68 samples was the microbiological status of the raw material unsatisfactory (Lourenco et al., 2020).

Legal requirements apply to microbial criteria for raw cow's milk. In Hungary, these are outlined in the Decree of EüM of 1998 (XI. 11.) on the maximum level of microbiological contaminants that may be present in foodstuffs, as well as Regulation (EC) No 2073/2005. In Hungary, Peles et al. (2008) examined the effect of husbandry technology on milk microbiology and the prevalence and resistance of *S. aureus* in milk from 20 farms (2007). In his dissertation, Jancsó (2015) examined the physico-chemical parameters and total bacterial counts of raw milk. Varga (2016) examined *E. coli* and *S. aureus* in raw cow's milk in his doctoral dissertation. Poor hygiene practices have led to high coliform counts, and other bacteria can also multiply easily (Martin et al., 2023). However, even low levels of pathogens in raw milk can be harmful to consumers (Claeys et al., 2013). For example, it was shown that coliforms can significantly affect the organoleptic characteristics of milk (Godziszewska et al., 2018).



Environmental pathogens may enter milk through inadequate hygiene of the udder surface, from milking equipment that is not adequately cleaned and disinfected, possibly from milk transport equipment, and from persons, due to either poor milking technique or improper handling. During transport, improper cooling facilitates bacterial growth due to the ideal conditions of nutrients, pH, and water activity (Ndahetuye et al., 2020).

1.1 Microbiological background

Escherichia coli (*E. coli*) is a Gram-negative, aerobic, rod-shaped microbe that resides in the lower part of the gastrointestinal tract. Gram-negative bacteria are most commonly cultured from human samples. Their diarrhoea-causing group often leads to severe epidemics and public health issues. The most commonly studied groups are: enteropathogenic *E. coli* (EPEC), enterohaemorrhagic *E. coli* (EHEC), verotoxigenic *E. coli* (VTEC), enteroaggregative *E. coli* (EAggEC), enterotoxigenic *E. coli* (ETEC), enteroinvasive *E. coli* (EIEC), and diffusely adherent *E. coli* (DAEC). Some of their strains have developed resistance to carbapenems, tigecycline, and colistin (Luo et al., 2020), as well as cephalosporins (Moor et al., 2021), or exhibit multidrug resistance (MDR) to additional antibiotics (Dunn et al., 2019).

Staphylococcus aureus (*S. aureus*) is a Gram-positive bacterium that can cause many infectious diseases (e.g., foodborne illness, skin infections, pneumonia, etc.). It is a significant nosocomial pathogen, and many of its clones also occur in community settings. Due to its virulence factors, it easily evades the host's immune response and is increasingly resistant to antibiotics, making it a highly significant pathogen. It is responsible for many opportunistic infections (bacteraemia, skin and soft tissue infections, surgical infections, abscesses) (Tong et al., 2015; Bencardino et al., 2021). The carotenoids produced by the organism give the yellow colour of its colonies. The Latin term 'aureus' refers to its gold colour (Liu et al., 2005).

Enterococcus faecalis (*E. faecalis*) is a ubiquitous member of the healthy human intestinal flora. However, it is also a common opportunistic pathogen and a leading cause of nosocomial infections. It adapts well to the mammalian host, supports infection, and ensures its survival under diverse conditions. It can easily adjust its metabolism, allowing it to react quickly to new environments (Kao et al., 2019). Several resistant strains have developed, such as vancomycin-resistant (Miller et al., 2020) or linezolid-resistant enterococci (Bi et al., 2018).

Clostridium perfringens is a significant anaerobic, spore-forming pathogenic bacterium affecting humans and animals. A significant proportion of foodborne illnesses is caused by *Clostridium perfringens* enterotoxins (CPE). During infection, it produces protein toxins and forms environmentally resistant endospores. Among them are chloramphenicol-, bacitracin-, lincomycin-, and tetracycline-resistant strains (Adams et al., 2018). Currently, seven different toxin types are known (Rood et al., 2018).

Listeria is a genus of Gram-positive, facultatively anaerobic bacteria that cause listeriosis, resulting in high morbidity and mortality rates. It also causes bacteraemia and meningitis in newborns, primarily through contaminated food. Therefore, it is important to understand its virulence factors (Disson et al., 2021). Six species are classified in the genus.

Salmonella is a genus of rod-shaped, Gram-negative, facultatively anaerobic bacteria belonging to the family Enterobacteriaceae. It is one of the most commonly isolated food pathogens, with food-producing animals as its primary source of infection. People with weakened immune systems are more prone to infection and its more severe course. Almost all of its strains are pathogenic. Upon entering the digestive system, they invade the epithelial cells lining the intestinal wall, encoding



secretion systems that inject their effectors into the cytoplasm, causing phagocytosis of the intestinal wall. Its clinical manifestations include enteric fever, gastroenteritis, bacteraemia, and other extraintestinal complications. Furthermore, multidrug-resistant strains have been reported in previous studies (Eng et al., 2015).

2. MATERIALS AND METHODS

2.1 Sampling

Samples were obtained by the MTKI Research-Food Testing and Raw Milk Certification Laboratory, collected in accordance with Directive 3-2-1/2004 on the Official Collection of Food Testing Methods of the Hungarian Food Codex (*Codex Alimentarius Hungaricus*) – Sampling and testing methods for the price-consistent classification of raw milk, edition 3 of 2013 (16/2008. (II. 15.) FVM-SZMM). For the examination, samples were requested from at least one dairy farm in each of the 16 counties in Hungary every month. Thus, a minimum of 6 and a maximum of 15 samples were obtained per site (Table 1), totalling 135 samples. The samples were delivered from Budapest to Mosonmagyaróvár under refrigerated conditions. Each sample was 100 ml and tested within 10 hours of sampling.

Table 1: Distribution of samples by county

	County	Sample number	Number of dairy farms	Number of cows/1000
1	Baranya	10	2	15,7
2	Bács-Kiskun	9	205	36,3
3	Békés	11	40	27,0
4	Borsod-Abaúj-Zemplén	7	35	23,8
5	Csongrád-Csanád	6	100	19,0
6	Fejér	6	32	22,9
7	Hajdú-Bihar	7	47	55,9
8	Heves	6	11	8,9
9	Jász-Nagykun-Szolnok	13	41	27,5
10	Nógrád	7	14	12,5
11	Pest	15	166	27,1
12	Somogy	6	247	17,1
13	Szabolcs-Szatmár-Bereg	7	34	26,9
14	Tolna	10	20	10,0
15	Vas	7	19	14,2
16	Zala	8	35	12,5

2.2 Examination procedure

Microbiological examinations were conducted in accordance with Annexe 4 to the EüM Decree 4/1998 (XI. 11.) as currently in force in Hungary. Following ISO standards, we determined the presence of *Salmonella* (MSZ EN ISO 6579-1:2017), Coliforms (ISO 4832:2006), *Escherichia coli* (*E. coli*) (ISO 16649-2:2001), *Listeria* (ISO 11290-1:2017), *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*) (ISO 6888-1:2021), sulphite-reducing *Clostridium* (ISO 7937:2004), *Enterococcus faecalis* (*E. faecalis*) (ISO



7899-2), and microbial counts (Table 2). All microbial tests were performed in triplicate. According to regulations, two limit values are set: *m* is the compliance value, and 'M' is the rejection value. A sample is compliant below 'm', acceptable between 'm' and 'M', and non-compliant above 'M'.

Table 2: Limit values for the microbes examined (EÜM Decree 4/1998 (XI.11.))

Bacterial strain	<i>m</i> (CFU/mL)	<i>M</i> (CFU/mL)
<i>Salmonella</i>	-	0/25 g
<i>S. aureus</i>	10 ²	5*10 ²
<i>Listeria</i>	-	0/25 g
<i>Coliform</i>	10	10 ²
Total bacterial count	10 ⁵	3*10 ⁵
<i>E. faecalis</i>	10	10 ²
<i>E. coli</i>	< 1	< 10
<i>Clostridium</i>	10	10 ²

2.3 Materials used and standards applied

Plate Count agar, Tryptone-bile-glucuronide agar, Tryptose-sulphite-cycloserine agar, Müller-Kauffmann tetrathionate-novobiocin broth, Brilliant green-phenol red-lactose-sucrose agar, Xylose-lysine deoxycholate agar, Chromobio Coliform agar, ALOA-agar, Oxford agar, Tryptone Soya Yeast agar, Columbia blood agar, Gram stain set, Baird-Parker agar, Kanamycin-esculin-azide agar (all purchased from Biolab), Fraser broth, buffered peptone water (VWR), Rappaport-Vassiliadis broth (Sigma-Aldrich), *Salmonella* whey (Prolab), Bactident Coagulase (Merck), control strains (HNCMB), Petri dishes, pipettes, disposable needles, and flasks (all purchased from AA Laboratories Kft).

2.4 Samples

The MTKI collected samples regularly from 16 counties in Hungary over a six-month period. Each raw milk sample was obtained from a Holstein-Friesian cattle farm, selected based on its leading position in its county for standard lactation milk production and an annual milk yield of 9,000-10,000 kg/cow. The samples were bulk tank milks. They arrived at the examination site properly refrigerated (< 6 °C) and were tested within 10 hours of sampling.

3. RESULTS

In Hungary, raw milk is tested for somatic cell count, inhibitor concentration, and total microbial count in accordance with legislation. Thus, we considered it worthwhile to examine other bacteria as well, given the increasing number of raw milk vending machines and the rising prevalence of antibiotic-resistant pathogens. The following analyses were performed: *Salmonella*, *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*), *Listeria*, Coliforms, *Enterococcus faecalis* (*E. faecalis*), *Escherichia coli* (*E. coli*), *Clostridium*, and total germ count. We examined a total of 135 samples of bulk tank milk from dairy farms in 16 counties over a 6-month period (Table 3). The 'm' value is the conformity limit, and the 'M' value is the rejection limit. A sample is compliant if it is below the 'm' value; it is acceptable if it is at or above the 'm' value but below the 'M' value. A sample is non-compliant if it reaches or exceeds the 'M' value.



Table 3: The compliance percentages are presented in percentages and by county

Cow farm*	Listeria		Salmonella		E. coli			Coliform			S. aureus			E. faecalis			Colony plate count		
	> M	< m	> M	< m	m < M	> M	< m	m < M	> M	< m	m < M	> M	< m	m < M	> M	< m	m < M	> M	< m
1	20.0	80.0	0	100	10.0	0	90.0	33.0	10.0	57.0	10.0	10.0	80.0	40.0	20.0	40.0	0	0	100
2	33.0	67.0	0	100	0	0	100.0	55.0	0	45.0	11.1	0	88.9	33.3	44.4	22.3	0	0	100
3	9.0	91.0	0	100	18.1	0	81.9	45.4	0	54.6	18.1	9.0	145.5	63.6	9.0	27.4	0	9.0	91.0
4	28.0	72.0	0	100	42.8	0.0	57.2	85.7	0	14.3	28.5	0	114.3	42.8	42.8	14.4	0	0	100
5	33.0	67.0	0	100	33.0	16.6	50.4	66.0	16.6	17.4	16.6	0	116.7	33.3	0	66.7	0	0	100
6	0	100	0	100	50.0	16.6	33.4	50.0	33.0	17.0	33.3	0	116.7	50.0	16.6	33.4	16.6	0	83.4
7	0	100	100	0	28.5	28.5	43.0	100	0	0	42.8	14.2	128.6	71.4	14.2	14.4	0	0	100
8	0	100	0	100	0	0	100	83.3	0	16.7	0	0	100	100	0	0	0	0	100
9	30.7	69.3	0	100	61.5	23.0	15.5	69.2	7.6	23.2	53.8	0	46.2	61.5	23.0	15.5	0	0	100
10	14.0	86.0	0	100	42.8	28.6	28.6	57.1	28.5	14.4	28.5	14.2	57.3	57.1	28.5	14.4	28.5	0	71.5
11	6.6	93.4	0	100	33.0	26.6	40.4	73.3	26.6	0	26.6	0	77.4	73.3	18.1	8.6	20.0	13.3	66.7
12	0	100	0	100	50.0	16.6	33.4	66.0	33.0	0	50.0	0	50.0	50.0	33.3	16.7	0	0	100
13	28.0	72.0	100	0	42.8	0	57.2	57.1	14.2	28.7	57.1	0	42.9	71.4	28.5	0.1	0	14.2	85.8
14	10.0	90.0	0	100	30.0	20.0	50.0	50.0	40.0	10.0	50.0	0	50.0	60.0	20.0	20.0	10.0	0	90.0
15	28.0	72.0	0	100	28.5	14.2	57.3	85.7	0	14.3	28.5	14.2	57.3	71.4	14.2	14.4	0	0	100
16	37.5	62.5	0	100	25.0	12.5	62.5	40.0	12.5	47.5	50.0	0	50.0	50.0	12.5	37.5	0	0	100

*Numbers presented counties as listed in Table 1

When comparing the samples by month, no significant differences were detected in any characteristic.

3.1 *Salmonella* analyses

According to the regulation, the presence of *Salmonella* in milk is not permitted. In contrast, *Salmonella* (Figure 1) was found in 2 samples, representing 1.5 % of the samples; therefore, these milks were non-compliant. Based on geographical distribution, the affected samples originated from different but neighbouring counties. For both cattle farms, seven samples were tested, meaning that 14.3 % of the samples were non-compliant.

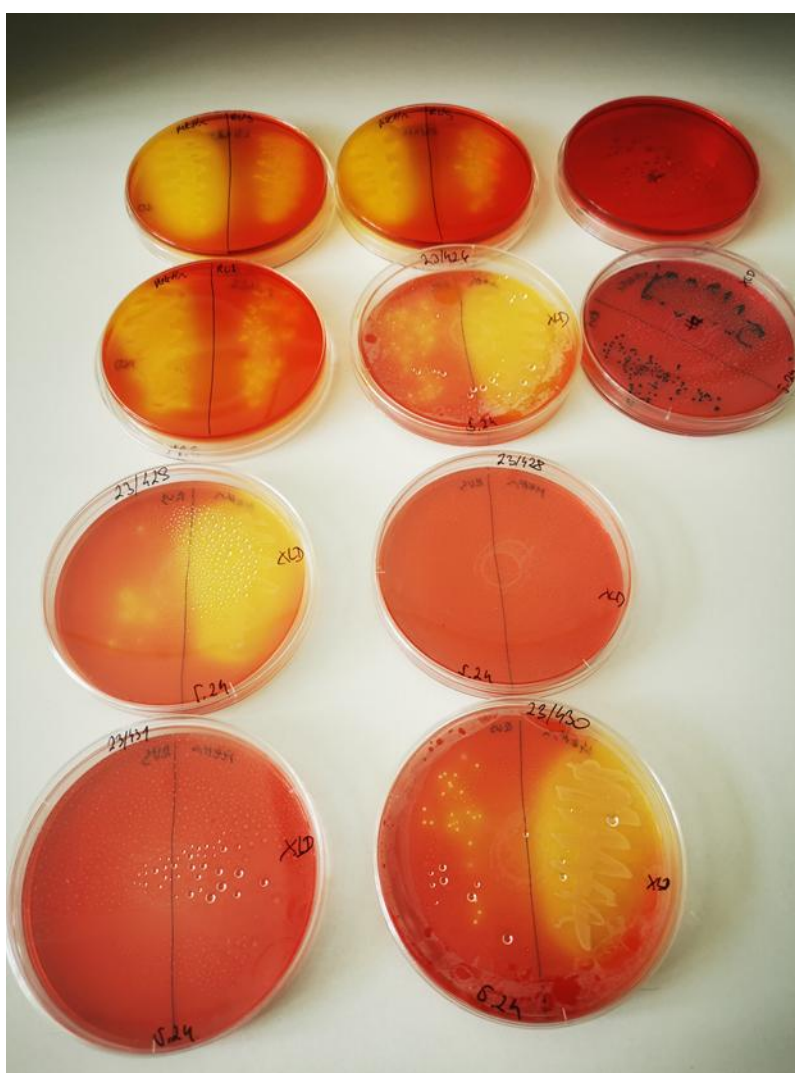


Figure 1: *Salmonella* tests in Petri dishes

3.2 *Clostridium* analyses

The *Clostridium* analyses showed that none of the samples exceeded the limit value 'm' (10 CFU/ml), indicating that all samples were compliant. Additionally, it is worth noting that we identified the bacterium in 13 samples (9.6 %), primarily in 10 counties (62.5 %), with the majority of cases

occurring in the central part of the country. The bacterium was detected twice in each of three dairy farms, from 6, 7, and 15 samples.

3.3 *Staphylococcus aureus* analyses

In the *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*) analyses, its presence was detected in 5 samples, with 3.7 % of the samples exceeding the limit value 'M' (5×10^2 CFU/ml); consequently, these samples were non-compliant. It can also be stated that the batches that reached the rejection limit were all from different counties. Only the samples from one dairy farm (out of 6 samples) had no objectionable batch, and the number of these bacteria reached the limit value 'm' (10^2 CFU/ml) at least once in the dairy farms of the other 15 counties (Figure 2).

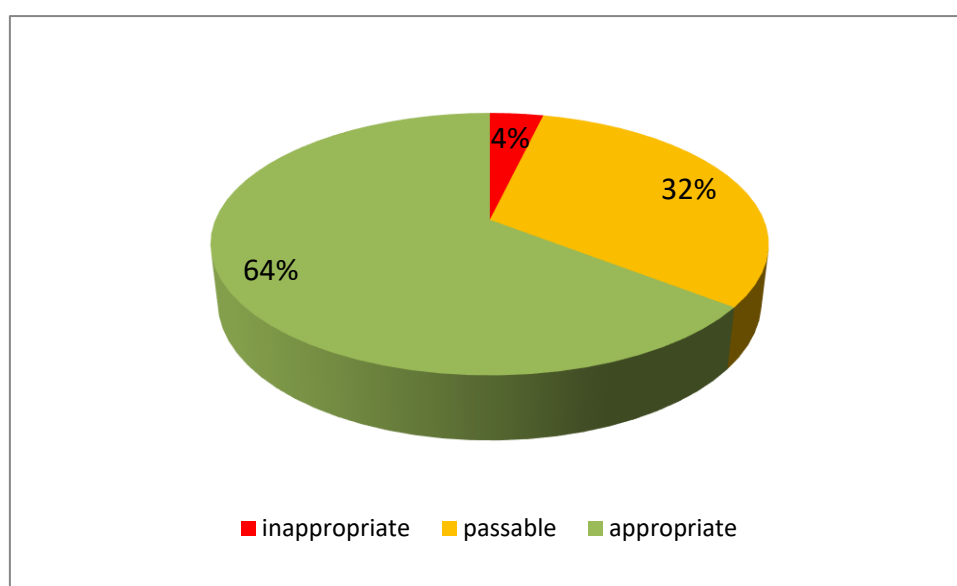


Figure 2: Classification of bulk tank milk based on the occurrence of *Staphylococcus aureus* nationwide

3.4 *Listeria* analyses

Listeria was present in 21 samples, representing 15.5 % of all samples (135) on a pro rata basis. When analysed by counties, this proportion was very high (33.3 %) in each cattle farm. However, there were cattle farms where no bacteria were detected, but their proportion was very low (2.9 %). Unfortunately, there were also false positive results on ALOA and XLD media, which biochemical tests can verify. These microbes can generally be classified into *Aeromonas*, *Proteus*, and *Serratia* strains. In one sample, we identified the strain of *Serratia marcescens*, a microorganism that is one of the most common opportunistic pathogens (causing nosocomial infections) in the natural environment.

3.5 *E. coli* analyses

The occurrence of *Escherichia coli* (*E. coli*) (Figure 3) was also significant in the samples. It was not detected in two cattle farms (12.5 %); in the others, the bacterium was found at least twice. In total, *E. coli* was detected in 60 (44.4 %) of the 135 samples.

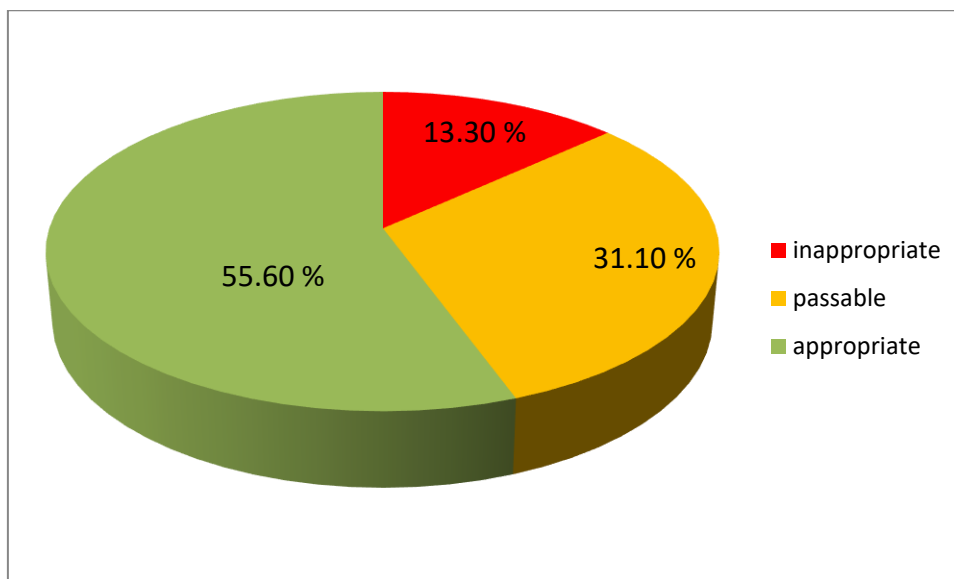


Figure 3: Classification of bulk tank milk based on the occurrence of E. coli nationwide

3.6 Coliform analyses

Coliforms (*Figure 4*) were found in 19 samples (*Figure 5*). The non-compliant samples (14.0 %) originated from 10 counties. Fifty per cent of the samples from one county received a non-compliant rating. In 6 counties (37.5 %), all samples were rated as compliant or acceptable.

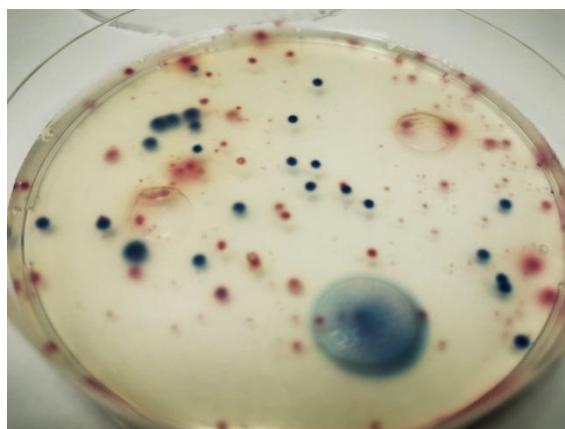


Figure 4: Coliforms in a Petri dish

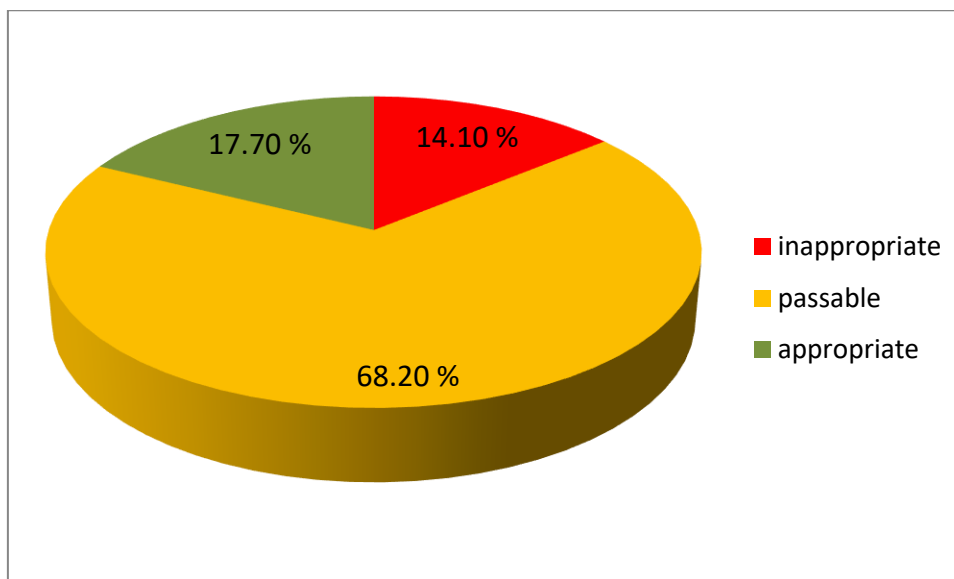


Figure 5: Classification of bulk tank milk based on the occurrence of Coliform nationwide

3.7 *E. faecalis* analyses

Most of the samples examined contained *Enterococcus faecalis* (*E. faecalis*) in excess of the acceptable limit value. Only 24 samples contained an acceptable bacterial count (< 10 CFU/ml). However, only 27 samples received a non-compliant classification ($> 10^2$ CFU/ml). The percentage distribution is shown in Figure 6.

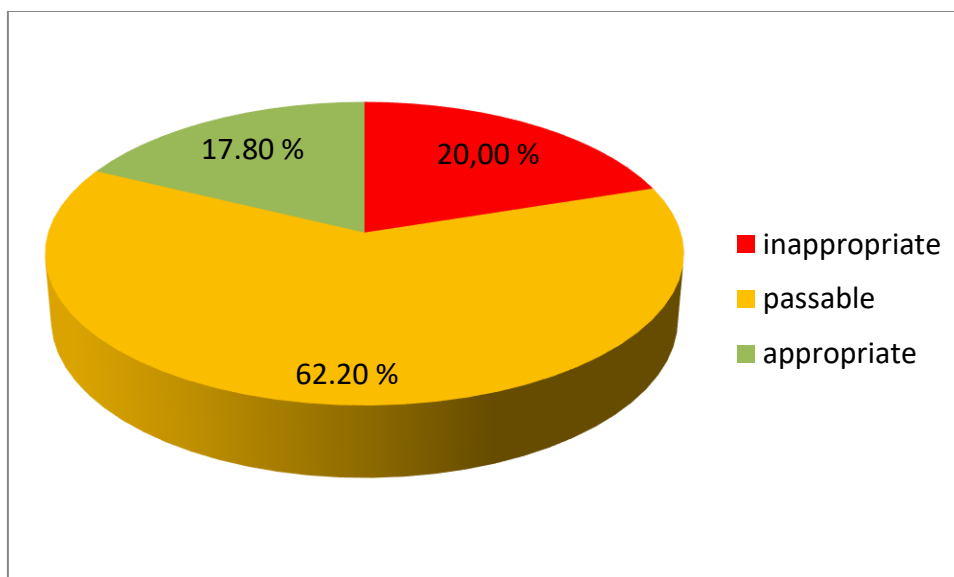


Figure 6: Classification of bulk tank milk based on the occurrence of *E. faecalis* nationwide

3.8 Total germ count analyses

The total germ count in the milk samples was mostly within the limits defined by law, which is routinely verified. Relevant food safety regulations mandate compliance; therefore, any sample

exceeding the threshold would not be permitted for market distribution. Non-compliant samples represented approximately 3 % (Figure 7). Table 2 presents the compliance percentages by county.

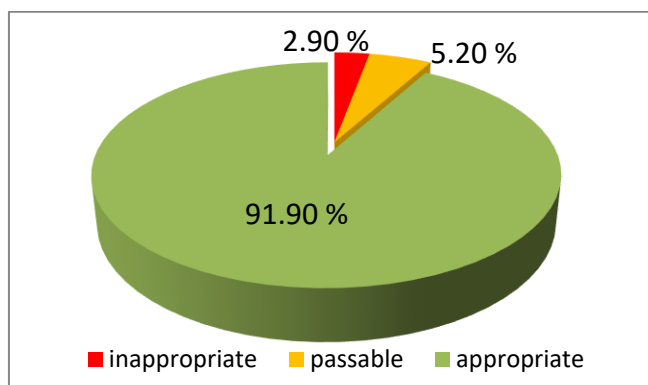


Figure 7: Classification of bulk tank milk based on the occurrence of total germ count nationwide

4. DISCUSSION

Based on the results, it can be concluded that total germ counts, one of the key parameters for classifying raw milk, exceeded the threshold value ($> 10^5$ CFU/ml) in only four counties. This suggests that, from a general microbiological perspective, the majority of the milk samples were acceptable. However, data from the six-month study indicate that, in numerous cases, the levels of coliform bacteria, *Enterococcus faecalis* (*E. faecalis*), and *Escherichia coli* (*E. coli*) were significantly above acceptable limits. Furthermore, the detection of *Listeria* spp. presents a notable concern, as it was detected in one-third of the analysed samples from one cattle farm. These findings highlight potential health risks. On a more positive note, according to Peles et al. (2007), *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*) was detected in 70 % of samples, whereas in our study, it was found in only 4 %. Due to the unavailability of hygiene data from the farms, we infer, based on findings from previous studies (Peles et al., 2008), that hygiene conditions may have contributed to the elevated pathogen levels observed.

5. CONCLUSIONS

Our study aimed to assess the presence of pathogenic microorganisms in tank milk from dairy farms nationwide. Of 135 samples examined, some bacteria were present in 14 % of cases, while others were present in 20 % of cases, exceeding the limit value. With this study, we aim to draw attention to the need to improve hygiene practices and highlight the importance of more accurate identification and exclusion of clinically or subclinically sick cows on dairy farms to prevent contaminated milk from entering the distribution tank, thereby avoiding deterioration in milk quality. Additionally, strict attention should be paid to transport conditions, as suboptimal environments can promote the rapid growth of bacteria and fungi. Our results also highlight the need for consumers to heat-treat raw milk before consumption.

Acknowledgments

This work was supported by the European Union and co-financed by the European Social Fund (EFOP-3.6.1-16-2016-00024).



Magyarországi nyerstejek mikrobiológiai monitorozása

NAGY ÁGNES*, GREFF BABETT, HANCZNÉ LAKATOS ERIKA, KAPCSÁNDI VIKTÓRIA

Széchenyi István Egyetem, Albert Kázmér Mosonmagyaróvári Kar

Élelmiszertudományi Tanszék, Mosonmagyaróvár

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-7639-0987>

Email: nagy.agnes@sze.hu

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-7441-368X>

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-5148-6715>

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-4161-6015>

*Corresponding author/Levelező szerző

ÖSSZEFOGLALÁS

Tanulmányunk célja az ország különböző részein található tejgazdaságok tartálytejének kórokozó mikroorganizmusokkal kapcsolatos állapotának felmérése volt. Magyarországon a nyerstej árkonzisztens tanúsítása során a szabványoknak megfelelően határozzák meg az összcsíraszámot, a szomatikus sejtszámot és az inhibitor jelenlétét. Sajnálatos, hogy más kórokozó baktériumokat nem vizsgálunk, bár köztudott, hogy a tej kiváló táptalaj ezeknek a mikroorganizmusoknak. A nyerstejfogyasztás növekvő tendenciája növeli a kórokozók és az antibiotikum-rezisztens kórokozók élelmiszer eredetű terjedését. Ezért szerettünk volna átfogó képet kapni a nagyobb hazai szarvasmarha-tenyésztő gazdaságok mikrobiológiai hátteréről. Az ország 16 helyszínéről gyűjtöttünk nyerstejmintákat, és a hat hónapos vizsgálat során *Listeria*, *Salmonella*, *Coliform*, *E. coli*, *Staphylococcus aureus*, *Clostridium* és *Enterococcus faecalis* jelenlétét vizsgáltuk 4/1998. (XI.11) EüM rendelet alapján. A minták 91,9 %-a megfelelő összcsíraszámmal rendelkezett, azonban a *Listeria*, *Coliform* és *E. faecalis* 14,0 %, 15,5 % és 20,0 %-ban előfordult a határértéket meghaladó mennyiségben. *E. coli* az esetek 13,3 %-ában, míg *Listeria spp.* a minták harmadában fordult elő. A tanulmány kimutatta, hogy fontos lenne a minták időnkénti ellenőrzése, mielőtt a nyerstej fogyasztása komoly közegészségügyi kockázatot jelentene. Az összes csíraszám mindössze négy megyében haladta meg a küszöbértéket. Ezek a megállapítások rávilágítanak a lehetséges egészségügyi kockázatokra (élelmiszer eredetű betegségek).

Kulcsszavak: kórokozók, monitorozás, emberi egészség, tartálytej



REFERENCES

- Adams, V., Han, X., Lyras, D., & Rood, J. I. (2018). Antibiotic resistance plasmid and mobile genetic elements of *Clostridium perfringens*. *Plasmid*, 99, 32-39. <https://doi.org/10.1016/j.plasmid.2018.07.002>
- Addis, M. F., Tanca, A., Uzzau, S., Oikonomou, G., Bicalho, R. C., & Moroni, P. (2016). The bovine milk microbiota: Insights and perspectives from -omics studies. *Molecular BioSystems*, 12(8), 2359-2372. <https://doi.org/10.1039/C6MB00217J>
- Bencardino, D., Amagliani, G., & Brandi, G. (2021). Carriage of *Staphylococcus aureus* among food handlers: An ongoing challenge in public health. *Food Control*, 130, 108362. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108362>
- Berhanu, L., Gume, B., Kassa, T., Dadi, L.S., Tegegne, D., Getnet, M., Bediru, H., Getaneh, A., Suleman, S., Mereta, S.T. (2021) Microbial quality of raw cow milk and its predictors along the dairy value chain in Southwest Ethiopia. *International Journal of Food Microbiology*. 350, <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2021.109228>
- Bi, R., Qin, T., Fan, W., Ma, P., & Gu, B. (2018). The emerging problem of linezolid-resistant enterococci. *Journal of Global Antimicrobial Resistance*, 13, 11-19. <https://doi.org/10.1016/j.jgar.2017.10.018>
- Claeys, W. L., Cardoen, S., Daube, G., De Block, J., Dewettinck, K., Dierick, K., De Zutter, L., Huyghebaert, A., Imberechts, H., Thiange, P., Vandenplas, Y., & Herman, L. (2013). Raw or heated cow milk consumption: Review of risks and benefits. *New Zealand Science Review*, 70(3), 70. <https://doi.org/10.26686/nzsr.v70.8727>
- Dalzini, E., Bernini, V., Bertasi, B., Daminelli, P., Losio, M-N., Varisco, G. (2016). Survey of prevalence and seasonal variability of *Listeria monocytogenes* in raw cow milk from Northern Italy. *Food Control*, 60, 466-470. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.08.019>
- Disson, O., Moura, A., & Lecuit, M. (2021). Making sense of the biodiversity and virulence of *Listeria monocytogenes*. *Trends in Microbiology*, 29(9), 811-822. <https://doi.org/10.1016/j.tim.2021.01.008>
- Dunn, S. J., Connor, C., & McNally, A. (2019). The evolution and transmission of multidrug-resistant *Escherichia coli* and *Klebsiella pneumoniae*: The complexity of clones and plasmids. *Current Opinion in Microbiology*, 51, 51-56. <https://doi.org/10.1016/j.mib.2019.06.004>
- Eng, S. K., Pusparaja, P., Ab Mutalib, N. S., Ser, H. L., Chan, K. G., & Lee, L. H. (2015). Salmonella: A review on pathogenesis, epidemiology and antibiotic resistance. *Frontiers in Life Science*, 8(3), 284-293. <https://doi.org/10.1080/21553769.2015.1051243>
- Godziszewska, J., Pogorzelska-Nowicka, E., Brodowska, M., Jagura-Burdzy, G., & Wierzbicka, A. (2018). Detection in raw cow's milk of coliform bacteria: Reservoir of antibiotic resistance. *LWT*, 93, 634-640. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.04.019>
- Hill, B., Smythe, B., Lindsay, D., Shepherd, J. (2012). Microbiology of raw cow milk in New Zealand. *International Journal of Food Microbiology*, 157(2), 305-308. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2012.03.031>
- Jancsó, A. (2015). *A termelői nyers tehenj közvetlen értékesítésének gyakorlata és a minőség értékelése* [Doktori disszertáció, Nyugat-Magyarországi Egyetem]. Mosonmagyaróvár.
- Kao, P. H. N., & Kline, K. A. (2019). Dr Jekyll and Mr Hide: How *Enterococcus faecalis* subverts the host immune response to cause infection. *Journal of Molecular Biology*, 431(16), 2932-2945. <https://doi.org/10.1016/j.jmb.2019.05.030>



- Khalid, L., Fatima, A., Nawaz, S., Khurram, A., Hussain, Z., & Sajid, I. (2024). Quality, safety, and microbiological assessment of loose market milk and antibiotic resistance analysis of *Escherichia coli* isolates in different areas of Faisalabad, Pakistan. *International Dairy Journal*, 154, 105936. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2024.105936>
- Antonio Lourenco, A., Maria Fraga-Corral, M., Lorenzo De Colli, L., Mary Moloney, M., Martin Danaher, M., Kieran Jordan, K. (2020). Determination of the presence of pathogens and anthelmintic drugs in raw milk and raw milk cheeses from small scale producers in Ireland. *LWT*, 130. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109347>
- Li, N., Wang, Y., You, C., Ren, J., Chen, W., Zheng, H., & Liu, Z. (2018). Variation in raw milk microbiota throughout 12 months and the impact of weather conditions. *Scientific Reports*, 8(1), 2371. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-20862-8>
- Liu, G. Y., Essex, A., Buchanan, J. T., Datta, V., Hoffman, H. M., Bastian, J. F., Fierer, J., & Nizet, V. (2005). *Staphylococcus aureus* golden pigment impairs neutrophil killing and promotes virulence through its antioxidant activity. *Journal of Experimental Medicine*, 202(2), 209-215. <https://doi.org/10.1084/jem.20050846>
- Loss, G., Apprich, S., Waser, M., Kneifel, W., Genuneit, J., Büchele, G., Weber, J., Sozanka, B., Danielewicz, H., Horak, E., van Neerven, R. J. J., Heederik, D., Lorenzen, P. C., von Mutius, E., Braun-Fahrlander, C., & GABRIELA Study Group. (2011). The protective effect of farm milk consumption on childhood asthma and atopy: The GABRIELA study. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, 128(4), 766-773. <https://doi.org/10.1016/j.jaci.2011.07.048>
- Luo, Q., Wang, Y., & Xiao, Y. (2020). Prevalence and transmission of mobilised colistin resistance (mcr) gene in bacteria common to animals and humans. *Biosafety and Health*, 2(2), 71-78. <https://doi.org/10.1016/j.bsheal.2020.05.001>
- Martin, N. H., Evanowski, R. L., & Wiedmann, M. (2023). Invited review: Redefining raw milk quality – Evaluation of raw milk microbiological parameters to ensure high-quality processed dairy products. *Journal of Dairy Science*, 106(3), 1502-1517. <https://doi.org/10.3168/jds.2022-22416>
- Miller, W. R., Murray, B. E., Rice, L. B., & Arias, C. A. (2020). Resistance in vancomycin-resistant enterococci. *Infectious Disease Clinics of North America*, 34(4), 751-771. <https://doi.org/10.1016/j.idc.2020.08.004>
- Moor, J., Aebi, S., Rickli, S., Mostacci, N., Overesch, G., Oppliger, A., & Hilty, M. (2021). Dynamics of extended-spectrum cephalosporin-resistant *Escherichia coli* in pig farms: A longitudinal study. *International Journal of Antimicrobial Agents*, 58(3), 106382. <https://doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2021.106382>
- Nagy, Á., Székelyhidi, R., Hanczné Lakatos, E., & Kapcsándi, V. (2021). Review on the occurrence of the mcr-1 gene causing colistin resistance in cow's milk and dairy products. *Heliyon*, 7(4), e06800. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06800>
- Ndahetuye, J. B., Artursson, K., Båge, R., Ingabire, A., Karege, C., Djangwani, J., Nyman, A.-K., Ongol, M. P., Tukei, M., & Persson, S. (2020). MILK symposium review: Microbiological quality and safety of milk from farm to milk collection centres in Rwanda. *Journal of Dairy Science*, 103(11), 9730-9739. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18302>
- Oliver, S. P., Jayarao, B. M., & Almeida, R. A. (2005). Foodborne pathogens in milk and the dairy farm environment: Food safety and public health implications. *Foodborne Pathogens and Disease*, 2(2), 115-129. <https://doi.org/10.1089/fpd.2005.2.115>



- Oikonomou, G., Addis, M. F., Chassard, C., Nader-Macias, M. E. F., Grant, I., Delbès, C., Bogni, C. I., Le Loir, Y., & Even, S. (2020). Milk microbiota: What are we exactly talking about? *Frontiers in Microbiology*, 11, 60. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.00060>
- Quigley, L., O'Sullivan, O., Stanton, C., Beresford, T. P., Ross, R. P., Fitzgerald, G. F., & Cotter, P. D. (2013). The complex microbiota of raw milk. *FEMS Microbiology Reviews*, 37(5), 664-698. <https://doi.org/10.1111/1574-6976.12030>
- Peles, F., Máthéné Szigeti, Zs., Béri, B., & Szabó, A. (2008). The effect of keeping technology on the microbiological status of raw milk. *Acta Agraria Debreceniensis*, 31, 49-54. <https://doi.org/10.34101/actaagrar/31/3009>
- Peles, F., Wagner, M., Varga, L., Hein, I., Rieck, P., Gutser, K., Keresztúri, P., Kardos, G., Turcsányi, I., Béri, B., & Szabó, A. (2007). Characterisation of *Staphylococcus aureus* strains isolated from bovine milk in Hungary. *International Journal of Food Microbiology*, 118(2), 186-193. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2007.07.010>
- Rood, J. I., Adams, V., Lacey, J. A., Lyras, D., McClane, B. A., Melville, S. B., Moore, R. J., Popoff, M. R., Sarker, M. R., Songer, J. G., Uzal, F. A., & Van Immerseel, F. (2018). Expansion of the *Clostridium perfringens* toxin-based typing scheme. *Anaerobe*, 53, 5-10. <https://doi.org/10.1016/j.anaerobe.2018.04.011>
- Singh, G. M., Micha, R., Khatibzadeh, S., Shi, P., Lim, S., Andrews, K. G., Engell, R. E., Ezzati, M., Mozaffarian, D., & Global Burden of Diseases Nutrition and Chronic Diseases Expert Group. (2015). Global, regional, and national consumption of sugar-sweetened beverages, fruit juices, and milk: A systematic assessment of beverage intake in 187 countries. *PLoS ONE*, 10(8), e0124845. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0124845>
- Sozańska, B., Pearce, N., Dudek, K., & Cullinan, P. (2013). Consumption of unpasteurised milk and its effects on atopy and asthma in children and adult inhabitants in rural Poland. *Allergy*, 68(5), 644-650. <https://doi.org/10.1111/all.12147>
- Stulova, I., Adamberg, S., Krisciunaite, T., Kampura, M., Blank, L., Laht, T-M. (2010). Microbiological quality of raw milk produced in Estonia. *Letters In Applied Microbiology*. 51(6), 683-690. <https://doi.org/10.1111/j.1472-765X.2010.02951.x>
- Szakály, S. (Ed.). (2001). *Tejgazdaságtan*. Dinasztia Kiadó.
- Tong, S. Y., Davis, J. S., Eichenberger, E., Holland, T. E., & Fowler, V. G., Jr. (2015). *Staphylococcus aureus* infections: Epidemiology, pathophysiology, clinical manifestations, and management. *Clinical Microbiology Reviews*, 28(3), 603-661. <https://doi.org/10.1128/CMR.00134-14>
- Varga, L. (2016). *Nyers tejek és funkcionális savanyú tejtermékek bakteriológiája, higiéniája* [Doctoral dissertation, Széchenyi István Egyetem]. Mosonmagyaróvár.
- Willis, C., Jørgensen, F., Aird, H., Elviss, N., Fox, A., Jenkins, C., Fenelon, D., Sadler-Reeves, L., & McLauchlin, J. (2018). An assessment of the microbiological quality and safety of raw drinking milk on retail sale in England. *Journal of Applied Microbiology*, 124(2), 535-546. <https://doi.org/10.1111/jam.13660>

©Copyright 2025 by the Authors.

The journal is Open Access (Platinum). This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).





***Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum* Causing Severe Soft Rot in Celeriac on a Family Farm in Slovakia**

LÁSZLÓ PALKOVICS^{1,2*}, GEORGINA TAKÁCS^{1,2}, DOMINIK VÉGH³

¹Albert Kázmér Faculty of Agricultural and Food Sciences of Széchenyi István University
HUN-REN-SZE PhatoPlant-Lab, Mosonmagyaróvár, Hungary

²Albert Kázmér Faculty of Agricultural and Food Sciences of Széchenyi István University
Agricultural and Food Research Centre, Mosonmagyaróvár, Hungary

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-1850-6750>

Email: palkovics.laszlo.amand@sze.hu

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-0912-2237>

³Albert Kázmér Faculty of Agricultural and Food Sciences of Széchenyi István University
Mosonmagyaróvár, Hungary

*Corresponding author/Levelező szerző

Received/Érkezett: 04.09.2025

Revised/Átdolgozva: 10.10.2025

Accepted/Elfogadva: 28.10.2025

Published/Megjelent: 23.12.2025

ABSTRACT

In 2023 and 2024, soft rot caused significant losses (20-50 %) in celeriac (*Apium graveolens* var. *rapaceum*) on a family farm in southern Slovakia. Affected tubers exhibited watery rot, tissue collapse, and a foul odour, particularly evident 12-24 hours after washing. Four bacterial isolates were obtained from the margin of healthy and diseased tissue. All isolates were Gram-negative. Colony morphology and growth characteristics were recorded on potato dextrose agar. Pathogenicity was confirmed by Koch's postulates using detached celeriac tuber slices; three isolates induced rapid soft rot within 3 days, whereas one isolate produced no symptoms. A 1300 bp fragment of the 16S rRNA gene was amplified with universal primers 63F/1389R, bidirectionally sequenced, and compared with NCBI databases. Three pathogenic isolates were identified as *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum* (99.45-99.92 % identity to strains from potato and Chinese cabbage, from China, Iraq and South-Korea). Phylogenetic analysis using the neighbour-joining method placed them within the *P. carotovorum* clade. The non-pathogenic isolate was identified as *Stenotrophomonas* sp. High infection rates in fields previously free of root crops suggest contamination originated in greenhouse seedling production. Replacement of greenhouse soil, disinfection of seedling trays, and strict hygiene during post-harvest washing are recommended to prevent recurrence.

Keywords: celeriac, *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum*, bacterial disease, 16S rRNA

1. INTRODUCTION

Large retail chains now enforce ever-stricter quality standards on producers. With only slight exaggeration, they scrutinize vegetables as if under a magnifying glass, demanding nearly flawless produce that stays fresh for days.

In 2023, a family farm in Csilizradvány (Čiližská Radvaň), Dunajská Streda District, Slovakia, suffered heavy losses in its celeriac crop: approximately 20% of the plants were attacked by an unknown pathogen, resulting in financial damage of tens of thousands of euros. In this highly competitive sector, even a single spoiled tuber in a shipment is unacceptable, as it risks contract termination and leaves tons of produce unsold. Regrettably, 2024 brought no improvement. That year, 50% of the planted crop was affected by the same pathogen, causing even greater financial losses and preventing the farm from fulfilling its orders.

The present study aimed to identify the causal agent. Based on the results, practical preventive measures were developed to protect future celeriac crops from this disease.

2. LITERATURE REVIEW

2.1 The importance of celery

Celery (*Apium graveolens*) is a vegetable and aromatic plant cultivated worldwide and valued for its medicinal properties. *A. graveolens* comprises three botanical varieties: var. *rapaceum*, known as celeriac, is grown for its edible hypocotyl and is particularly popular in Europe; var. *secalinum* is mainly cultivated in Asia as a leaf crop for fodder; and var. *dulce*, commonly called stalk celery, is widely grown in America and Western Europe for its crisp petioles (Figure 1).

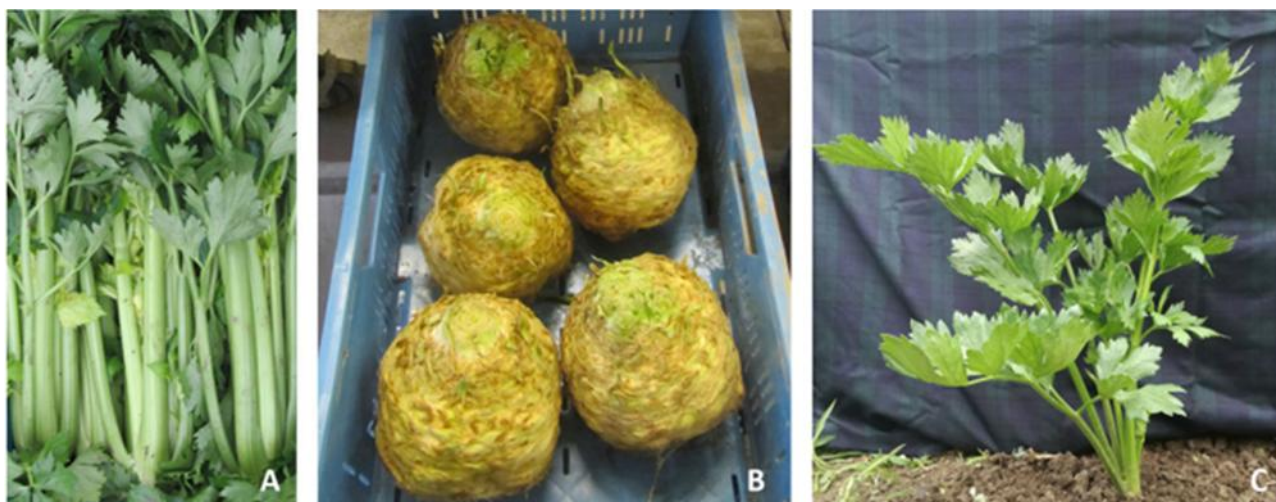


Figure 1: Botanical varieties of *Apium graveolens*: var. *dulce* (A), var. *rapaceum* (B), var. *secalinum* (C)

Source: Bruznican et al., 2020

Celery originates from the Mediterranean basin. Wild forms were used as medicine and flavouring in ancient times, but organised cultivation of improved vegetable varieties began in Italy during the 19th century, when types were classified into white, “Golden Self-blanching,” and green “Pascal” (Quiros, 1993)



2.2 Morphological characteristics of celeriac

The celeriac plant is characterised by enlarged, tender, edible leaf stalks or petioles. These petioles are broad, attached to a swollen base, and composed mainly of parenchyma and collenchyma fibres. Vascular bundles are located beneath the epidermis on the markedly grooved abaxial surface, whereas the adaxial surface is smooth. The small flowers are arranged in large, compound umbels and are pentamerous, with free petals and stamens (Quiros, 1993).

Celeriac tubers are rich in iron, manganese, potassium, vitamin K, and phosphorus, and also provide reasonable amounts of vitamin C, folate, and magnesium (Shehata et al., 2011).

The edible portion of celeriac is a tuber formed from stem and root tissue. It consists of three parts: the stem above the cotyledon (epicotyl), the region below the cotyledon (hypocotyl), and the upper part of the primary root. Lateral root branches develop mainly on the sides and lower portion of the tuber. Fewer roots facilitate harvesting and cleaning. In contrast, stalk celery and blanched celery do not form tubers; their primary root remains unchanged throughout development.

Leaves – In the first year, celeriac forms a basal rosette. The leaves have long, thick petioles and shiny, lobed blades. In blanching types, petioles may reach 50-60 cm in length and 4-5 cm in thickness. The leaves are compound and odd-pinnate. Stem leaves are similar but smaller and, although resembling parsley, are easily distinguished from it.

Stem – The stem appears in the second year; it is ribbed and 80-120 cm tall. In exceptional cases (e.g., cold weather), it may emerge in the first year, but then the edible tuber fails to develop.

Inflorescence – Compound umbel bearing many flowers, each with two pistils.

Fruit – A twin schizocarp containing two seeds that lie flat against each other. The fruit is brown or greyish-brown with five ribs (three dorsal, two lateral). Seeds are small, with a thousand-seed weight of 0.4-0.5 g, and remain viable for 4-5 years (Takácsné, 2017).

2.3 Propagation and planting of celeriac

Celery is propagated by seed. It requires a growing period of approximately 120 days and can be established either by transplanting seedlings or by direct sowing.

In Hungary and Slovakia, celeriac is mainly grown from greenhouse-raised seedlings. This labour-intensive method is preferred because celeriac establishes poorly in open fields, particularly when soil moisture during early growth is below field capacity (pF 2.5). Medium-textured loamy soils with high water-holding capacity are therefore best suited for its cultivation (Cserni et al., 2015).

2.4 Harvesting

The crop is harvested 80-100 days after transplanting. At harvest, tubers are measured and graded. Compared to lettuce, which must be harvested within a 1-2-day window, celeriac offers a more flexible harvest period of 7-10 days. After harvesting, celeriac is typically cooled by hydrocooling or hydro-vacuum cooling. Optimal storage and transport conditions are 0-1 °C with relative humidity above 95 %. Under these conditions, celeriac can be stored for more than 30 days (Raid, 2004).

2.5 Celeriac cultivation in Hungary and worldwide

According to the Hungarian Chamber of Agriculture (NAK) and the Hungarian Interprofessional Organization for Fruit and Vegetable (FruitVeB), domestic celeriac consumption is on the rise. Demand is steady and stable, making it an excellent option for farmers. In Hungary, areas registered for area-based support totalled 176 hectares in 2023, with the central growing regions in Pest



County (88 ha) and Csongrád-Csanád County (66 ha). The country remains a net importer of celeriac: exports totaled 2,019 tons in 2022, while imports were approximately 2,502 tons. However, the trade balance has improved significantly in recent years (Agronapló, 2024).

In most countries, celery is consumed as stalk celery (the leaf stalks). In Hungary and Slovakia, however, the cultivation and consumption of celeriac is more widespread. In the European Union, celeriac is grown on several thousand hectares annually. The largest producers are Poland, Germany, the Netherlands, and Belgium; the largest consumers are France and Germany. The leading EU producers of stalk celery are Spain, Italy, and the United Kingdom (FruitVeb, 2020).

2.6 Diseases of celery

Celery mosaic virus is the most common viral disease of celery. Celery aphids transmit it and can also infect related crops such as carrot (*Daucus carota* L.), parsley (*Petroselinum crispum* Mill.), parsnip (*Pastinaca sativa* L.), coriander (*Coriandrum sativum* L.), and dill (*Anethum graveolens* L.). The virus is also known as apium virus 1, western celery mosaic virus, and celery ringspot virus (Hollings, 1964; Pemberton & Frost, 1986). Symptoms include yellowing foliage, mosaic or mottled patterns on leaves, vein clearing, and curled, wrinkled, or distorted leaflets. Infected plants may become stunted, and outer leaflets often grow horizontally, giving the plant a flattened appearance. Some strains cause more severe symptoms than others. The disease was first recorded on celery in California in 1922 (Poole, 1922).

Soft rot caused by *Pectobacterium carotovorum* (formerly *Erwinia carotovora*) affects many vegetable crops. Once established, the disease is difficult to control (Shi et al., 2020). *P. carotovorum* is regarded as one of the most destructive plant pathogens worldwide, with the broadest host range among soft-rot bacteria (Davidsson et al., 2013; Mansfield et al., 2012).

Pectobacterium (formerly *Erwinia*) *carotovorum* is a Gram-negative, plant-specific pathogen that infects a wide range of hosts, causing diseases such as blackleg in potatoes, by degrading plant cell walls. *P. carotovorum* colonises intercellular spaces and delivers effector molecules via a type III secretion system. It also secretes various exoenzymes through a type II secretion system that depolymerise pectin in the plant cell wall (Aizawa, 2014).

The disease can develop during storage, producing slimy, foul-smelling rot. Bacteria are carried from the field to storage on root surfaces. At higher temperatures, severe damage occurs readily, especially on wet roots. At low temperatures, infection typically requires wounds, whereas at warmer temperatures, the pathogen can enter intact tissue. To prevent losses, celeriac roots must be kept dry and undamaged before storage. Proper storage conditions are essential to minimise the problem (Kerek & Hartmann, 2018).

Pseudomonas syringae pv. *apii*, the cause of bacterial leaf spot, is a seed-borne pathogen. In greenhouses, it spreads rapidly through splashing water during sowing. Warm, humid conditions favour disease development. Infected seedlings then carry the bacterium to the field. Widespread or severe symptoms are uncommon in the field unless the crop is overhead-irrigated or exposed to light frost. The pathogen also survives in undecomposed celery residues.

Initial symptoms are small, water-soaked spots visible on both leaf surfaces. Because veins often bound lesions, they appear angular, square, or rectangular. These spots quickly turn brown and, as they age, may dry out, becoming papery and brownish. Lesions are usually small (less than 0.6 cm in diameter) and confined to the leaves. In greenhouse transplants, extensive foliar spotting can occur. In the field, however, the disease typically affects only older leaves sheltered by the canopy,



unless irrigation is used. Under favourable conditions, individual spots may coalesce, producing significant mottling of the foliage.

Recommended control measures for bacterial leaf spot include the following (Koike et al., 2009):

- Use seeds certified free of *Pseudomonas syringae* pv. *apii*.
- Treat seeds with hot water (50 °C for 25 minutes); this significantly reduces inoculum but may lower germination.
- Use seeds that are at least 2 years old, as older seeds show reduced disease incidence.
- Disinfect transplanting trays, since bacteria can survive on contaminated trays.
- In greenhouses, reduce water pressure in overhead sprinklers to limit pathogen entry into leaves.
- Avoid overhead irrigation in the field.
- Avoid excessive nitrogen fertilisation, which appears to promote the disease.

Celery root rot. The genus *Phoma* is a dominant group of fungi widespread across many ecological habitats. More than 200 species have been described, making it one of the largest fungal genera. Many are serious phytopathogens of vegetable crops worldwide. Common examples include the following (Sultana & Hossain, 2021):

- *Phoma terrestris* (onion pink root, *Alliaceae*)
- *Phoma apiicola* (celery crown and root rot)
- *Calophoma complanata* (Syn. *Phoma complanata*) (parsnip Phoma rot, *Apiaceae*)
- *Phoma betae* (sugar beet blackleg, *Amaranthaceae*)
- *Plenodomus lingam* (Syn. *Phoma lingam*) (bean blackleg/Phoma leaf spot/stem spot, *Brassicaceae*)
- *P. cucurbitacearum* (rubbery stem spot and black rot of cucumbers, *Cucurbitaceae*)
- *Peyronellaea pinodella* (Syn. *Phoma pinodella*) (root and stem rot of peas, *Fabaceae*)
- *Boeremia exigua* (Syn. *Phoma exigua*) (Phoma basal rot of lettuce, *Asteraceae*)
- *Remotididymella destructiva* (Syn. *Phoma destructiva*) (tomato Phoma rot, *Solanaceae*)

Although primarily field diseases, some cause post-harvest spoilage, for example:

- *Boeremia exigua* var. *exigua* or var. *foveata* (potato scab)
- *Phoma cucurbitacearum* (black rot of cucumber)
- *Phoma apiicola* (crown and root rot of celery)
- *Calophoma complanata* (parsnip canker)
- *Phoma betae* (black leg of sugar beet)

Infections spread through soil, seeds, and plant debris on the soil surface (Sultana & Hossain, 2021).

Septoria leaf spot (*Septoria apiicola*). Septoria leaf spot is a severe disease caused primarily by *Septoria apiicola*. Large, round or slightly oval spots (3–10 mm diameter) with distinct brown margins appear on leaves. The pathogen overwinters on diseased plant parts, but the primary inoculum source is seed contaminated with small black pycnidia that remain infectious for 1–2 years. Seed dressing is an effective control method (Glits & Folk, 2000a). Resistance to leaf spot is polygenic (Ochoa & Quiros, 1989). Hybrids between Pascal celery and parsley showed immunity (Honma & Lacy, 1980). Screening of 144 celery varieties revealed no resistance, although two wild species, *Apium chilense* and *Apium nodiflorum*, exhibited high resistance to late leaf spot (Ochoa & Quiros, 1989). To date, no resistant varieties are available for large-scale cultivation (Zhu et al., 2011).



Sclerotinia rot. *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary is a necrotrophic fungal pathogen that infects a wide range of plants. It can colonise more than 400 plant species worldwide, mostly dicotyledons but also several agriculturally important monocotyledons. Infected leaves typically show watery lesions that spread rapidly down the petiole to the stem. In some hosts, dark lesions appear first on the stem; in others, watery stem lesions are the initial symptom. These lesions eventually become necrotic, and fluffy white mycelium – often with sclerotia – develops on the surface, providing the most distinctive sign of infection (Bolton et al., 2006).

Botrytis rot (*Botrytis cinerea*). The disease has been known in Hungary since 1964; the causal agent is the fungus *Botrytis cinerea*. It has an extensive host range, primarily dicotyledonous species and, less frequently, monocotyledons, including root vegetables of the *Apiaceae* family. Pale, watery, rotting spots appear on the taproot. The decayed tissue is odourless and flexible. At low storage temperatures, fine cobweb-like white mycelium develops, later becoming felt-like. Small greyish-brown and then black sclerotia subsequently form in the periderm and merge into a hard crust. As sclerotia mature, the white mycelial layer gradually thins. Eventually, the root shrinks and becomes woody. At higher temperatures, a dense grey layer of conidia covers the rotting areas; sclerotia form weakly or not at all. The pathogen survives as a saprophyte on plant debris in the soil. Soil fertilisers do not influence disease severity. Infection is introduced into storage on field-harvested taproots, with the fungus entering through wounds. The optimal temperature for fungal growth is 21–24 °C (Glits & Folk, 2000b).

3. MATERIALS AND METHODS

3.1 Location, technology, and time of testing

The celeriac plantation is located on a family farm in Csilizradvány (Čiližská Radvaň, Dunajská Streda District, Slovakia). The farm covers 5 hectares and includes 12 greenhouses for seedling production. Seedlings were transplanted to 8 hectares of open field using a Ferrari F-MAX 6-row planter mounted on a New Holland T5 110 tractor equipped with GPS guidance.

Celeriac tubers showing symptoms of infection were transported from the field to the HUN-REN-SZE PhotoPlant-Lab, Department of Plant Sciences, Albert Kázmér Faculty of Agricultural and Food Sciences of Széchenyi István University. All tests were conducted in the autumn of 2023 and 2024.

3.2 Plant material

Codex F1, Markiz F1, Dukiz F1, Princino F1, Dutch celeriac varieties.

3.3 Methods

3.3.1 Isolation of the pathogen

To isolate the bacteria, celeriac tubers were cut with a sterile knife, and a sample was taken from the margin between healthy and infected tissue using sterile distilled water. The suspension was placed in Eppendorf tubes. Aliquots were then plated onto potato dextrose agar (PDA) medium under a laminar flow hood. Petri dishes were incubated at room temperature for 1-2 days. Individual colonies were subcultured onto fresh sterile medium to obtain pure cultures, which were subsequently maintained.



3.3.2 Gram characteristics

The Gram reaction of isolated bacteria was tested using the method of Suslow et al. (1981). A single colony from a 24-hour pure culture grown on PDA medium was mixed 1:1 with 3 % KOH on a glass slide and stirred. If the cell wall dissolved, the mixture became viscous and formed a thread when lifted with a pipette tip, indicating a Gram-negative reaction due to the release of DNA. In Gram-positive bacteria, the mixture remained watery because KOH does not dissolve the cell wall.

3.3.3 Pathogenicity test

Pathogenicity was confirmed on healthy celeriac slices, fulfilling Koch's postulates. Tubers were surface-sterilised with 96 % ethanol and rinsed with sterile water. They were then cut into 1 cm-thick slices and placed on filter paper moistened with sterile water in sterile 20 cm-diameter Petri dishes. The experiment was conducted in duplicate. Each slice was marked with the isolate number and inoculation site.

For inoculation, pure bacterial cultures grown for 3 days were used. One colony of each isolate was suspended in 100 µL of sterile distilled water, and 10 µL of the suspension was applied to the tissue surface using a pipette tip. Control slices received 10 µL of sterile distilled water. The slices were incubated at room temperature in glass Petri dishes on moist filter paper. Symptoms were evaluated after 3 days.

3.3.4 Polymerase Chain Reaction (PCR)

The polymerase chain reaction was performed on a PCRmax instrument (Cole-Parmer).

PCR mixture composition (50 µl):

- 37.5 µl sterile water
- 3 µl bacterial suspension
- 5 µl 10x Taq buffer + MgCl₂
- 2 µl dNTPs (nucleotides: A, T, C, G; 5 mM)
- 1 µl primer 1389R (20 pmol/µl)
- 1 µl primer 63F (20 pmol/µl)
- 0.5 µl Taq polymerase enzyme (5 u/µl, Thermo Scientific)

The primer sequences used for PCR are universal bacterial primers specific for the 16S rRNA gene (Marchesi et al., 1998):

- 1389R (reverse) 5'-ACGGGCGGTGTGTACAAG-3'
- 63F (forward) 5'-CAGGCCTAACACATGCAAGTC-3'

(Invitrogen synthesized primers.)

The PCR cycling conditions were as follows: initial denaturation at 95 °C for 5 min, followed by 35 cycles of 94 °C for 15 s, annealing at 55 °C for 30 s, and elongation at 72 °C for 1 min. A final extension was performed at 72 °C for 5 min, after which the PCR products were held at 4 °C.

3.3.5 Gel electrophoresis

The PCR products were separated on a 1 % agarose gel stained with GelRed (Biotium). Electrophoresis was performed in a horizontal mini apparatus at 140 V using 1x TBE buffer (12.11 g Tris, 5.135 g boric acid, 0.372 g EDTA in 1000 ml sterile distilled water). Bands were visualised under transmitted ultraviolet light and photographed using the UVP BioDoc-It Imaging System.

3.3.6 Purification of the PCR product

The PCR product was purified using the GeneJET PCR Purification Kit (Thermo Scientific) according to the manufacturer's instructions.

3.3.7 Determination of the nucleotide sequence of the PCR product

The purified PCR products were sent to Biomi Ltd. in Gödöllő, Hungary, for sequence determination.

3.3.8 Molecular analysis of the 16S rRNA gene

The nucleotide sequences of the 16S rRNA gene fragments for each isolate were determined. Sequences were checked using Chromas Version 2.6.6, assembled and analysed with CLC Sequence Viewer 8.0, and compared with selected NCBI database entries using the Kimura (1981) two-parameter method. A phylogenetic tree was constructed using the neighbour-joining method (Saitou & Nei, 1987).

4. RESULTS

4.1 Symptoms of the disease

In the field, diseased celeriac plants showed brownish discoloration and drooping stalks. Tubers exhibited slight wilting (*Figure 2* and *Figure 3*). However, the most severe symptoms appeared 12–24 hours after washing. Lesions that were not visible externally during washing spread rapidly and became clearly evident on the tuber surface. Buyers returned several consignments for this reason.



Figure 2: Diseased celeriac



Figure 3: Diseased celeriac cut up

4.2 Identification of culture marks

All isolates from celeriac grew readily on PDA medium and were easily maintained. Colonies of isolates Z-1a/1 and Z-1b/1 were white, opalescent, with intact edges, smooth surfaces, and slightly raised (*Figure 4*). Isolate Z-2/1 produced light ochre-yellow, opaque colonies with intact edges, smooth surfaces, and slight elevation (*Figure 4*). Isolate Z-3/1 formed slightly yellowish, faintly opalescent colonies with intact edges, smooth surfaces, and vigorous growth (*Figure 4*).

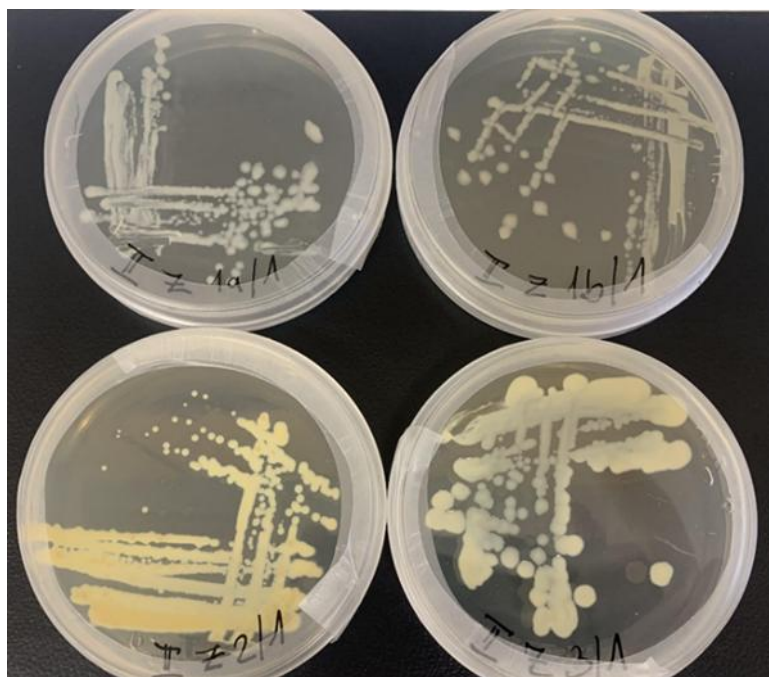


Figure 4: Pure cultures of isolates from celeriac

4.3 Gram characteristics

In all four isolates (Z-1a/1, Z-1b/1, Z-2/1, Z-3/1), the bacterial cell wall was dissolved by a 3 % potassium hydroxide solution (*Figure 5*), indicating that the isolates are Gram-negative bacteria.



Figure 5: Under the influence of KOH, the cell walls of the bacterial isolates dissolved, exposing the DNA strands, thus revealing that the bacterial isolates were Gram-negative

4.4 Pathogenicity test

Among the isolates, isolates Z-1/1a, Z-1/1b, and Z-3/1 caused rot on celeriac slices. No rot was observed in the case of isolate Z-2/1 (*Figure 6*).

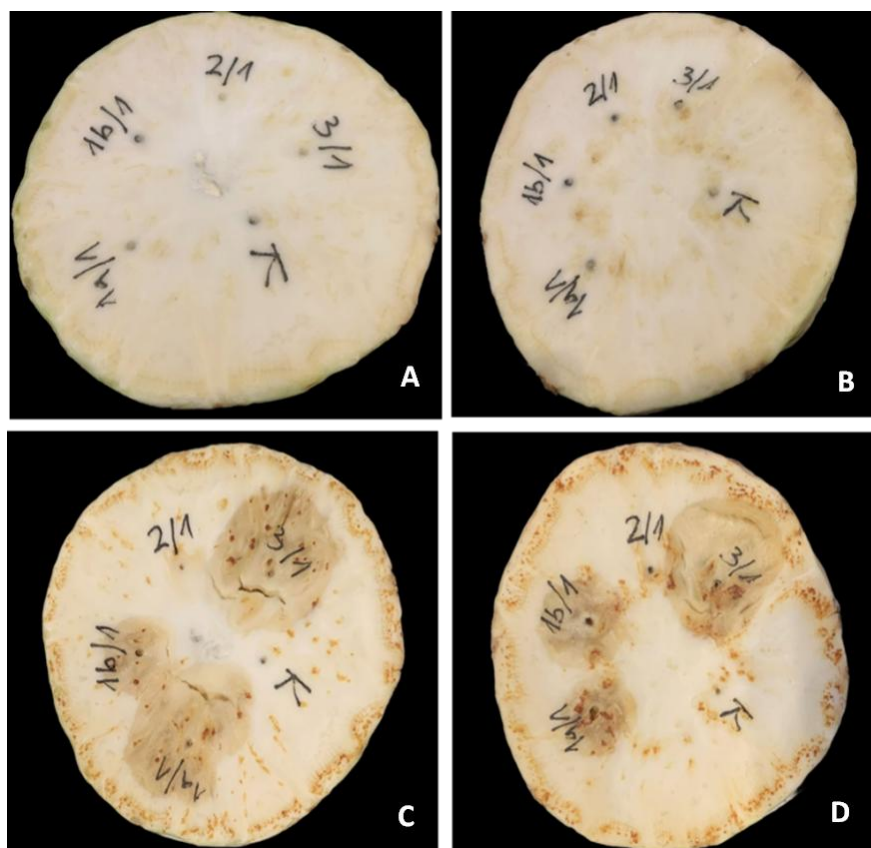


Figure 6: Experimental setup, isolates: Z-1a/1, Z-1b/1, Z-2/1, Z-3/1, K-control sterile distilled water. A and B at inoculation, C and D 3 days after inoculation. Rotting can be observed in isolates Z-1a/1, Z-1b/1, and Z-3/1.

Fulfilling Koch's postulates, the pathogens were re-isolated from symptomatic celeriac slices. Each isolate displayed the same cultural characteristics as in the original isolation. Isolate Z-2/1 did not cause rot, but it was successfully re-isolated from the inoculation site and showed identical cultural characteristics to the first isolation.

4.5 Molecular analysis of the 16S rRNA gene

When analysing the 16S rRNA gene, PCR reactions produced products of approximately 1300 bp in length for all four isolates (*Figure 7*).

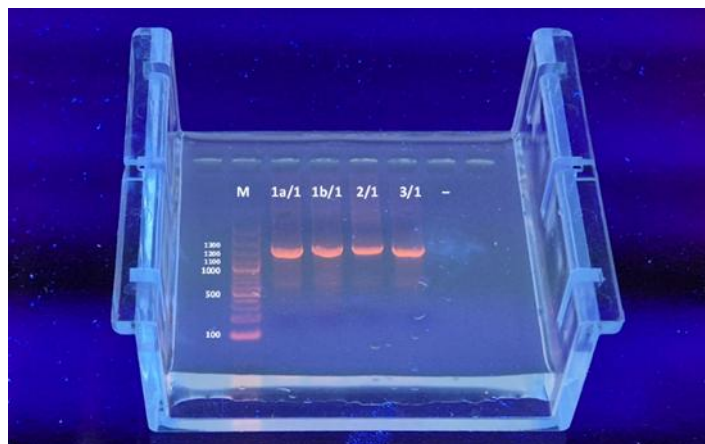


Figure 7: The PCR products were run alongside a 100 bp size marker (M). Z-1a/1, Z-1b/1, Z-2/1, Z-3/1 are the celeriac samples, – negative control. The PCR products obtained are 1300 bp long

The obtained nucleic acid sequences were compared with entries in the NCBI database, and a phylogenetic tree was constructed using a 1277-base alignment. The tree was built with 1000 bootstrap replications.

Molecular identification based on the 16S rRNA gene sequence showed that isolates Z-1a/1 and Z-1b/1 were identical. They shared 99.68 % identity with two potato and Chinese cabbage isolates from China and with a potato isolate from Iraq. Isolate Z-3/1 clustered on a separate branch, with 99.45 % identity to Z-1a/1 and Z-1b/1. It exhibited the highest similarity (99.92 %) to a South Korean isolate, a potato isolate, and a *Pinellia ternata* (Ban Xia, crow-dipper) isolate from China (Figure 8). Isolate Z-2/1 was identified as a *Stenotrophomonas* species.

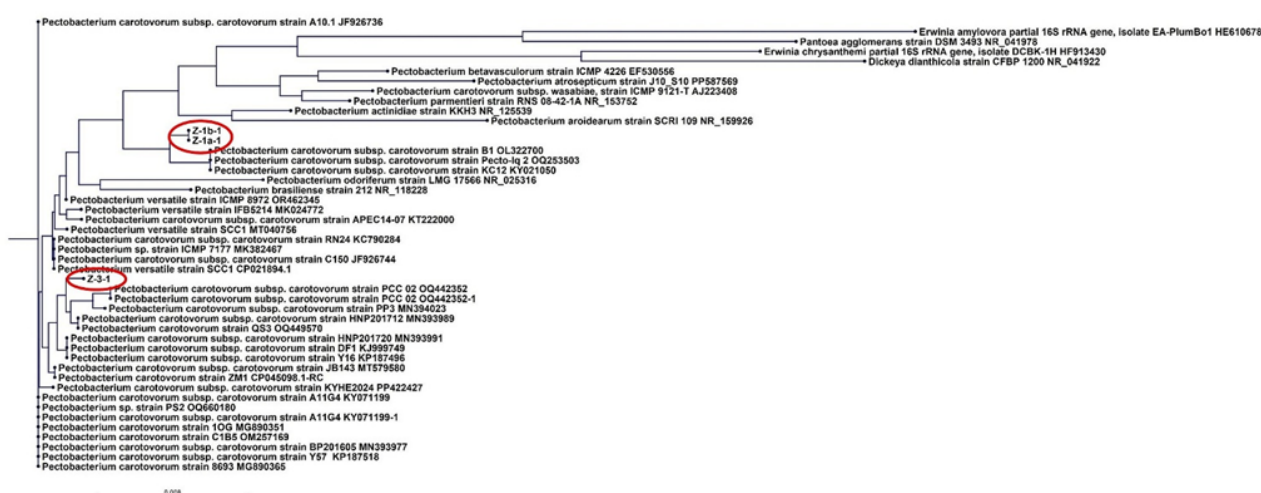


Figure 8: Phylogenetic tree of *Pectobacterium* and various *Erwinia*, *Pantoea*, and *Dickeya* isolates (outgroup for rooting the phylogenetic tree)*

*The red ellipses indicate our own isolates. The numbers next to the branches in the figure show the bootstrap percentages, the vertical lines show the similarities, the horizontal lines show the differences, and the scale below the phylogenetic tree shows 8 base differences per 1000 bases.



The pathogen isolated from celeriac was identified as *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum* based on classical and molecular tests.

Isolate Z-2/1 was Gram-negative but did not cause rot on celeriac slices. Molecular identification placed it in the genus *Stenotrophomonas* sp. These bacteria are common in soil and on plants. The most widespread species, *S. maltophilia*, is highly versatile and can promote plant growth and health. It is used in agriculture, biocontrol, bioremediation, phytoremediation, and the production of economically important biomolecules (Ryan et al., 2009).

5. DISCUSSION AND CONCLUSION

Based on the research results, we concluded that isolates Z-1a/1 and Z-1b/1 are identical, whereas isolates Z-2/1 and Z-3/1 differ in their 16S rRNA gene sequences. The isolates also showed distinct growth characteristics, including differences in colony colour and growth rate; isolates Z-1a/1 and Z-1b/1 were indistinguishable in these respects. The results confirmed that Z-1a/1, Z-1b/1, and Z-3/1 are pathogenic, while Z-2/1 is a non-pathogenic, beneficial bacterium belonging to the genus *Stenotrophomonas*. Further species-level identification of this isolate is warranted, as *Stenotrophomonas* spp. play important ecological roles in nitrogen and sulphur cycles, and several species promote plant growth or protect plants from pathogens (Ryan et al., 2009).

After reinfesting healthy celeriac slices, symptoms were monitored at room temperature. Over several days, the pathogen spread most rapidly and aggressively in slices inoculated with isolate Z-3/1, consistent with its vigorous growth on culture medium. In contrast, maceration was markedly slower in slices inoculated with Z-1a/1 or Z-1b/1. These observations further support the conclusion that Z-1a/1 and Z-1b/1 are identical, whereas Z-3/1 represents a distinct strain within *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum*.

After analysing the isolates, it was confirmed that the pathogens are common soil-dwelling bacteria. Infection could have occurred in either the greenhouses or the field. Although the 2023 crop suffered 20 % losses, in 2024 celeriac was planted in fields previously used only for barley, winter wheat, and maize. Despite this rotation, losses reached 50 %, indicating that the plants were already infected at the seedling stage in the greenhouse. Although seed transmission cannot be completely ruled out, it is unlikely with high-quality seeds. The increasing infection rate year after year strongly suggests that the primary source is the greenhouse environment.

Based on these findings, the following measures are essential:

- Replace the greenhouse soil completely.
- In the future, keep seedling trays off the ground by placing them on plastic sheets.
- Exercise greater care when separating rotten tubers during washing and polishing; even minor wounds can lead to rapid contamination of healthy plants—a problem that typically becomes evident only after delivery to retail-chain warehouses.

Further experiments are needed to pinpoint exactly where the pathogen enters the plant. Soil tests in the greenhouses would be particularly valuable, and the results could help other local growers facing similar challenges and prevent future problems with other sown or planted vegetables.



A gumós zeller pektobaktériumos betegsége egy felvidéki családi gazdaságban

PALKOVICS LÁSZLÓ^{1,2*}, TAKÁCS GEORGINA^{1,2}, VÉGH DOMINIK³

¹Széchenyi István Egyetem, Albert Kázmér Mosonmagyaróvári Kar
HUN-REN-SZE PhatoPlant-Lab, Mosonmagyaróvár

²Széchenyi István Egyetem, Albert Kázmér Mosonmagyaróvári Kar
Agrár és Élelmiszeripari Kutató Központ, Mosonmagyaróvár

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-1850-6750>

Email: palkovics.laszlo.amand@sze.hu

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-0912-2237>

³Széchenyi István Egyetem, Albert Kázmér Mosonmagyaróvári Kar, Mosonmagyaróvár

**Corresponding author/Levelező szerző

ÖSSZEFOGLALÁS

2023-ban és 2024-ben a Felvidéki családi gazdaságban termelt zellerállományt veszteség érte, a kiültetett növények 20-50 %-át megtámadta egy ismeretlen kórokozó. A zellergumók kellemetlen szagú, baktériumok jelenlétére utaló lágyrothadás tüneteit mutatták. A gumókat felvágva barnuló elfolyósodott növényi szöveteket figyeltünk meg. A fertőzött szövetekből mintát vettünk az egészséges és a beteg rész határáról. A táptalajon növekvő baktérium izolátumokból tiszta kultúrákat hoztunk létre. Az izolátumok a Gram teszt után minden esetben Gram negatív baktériumok jelenlétére utaltak. Jellemeztük az egyes izolátumok tenyészbélyegeit is. Elvégeztük a patogenitási tesztet a Koch Posztulátumokat teljesítve. A molekuláris azonosítás a 16s rRNS gén 1300 bp nukleinsav szekvenciája alapján az izolátumok közül hármat *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum* kórokozónak határozott meg (99,45-99,92 %-os azonossággal burgonyából és kínai kelből, Kínából, Irakból és Dél-Koreából származó izolátumokkal), míg a negyedik nem patogén *Stenotrophomonas* fajnak bizonyult, amelyek jótékony hatással lehetnek a növények növekedésére és egészségére, felhasználhatók a mezőgazdaságban, a biokontrollban, a bioremediációban és a fitoremediációs stratégiákban, valamint gazdasági jelentőségű biomolekulák előállításában. A korábban gyökérzöltségekkel nem fertőzött területeken tapasztalt magas fertőzési arányok arra utalnak, hogy a fertőzés az üvegházi palántanevelésből származik. A megelőzése érdekében ajánlott az üvegházi talaj cseréje, a palántanevelő tálcák fertőtlenítése és a betakarítás utáni mosás során szigorú higiéniai előírások betartása.

Kulcsszavak: gumós zeller, *Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum*, baktériumos betegség, 16s rRNS

Acknowledgments

This research was supported by the HUN-REN-SZE PhatoPlant-Lab (project number: 3200107).



REFERENCES

- Agropló. (2024, January 3). *Megéri zellert termeszteti* [It is worth growing celeriac]. <https://www.agropló.hu/agrarhirek/20240103/megeri-zellert-termeszteti-30403>
- Aizawa, S.-I. (2014). The flagellar world: Electron microscopic images of bacterial flagella and related surface structures from more than 30 species. In *Pectobacterium carotovorum – Subpolar hyper-flagellation* (pp. 58-59). Academic Press.
- Bolton, M. D., Thomma, B. P. H. J., & Nelson, B. D. (2006). *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary: Biology and molecular traits of a cosmopolitan pathogen. *Molecular Plant Pathology*, 7(1), 1-16. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2005.00316.x>
- Bruznican, S., De Clercq, H., Eeckhaut, T., Van Huylenbroeck, J., & Geelen, D. (2020). Celery and celeriac: A critical view on present and future breeding. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1699. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01699>
- Cserni, I., Pető, J., & Hüvely, A. (2015). A zeller növekedésének és egyes értékmérő paramétereinek vizsgálata [Examination of celery growth and certain quality parameters]. *Gradus*, 2(2), 236-241. https://gradus.kefo.hu/archive/2015-2/2015_2_AGR_003_Cserni.pdf
- Davidsson, P. R., Kariola, T., Niemi, O., & Palva, E. T. (2013). Pathogenicity of and plant immunity to soft rot pectobacteria. *Frontiers in Plant Science*, 4, 191. <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00191>
- FruitVeb. (2020, May 29). *Zöldségtermesztés II. rész* [Vegetable production II]. FruitVeB Bulletin. <https://fruitveb.hu/fruitveb-bulletin-2019-zoldsegtermesztes-ii-resz>
- Glits, M., & Folk, Gy. (2000a). A zeller szeptóriás levélfoltossága [Septoria leaf spot of celery]. In *Kertészeti növénykórtan* [Horticultural plant pathology] (pp. 443-444). Mezőgazda Kiadó.
- Glits, M., & Folk, Gy. (2000b). A sárgarépa botritiszes rothadása [Botrytis rot of carrot]. In *Kertészeti növénykórtan* [Horticultural plant pathology] (pp. 431-432). Mezőgazda Kiadó.
- Hollings, M. (1964). Some properties of five viruses of celery (*Apium graveolens* L.) in Britain. *Journal of Horticultural Science*, 39(2), 130-141. <https://doi.org/10.1080/00221589.1964.11514100>
- Honma, S., & Lacy, M. L. (1980). Hybridization between pascal celery and parsley. *Euphytica*, 29, 801-805. <https://doi.org/10.1007/BF00023227>
- Kerek, M., & Hartmann, K. (2018). A sárgarépa és a petrezselyem növényvédelmi technológiája [Plant protection technology of carrot and parsley]. *Növényvédelem*, 54(3), 118-130.
- Kimura, M. (1981). Estimation of evolutionary distances between homologous nucleotide sequences. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 78(1), 454-458. <https://doi.org/10.1073/pnas.78.1.454>
- Koike, S. T., Davis, R. M., & Turini, T. A. (2009). *UC IPM pest management guidelines: Celery* (pp. 1-52). University of California Agriculture and Natural Resources.
- Mansfield, J., Genin, S., Magori, S., Citovsky, V., Sriariyanum, M., Ronald, P., Dow, M., Verdier, V., Beer, S. V., Machado, M. A., Toth, I., Salmond, G., & Foster, G. D. (2012). Top 10 plant pathogenic bacteria in molecular plant pathology. *Molecular Plant Pathology*, 13(6), 614-629. <https://doi.org/10.1111/j.1364-3703.2012.00804.x>
- Marchesi, J. R., Sato, T., Weightman, A. J., Martin, T. A., Fry, J. C., Hiom, S. J., Dymock, D., & Wade, W. G. (1998). Design and evaluation of useful bacterium-specific PCR primers that amplify genes coding for bacterial 16S rRNA. *Applied and Environmental Microbiology*, 64(2), 795-799. <https://doi.org/10.1128/AEM.64.2.795-799.1998>
- Ochoa, O., & Quiros, C. F. (1989). *Apium* wild species: Novel sources for resistance to late blight in celery. *Plant Breeding*, 102(4), 317-321. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.1989.tb01262.x>



- Pemberton, A. W., & Frost, R. R. (1986). Virus diseases of celery in England. *Annals of Applied Biology*, 108(2), 319-331. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1986.tb07653.x>
- Poole, R. F. (1922). Celery mosaic. *Phytopathology*, 12, 151-154.
- Quiros, C. F. (1993). Celery – *Apium graveolens* L. In G. Kalloo & B. O. Bergh (Eds.), *Genetic improvement of vegetable crops* (pp. 523-534). Pergamon Press.
- Raid, R. N. (2004). Celery diseases and their management. In *Diseases of fruits and vegetables: Volume I* (pp. 441-453). Kluwer Academic Publishers.
- Ryan, R. P., Monchy, S., Cardinale, M., Taghavi, S., Crossman, L., Avison, M. B., Berg, G., van der Lelie, D., & Dow, J. M. (2009). The versatility and adaptation of bacteria from the genus *Stenotrophomonas*. *Nature Reviews Microbiology*, 7, 514-525. <https://doi.org/10.1038/nrmicro2163>
- Saitou, N., & Nei, M. (1987). The neighbor-joining method: A new method for reconstructing phylogenetic trees. *Molecular Biology and Evolution*, 4(4), 406-425. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.molbev.a040454>
- Shehata, S. M., Abdel-Azem, H.-S., El-Yazied, A. A., & El-Gizawy, A. M. (2011). Effect of foliar spraying with amino acids and seaweed extract on growth, chemical constituents, yield and its quality of celeriac plant. *European Journal of Scientific Research*, 58(2), 257-265.
- Shi, Y., Jin, Z., Meng, X., Wang, L., Xie, X., Chai, A., & Li, B. (2020). Development and evaluation of a loop-mediated isothermal amplification assay for the rapid detection and identification of *Pectobacterium carotovorum* on celery in the field. *Horticultural Plant Journal*, 6(5), 313-320. <https://doi.org/10.1016/j.hpj.2020.07.004>
- Sultana, F., & Hossain, M. M. (2021). Diseases of vegetables caused by *Phoma* spp. In M. Rai, B. Zimowska, & G. J. Kövics (Eds.), *Phoma: Diversity, taxonomy, bioactivities, and nanotechnology* (pp. 91-119). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-81218-8_6
- Suslow, T. V., Schroth, M. N., & Isaka, M. (1981). Application of a rapid method for Gram differentiation of plant pathogenic and saprophytic bacteria without staining. *Phytopathology*, 72(7), 917-918. <https://doi.org/10.1094/Phyto-72-917>
- Takácsné Hájos, M. (2015). A termesztési mód és a bioaktív anyagok vizsgálatának eredményei különböző gyökérzöldség fajoknál [Results of cultivation methods and bioactive compounds in various root vegetables]. *Debreceni Szemle*, 1, 20-29. https://epa.oszk.hu/04600/04620/00029/pdf/EPA04620_debreceni_szemle_2015_01_020-029.pdf
- Zhu, X., Gao, G.-X., & Wang, X. (2011). Overview of studies on celery late blight disease. *China Vegetables*, 1(14), 1-8.

©Copyright 2025 by the Authors.

The journal is Open Access (Platinum). This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).





Determination of Nutrient, Fatty Acid, Micro, and Macronutrient Content of Frozen Freshwater Fish

GEORGINA TAKÁCS^{1*}, ZSOLT GICZI², KATALIN KERTÉSZ³, KLAUDIA SZALAI¹

¹Albert Kázmér Faculty of Agricultural and Food Sciences of Széchenyi István University

Department of Animal Science, Mosonmagyaróvár, Hungary

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-0912-2237>

Email: takacs.georgina@sze.hu

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-8546-284X>

²Albert Kázmér Faculty of Agricultural and Food Sciences of Széchenyi István University

Department of Water Management and Natural Ecosystems, Mosonmagyaróvár, Hungary

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-0313-4130>

³Albert Kázmér Faculty of Agricultural and Food Sciences of Széchenyi István University

Mosonmagyaróvár, Hungary

*Corresponding author/Levelező szerző

Received/Érkezett: 01.09.2025

Revised/Átdolgozva: 10.10.2025

Accepted/Elfogadva: 13.11.2025

Published/Megjelent: 23.12.2025

ABSTRACT

Understanding the nutritional composition of foods is essential for healthy choices and sustainable consumption. Although frozen fish are often perceived as nutritionally inferior to fresh fish, research has not determined whether freezing actually reduces their nutrient content or overall quality. To characterize the nutrient, fatty acid, and mineral profiles of commonly consumed frozen freshwater species, we analyzed samples from four species. Results demonstrated that commercially available frozen products had nutrient levels comparable to those reported in the literature for unfrozen fish. Among the species, carp showed the highest protein ($83.01 \pm 0.5\%$), followed by silver carp ($71.97 \pm 1.6\%$), whereas African catfish ($22.75 \pm 0.1\%$) and grass carp ($20.28 \pm 0.1\%$) had the highest fat. Notably, carp skin protein ($75.30 \pm 0.3\%$) exceeded fillet, and trout skin fat ($38.45 \pm 0.1\%$) surpassed its fillet. Grass carp recorded the highest SFA ($42.50 \pm 0.1\%$), PUFA ($41.63 \pm 0.1\%$), and UFA ($86.64 \pm 0.1\%$; ratio 0.98). Carp fillet had the highest MUFA ($58.70 \pm 0.3\%$), while trout fillet showed elevated n-6 ($28.31 \pm 0.0\%$) and n-3 ($12.35 \pm 0.0\%$). Mineral profiles varied: carp was richest in Fe, Zn, Cu, Mg, Na; silver carp in Mn, Ca, P; trout in K. Taken together, frozen freshwater fish remain excellent sources of essential polyunsaturated fatty acids and micro- and macroelements, matching fresh fish quality.

Keywords: *freshwater fish, nutritional composition, fatty acid composition, microelements, macroelements*



1. INTRODUCTION

Fish consumption accounts for about 20 % of the world's animal protein intake and, in some countries, can reach 50 % (FAO, 2021). The growing population and shifting dietary habits are driving increased demand for fish as a source of protein and healthy fats (FAO, 2020). Global seafood consumption, particularly fish, is projected to rise 15 % by 2030, reaching an average of 21.4 kg per person (FAO, 2022). Despite this global trend, Hungary remains a modest consumer, with per capita fish intake well below European and world averages. The sustainability of this vital resource is increasingly threatened by overfishing, habitat destruction, and climate change, resulting in the decline of many fisheries (Edgar et al., 2024). Currently, about 35 % of fisheries are overfished, leaving few opportunities for further expansion (FAO, 2022).

Understanding the nutritional composition of food sources is essential for healthy eating, food choices, and sustainable production and consumption (Pal et al., 2018). Fish diet contains omega-3 long-chain polyunsaturated fatty acids (n-3 LC-PUFAs) (Ajeeshkumar et al., 2021; Bienkiewicz et al., 2022; Tan et al., 2021a; Tan et al., 2021b; Tan & Zheng, 2022), bioactive compounds such as carotenoids (Tan et al., 2022) and polysaccharides (Tan et al., 2023), with beneficial effects for human health. Smaller fish are mainly consumed whole, so they have higher micronutrient concentrations than larger fish (Thilsted et al., 2016). Among these nutrients, n-3 LC-PUFAs, especially eicosapentaenoic acid (EPA, 20:5n-3) and docosahexaenoic acid (DHA, 22:6n-3), play important roles at various stages of development, including eye and brain development in newborns and infants, cardiovascular protection, and neurological development. Micro- and macro-elements play many functions in the human body, including regulating hormone levels, maintaining homeostasis, supporting mental health, strengthening bones, and supporting optimal immune function. Minerals are abundant in fish, leading major health organizations to recommend frequent consumption (Arnett et al., 2019; Connor, 1997; Innis, 2008; Li et al., 2021; Mohan et al., 2021).

National and international health guidelines recommend consuming oily fish regularly — typically 1–2 servings of ~100–200 g per week — equivalent to about 10–20 kg per person per year (Sprague et al., 2016). However, some recommend a varied intake of fish (Kris-Etherton et al., 2002) and a daily intake of 500 mg of n-3 LC-PUFA (Israel Heart Society, 2011; Vannice & Rasmussen, 2014). More than 80 % of the world's population consumes less than half of the recommended daily intake of n-3 LC-PUFA (Stark et al., 2016). Willett et al. (2019) argue for the “planet-friendly diet,” replacing terrestrial meat with fish in order to achieve a balance of chicken:fish (1:1) or red meat:fish (0.5:1). This ratio is particularly abnormal in Central Europe (Roy et al., 2023), where the average blood concentration of eicosapentaenoic acid (EPA) and docosahexaenoic acid (DHA) is the lowest, mainly in continental areas (Stark et al., 2016). In the EU, mortality rates associated with omega-3 fatty acid deficiencies are high, especially in Central Europe, where people may consume excessive amounts of saturated fatty acids. The amount of n-3 LC-PUFA in fish can be reduced by thermal treatment (e.g., cooking) (Biandolino et al., 2023; Sardenne et al., 2021; Tenyang et al., 2022) and cold storage (chilling and freezing) (Bienkiewicz et al., 2022; Lian et al., 2022; Sardenne et al., 2021). Moreover, long-term heat treatment and cold storage alter the overall lipid profile and may further compromise the nutritional value of seafood lipids (Biandolino et al., 2023; Lian et al., 2022; Tenyang et al., 2022).

Fish are among the most important foods, providing vitamins and minerals (Onyia et al., 2013) that support children's mental and immune development (NAFDAC, 2003). All organisms require minerals, and fish are a valuable source of those and other micronutrients (Haruna, 2003).



However, while essential in trace amounts, certain minerals can become toxic at high concentrations (Tyrrell, 2005). Anthropogenic chemicals entering the environment—primarily via water and soil—accumulate in aquatic systems and can severely harm living organisms (Conti & Cecchetti, 2001). These contaminants may enter the human food chain through fish (Duran et al., 2014), causing serious health issues whose severity depends on the type and chemical form of the heavy metals involved (Barrento et al., 2008; Tchounwou et al., 2012).

For this reason, understanding both the beneficial nutrient content and the potential contaminant levels in fish is essential for safe consumption. In the European Union, Commission Regulation 1881/2006 sets strict maximum limits for mercury, cadmium, lead, and arsenic in fisheries and seafood products. Exposure to mercury and cadmium can cause kidney damage and hypertension (Yabanli & Alparslan, 2015), whereas lead may lead to kidney failure and liver damage (Luckey & Venugopal, 1977).

Despite these nutritional and safety considerations, most consumers remain unaware of the true composition of the fish they eat. The present study therefore determined the chemical composition of five commercially available frozen freshwater fish species (carp, African catfish, trout, grass carp, and silver carp), including dry matter, ash, protein, fat, fatty acid profile, and micro- and macroelement content (Mn, Fe, Zn, Cu, S; Ca, P, Mg, Na, K).

2. LITERATURE REVIEW

2.1 Development of Hungary's live fish exports and imports

Asian countries account for more than three-quarters of total aquaculture production, with China, Japan, and Hong Kong being the most important exporters. Foreign trade activity also supports this, as the three countries' total exports account for a substantial share of global exports. Fish production in Hungary has declined. In 1990, domestic production reached 100,000 tonnes per year, but by 2010 it had fallen to 18,600 tonnes. By 2020, this value had recovered somewhat, resulting in an additional 11,000 tons of fish production. In the absence of marine access, Hungary's domestic aquaculture sector consists solely of freshwater fish and shellfish farming (Szigethy-Ambrus, 2022). Hungarian exports are relatively low and stagnant (6,760.1 billion HUF in 2021), while imports are constantly rising (41,295.5 billion HUF in 2021) (KSH, 2020). This imbalance is due to low demand for freshwater fish in the country, with consumers more interested in marine fish products.

2.2 Trends in fish consumption worldwide, in the EU, and in Hungary

In 2019, global fish consumption was 23.7 % in North America, 10.7 % in South America, 21.6 % in Europe, 9.8 % in Africa, 25.1 % in Asia, and 27.5 % in Oceania (Ashraf et al., 2020). In 2020, Europe's most significant seafood consumption was in the Mediterranean countries: Spain (645,631 tonnes), Italy (308,035 tonnes), and France (209,085 tonnes). In Hungary, the average amount of fish consumed per person is about 6 kilograms per year. The majority of fish consumed in our country is imported (marine fish), and a small portion is domestic freshwater fish. The production of freshwater fish and intensive fish farming have gained ground in our country. Fish and fish products have increased dramatically in price, further hindering their consumption (Szigethy-Ambrus, 2022).



2.3 Brief description of freshwater fish species

- Carp (*Cyprinus carpio*): Native to Asia and Eastern Europe, including the Danube basin, carp holds major economic and recreational importance in the Carpathian basin (Edwards & Twomey, 1982; Jester, 1974; Swee & McCrimmon, 1966). This bony, ray-finned fish is a prominent member of the order Cypriniformes and family Cyprinidae. Wild carp occur in two primary forms—common and domesticated—while domesticated stock includes four varieties: scaly, mirror, side-line, and leather carp (Pintér, 2002). Its meat is generally pleasant and tasty, though it can be slightly stringy (Horváth, 2000).
- Silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*): Native to China and now widespread in Hungarian rivers and lakes, this species belongs to the class Actinopterygii, order Cypriniformes, and family Cyprinidae. Its fibrous, loose meat is regarded as medium-quality and low in fat. A key commercial asset is its ability to convert planktonic algae – untouched by most native fish – directly into high-value fillets. However, it is also highly invasive and can displace indigenous species in affected waters (Pintér & Pócsi, 2002).
- Trout (*Oncorhynchus mykiss*): With a native range stretching from East Asia to the Pacific coast of North America (Pintér & Pócsi, 2002), trout is distinguished by the adipose tissue behind its dorsal fin. The species is economically important because its skeleton yields clean, high-quality fillets. In Hungary, however, suitable cold, clear mountain streams and lakes are scarce, limiting large-scale production (Lajkó, 1999).
- African catfish (*Clarias gariepinus*): Originating on the African continent, this omnivorous freshwater catfish is renowned for its remarkable adaptability to extreme conditions, thriving in lakes, rivers, seasonal waters, and wetlands (Pintér & Pócsi, 2002). Its only notable weakness is a sudden immune collapse below 15 °C, necessitating warm-water farming. The meat is excellent – firm, boneless, and highly transportable – making it a prized species for aquaculture.
- Grass carp (*Ctenopharyngodon idella*): Native to China's major rivers, grass carp produces high-quality fillets – snow-white, dry, medium-firm, and tasty – yet its primary value lies in controlling harmful aquatic vegetation (Ferenczy et al., 2003).

3. MATERIALS AND METHODS

3.1 Fish sample collection and processing

Commercially available freshwater fish fillets were purchased frozen from a supermarket (*Table 1*) and thawed in a refrigerator (+ 4 °C). The skin and bones were removed from the fish. In this study, fish powder was prepared from the fillet by oven drying (UNB 400, 53 L; Memmert, Büchenbach, Germany). Then, 50 g of fish skin and 100 g of fish fillet were weighed into Petri dishes and pre-dried at 50 °C for 24 h (M1 – air-dry weight). After drying, the fish fillets and skins were ground separately to a fine powder in a grinder.

$$M1 (g) = \frac{m1}{m0} \quad (1)$$

m0 (g) = mass of original sample

m1 (g) = weight of dried sample after drying at 50 °C.



Table 1: Common names, families, and species of the five fish species examined in this study

Common name	Fish Family	Species
Carp	<i>Cyprinidae</i>	<i>Cyprinus carpio</i>
African catfish	<i>Clariidae</i>	<i>Clarias gariepinus</i>
Trout	<i>Salmonidae</i>	<i>Oncorhynchus mykiss</i>
Grass carp	<i>Cyprinidae</i>	<i>Ctenopharyngodon idella</i>
Silver carp	<i>Cyprinidae</i>	<i>Hypophthalmichthys molitrix</i>

3.2 Investigations

3.2.1 Dry matter content determination

To determine true dry matter, the pre-dried and homogenized samples (5 ± 0.001 g) were further dried in an oven at 105°C for 3 hours to constant weight (M_2 – dry weight). After cooling in a desiccator, the samples were reweighed.

$$M_2 (g) = \frac{m_4}{m_3} \quad (2)$$

m_3 (g) = air-dry sample weight before drying

m_4 (g) = sample weight after drying at 105°C .

The original dry matter content was determined using the following formula:

$$\text{Original dry matter (\%)} = (M_1 * M_2) * 100 \quad (3)$$

3.2.2 Determination of crude ash content

Previously weighed ashing crucibles were loaded with 2 ± 0.001 g of homogenized sample. The samples were incinerated in a muffle furnace at 500°C until a constant white ash was obtained. The samples were allowed to cool in a desiccator, and their mass was then reweighed. The crude ash content of the samples can be determined using the following equation:

$$\text{Crude ash (\%)} = \frac{(m_1 - m_2)}{m_0} * 100 \quad (4)$$

m_0 = mass of the homogenized sample (g)

m_1 = combined mass of ash and crucible (g)

m_2 = mass of the crucible (g).

3.2.3 Determination of crude fat content

The crude fat content was determined using a Foss Soxtec™ 2055 instrument. Then, 1 ± 0.001 g of the dried, homogenized sample was weighed into fat-free extraction sleeves and sealed with cotton wool. Three boiling stones were placed in the extraction jars, which were then filled with 60 mL of petroleum ether (boiling range: $40\text{--}65^\circ\text{C}$). The extraction time was 1.5 hours (two 30-minute cycles, followed by 20 minutes and 10 minutes). After extraction, the jars were placed in a drying oven at 105°C for 1 hour, then cooled to room temperature in a desiccator, and the crude fat percentage was calculated by reweighing.



$$\text{Crude fat (\%)} = \frac{(m_1 - m_2)}{m_0} * 100 \quad (5)$$

m_0 = mass of the homogenized sample (g)

m_1 = combined mass of the jar and the fat (g)

m_2 = mass of a jar containing boiling stones (g).

3.2.4 Determination of crude protein content

The crude protein content was determined using the Elementar rapidN Cube nitrogen analyzer based on the Dumas combustion method. From the dried samples, 125 ± 0.001 mg was weighed into a tin foil capsule; the samples were then compacted into pellets and placed in the device. Combustion was carried out in a stream of oxygen and carrier gas (CO_2). The device reports the protein and nitrogen content of the samples in %, using a nitrogen conversion factor of 6.25.

3.2.5 Determination of fatty acid content

Fatty acid analysis was performed following the Eder (1995) method. Total lipids were extracted from the samples as described, and fatty acid methyl esters were prepared by transesterification with boron trifluoride (BF_3) in methanol (Hewavitharana et al., 2020).

Gas chromatography was carried out on an Agilent Technologies 6890N GC System with the following settings: 10 μL injection volume, 55-minute run time, oven temperature program (170 $^\circ\text{C}$ for 2 min, then 200 $^\circ\text{C}$ for 33 min, and finally 215 $^\circ\text{C}$ for 20 min), carrier gases helium, nitrogen, and hydrogen, column pressure 176.7 kPa, and flow rate 20.1 mL/min. Fatty acids were identified and quantified by comparing retention times and peak areas with authentic internal standards.

3.2.6 ICP-OES

The samples were digested using a microwave digestion system (MLS 1200 MEGA; Milestone, Sorisole, BG, Italy) (Table 2). Digestion was carried out at 210 $^\circ\text{C}$ for 15 minutes, with a 15-minute temperature ramp.

Table 2: Microwave destroyer program

Program points	Time (min)	Power (W)
1.	1	250
2.	1	0
3.	8	250
4.	5	400
5.	5	650
6.	5	ventilation

For digestion, approximately 0.4 ± 0.001 g of each sample was weighed into 90 mL tetrafluoromethoxyl (TFM) digestion vessels using an analytical balance (Sartorius, TE214S). A blank was prepared by weighing 0.5 mL of high-purity water. Then, 5 mL of 65 % (m/m) nitric acid and 1 mL of 30 % (m/m) analytical-reagent-grade hydrogen peroxide were added to both the samples and the blank. The digestion vessels were sealed with a torque wrench and placed in the microwave apparatus. Digestion was performed in three replicates per sample. After the program ended, the vessels were removed, cooled to near room temperature using a water block, and opened under a fume hood. Following the destruction of the organic material, only the inorganic components



remained for analysis. These were rinsed with 0.1 mol/dm³ nitric acid, transferred to 25 mL volumetric flasks, and made up to the mark.

After sample preparation, inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES) was used to determine the concentrations of micro- and macroelements in the samples (*Table 3* and *Table 4*). The analyses were performed using an Agilent 5110 Vertical Dual View instrument (Agilent, Santa Clara, CA, USA). For quantitative determination of the macroelements (Ca, K, Mg, and P), standard solutions were prepared at concentrations of 1-200 mg/L; for Na, the range was 0.1-20 mg/L. For microelements, the working range was 2.5-1000 µg/L.

Table 3: ICP-OES program test parameters

Parameters	Microelements	Macroelements
Number of items tested	5	5
Thawing time (s)	20	20
Stabilization time (s)	15	15
Observation mode	axial	radial
Observation height	-	8
Radiofrequency energy (kW)	1.4	1.4
Sample gas/nebulizer gas	0.75	0.75
Plasma gas (L/min)	12	12
Auxiliary gas (L/min)	1	1

Table 4: Wavelengths used for the determination of micro and macroelements

Microelements	λ (nm)	Macroelements	λ (nm)
S	181.972	Ca	315.880
Cu	324.754	K	766.491
Fe	234.350	Mg	279.078
Mn	293.305	Na	589.592
Zn	206.200	P	213.618

3.2.7 Statistical analysis

Statistical evaluation of the results was performed using one-way analysis of variance (ANOVA) followed by Duncan's test in SPSS 13.0 for Windows. The significance level was set at $p \leq 0.05$.

4. RESULTS

4.1 Nutrient values of fish fillet and skin

Shirmohammadli et al. (2022) analyzed the nutritional properties of carp fillet from two-year-old fish of five distinct weights. The thawed fillets were placed on ice, and the dry matter, ash, fat, and protein contents were subsequently determined. The dry matter content of the unfrozen fillets was nearly identical to that of frozen carp, although the ash content was significantly lower (1.36 ± 0.1 %) than the value we measured (*Table 5*). The fat content was higher in unfrozen fillets (9.29 ± 0.1 %). Matos et al. (2019) analyzed the composition of unfrozen



carp fillets, reporting a fat content of 4.2 ± 0.5 % and an ash content of 0.9 ± 0.2 %. In our studies, the protein and ash contents were notably higher in frozen fish.

Matos et al. (2019) also investigated the composition of unfrozen spotted busa flesh. The reported fat and ash contents were 0.4 ± 0.1 % and 1.3 ± 0.1 %, respectively ($p < 0.05$), both significantly lower than the values we obtained from frozen fish fillets.

Shehata et al. (2018) investigated the nutritional values of hot-smoked grass carp, reporting protein (16.55 ± 0.8 %), fat (2.31 ± 0.0 %), and ash (1.87 ± 0.0 %) contents that were notably lower – likely due to smoking – than our values for frozen samples (69.71 ± 1.8 %, 20.28 ± 0.1 %, 5.37 ± 0.0 %). Okanović et al. (2017) analyzed unfrozen grass carp fillet; the fat content was nearly equivalent (17.47 ± 2.35 %) to that of the frozen sample (20.28 ± 0.1 %), whereas the protein and ash contents were substantially lower (1.00 ± 0.2 % fat reported in error for protein/ash context).

Table 5: Nutrient content of fish fillets (%)

Fish species	Dry matter	Protein	Fat	Ash
Carp	20.45 ± 0.0^d	83.01 ± 0.5^a	5.44 ± 0.2^e	4.90 ± 0.1^a
African catfish	26.02 ± 0.0^a	63.23 ± 0.8^e	22.75 ± 0.1^a	4.00 ± 0.0^c
Trout	25.75 ± 0.0^a	70.05 ± 0.2^c	14.38 ± 0.6^c	4.29 ± 0.0^b
Grass carp	23.37 ± 0.1^b	69.71 ± 1.8^b	20.28 ± 0.1^b	5.37 ± 0.0^a
Silver carp	22.02 ± 0.1^c	71.97 ± 1.6^b	12.50 ± 0.5^d	5.85 ± 0.2^a

Data are expressed as % content $\pm$ standard deviation ($n = 3$). Values in the same column with different superscript letters are significantly different ($p < 0.05$) for protein content on a dry-matter basis across fish species.

In assessing the nutritional characteristics of fresh, unfrozen rainbow and brook trout, Zhelyazkov and Stratev (2019) reported protein (18.24 ± 0.1 %), fat ($6.56 \pm 0.1\%$), dry matter (26.20 ± 0.1 %), and ash (1.40 ± 0.0 %) contents. The values we recorded for frozen trout were higher, except for dry matter, which was nearly identical (25.75 ± 0.0 %). Sirakov et al. (2015) reported the nutritional composition of unfrozen rainbow and brook trout as protein (17.92 ± 2.8 %), fat (1.2 ± 0.2 %), and ash (1.16 ± 0.0 %), all of which were markedly lower than our values for frozen samples.

The composition of unfrozen African catfish fillet showed protein (78.31 %), ash (4.72 ± 0.1 %), and dry matter (26.25 ± 0.3 %) contents nearly identical to those of the frozen sample (Edea et al., 2018). Deng et al. (2016) analyzed chilled African catfish from markets and farms, reporting dry matter (26.67 ± 6.08 % and 24.98 ± 2.09 %), protein (30.86 ± 0.68 % and 30.98 ± 0.55 %), and ash (1.67 ± 0.51 % and 1.32 ± 0.26 %) – nearly identical between sources. Our frozen African catfish had comparable dry matter (27.29 ± 0.0 %) but significantly higher protein (70.74 ± 1.1 %) and ash (11.24 ± 0.6 %) contents.

For frozen carp skin, Jalili et al. (2021) reported protein (19.36 ± 0.5 %), fat (2.47 ± 0.2 %), and ash (1.69 ± 0.2 %) contents – values notably lower than ours (Table 6). Huang et al. (2023) analyzed frozen carp skin and reported protein (80.04 ± 1.2 %) and ash (2.02 ± 1.4 %), which were nearly identical to our results, whereas fat (10.99 ± 1.0 %) was significantly lower than our value (19.67 ± 0.2 %).



Table 6: Nutrient content of fish skin (%)

Fish species	Dry matter	Protein	Fat	Ash
Carp	33.96 ± 0.1 ^d	75.30 ± 0.3 ^a	19.67 ± 0.2 ^d	2.72 ± 0.0 ^d
African catfish	27.29 ± 0.0 ^e	70.74 ± 1.1 ^b	13.69 ± 0.1 ^e	11.24 ± 0.6 ^a
Trout	39.76 ± 0.1 ^a	43.95 ± 0.5 ^e	38.45 ± 0.1 ^a	5.25 ± 0.4 ^c
Grass carp	37.15 ± 0.0 ^b	49.51 ± 1.3 ^d	36.49 ± 0.5 ^b	9.27 ± 0.0 ^b
Silver carp	36.07 ± 0.2 ^c	56.70 ± 1.8 ^c	33.57 ± 0.3 ^c	5.11 ± 0.0 ^c

Data expressed as the % content ± standard deviation (n = 3). Values in the same column with different superscript letters are significantly different (P < 0.05) between the fish species.

4.2 Fatty acid composition

Kheiri et al. (2022) also examined frozen fillets of carp and silver carp from both winter and summer seasons. The SFA (34.48 ± 2.10 % and 32.64 ± 4.92 %) and MUFA (31.50 ± 3.76 % and 36.37 ± 4.91 %) values for both carp and silver carp were higher in summer, while PUFA (31.77 ± 2.23 % and 37.96 ± 4.92 %), n-3/n-6 (2.45 ± 1.03 % and 3.75 ± 0.76 %), and PUFA/SFA (1.19 ± 0.11 % and 1.39 ± 0.16 %) values were higher in winter. Our silver carp values were similar to the summer values, except for the n-3/n-6 ratio (1.66 %), which was much lower – even than carp (0.45 %) – compared to the values reported by Kheiri et al. for fish caught in summer and winter (silver carp: 3.04 ± 0.93 % and 3.75 ± 0.76 %; carp: 2.13 ± 2.16 % and 2.45 ± 1.03 %). For carp, PUFA and PUFA/SFA were similar to summer values (19.57 ± 1.58 % and 0.57 ± 0.07 %), while SFA matched the winter value (26.76 ± 2.48 %). The MUFA value was much higher in our carp than in either period (31.50 ± 3.76% and 30.09 ± 5.41 %) (*Table 7*). This elevated MUFA may be due to differences in feed, age, or farming practices (Mohamad et al., 2022).

Mohamad et al. (2022) examined 4–5-month-old African catfish fillets (*C. gariepinus*) from a private farm fed 50 % commercial pellets and 50 % poultry by-product meal, 9–12-month-old Asian catfish fillets (*C. macrocephalus*) from rice fields, and 5-6-month-old hybrids (CM×CG) from a freshwater breeding aquarium fed 100 % pellets containing 35 % crude protein. The highest SFA value was observed in unfrozen Asian catfish from rice fields (48.21 ± 5.11 %), possibly due to their age (9-12 months). The SFA (32.15 ± 1.23 %), MUFA (45.24 ± 3.21 %), PUFA (22.61 ± 2.11 %), n-6/n-3 (7.97 ± 2.19 %), and n-3/n-6 (0.13 ± 0.04 %) values of African catfish closely matched our results for frozen fillet (*Table 7*), suggesting similar age and rearing conditions. In the hybrid, the highest PUFA value was 31.41 ± 0.94 %, likely due to crossbreeding.



Table 7: Average percentage of fatty acid composition (%) in freshwater fish fillet

Fish species	Carp	African catfish	Trout	Grass carp	Silver carp
SFA	25.84 ± 0.1 ^d	35.74 ± 0.0 ^c	41.22 ± 0.3 ^b	42.50 ± 0.1 ^a	36,09 ± 0.3 ^c
MUFA	58.70 ± 0.3 ^a	41.01 ± 0.3 ^c	34.49 ± 0.2 ^d	45.00 ± 0.2 ^b	35,85 ± 0.4 ^d
PUFA	11.49 ± 0.4 ^d	22.14 ± 0.2 ^b	40.75 ± 0.2 ^a	41.63 ± 0.1 ^a	18,35 ± 0.5 ^c
UFA	70.19 ± 0.2 ^c	63.15 ± 0.2 ^d	75.24 ± 0.1 ^b	86.64 ± 0.1 ^a	54,20 ± 0.2 ^e
n6	7.90 ± 0.2 ^d	18.70 ± 0.1 ^b	28.31 ± 0.0 ^a	15.03 ± 0.1 ^c	6,30 ± 0.1 ^e
n3	3.57 ± 0.2 ^d	3.44 ± 0.1 ^d	12.35 ± 0.0 ^a	5.74 ± 0.0 ^c	10,49 ± 0.2 ^b
n6/n3	2.22	5.43	2.29	2.62	0.60
n3/n6	0.45	0.18	0.44	0.38	1.66
PUFA/SFA	0.44	0.62	0.99	0.98	0.51

SFA: saturated fatty acids; MUFA: monounsaturated fatty acids; PUFA: polyunsaturated fatty acids; UFA: unsaturated fatty acids; n-6: omega-6 polyunsaturated fatty acids; n-3: omega-3 polyunsaturated fatty acids. Different lowercase letters between lines indicate significant differences between species ($p < 0.05$).

The wild brown and cultured rainbow trout examined by Guler et al. (2017) were 2 years old and weighed 250-300 g. The fillets were stored frozen (-26°C) until analysis; the study was conducted on samples at room temperature. A significant difference ($P \leq 0.05$) in SFA content between wild brown trout ($28.38 \pm 1.51\%$) and cultured rainbow trout ($25.80 \pm 0.62\%$) may be attributed to differences in diet and feeding systems. Cultured rainbow trout contained more MUFA ($29.20 \pm 1.56\%$) than wild brown trout ($26.84 \pm 1.98\%$), whereas our measured value was higher for both ($34.49 \pm 0.2\%$). Environmental conditions and diet influence the fatty acid composition of wild and cultured fish. A significant difference ($P \leq 0.05$) in PUFA was also observed between wild brown trout ($44.77 \pm 0.88\%$) and cultured rainbow trout ($45.01 \pm 1.75\%$), though our values were significantly lower. The PUFA content in fish muscle depends on the diet (Sargent, 1997). Changes in feeding habits may alter fatty acid profiles (Norobin, 1990).

Several studies have shown that wild fish generally have higher ω -3 fatty acid content than farmed fish, likely due to the absence of phytoplankton-derived nutrients in commercial feeds (Ackman & Takeuchi, 1986; Ozogul et al., 2013). Guler et al. (2017) reported higher ω -3 levels in wild brown trout ($35.52 \pm 1.62\%$) than in cultured rainbow trout ($27.43 \pm 1.56\%$). Our measurements suggest the trout were commercially farmed. The ω -3/ ω -6 ratio was higher in wild brown trout (3.84 %) than in cultured rainbow trout (1.56 %), and our values were significantly lower still. This ratio depends on feed composition (Steffens, 1997) and serves as a valuable indicator of the nutritional value of fish oils (Pigott & Tucker, 1990). Simopoulos (2004) noted that the ideal ω -6/ ω -3 ratio is 1:1, whereas Western diets often exceed 16:1. Excessive ω -6/ ω -3 intake is linked to cardiovascular disease, cancer, and inflammatory and autoimmune disorders. Ateş et al. (2013) reported seasonal variation in the fatty acid composition of wild brown trout, with ω -3/ ω -6 ratios similar to those of Guler et al. (2017). The PUFA/SFA ratio is nutritionally significant, with a 1:1 balance considered ideal. Among PUFAs, essential omega-3 and omega-6 fatty acids must be obtained from the diet, as the body cannot synthesize them (Szakály, 2007).

The fatty acid composition of grass carp meat caught in summer and autumn was studied after frozen storage (-20°C) by Kovacik et al. (2024), who reported values in autumn similar to ours for SFA ($42.99 \pm 6.40\%$), n-3 ($9.58 \pm 3.1\%$), n-6 ($13.80 \pm 1.8\%$), and n-6/n-3 ($1.53 \pm 0.4\%$). Their MUFA (autumn: $33.62 \pm 8.77\%$; summer: $35.30 \pm 13.90\%$) and PUFA (autumn: $23.38 \pm 4.48\%$;



summer: 24.21 ± 6.20 %) values were lower than ours. Guler et al. (2008) examined seasonal effects in common carp and found the highest MUFA in winter (41.1 %) and the highest PUFA in summer (42.8 %). These values were similar to our results for grass carp, a fellow member of the cyprinid family. Changes in fatty acid composition are related to the fish's diet.

4.3 Micro- and macronutrient content

The microelement content of unfrozen grass carp and carp fillets was examined by Saha et al. (2020), who reported higher Fe (33.33 and 30.00 mg/kg dry weight), Cu (21.70 and 24.67 mg/kg dry weight), and Zn (20.60 and 25.82 mg/kg dry weight) than our values (*Figure 1*). For macroelements, Saha et al. (2020) reported Na (350.76 and 500.78 mg/kg dry weight), K (498.67 and 587.32 mg/kg dry weight), and Ca (676.41 and 857.14 mg/kg dry weight) in unfrozen fish – values significantly lower than ours for frozen fish (Na: 1,708.0 and 1,009.0 mg/kg dry weight; K: 14,460.0 and 14,610.0 mg/kg dry weight; Ca: 5,352.0 and 2,257.0 mg/kg dry weight) (*Figure 2*).

Dziura et al. (2024) reported lower Fe (6.9 ± 2.3 mg/kg dry weight), Cu (1.1 ± 0.3 mg/kg dry weight), and Zn (2.8 ± 0.9 mg/kg dry weight) in unfrozen carp fillet than in our frozen samples (Fe: 21.55 ± 2.5 ; Cu: 2.37 ± 15.5 ; Zn: 23.63 ± 0.6 mg/kg dry weight). Manganese was higher in unfrozen fillet (0.9 ± 0.2 mg/kg dry weight) than in frozen fillet (0.71 ± 8.0 mg/kg dry weight). Dziura et al. (2024) also reported significantly lower macroelement concentrations – K ($4,005 \pm 35$ mg/kg dry weight), Na (401 ± 20 mg/kg dry weight), Ca (334 ± 88 mg/kg dry weight), and Mg (301 ± 26 mg/kg dry weight) – than our values (*Figure 2*).

Gokoglu et al. (2004) measured lower Ca (468 mg/kg), Na (182 mg/kg), Mg (169 mg/kg), Zn (7 mg/kg), Cu (0.09 mg/kg dry weight), K (2,100 mg/kg), and Mn (0.56 mg/kg) in farmed trout compared to our results. Similarly, Siemianowska et al. (2016) reported lower K (4,393.4 mg/kg), Na (527.7 mg/kg), Ca (267.2 mg/kg), Mg (316.9 mg/kg), Fe (5.0 mg/kg), Zn (5.0 mg/kg), and Cu (0.46 mg/kg dry weight) in rainbow trout reared in flow-through systems than in our samples. However, trout raised in recirculation systems had higher Ca, Na, Zn, Mg, and K than those from conventional farms (Siemianowska et al., 2016).

Aleksic et al. (2025) examined the micro- and macroelement content in frozen samples of carp, silver carp, and European catfish caught from three Danube habitats. Significant differences were observed for some elements across habitats. In carp, Mn and Zn were similar across sites (0.493-0.606 and 26.90-31.00 mg/kg dry weight), whereas Fe and Cu were significantly lower (4.85-8.72 and 0.213-0.351 mg/kg dry weight) than our values (21.55, 2.37, and 9,961.0 mg/kg dry weight). For macroelements, Ca was comparable (1,162-2,707 mg/kg dry weight) to our result ($2,257.0 \pm 11.5$ mg/kg dry weight), while Mg, Na, and K were significantly lower (215.27-266.51; 455-521; and 2,713-2,786 mg/kg dry weight) than ours ($1,279.0 \pm 1.6$; $1,708.0 \pm 1.2$; and $14,460.0 \pm 1.2$ mg/kg dry weight). In African catfish, our Fe and Zn values were significantly higher than those in European catfish from the Danube (3.12-5.00 and 6.34-7.69 mg/kg dry weight).

Mn and Cu were similar between African and European catfish (0.340-0.355 and 0.101-0.133 mg/kg dry weight; *Figure 1*). European catfish had significantly higher Ca (1,360-1,660 mg/kg dry weight) than African catfish (291.5 mg/kg dry weight). In contrast, Mg, Na, and K were higher in African catfish (1,101.0; 1,516.0; and 14,210.0 mg/kg dry weight) than in the European species (223-254; 473-577; and 2,935-3,378 mg/kg dry weight). For silver carp, Mn and Fe were similar between studies (1.22-2.73 and 8.44-21.08 mg/kg dry weight) and our values (2.00 ± 7.4 and 12.49 ± 1.4 mg/kg dry weight). However, our Zn and Cu were significantly higher (18.18 ± 3.9 and 1.69 ± 14.6 mg/kg dry weight) than those reported by Aleksic et al. (2025) (8.54-10.59;

0.272-0.639; and 0.1115-0.1483 mg/kg dry weight). All macroelements (Ca, Mg, Na, K) were significantly higher in our samples (Figure 2) than in Danube-caught silver carp (1,134-2,360; 229.0-276.1; 356.7-581.1; and 2,889-3,207 mg/kg dry weight).

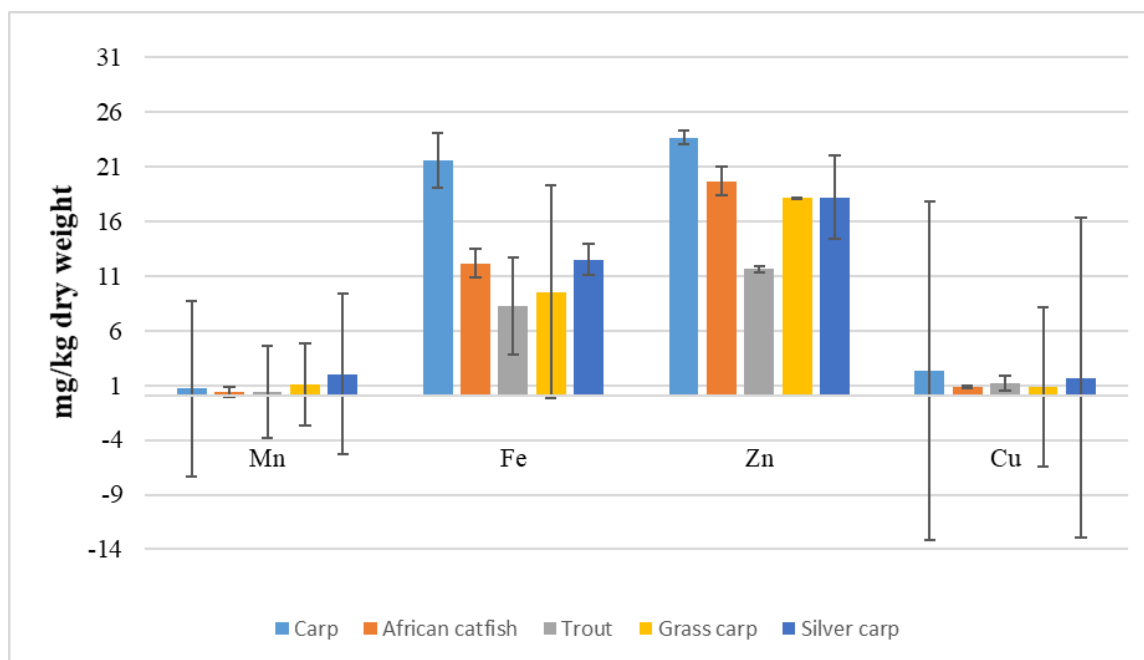


Figure 1: Microelements in freshwater fish

Mn: Manganese, Fe: Iron, Zn: Zinc, Cu: Copper.

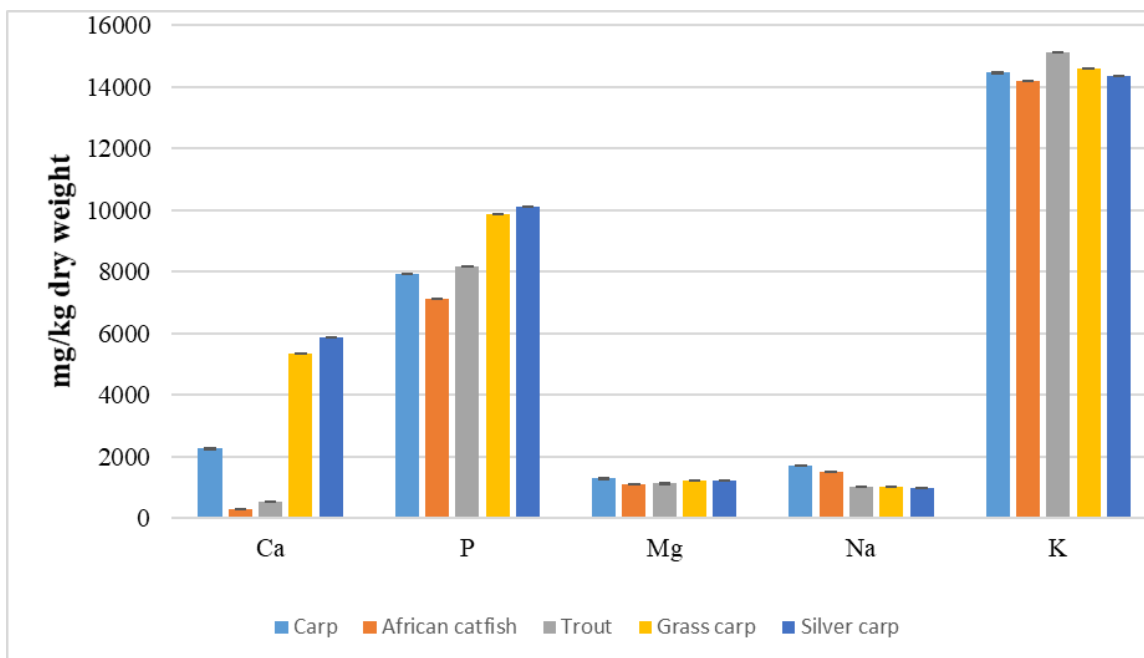


Figure 2: Macroelements in freshwater fish

Ca: Calcium, P: Phosphorus, Mg: Magnesium, Na: Sodium, K: Potassium.



5. CONCLUSION

This study compared the nutrient profiles of commercially available frozen freshwater fish with literature values for unfrozen specimens.

Protein was highest in carp (83.01 ± 0.5 %) and silver carp (71.97 ± 1.6 %), both notably above the usual 70-78 % dry-basis range for muscle tissue; carp skin also showed high protein (75.30 ± 0.3 %). Fat content was highest in African catfish (22.75 ± 0.1 %) and grass carp (20.28 ± 0.1 %), with trout skin reaching 38.45 ± 0.1 % compared to its fillet.

Grass carp exhibited the highest SFA (42.50 ± 0.1 %), PUFA (41.63 ± 0.1 %), and total UFA (86.64 ± 0.1 %), with a PUFA/SFA ratio of 0.98. Carp fillet had the highest MUFA (58.70 ± 0.3 %), whereas trout fillet showed elevated n-6 (28.31 ± 0.0 %) and n-3 (12.35 ± 0.0 %).

Mineral profiles varied markedly: carp contained the highest Fe (21.55 ± 2.5 mg/kg), Zn (23.63 ± 0.6 mg/kg), Cu (2.37 ± 15.5 mg/kg), Mg ($1,279.0 \pm 1.6$ mg/kg), and Na ($1,708.0 \pm 1.2$ mg/kg dry weight); silver carp led in Mn (2.00 ± 7.4 mg/kg), Ca ($5,855.0 \pm 3.8$ mg/kg), and P ($10,100.0 \pm 1.4$ mg/kg dry weight); and trout in K ($15,140.0 \pm 0.7$ mg/kg dry weight).

Because this study compared commercially available frozen samples with literature values for unfrozen the results are meaningful but not definitive and highlight the need for further research. Nonetheless, they confirm that commercially available frozen freshwater fish remain valuable sources of protein, essential polyunsaturated fatty acids, and micro- and macroelements.



Fagyasztott édesvízi halak tápanyag-, zsírsav-, mikro- és makrotápanyag-tartalmának meghatározása

TAKÁCS GEORGINA^{1*}, GICZI ZSOLT², KERTÉSZ KATALIN³, SZALAI KLAUDIA¹

¹Széchenyi István Egyetem, Albert Kázmér Mosonmagyaróvári Kar

Állattudományi Tanszék, Mosonmagyaróvár

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0912-2237>

Email: takacs.georgina@sze.hu

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8546-284X>

²Széchenyi István Egyetem, Albert Kázmér Mosonmagyaróvári Kar

Vízgazdálkodási és Természeti Ökoszisztémák Tanszék, Mosonmagyaróvár

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0313-4130>

³Széchenyi István Egyetem, Albert Kázmér Mosonmagyaróvári Kar, Mosonmagyaróvár

*Corresponding author/Levelező szerző

ÖSSZEFOGLALÁS

Az egészséges táplálkozás, az ételkészítés kiválasztása és a fenntartható termelés és fogyasztás szempontjából fontos az ételkészítés forrás tápanyag-összetételének megértése, megismerése. A tanulmány célja, hogy a leggyakrabban fogyasztott fagyasztott édesvízi halfajok beltartalmi értékeit, zsírsavösszetételét és mikro-, makroelem tartalmát meghatározzuk.

Az eredmények azt mutatják, hogy a fagyasztott édesvízi halfajok beltartalmi értékei közel azonosak voltak a friss halból végzett mérésekhez viszonyítva. A legnagyobb fehérje tartalmú fagyasztott halfaj a ponty volt ($83,01 \pm 0,5$ %), míg a zsírtartalma az afrikai harcsa ($22,75 \pm 0,1$ %) esetében volt nagyobb. A halbőr fehérje tartalma szintén a pontynál ($75,30 \pm 0,3$ %), a zsírtartalma a pisztrángnál volt a legnagyobb ($38,45 \pm 0,1$ %) a halhúshoz képest. SFA, PUFA, UFA tartalom ($42,50 \pm 0,1$; $41,63 \pm 0,1$; $86,64 \pm 0,1$ %) az amurnál volt a legnagyobb. MUFA a pontyhúsnál ($58,70 \pm 0,3$ %) volt szignifikánsan a legnagyobb. Mikro-, makroelemek esetében a fagyasztott pontyhús Fe, Zn, Cu ($21,55 \pm 2,5$; $23,63 \pm 0,6$; $2,37 \pm 15,5$ mg/kg száraztömeg) tartalma szignifikánsan nagyobb volt a többi mintához képest, míg a Mn a fehér busában volt nagyobb ($2,00 \pm 7,4$ mg/kg száraztömeg). A Ca, P tartalom a fehér busánál ($5855,0 \pm 3,8$; $10100,0 \pm 1,4$ mg/kg száraztömeg), Mg, Na a pontynál ($1279,0 \pm 1,6$; $1708,0 \pm 1,2$ mg/kg száraztömeg), K a pisztrángnál ($15140,0 \pm 0,7$ mg/kg száraztömeg) volt szignifikánsan nagyobb a többi halfajhoz képest.

Az eredmények azt mutatták, hogy a fagyasztott édesvízi halfajok is megfelelő forrásai a szükséges többszörösen telítetlen zsírsavaknak és mikro, makroelemeknek.

Kulcsszavak: édesvízi halak, tápanyagösszetétel, zsírsavösszetétel, mikroelemek, makroelemek



REFERENCES

- Ackman, R. G., & Takeuchi, T. (1986). Comparison of fatty acids and lipids of smolting hatchery-fed and wild Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Lipids*, 21(2), 117-120. <https://doi.org/10.1007/BF02534431>
- Ajeeshkumar, K. K., Vishnu, K. V., Bineesh, K. K., Mathew, S., Sankar, T. V., & Asha, K. K. (2021). Macromineral and heavy metal profiles of selected deep-sea fish from the Kochi coast of the Arabian Sea, India. *Marine Pollution Bulletin*, 167, 112275. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112275>
- Akpınar, N., Akpınar, M. A., Gorgun, S., & Akpınar, A. E. (2015). Fatty acid composition and $\omega 3/\omega 6$ ratios in the muscle of wild and reared *Oncorhynchus mykiss*. *Chemistry of Natural Compounds*, 51(1), 22-25. <https://doi.org/10.1007/s10600-015-1194-y>
- Aleksić, J., Glamočlija, N., Laudanović, M., Ivanović, S., Milijašević, M., Baltić, B., & Starčević, M. (2025). The content and associated health risk assessment of toxic elements, micro-, and macrominerals in common carp, wels catfish, and silver carp from the Danube River in Serbia. *Environmental Geochemistry and Health*, 47(60), 60. <https://doi.org/10.1007/s10653-025-02370-7>
- Arnett, D. K., Blumenthal, R. S., Albert, M. A., Buroker, A. B., Goldberger, Z. D., Hahn, E. J., ... & Ziaeeian, B. (2019). 2019 ACC/AHA guideline on the primary prevention of cardiovascular disease: A report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Clinical Practice Guidelines. *Circulation*, 140(11), e596-e646. <https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000000678>
- Ashraf, S. A., Adnan, M., Patel, M., Siddiqui, A. J., Sachidanandan, M., Snoussi, M., & Hadi, S. (2020). Fish-based bioactives as potent nutraceuticals: Exploring the therapeutic perspective of sustainable food from the sea. *Marine Drugs*, 18(5), 265. <https://doi.org/10.3390/md18050265>
- Barrento, S., Marques, A., Teixeira, B., Vaz-Pires, P., Carvalho, M. L., & Nunes, M. L. (2008). Essential elements and contaminants in edible tissues of European and American lobsters. *Food Chemistry*, 111(4), 862-867. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.04.063>
- Biandolino, F., Prato, E., Grattagliano, A., & Parlapiano, I. (2023). Effect of different cooking methods on lipid content and fatty acid profile of red mullet (*Mullus barbatus*). *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 73(1), 59-69. <https://doi.org/10.31883/pjfn/159651>
- Bienkiewicz, G., Tokarczyk, G., & Biernacka, P. (2022). Influence of storage time and method of smoking on the content of EPA and DHA acids and lipid quality of Atlantic salmon (*Salmo salar*) meat. *International Journal of Food Science*, 2022, 1218347. <https://doi.org/10.1155/2022/1218347>
- Bucka-Jastrzębska, E., Kawczuga, D., Rajkowska, M., & Protasowicki, M. (2009). Levels of microelements (Cu, Zn, Fe) and macroelements (Mg, Ca) in freshwater fish. *Journal of Elementology*, 14(3), 437-447. <https://doi.org/10.5601/jelem.2009.14.3.02>
- Connor, W. E. (1997). The beneficial effects of omega-3 fatty acids: Cardiovascular disease. *Current Opinion in Lipidology*, 8(1), 1-3.
- Conti, M. E., & Cecchetti, G. (2001). Biological monitoring: Lichens as bioindicators of air pollution assessment – A review. *Environmental Pollution*, 114(3), 471-492. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(00\)00224-4](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(00)00224-4)
- Csorbai, B., Péteri, A., & Urbányi, B. (2015). *Intenzív haltenyésztés* [Intensive fish farming]. Vármédia-Print Kft.



- Deng, O. O., Mohamed, A. H., Agib, M. A., El-Faki, F. E., & Ali, M. E. (2016). Comparative studies on nutritive value of wild and farmed African catfish *Clarias gariepinus*. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 4(3), 327-329.
- Duran, A., Tuzen, M., & Soylak, M. (2014). Assessment of trace metal concentrations in muscle tissue of certain commercially available fish species from Kayseri, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 186(7), 4619-4628. <https://doi.org/10.1007/s10661-014-3724-7>
- Dziura, A. K., Skąlecki, P., Florek, M., Kedzierska-Matysek, M., & Sobczak, P. (2024). Chemical composition and elements concentration of fillet, spine and bones of common carp (*Cyprinus carpio*) in relation to nutrient requirements for minerals. *Animals*, 14(9), 1311. <https://doi.org/10.3390/ani14091311>
- Edea, O. G., Montchowui, E., Hinv, L. C., Abou, Y., Gbangboche, A. B., & Laleye, P. A. (2018). Proximate composition of cultured *Oreochromis niloticus* and *Clarias gariepinus* based on commercial feed in Benin. *Agricultural and Food Sciences*, 3(5), 1-11. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.36693.68320>
- Eder, K. (1995). Gas chromatographic analysis of fatty acid methyl esters. *Journal of Chromatography B: Biomedical Sciences and Applications*, 671(1-2), 113-131. [https://doi.org/10.1016/0378-4347\(95\)00142-6](https://doi.org/10.1016/0378-4347(95)00142-6)
- Edgar, G. J., Bates, A. E., Krueck, N. C., Baker, S. C., Stuart-Smith, R. D., & Brown, C. J. (2024). Stock assessment models overstate sustainability of the world's fisheries. *Science*, 385(6711), 860-865. <https://doi.org/10.1126/science.adl6282>
- Edwards, E. A., & Twomey, K. (1982). *Habitat suitability index models: Common carp* (FWS/OBS-82/10.6). U.S. Fish and Wildlife Service.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2021). *FAO yearbook: Fishery and aquaculture statistics 2019*. FAO. <https://doi.org/10.4060/cb7874t>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2020). *The state of world fisheries and aquaculture 2020: Sustainability in action*. FAO. <https://doi.org/10.4060/ca9229en>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2022). *The state of world fisheries and aquaculture 2022: Towards blue transformation*. FAO. <https://doi.org/10.4060/cc0461en>
- Ferenczy, D., Füstös, G., Dobrai, Zs., & Oggolder, G. (2003). *Amúrhorgászat – Horgászhalaink XVII* [Amur fishing – Our fishing fish XVII]. Fish Könyvkiadó.
- Gokoglu, N., Yerlikaya, P., & Cengiz, E. (2004). Effects of cooking methods on the proximate composition and mineral contents of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Food Chemistry*, 84(1), 19-22. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(03\)00161-4](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(03)00161-4)
- Guler, G. O., Kiztanir, B., Aktumsek, A., Citil, O. B., & Ozparlak, H. (2008). Determination of the seasonal changes on total fatty acid composition and $\omega 3/\omega 6$ ratios of carp (*Cyprinus carpio* L.) muscle lipids in Beysehir Lake (Turkey). *Food Chemistry*, 108(2), 689-694. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.10.080>
- Guler, G. O., Zengin, G., Çakmak, Y. S., & Aktumsek, A. (2017). Comparison of fatty acid compositions and $\omega 3/\omega 6$ ratios of wild brown trout and cultured rainbow trout. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 17(6), 1179-1187. https://doi.org/10.4194/1303-2712-v17_6_11
- Haruna, A. B. (2003). *Aquaculture in the tropics: theory and practice*. Al-Hassan Publishers.
- Hewavitharana, G. G., Perera, D. N., Navaratne, S. B., & Wickramasinghe, I. (2020). Extraction methods of fat from food samples and preparation of fatty acid methyl esters for gas chromatography: A review. *Arabian Journal of Chemistry*, 13(8), 6865-6875. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2020.06.039>



- Horváth, L. (2000). *Halbiológia és haltenyésztés* [Fish biology and fish farming] (2nd ed.). Mezőgazda Kiadó.
- Innis, S. M. (2008). Dietary omega-3 fatty acids and the developing brain. *Brain Research*, 1237, 35-43. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2008.08.078>
- Israel Heart Society. (2011). *Dietary recommendations to prevent cardiovascular disease: Joint position paper on behalf of the Israel Heart Society and Association of Dietitians and Nutritionists*.
- Jalili, S. H., Motallebi, A. A., Noghani, F., Rahnema, M., Seifzadeh, M., & Khodabandeh, F. (2021). Amino acids profile changes of silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) skin hydrolysate during hydrolyzing by Alcalase. *International Journal of Aquatic Research and Environmental Studies*, 1(2), 29-37. <https://tinyurl.com/mr28rbtc>
- Jester, D. B. (1974). *Life history, ecology and management of the carp, Cyprinus carpio L., in Elephant Butte Lake* (Publication No. 19-84). NMSU Cooperative Extension Service and Agricultural Experiment Station.
- Kheiri, A., Aliakbarlu, J., & Tahmasebi, R. (2022). Antioxidant potential and fatty acid profile of fish fillet: Effects of season and fish species. *Iranian Veterinary Research Forum*, 13(1), 91-99. <https://doi.org/10.30466/vrf.2021.526596.3153>
- Kovacik, A., Helczman, M., Arvay, J., Tomka, M., Snirc, M., Janco, I., Fik, M., Stefunkova, N., Dupak, R., Harangozo, L., Tokarova, K., Kovacikova, E., Jambor, T., Andreji, J., & Massanyi, P. (2024). Microelements, fatty acid profile, and selected biomarkers in grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) muscle tissue: Seasonal variations and health risk assessment. *Biological Trace Element Research*, 203(2), 1048-1063. <https://doi.org/10.1007/s12011-024-04190-9>
- Kris-Etherton, P. M., Harris, W. S., & Appel, L. J. (2002). Fish consumption, fish oil, omega-3 fatty acids, and cardiovascular disease. *Circulation*, 106(21), 2747-2757. <https://doi.org/10.1161/01.cir.0000038493.65177.94>
- KSH (Központi Statisztikai Hivatal). (2020). *Hús- és haltermelés (ezer tonna)* [Meat and fish production (thousand tons)]. https://www.ksh.hu/stadat_files/mez/hu/mez0033.html
- Lajkó, I. (1999). *Halászati alapismeretek* [Basic fisheries knowledge]. Agroinform Kiadó és Nyomda Kft.
- Li, J., Pora, B. L. R., Dong, K., & Hasjim, J. (2021). Health benefits of docosahexaenoic acid and its bioavailability: A review. *Food Science & Nutrition*, 9(9), 5229-5243. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2299>
- Lian, F., Siikavuopio, S. I., Harrison, S. M., Vang, B., Brunton, N. P., Esaiassen, M., & Lorentzen, G. (2022). Fatty acid profile of cooked leg meat and raw hepatopancreas of red king crab (*Paralithodes camtschaticus*) during three-month live holding without feeding at 4 and 10 °C. *Journal of Food Composition and Analysis*, 105, 104206. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.104206>
- Luckey, T. D., & Venugopal, B. (1977). *Metal toxicity in mammals: Vol. 2. Chemical toxicity of metals and metalloids*. Plenum Press.
- Matos, A. P., Matos, A. C., & Moecke, E. H. S. (2019). Polyunsaturated fatty acids and nutritional quality of five freshwater fish species cultivated in the western region of Santa Catarina, Brazil. *Brazilian Journal of Food Technology*, 22, e2018193. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.19318>
- Mohamad, N. F. A., Daud, H. H. M., Hamdan, R. H., Manaf, S. R., Zin, A. A. M., Fazlin, N. N., & Faizi, N. M. (2022). Identification of fatty acid profile of clariid catfish species: *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822), *Clarias macrocephalus* (Gunther, 1864), and their hybrids. *Advances in Animal and Veterinary Sciences*, 10(4), 858-863. <https://doi.org/10.17582/journal.aavs/2022/10.4.858.863>



- Mohan, D., Mente, A., Dehghan, M., Rangarajan, S., O'Donnell, M., Hu, W. H., ... & Yusuf, S. (2021). Associations of fish consumption with risk of cardiovascular disease and mortality among individuals with or without vascular disease from 58 countries. *JAMA Internal Medicine*, 181(5), 631-649. <https://doi.org/10.1001/jamainternmed.2021.0036>
- NAFDAC (National Agency for Food and Drug Administration and Control). (2003). *Consumer safety bulletin*, 2 (2), 1394-1596.
- Norrobin, M. F., Olsen, R. E., & Tande, K. S. (1990). Seasonal variation in lipid class and fatty acid composition of two small copepods in Balsfjorden, northern Norway. *Marine Biology*, 105(2), 205-211. <https://doi.org/10.1007/BF01344288>
- Okanović, Đ., Tasić, T., Kormanjoš, Š., Ikonić, P., Šojić, B., Pelić, M., & Ristić, M. (2017). Investigation of grass carp by-products from a fish farm in Vojvodina. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 85(1), 012044. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/85/1/012044>
- Onyia, L. U., Michael, K. S., Manu, J. M., & Sabo, M. (2013). Comparison of nutrient values of wild and cultured *Heterobranchus bidorsalis* and *Clarias gariepinus*. *Nigerian Journal of Fisheries and Aquaculture*, 1(1), 27-32.
- Ozogul, F., Yavuzer, E., Ozogul, Y., & Kuley, E. (2013). Comparative quality loss in wild and cultured rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) during chilling storage. *Food Science and Technology Research*, 19(3), 445-454. <https://doi.org/10.3136/fstr.19.445>
- Pal, J., Shukla, B., Maurya, A. K., Verma, H. O., Pandey, G., & Amitha, A. (2018). A review on role of fish in human nutrition with special emphasis to essential fatty acid. *International Journal of Fisheries and Aquatic Studies*, 6(2), 427-430.
- Pigott, G. M., & Tucker, B. W. (1990). *Seafood: Effects of technology on nutrition*. CRC Press.
- Pintér, K. (2002). *Magyarország halai* [Fishes of Hungary]. Akadémiai Kiadó.
- Pintér, K., & Pócsi, L. (2002). *Hal* [Fish]. Mezőgazda Lap és Könyvkiadó Kft.
- Roy, K., Dvořák, P., Machová, Z., & Mráz, J. (2023). Nutrient footprint versus EPA+DHA security in land-locked regions—more of local pond farmed, imported marine fish or fish oil capsules? *NPJ Science of Food*, 7, 48. <https://doi.org/10.1038/s41538-023-00224-z>
- Saha, B., Mottalib, M. A., & Al-razee, A. N. M. (2020). Assessment of essential metals in selected fish feeds and cultivated fish species in Bangladesh and their impacts on human body. *Acta Scientific Agriculture*, 4(11), 30-35. <https://doi.org/10.31080/ASAG.2020.04.0911>
- Sardenne, F., Puccinelli, E., Vagner, M., Pecquerie, L., Bideau, A., Le Grand, F., & Soudant, P. (2021). Post-mortem storage conditions and cooking methods affect long-chain omega-3 fatty acid content in Atlantic mackerel (*Scomber scombrus*). *Food Chemistry*, 359, 129828. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129828>
- Sargent, J. R. (1997). Fish oils and human diet. *British Journal of Nutrition*, 78(S1), S5–S13. <https://doi.org/10.1079/BJN19970131>
- Shehata, S., Talab, A. S., Ghanem, M. H. M., & Abbas, M. M. M. (2018). Production and quality evaluation of hot smoked grass carp (*Ctenopharyngodon idella*) fillets stored at 4±1°C. *Egyptian Journal of Aquatic Biology & Fisheries*, 22(5), 351-361. <https://doi.org/10.21608/ejabf.2018.23924>
- Shirmohammadli, H., & Mohammad Nejad, M. (2022). Comparison of protein, fat, ash and dry matter content of common carp, *Cyprinus carpio* L. and silver carp, *Hypophthalmichthys molitrix* fillet. *Journal of Survey in Fisheries Sciences*, 8(2), 115-126.



- Siemianowska, E., Barszcz, A. A., Skibniewska, K. A., Markowska, A., Polak-Juszczak, L., Zakrzewski, J., Woźniak, M., Szarek, J., & Dzwolak, W. (2016). Mineral content of muscle tissue of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum). *Journal of Elementology*, 21(3), 833-845. <https://doi.org/10.5601/jelem.2015.20.4.1004>
- Simopoulos, A. P. (2004). Omega-6/Omega-6/Omega-3 essential fatty acid ratio and chronic diseases. *Food Reviews International*, 20(1), 77-90. <https://doi.org/10.1081/FRI-120028831>
- Sirakov, I. (2015). Flesh quality in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* W.) and brown trout (*Salmo trutta* m. *fario* L.) cultivated in recirculation aquaculture system. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 4(1), 50-57.
- Sprague, M., Dick, J. R., & Tocher, D. R. (2016). Impact of sustainable feeds on omega-3 long-chain fatty acid levels in farmed Atlantic salmon, 2006–2015. *Scientific Reports*, 6, 21892. <https://doi.org/10.1038/srep21892>
- Stark, K. D., Van Elswyk, M. E., Higgins, M. R., Weatherford, C. A., & Salem, N., Jr. (2016). Global survey of the omega-3 fatty acids, docosahexaenoic acid and eicosapentaenoic acid in the bloodstream of healthy adults. *Progress in Lipid Research*, 63, 132-152. <https://doi.org/10.1016/j.plipres.2016.05.001>
- Steffens, W. (1997). Effects of variation in essential fatty acids in fish feeds on nutritive value of freshwater fish for humans. *Aquaculture*, 151(1-4), 97-119. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(96\)01493-7](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(96)01493-7)
- Swee, U. B., & McCrimmon, H. R. (1966). Reproductive biology of the carp, *Cyprinus carpio* L., in Lake St. Lawrence, Ontario. *Transactions of the American Fisheries Society*, 95(4), 372-380.
- Szakály, S. (2007). A PUFA-LIPID Paradoxon – Tudomány és Gyakorlat [The PUFA-LIPID paradox – Science and practice]. *The Hungarian Journal of Food, Nutrition and Marketing*, IV(1), 5-12.
- Szigethy-Ambrus, N. (2022). Halfogyasztás és termelés itthon és Európában [Fish consumption and production in Hungary and Europe]. *Oceofocus*, 12, 1-5.
- Tan, K. S., & Zheng, H. P. (2022). Endogenous LC-PUFA biosynthesis capability in commercially important mollusks. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(10), 2836-2844. <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1860896>
- Tan, K. S., Liu, H. L., Zhang, H. K., Li, S., Ma, H., & Zheng, H. (2021a). Carotenoid content and lipid nutritional quality variation in tissues of male and female polymorphic (golden and brown) noble scallop *Chlamys nobilis*. *Aquaculture*, 536, 736483. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736483>
- Tan, K. S., Ransangan, J., Tan, K. A., & Cheong, K. L. (2023). The impact of climate change on omega-3 long-chain polyunsaturated fatty acids in bivalves. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 64(31), 11661-11671. <https://doi.org/10.1080/10408398.2023.2242943>
- Tan, K. S., Zhang, H. K., & Zheng, H. P. (2022). Carotenoid content and composition: A special focus on commercially important fish and shellfish. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 64(2), 544-561. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2106937>
- Tan, K. S., Zhang, H. K., Li, S. K., Ma, H. Y., & Zheng, H. P. (2021b). Lipid nutritional quality of marine and freshwater bivalves and their aquaculture potential. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63(28), 7217-7235. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1909531>
- Tchounwou, P. B., Yedjou, C. G., Patlolla, A. K., & Sutton, D. J. (2012). Heavy metal toxicity and the environment. In A. Luch (Ed.), *Molecular, clinical and environmental toxicology: Vol. 3. Environmental toxicology* (pp. 133-164). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-7643-8340-4_6



- Tenyang, N., Mawamba, L. A., Ponka, R., Mamat, A., Tiencheu, B., & Womeni, H. M. (2022). Effect of cooking and smoking methods on proximate composition, lipid oxidation and mineral contents of *Polypterus bichir bichir* fish from far-north region of Cameroon. *Heliyon*, 8(10), e10921. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10921>
- Thilsted, S. H., Thorne-Lyman, A., Webb, P., Bogard, J. R., Subasinghe, R., Phillips, M. J., & Allison, E. H. (2016). Sustaining healthy diets: The role of capture fisheries and aquaculture for improving nutrition in the post-2015 era. *Food Policy*, 61, 126-131. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2016.02.005>
- Tyrrell, L. (2005). *Trace metal concentrations in various fish species landed at selected Irish ports 2003* (Marine Environment and Health Series No. 20). Marine Institute.
- Vannice, G., & Rasmussen, H. (2014). Position of the Academy of Nutrition and Dietetics: Dietary fatty acids for healthy adults. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 114(1), 136-153. <https://doi.org/10.1016/j.jand.2013.11.001>
- Willett, W., Rockström, J., Loken, B., Springmann, M., Lang, T., Vermeulen, S., Garnett, T., Tilman, D., DeClerck, F., Wood, A., Jonell, M., ... & Murray, C. J. L. (2019). Food in the Anthropocene: The EAT–Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. *The Lancet*, 393(10170), 447-492. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)31788-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)31788-4)
- Yabanli, M., & Alparslan, Y. (2015). Potential health hazard assessment in terms of some heavy metals determined in demersal fishes caught in eastern Aegean Sea. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 95(4), 494-498. <https://doi.org/10.1007/s00128-015-1584-7>
- Zhelyazkov, G. D., & Stratev, D. (2019). Meat quality of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and brown trout (*Salmo trutta fario*) farmed in Bulgaria. *Journal of Food Quality and Hazards Control*, 6(1), 37-40. <https://doi.org/10.18502/jfqhc.6.1.457>

©Copyright 2025 by the Authors.

The journal is Open Access (Platinum). This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).





A foltosszárnyú muslica (*Drosophila suzukii* Matsumura, 1931) kártétele bogyós gyümölcsökben, és a szalicilsav, mint lehetőség a kártevő elleni védekezésben

GOMBKÖTŐ CSILLA*, KOLLÁNYI ÁGNES, KOLLÁNYI GÁBOR, VARGA JENŐ

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Kertészettudományi Intézet

Gyümölcsstermesztési Kutatóközpont, Fertődi Kutatóállomás, Sarród

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0000-4689-2858>

Email: Gombkoto.Csilla@uni-mate.hu

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0004-7999-0891>

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0008-8533-7628>

*Corresponding author/Levelező szerző

Received/Érkezett: 2025.09.14.

Revised/Átdolgozva: 2025.10.27.

Accepted/Elfogadva: 2025.11.15.

Published/Megjelent: 2025.12.23.

ÖSSZEFOGLALÁS

A foltosszárnyú, vagy pettyesszárnyú muslica (*Drosophila suzukii*) egy Kelet-Ázsiából származó, de napjainkban egész világon jól ismert kertészeti kártevő, amely főként a bogyós gyümölcsökben, illetve egyes csonthéjas növényeken okoz súlyos gazdasági károkat. A nőivarú egyedek fűrészkes tojócsővel rendelkeznek. Az érőfélben lévő gyümölcsbe petét helyezve a bogyó lehullik, másodlagos fertőzések (gombák, baktériumok) révén rothad és eladhatatlanná válik. Mivel napjainkban hazánkban még nincs teljesen bevált védekezési eljárás a kártevő ellen, fontos, hogy azt minél előbb megtaláljuk. A bogyós gyümölcsöknél külön nehézséget jelent az élelmezési várakozási idő betartása, mivel általában folytonérő fajokról van szó, ezért lenne kíváncsi egy biológiai növényvédelmi módszer kidolgozása. Évek óta folynak kísérletek természetes eredetű repellens anyagok kidolgozására, parazitoid fajok alkalmazására, a terület izolálására. Ezek a módszerek, technológiák azonban gyakran nem hozzák meg a hozzájuk fűzött reményeket. A növényélettannal foglalkozó szakemberek javaslataira indultak kísérletek a szalicilsavas, illetve jázmonsavas készítményekkel való kezelésekre. Ezek ugyanis képesek növelni a növények immunitását, könnyebben kivédve ezáltal a kórokozók, kártevők támadásait. A cikk egy szalicilsav tartalmú növénykondicionáló készítménnyel történt kezelés tapasztalatait írja le, amelyet a MATE KERTI GYKI Fertődi Kutatóállomásán hajtottak végre. A 2024-es és 2025-ös években a bogyókban lévő lárvapopuláció nagysága mérséklődött, ezért a szalicilsav – az eddigi tapasztalatok alapján és későbbiekben folytatódó kísérletek mellett – ígéretes alternatívának mutatkozik a kártevő elleni védekezésben.

Kulcsszavak: *Drosophila suzukii*, bogyós gyümölcsök, folytontermők, szalicilsav, szisztémás szerzett rezisztencia



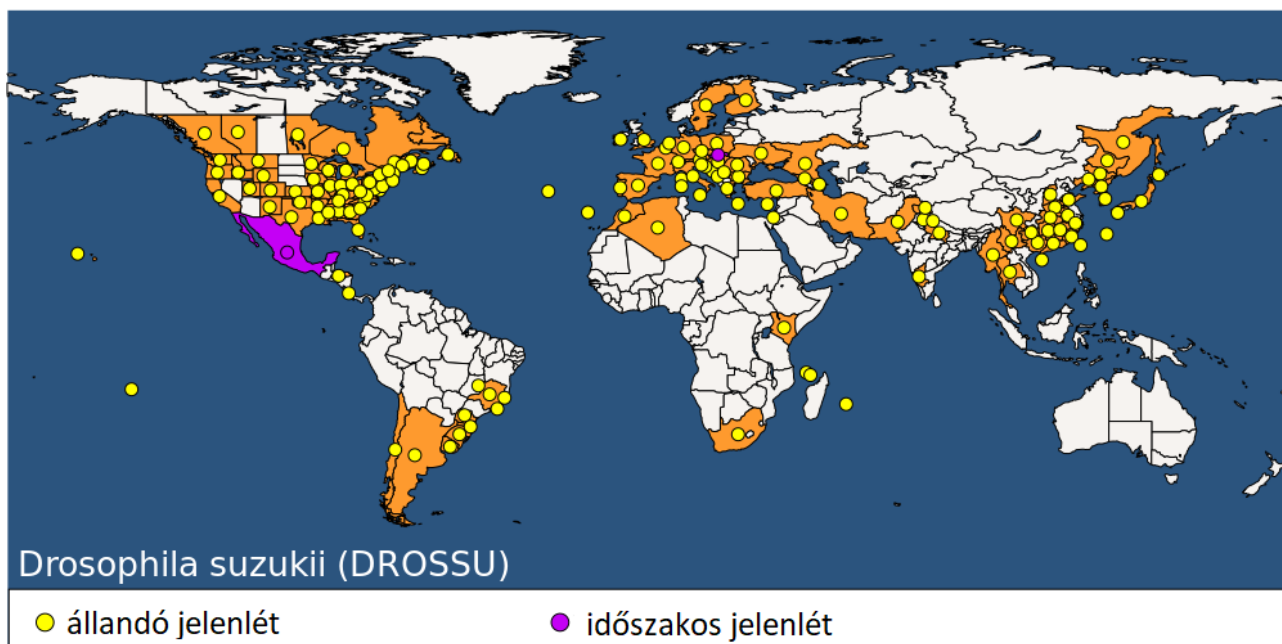
1. BEVEZETÉS

A foltosszárnyú muslica egyre nagyobb károkat fog okozni a közeljövőben, még inkább megnehezítve az egyébként is munka- és időigényes bogyós gyümölcsök termesztését. A kártevők elleni védekezés legfontosabb alapelvei, hogy az ültetvény helye megfelelően kerüljön kiválasztásra, elkerülve a *Drosophila suzukii* természetben is előforduló tápnövényeinek közelségét. Fontos a terület folyamatosan tisztán, gyommentesen tartása, a lehullott gyümölcsök eltávolítása. Ezeken túlmenően fontos lehet egy környezet- és egészségkímélő technológia kidolgozása a kártevők egyedszámának mérséklésére, ökonómiai küszöbszint alatt tartására. Egyesek javasolják a termőhelyen izolátorhálók felállítását, amely fizikai gátat szab a foltosszárnyú muslicának a növény megközelítésében. Ennek hátránya, hogy beruházási költsége magas, és folyamatos karbantartást igényel. Emiatt főként kisebb területeken, házikertekben jelenthet ez megfelelő megoldást. A külföldön sikerrel alkalmazott parazitoid rovarok alkalmazása Magyarországon nem járt sikerrel. Sajnos az őshonos parazitoid fajok között nem találni olyat, ami hatékonyan venné fel a küzdelmet a kártevő ellen (pl. *Trichopria drosophilae* Kieffer, 1912), a külföldről betelepített parazitadarazsak (pl. *Ganaspis brasiliensis* Ihering, 1905; *Pachycrepoideus vindemmiae* Rondani, 1875) viszont a hazai környezeti körülmények között nehezen maradtak életben. A MATE kecskeméti kutatóállomásán a szőlőben szalicilsavval végzett kísérletek sikerekkel jártak, ezért került ez a technológia átültetésre Fertődre, szeder ültetvényre. A növény kiválasztása az alapján történt, ahol a legnagyobb kár volt megfigyelhető az elmúlt években. A vizsgálatokra két évben: 2024-ben és 2025-ben került sor. Második évben a szalicilsavas kezelés mikroelemtrágyázással lett kiegészítve, hogy növények hatékonyabban védekezzenek a gombabetegségek (pl. *Botrytis cinerea*) ellen.

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

A *Drosophila suzukii* (Matsumura, 1931), más néven pettyesszárnyú, vagy foltosszárnyú muslica egyre nagyobb figyelmet kap a világon, így hazánkban is a gyümölcstermesztésben. A fajt eredetileg Japánban ismerték fel, 1916-ban, majd először 1931-ben Matsumura írta le. A kelet-ázsiai szigetországban főként cseresznyeültvényekben okozott nagyobb károkat, amely akár a 75 %-ot is megközelítette (Kanzawa, 1939).

A rovar rendkívüli alkalmazkodó képessége lehetővé tette, hogy először a környező országokban, majd a távoli kontinenseken is megjelenjen (Kirschbaum et al, 2020). Észak-Amerikában 2008-ban jelent meg először Kariforniában (Walsh et al., 2011), illetve párhuzamosan Európában is ekkor regisztrálták az első egyedeket a spanyolországi Katalóniában (Calabria et al., 2012), ahonnan gyorsan áterjedt a közeli Olaszországra, majd Svájcra (Cini et al., 2012). A kártevő vándorlását még inkább felgyorsította a globalizáció, a termékek export- import tevékenysége (Bing et al., 2020) (1. ábra).



1. ábra: A *Drosophila suzukii* elterjedése a világon

Forrás: EPPO, 2025

Hazánkban először 2013-ban találták meg egy Balaton közeli autópályán kihelyezett csapdában. Ettől kezdve egyedszámuk rohamosan növekedett, és az ország egész területén megjelent. További gondot jelent, hogy a rovar nagy reprodukciós képességgel rendelkezik: kedvező körülmények között egy nőivarú egyed élete során akár 400 petét is elhelyezhet, és akár 13 nemzedék is kialakulhat (Cini et al., 2012).

Kezdetben gyanították, hogy a faj hazánk kontinentális éghajlatán képtelen áttelelni. Hazai kutatások azonban bizonyították, hogy valószínűleg a kevésbé hideg telek következményeként a rovarok télen is itt maradnak. A MATE KERTI GYKI Fertődi kutatóállomása például nagy számban megfigyelte a tiszafákon áttelelő egyedeket (Horváth, 2023). A foltösszárnyú muslica imágó alakban tel, melynek köszönhetően téle egy reproductív, hidegtűrőbb alakot vesz fel, mely segíti túlélését a téli hónapokban a természeti területeken (Buck et al., 2022). A téli alak -6 °C-on 45 órán keresztül is életben marad; csupán a populáció 50 %-a mutatott letalitást Winkler et al. (2021) vizsgálataiban. Gazdanövényei közé tartoznak a bogyós gyümölcsök (szamóca (*Fragaria x ananassa*), áfonya (*Vaccinium spp.*), ribizli (*Ribes spp.*), szeder (*Rubus fruticosus*), málna (*Rubus idaeus*), bodza (*Sambucus nigra*)), a szőlő (*Vitis vinifera*), cseresznye (*Prunus avium*), meggy (*Prunus cerasus*), de csonthéjasokban (*Prunus domestica*, *Prunus persica* etc.) is megtalálták már a kártevőt. Eddigi tapasztalataink szerint a legnagyobb kárt a bogyósgyümölcsökben okozza, ahol a termés akár 80-90 %-át is tönkretelheti. A vadon élő növényfajok közül Fertődön a tiszafákon (*Taxus baccata*) jelentkezett a kártevő nagy mennyiségben télen, így feltételezhető, hogy szívesen vészelik itt át a zord körülményeket. Tavasszal pedig innen indulhat a fertőzés. (Poyet, 2015). Kenis et al. (2016) összegyűjtötték az Európában lehetséges tápnövényeket. Megállapították, hogy a 19 családba tartozó 84 növényfajon azonosítható a *Drosophila suzukii*. Ez közé az alábbiak tartoznak: a *Cornus*, *Rubus*, *Prunus*, *Sambucus* és *Vaccinium* nemzetség fajai, valamint a *Ficus carica*, *Frangula alnus* és *Taxus baccata*. A nem haszonnövényként jelenlévő egyéb fajok nagy száma miatt sürgetőnek tartják egy területi szintű védekezés lehetőségét.



Külön problémát jelent, hogy míg más gyümölcslegyek, mint például a *Drosophila melanogaster*, azaz közönséges muslica a túlérést, rothadásnak indult gyümölcsöket fogyasztja, illetve azon szaporodik, addig a *Drosophila suzukii* képes az éppen érőfélben lévő gyümölcsökbe helyezni petéit fűrészcső segítségével. (Lee et al., 2011; Crava et al., 2020). Kimutatták, hogy a párosodott nőstények vonzódnak az ép gyümölcsökből kibocsátott illatanyagokhoz, igyekeznek azt mielőbb felkeresni (Keesey et al., 2015; Revadi et al., 2015). A gyümölcsön keletkezett sebzések nyílt utat nyitnak a baktériumos és gombás fertőzéseknek. Következésképpen a bogyók penészednek, korhadnak, összeaszódnak (Ioratti et al., 2018, Németh et al., 2024). A termés eladhatatlanná válik, hatalmas gazdasági károkat okozva a termelőknek.

Sajnos teljesen biztonságos védekezési módszerrel még nem rendelkezünk a rovar ellen. A kémiai összetételű inszekticidek közül az alábbi hatóanyagtartalommal rendelkezők bizonyultak hatásosnak:

- szerves foszfátok: olyan organofoszfátok, amelyek a rovarok idegrendszerének működését zavarják meg oly módon, hogy a hatóanyag gátolja az acetilkolin-észteráz enzimet (AChE), amelynek következtében az acetilkolin (ACh) felhalmozódik az idegi szinapszisokban és hiperstimulációt hoznak létre;
- piretroidok: szintén az idegrendszerben okoznak károsodást, viszont ebben az esetben az idegimpulzusokért felelős nátriumcsatornához kötődnek, majd tartós depolarizációt hoznak létre, ezáltal az idegrendszer kimerül;
- karbamátok: ezek a szerves foszfátokhoz hasonlóan működnek, az acetilkolin-észteráz (AChE) működésének gátlásával (Fukuto, 1990; Sánchez-Bayo, 2012);
- spinosinok: hasonlóan működik, mint az előző hatóanyagok. Itt egy természetes hatóanyagról beszélünk, amelyet a *Saccharopolyspora spinosa* talajlakó baktériumból nyernek ki. A nikotinos acetilkolin-receptorokhoz (nAChR) kapcsolódnak, folyamatos nátriumion-beáramlást okozva a nátriumcsatornákon. A hiperstimuláció következtében itt is az idegrendszer kimerülése okozza a rovar pusztulását;
- és néhány diamid hatóanyagú: ide a legújabb inszekticidek tartoznak. A rovarok izomsejtjeiben található ryanodin-receptorokhoz (RyRs) csatlakoznak, meggátolva azok működését. Ennek következtében kontrollálatlan kalciumion-beáramlás következik be, amely a kártevők bénulását okozza (Casida, 2015).

Ezek az imágókkal szemben alkalmazhatók (Haviland et al., 2012; Shower, 2020). Meg kell azonban említeni, hogy a fent említett gazdanövények közül a legjobban sújtott bogyós gyümölcsök többsége folytontermő. A betakarítás a nyári hónapokban folyamatosan zajlik, így az ültetvényben jelen lévő kártevő permetezése az élelmezési várakozási idő betartása miatt korlátozott, vagy kivitelezhetetlen (Gombkötő, 2024). Kémiai védekezésre a gyümölcs végleges lekerülése után van lehetőség. Poyet et al. (2015) megállapították ugyanis, hogy a szederben betakarítás után hirtelen egy újabb rajzásnak indult a kártevő. A szüretet követően a lehullott gyümölcsökben, illetve gyümölcsmúmiákban gyorsan elszaporodott a foltosszárnyú muslica. A globális éghajlatváltozás következménye azonban, hogy a kártevők, kórokozók alkalmazkodóképessége megváltozik, valamint a hatóanyagok rotációjának hiányában egyre inkább rezisztenssé válnak az egyes növényvédelmi kezelésekre, ami további problémákat okoz (Ma et al., 2021; Zhang et al., 2021).

A kutatók a fentieket figyelembe véve több kísérletet végeztek biológiai növényvédelmi technikák kidolgozására.

Bár a biológiai védekezésben nem találtak még egyetlen parazitoid, vagy predátor rovar, amely a *Drosophila suzukii* ellen önmagában teljeskörű, gazdaságilag is fenntartható megoldást nyújtana,



külföldi kísérletekben már léteznek bevált, természetben előforduló parazitoid rovarfajok (parazitadarazsak), amelyek alkalmazása nálunk egyelőre még nem honosodott meg, mert ezek a hasznos szervezetek a hazai éghajlati körülmények között képtelenek áttelelni. Észak- Amerikában, Oregon, Washington és Kalifornia államban sikeresnek bizonyultak a *Ganaspis kimorum* Buffington, (2024), *Trichopria drosophilae* Perkins (1910), *Leptopilina japonica* Novkovič és Kimura, (2011), valamint *Pachycrepoidus vindimmae* Rondani, (1875) fajok betelepítésére irányuló kísérletek (Jarrett et al., 2022). Európában több országban is belekezdtek kiterjedt vizsgálatokba, hogy a megfelelő parazitoid szervezetekkel vegyék fel a versenyt a *Drosophila suzukii* kártevő ellen. Giorgini et al. (2019) olaszországi vizsgálataikba hét *Braconidae* fajt, egy *Asobara* fajt és *Leptopilina japonica*-t vizsgálta, mint lárvaparazitoidot. A bábparazitoidok közül a *Trichopria drosophilae diapriida* és a *Pachycrepoideus vindemiae pteromalid* kerültek a kísérletbe. Svájcban hasonló kísérleteket végeztek, amelynek során az alábbi fajokkal próbálkoztak: *Pachycrepoideus vindemiae*, *Leptopilina heterotoma*, Thomson (1862), *Leptopilina boulardi* Barbotin et al. (1979), *Trichopria* fajok, illetve két *Pteromalidae* faj. Bár egyes fajok hatékonyak bizonyultak, széleskörű elszaporításuk a változó klimatikus viszonyok miatt akadályokba ütközött (Knoll et al., 2017).

Az őshonos természetes ellenségekkel végzett vizsgálatok során arra a következtetésre jutottak, hogy ezeknek a fajoknak nincs koevolúciós múltjuk az egzotikus fajokkal (jelen esetben a *Drosophila suzukiival*), így általában kevésbé hatékonyan támadják őket (Kraaijeveld et al., 2001; Abram et al., 2017; Kruitwagen et al., 2018). Ezenkívül az új gazdaszervezethez való alkalmazkodás akadályozott lehet a vadonban, ahol mind az új, mind az őshonos gazdaszervezet elérhető (Jarrett et al., 2022). Évekkel ezelőtt megindultak a vizsgálatok arra vonatkozóan, hogy a növények ellenállóképességét hogyan lehetne növelni oly módon, hogy saját maga vegye fel a küzdelmet adott kórokozóval szemben. A fürtös gyümölcsöknél megfigyelhető ezen kívül, hogy a kocsányok megnyúlásával a növény lazább struktúrájú lesz, így kevésbé képesek a különböző károsító szervezetek megtelepedni rajta (Harinda Champa et al., 2014). Külföldi kísérletek hatásosnak találták a jázmonsav, valamint a szalicilsavval történő permetezést.

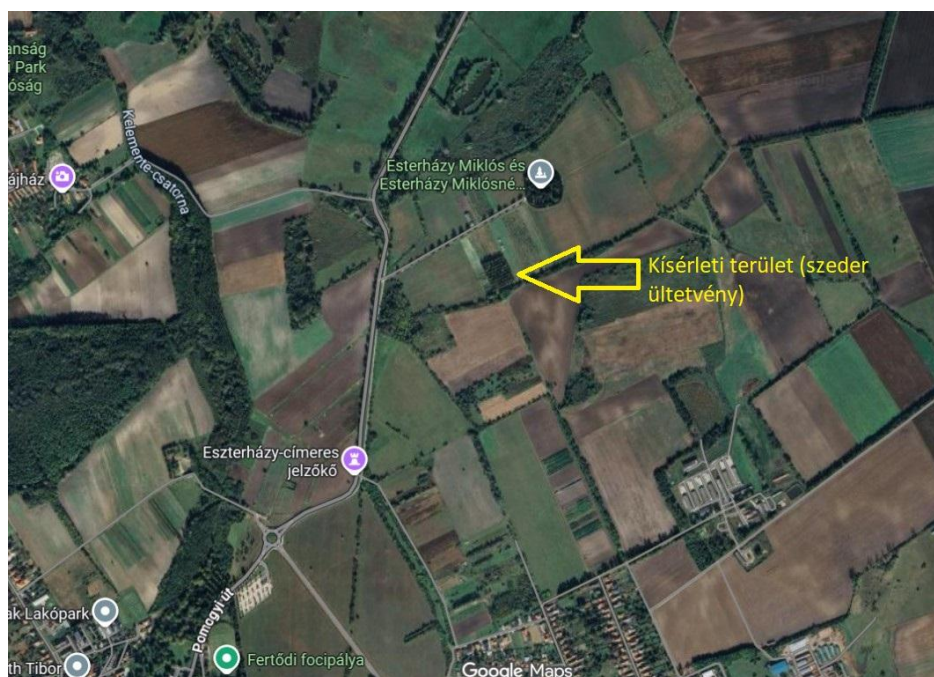
A szalicilsav az egyik legfontosabb növényi hormon, amely különféle stresszválaszokat és fejlődést szabályoz, például a kórokozókkal szembeni rezisztenciát, a virágzást, a termogenezist, az öregedést és az abiotikus stresszválaszokat. Ezek közül a funkciók közül a növényi immunválaszban betöltött szerepét tanulmányozták leggyakrabban (Gaffney et al., 1993; Kim és Lim, 2023; Zhang et al., 2025). A növényi immunrendszer nagyon összetett. A védekező válaszokat az alábbiak válthatják ki: a mikrobákhoz kapcsolódó molekuláris mintázatok (MAMP által kiváltott immunitás – MTI), effektor fehérje egy fertőzés során (ETI). Ezeken túlmenően létezik egy szisztémás szerzett rezisztencia (SAR) (Ross, 1961). Számos tanulmány kimutatta, hogy a SA központi szerepet játszik ebben az immunválaszban, ami antimikrobiális fehérjék felhalmozódásához és szisztémás védelemhez vezet a növény egészében. (Delaney et al., 1994; Yan et al., 2014; Koo, 2020; Hou et al., 2022). Mivel ez indukálható immunválasz, azóta széleskörű vizsgálatokat indítottak, hogy a specifikus kórokozókkal szemben hogyan lennének képesek megnövelni a növény ellenállóképességét ezen vegyület segítségével (Ward et al., 1991; Shimono et al., 2012; Vlot et al., 2021). Megállapították, hogy az immunitásban betöltött szerepével együtt szükség van erre a hormonnra a megfelelő gyökérmikrobiom kialakulásához is, aminek további szerepe lehet a kórokozókkal szembeni védekezésben (Zhang et al., 2019). A szalicilsav szintézise indukálható mind a lokális, mind a szisztémás szövetekben, ahol a sejthalál antagonistájaként, tehát a sejtek túlélésében játszhat szerepet a korábban említett, kórokozókkal szembeni védelem mellett (Fu et al. 2012; Zavaliev et al. 2020). Meg kell említeni emellett, hogy ez a vegyület detoxifikálja a káros reaktív oxigénfajtákat,

így indukálva a rezisztencia kialakulását (Király, 2004). A magasabb szalicilsavszint a kártevők elleni védekezésben is szerepet játszik. Egyrészt közvetlenül is gyengítheti a rovar immunrendszerét azáltal, hogy emésztőrendszerüket megzavarja. Közvetetten pedig azáltal, hogy a szalicilsav jelűtja kölcsönhatásban áll a más hormonok (pl. jázmonsav, etilén) által szabályozott védekezési útvonalakkal. Ez az úgynevezett crosstalk, amelynek révén a növény védekezési stratégiába kezd a kártétel ellen (pl. mérgező, vagy riasztó anyagok felszabadítása) (Tian et al., 2025).

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

A *Drosophila suzukii* egy évtizeddel ezelőtti megjelenése után az országban nagyon gyorsan elterjedt. A MATE KERTI GYKI Fertődi Kutatóállomásán is hamar jelentkezett a probléma. Erre reagálva, 2019 óta folynak adatgyűjtések annak megismerésére, hogy mekkora kártétellel kell számolni a különböző bogyós gyümölcsökben.

A kísérleti terület Fertőd város északi oldalán található, az úgynevezett Sírdombon, egy erdősáv mellett (2. ábra). Az intézmény kereteiben itt bodza, szeder, málna, szamóca, fekete berkenye, ribiszke fajtanemesítés folyik, amely mind a *Drosophila suzukii* tápnövénylistáján szerepel.



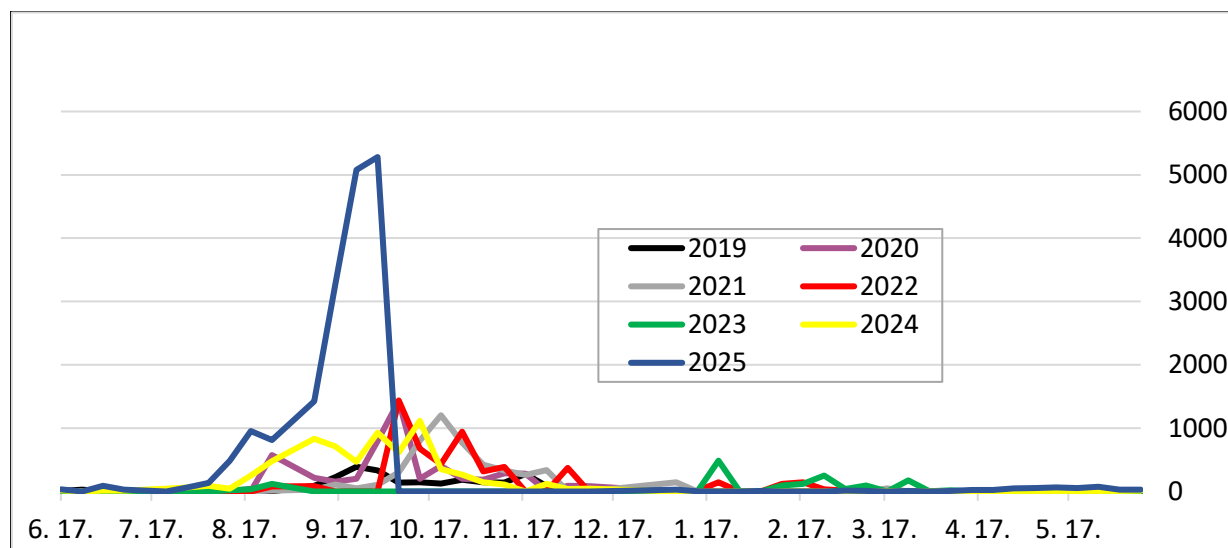
2. ábra: A MATE KERTI GYKI kísérleti területe (Fertőd)

Forrás: Googlemaps

Az egyedszámok megállapítására, a rajzásdinamika nyomon követésére csapdázásos módszer került bevezetésre. A málna, a szeder, illetve a bodza ültetvényekbe 2-2 csapda került kihelyezésre. Ezenkívül az ültetvény melletti erdősávba is kerültek csapdák, valamint a környéken elhelyezkedő tiszafákon egyaránt. Ezek eleinte Csalomon® Varl típusú varsás csapdák voltak, majd a fenntarthatóság és környezetvédelem jegyében ezek Red Vaso Trap csapdákkal kerültek lecserélésre. Ez utóbbi ugyanis jóval kevesebb műanyag felhasználásával készül.

A többféle csalogatóanyag kipróbálása után leghatékonyabbnak az almaecet és almaecet- etanol keveréke bizonyult. Almaecetből 100 ml kerül a csapdába, míg a keverék 100 ml almaecet és 10 ml etanol (vörösbor) hozzáadásával készül.

A csapdák egész évben kinn vannak a vizsgálati területen, begyűjtésük a fogott muslicákkal együtt hetente történt. A laborba került minta kiértékelésére egy Delta SZ-450 sztereomikroszkóp állt rendelkezésre. A petri csészére helyezett rovarok közül első körben kiválasztásra és elkülönítésre kerültek az egyéb fajok. Ezután a hím és nőivarú muslicák száma külön- külön került feljegyzésre. Az adatok rendszerezése Excel táblázatban történt. Ebben feltüntetésre került az időpont, a csapda helye, a csapdában alkalmazott csalogatóanyag, valamint a fogott egyedszám, nemenként. Az adatokat összegezve, majd a kihelyezett csapdák számával leosztva megkaptuk az átlagos, csapdánkénti darabszámot adott időpontban (3. ábra).



3. ábra: Átlagos csapdánkénti *Drosophila suzukii* fogásszám (Fertőd, 2019-2025)

A diagramból kitűnik, hogy a kártevő rajzása éveken belül szezonálisitást mutat. Télen alig található az ültetvényen *Drosophila suzukii*. Tavasszal a telelőhelyről kezdenek betelepülni a rovarok. Eleinte főként a nőivarú egyedek jelennek meg. Nyár közepén indul a rajzás. Egyre több hím egyed jelenik meg, és hatalmas mértékű fertőzöttséget okoznak, akár 4000-5000 db/csapda egyedszám is megfigyelhető a kora őszi hetekben. Ezt a megállapítást korábban Zerulla és munkatársai (2015) is publikálták, a Fertődi vizsgálatok ezt teljes mértékben alátámasztották. A diagramból az is kitűnik, hogy melegebb nyarakon előbb kezdődik a rajzás, tovább elnyúlik, míg hűvösebb nyarakon később jelennek meg a kártevők nagyobb számban. Megfigyelhető, hogy 2025-ben az átlagnál kissé hűvösebb, párásabb időjárásnak köszönhetően minden eddiginél nagyobb egyedszám volt mérhető. Két vizsgálati évben, 2022-ben és 2023-ban a tél közepén egy kisebb mértékű utórajzás is megjelent. A fenti adatokat elemezve az a következtetés vonható le, hogy az egyre nagyobb mértékű fertőzés sürgetővé teszi a minél hatékonyabb növényvédelmi eljárás kidolgozását.

A MATE SZBI Kecskeméti Kutatóállomásán éveken ezelőtt belekezdtek a szalicilsavas kezelésbe szőlőn, ami pozitív eredményeket hozott a kártevővel való küzdelemben.

Ezután, 2024-ben a MATE KERTI GYKI Fertődi Kutatóállomása is becsatlakozott a kísérletekbe.



Mivel a tapasztalatok azt mutatták, hogy a csapdafogások a szederben voltak a legmagasabbak, illetve a gyümölcs károsodása is itt mutatkozott meg leginkább, ezért a kísérletre ebben az ültetvényben került sor.

A parcellán kilenc sorban található szeder, részben nyárfa takarásban. A sorok 80 méter hosszúak, támrendszerezsek. A vizsgálatba vont területen három fajta szeder található: 'Hull', 'Chester' és 'Dirksen'. A kezelési területek kiválasztása véletlenszerűen történt, szemelőtt tartva, hogy a kísérleti minta egyes részei napos helyeken, míg más részei fával takartan helyezkedjenek el. Megállapítható tehát, hogy a mintavételezés reprezentatív módon történt. A kezelések (szürke színnel jelöltek) egy-egy lábközre vonatkoztak, amelyeket az 1. táblázat szemléltet.

1. táblázat: A szalicilsavval kezelt (szürke színnel jelzett) szeder növények elhelyezkedése a kísérleti parcellán (Fertőd, 2024-2025)

Fajta	'Hull'			'Chester'			'Dirksen'		
Napos	1/12	2/12	3/12	1/12	2/12	3/12	1/12	2/12	3/12
	1/11	2/11	3/11	1/11	2/11	3/11	1/11	2/11	3/11
	1/10	2/10	3/10	1/10	2/10	3/10	1/10	2/10	3/10
Nyárfával takart	1/9	2/9	3/9	1/9	2/9	3/9	1/9	2/9	3/9
	1/8	2/8	3/8	1/8	2/8	3/8	1/8	2/8	3/8
	1/7	2/7	3/7	1/7	2/7	3/7	1/7	2/7	3/7
	1/6	2/6	3/6	1/6	2/6	3/6	1/6	2/6	3/6
	1/5	2/5	3/5	1/5	2/5	3/5	1/5	2/5	3/5
	1/4	2/4	3/4	1/4	2/4	3/4	1/4	2/4	3/4
	1/3	2/3	3/3	1/3	2/3	3/3	1/3	2/3	3/3
	1/2	2/2	3/2	1/2	2/2	3/2	1/2	2/2	3/2
	1/1	2/1	3/1	1/1	2/1	3/1	1/1	2/1	3/1
	1. sor	2. sor	3. sor	1. sor	2. sor	3. sor	1. sor	2. sor	3. sor

Az 1. táblázatban a jelzésekben az első szám a sorok számát jelöli, a választó jelek után a lábközök kerültek feltüntetésre. 2024-ben első körben került sor szalicilsavas növénykondicionáló kijuttatására. Ehhez a Kecskeméten már sikerrel alkalmazott Plantonic növénykondicionáló készítmény került felhasználásra. Hatóanyaga: 3 % metil acetát. A szer kijuttatására háti permetező segítségével került sor. 10 liter vízhez 100 ml növénykondicionáló került bekeverésre. A készítmény dobozán található felhasználási javaslat volt az irányelv a növényvédelmi kezelés időpontjának meghatározásához. A permetezésre két alkalommal került sor: április 25-én, valamint június 13-án. Ezután szüneteltetésre került a kezelés, az ajánlás ugyanis nem javasolja a virágzás alatti felhasználást. Tervben volt még egy harmadik, érés előtti növénykondicionálás permetezés, a csapadékos, illetve szeles időjárás azonban nem tette lehetővé. A szeder gyorsan érésnek indult, így a további kezelések elmaradtak.

A második évben, 2025-ben 4 alkalommal történt kezelés. A Plantonic mellett ebben az évben további mikroelemek kijuttatására is sor került, amelyek további biztonságot jelentenek a növények számára a gombás betegségekkel szemben. A kezelések az alábbiak szerint történtek:

- 2025. április 9: Plantonic növénykondicionálószer (0,1 %-os oldat), valamint vashiány megelőzésére Geomicro Vas+ B, Cu (1 %-os oldat) mikroelemtrágya;
- 2025. április 29: Plantonic növénykondicionálószer (0,1 %-os oldat), valamint vashiány megelőzésére Geomicro Vas+ B, Cu (1 %-os oldat) mikroelemtrágya;



- 2025. május 14: Plantonic növénykondicionálószer (0,1 %-os oldat), valamint vashiány megelőzésére Geomicro Vas+ B, Cu (0,1 %-os oldat) mikroelemtrágya;
- 2025. május 27: Plantonic növénykondicionálószer (0,1 %-os oldat), valamint Geomicro Bór+ Mo (0,1 %-os oldat) mikroelemtrágya.

A gyümölcsök fertőzöttségének megállapításához sor került mintaelemzésre. A kezelt és kezeletlen területekről tíz-tíz darab gyümölcs került begyűjtésre reprezentatív módon, több töről. Az egyes bogyók azonban nem azonos érettségben voltak. A halvány pirostól a sötét, feketés színűig egyaránt került a halmazba, odafigyelve azonban arra, hogy ezek az érettségi változatok mind a kezelt, mind a kezeletlenek között meglegyenek. 2024-ben hét és 2025-ben hat alkalommal került sor a minták szedésére, a július közepe – szeptember közepe intervallumban.

A vizsgálatokat elvégzésére laboratóriumban került sor, ahol a minták boncolása zajlott, és a benne talált lárvák közül a *Drosophila suzukii* fajhoz tartozók kiválasztása és számolása, hasonlóan a csapdák fogási adatainak meghatározásánál leírtakkal. A beazonosítás és egyedszámmeghatározás a sztereomikroszkóp segítségével történt. Az adatok rögzítése Excel táblázatban történt. Az adatok kiértékelése során először a bogyónkénti átlagos lárvaszám kiszámítására került sor, majd a tisztább átláthatóság érdekében a két év adataiból dobozdiagramok készültek

Ezután került sor a statisztikai elemzésre. Annak megállapítására, hogy a kezelt és kezeletlen halmaz számadatai között tudunk-e kimutatni szignifikáns különbséget, az adatokat Mann-Whitney féle U tesztnek vetettük alá. Azért esett a választás erre a módszerre, mert a Saphiro-wilk teszt eredményei alapján az adatok nem közelítik meg a normális eloszlás elfogadható szintjét, tehát ebben az esetben nem parametrikus adatokról van szó (McKnight et al., 2010; MacFarland et al., 2016).

4. EREDMÉNYEK

A kísérleti parcella monitorozása, szemrevételezése hetente történt. A kezelt és kezeletlen növények habitusában szemmel látható különbség nem volt megfigyelhető. Mivel a szalicilsav a növény immunrendszerét erősíti, repellens hatása nincs, ezért a fogott egyedek számában sem mutatkozott különbség az előző évekhez képest, sőt a 2025-ös évben minden eddigénél több *Drosophila suzukii* volt a csapdákból, ami valószínűleg a párásabb nyári napoknak volt köszönhető. Megállapítható, hogy mindkét évben az augusztus 20-i héten, majd azt követő két hétben tartalmazták a minták a legtöbb lárvát. Ez összefüggésben állhat a korábban említett, éven belüli szezonálitással, valamint az imágók számát feltáró csapdázásos kísérletekkel is összhangban áll, ugyanis a diagramon (2. ábra) látszik, hogy szeptember közepétől számolhatunk a legnagyobb mennyiségű kifejlett egyeddel.

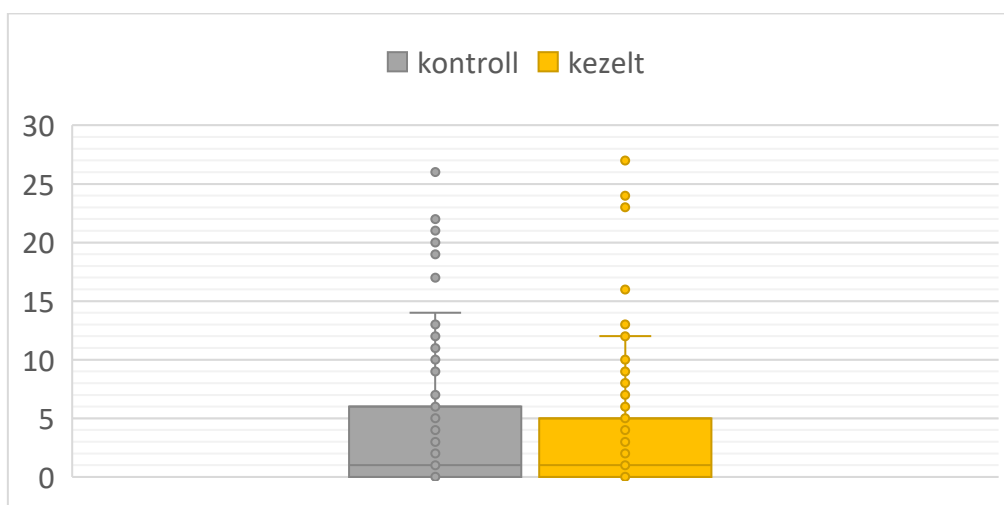
Az eredményekből kitűnik, hogy mindkét évben alacsonyabb volt az összes- és átlagos lárvaszám a kezelt mintákban (2. táblázat). 2024-ben az összes lárvá mintegy 12,7 %-kal volt kevesebb a kezelt állományban, mint a kontrollban, míg 2025-ben ez az arány még magasabb, 40 % volt. Külön kiemelendő, hogy míg a bogyónkénti átlagos lárvaszám a kontroll csoportban körülbelül egyforma volt mindkét évben, addig a kezelt növényeken 30,9 %-kal kevesebb volt megtalálható.



2. táblázat: A minták összes- és bogyónkénti átlagos lárvaszáma (Fertőd, 2024-2025)

	Összes lárva (db)		Bogyónkénti átlagos lárvaszám (db)	
	2024	2025	2024	2025
Kontroll	299	262	8,4225	8,5902
Kezelt	261	155	7,3521	5,0820

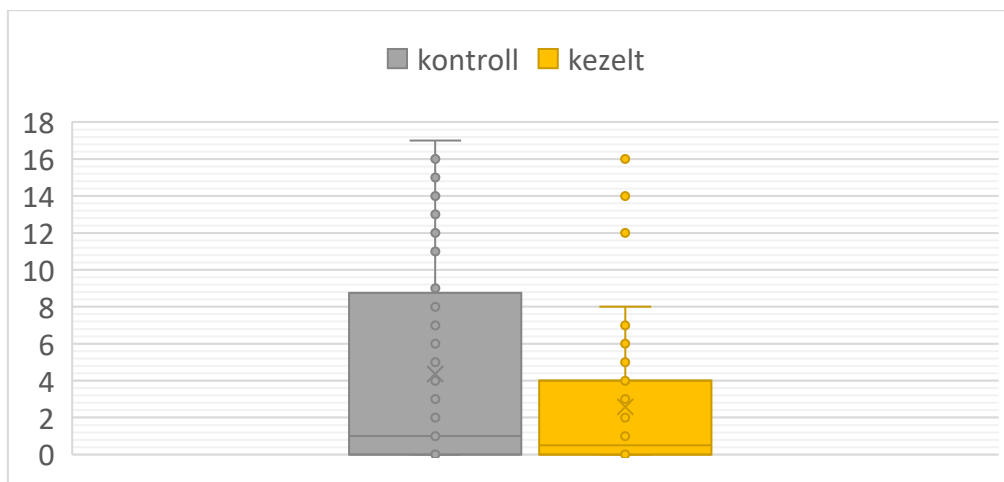
A 4-5. ábra a 2024, valamint 2025-ös évek bogyónkénti lárvaszámát szemlélteti dobozdiagramban.



4. ábra: A *Drosophila suzukii* bogyónkénti lárvaszáma szeder gyümölcsben, db/1 bogyó (Fertőd, 2024)

A diagramból (4. ábra) kitűnik, hogy a kezelt csoportban a medián lárvaszám alacsonyabb, mint a kontroll csoportban. A kontroll mintában a medián megközelítőleg 5-6 lárva/bogyó, míg a kezelt mintában ez az érték 2-3 lárva/bogyó körül van. Ez arra utal, hogy a kezelés hatékonyan csökkentette a kártevők átlagos populációját.

Mindkét csoportban nagy variabilitás figyelhető meg, amit a széles interkvartilis tartományok és a jelentős számú kiugró értékek is mutatnak. Megállapítható, hogy bár a kezelt csoportban alacsonyabb a median értéke, itt is megfigyelhetők kiugróan magas értékek (24-27 lárva/bogyó), ami arra utalhat, hogy a kezelés hatékonysága nem volt egyenletes minden mintavételi területen.



5. ábra: A *Drosophila suzukii* bogyónkénti lárvaszáma szeder gyümölcsben, db/bogyó (Fertőd, 2025)

Az 5. ábrában jól kivehető, hogy a kezelt minták lárvaszáma alacsonyabb értéket mutatott, mint a kontroll mintáké. A kontroll vizsgálati csoportban a medián megközelítőleg 1 lárva volt bogyónként (az adatok jelentős része a 0-9 db lárva/bogyó tartományban szóródik (interkvartilis terjedelem (IQR), sok jelentősen kiugró értékkel (ezek 10 és 17 között szóródnak).

A kezelt területről bekerült minták esetében megállapítható, hogy a medián körülbelül 2 db lárva/bogyó, és az adatok jelentős része itt szűkebb tartományban (0-4) között helyezkedett el. Ez kisebb szórást jelent a kontroll csoporthoz képest. Megfigyelhető azonban itt is néhány kiugróan magas érték: 12, 14 és 16 db lárva/bogyó.

A fentieket figyelembe véve elmondható, hogy valószínűleg az alkalmazott kezelésnek tudható be, hogy a kontrollhoz képest alacsonyabb a lárvaszám a kezelt mintákban. Megemlítenéd ezen kívül, hogy az interkvartilis tartományon belül a kezelt minták adatainak szórása kisebb mértékű.

Még ha egyértelmű különbséget mutatnak is a diagramok, önmagában ez nem elegendő a kezelés hatékonyságának igazolására. A továbbiakban a szignifikancia ellenőrzésére valamilyen statisztikai tesztre volt szükség. Jelen esetben, mivel a minta értékei nem normális eloszlásúak, ezért Mann-Whitney teszt került alkalmazásra.

A Mann-Whitney U próba elvégzése után az alábbi következtetések vonhatók le. A 2024-es adatokkal számolva az U érték 2044 lett. $\alpha = 0,01$ szignifikanciaszinten vizsgálva megállapítható, hogy mivel a kapott U-érték nagyobb, mint a kritikus U-érték (1832), ezért a nullhipotézist nem utasíthatjuk el, tehát a két eloszlás nem mutat szignifikáns különbséget. Magasabb szignifikanciaszinten vizsgálva először $\alpha = 0,1$ szignifikanciaszinten található olyan kritikus U-érték (2055), amely nagyobb a számított U-értéknél. Ebből az a következtetés vonható le, hogy $\alpha=0,1$ szignifikanciaszinten vizsgálva az értékeket a nullhipotézist elutasítható, a két eloszlás között szignifikáns különbség mutatkozik. Ez azonban enyhe mértékű szignifikancia.

A 2025-ös adatokra elvégzett Mann-Whitney U próba elvégzése során a kapott U-érték 1569 volt. Több szignifikanciaszinten vizsgálva is alacsonyabb a kritikus U érték a kapottnál ($\alpha = 0,01$ szinten $U_{\text{Kritikus}} = 1309$; $\alpha = 0,05$ szinten $U_{\text{Kritikus}} = 1427$; $\alpha = 0,1$ szinten $U_{\text{Kritikus}} = 1487$), tehát a nullhipotézis mindhárom esetben elutasítandó, és megállapítható, hogy a két eloszlás között nem mutatkozik szignifikáns különbség.



5. KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

A *Drosophila suzukii*, azaz pettyesszárnyú, vagy foltosszárnyú muslica 12 évvel ezelőtt jelent meg Magyarországon. A bogyós gyümölcsök egyik legveszélyesebb kártevőjének számít, ugyanis a mai napig nem létezik ellene tökéletesen kidolgozott növényvédelmi stratégia.

A MATE KERTI GYKI Fertődi Kutatóállomáson végzett csapdás egyedszámmeghatározások egyre súlyosbodó problémát mutatnak a 2019-es év óta. 2025-ben soha nem tapasztalt méretű egyedszámban történt a rajzás a kísérleti parcellán. A bogyós gyümölcsök közül legjobban a szedret sújtotta a kártétel, de a többi fajon ugyanúgy hatalmas veszteséget okozott. Deutsch és Kiss (2021) megállapították, hogy Magyarországon a legnagyobb számú imágót szeptember- októberben fogták. Ezt a fertődi gyümölcsültetvényen begyűjtött csapdafogások alátámasztják. A Carbonbrief (Hausfather, 2025) az éghajlat állapot vizsgálata során megállapította, hogy a 2025-ös év – az El Niño jelenségnek is köszönhetően – még a korábbi éveknél is melegebbnek és szárazabbnak bizonyult. Valószínűleg az eddig mért második, vagy harmadik legmelegebb esztendővel állunk szemben. A MATE Fertődi Kutatóállomásán 2025-ben rekord mennyiségű *Drosophila suzukii* imágót fogtak a csapdák, amely valószínűleg összefüggésbe hozható a kiemelkedően magas hőmérséklettel.

Évek óta kísérletek folynak a legmegfelelőbb növényvédelmi technológia kidolgozására. 2024-től a MATE SZBI Kecskeméti Kutatóállomás kutatóinak javaslatára kezdődött meg egy szalicilsav tartalmú növénykondicionáló készítmény alkalmazása. A szőlészetben a kutatók azt tapasztalták, hogy növényeik lazább fűrtűek lettek, a levelek kevésbé záródtak össze, ezáltal a kórokozóknak és kártevőknek kedvezőtlenebbek lettek a körülmények az elszaporodáshoz (Németh et al., 2024). Ugyanezen eredményeket tapasztalták Zhang és munkatársai (2025). A fertődi vizsgálatok során szeder gyümölcsön ugyanez nem volt szembeötlő. Bár a szemrevételezés szubjektív módon zajlott, a kezelt növények külső megjelenése nem különbözött a kontroll egyedektől.

Tian és munkatársai (2025) megállapították, hogy a szalicilsavval történő kezelés hatására növelhető a növények immunitása, és csökkenthető a kártevők által okozott probléma. A szederben végzett kísérletek végeredményeképpen elmondható, hogy bár szignifikáns különbség nem volt kimutatható a kezelt és kezeletlen növények között, az adatokat megvizsgálva látható, hogy kismértékben, de alacsonyabb volt a muslicalárvák száma a Plantonic növénykondicionáló készítménnyel kezelt egyedeken. Különösen a bogyónkénti lárvaszám esetében érdekes, hogy a kezelt mintákban a második évben az elsőnél is jóval kevesebb kártevő volt megtalálható (2. táblázat). Ez összefüggésben állhat azzal, hogy a szalicilsav kijuttatására több alkalommal került sor, mint előtte éven.

Megállapítható, hogy kiegészítő kezelésként a szalicilsavas kezelés jó alternatívaként szolgál a biológiai növényvédelemben. Valószínűleg önmagában kevésnek bizonyul a teljes kártevőmentesség elérésében, de egyéb mikrotápanyagokkal, esetleg repellensekkel hatékony lehet.

Mind a világon, mind Magyarországon viszonylag kevés vizsgálat folyt azzal kapcsolatban, hogy a *Drosophila suzukii* ellen milyen hatékonysággal alkalmazhatók a szalicilsavas növénykondicionáló készítmények. Mivel a MATE KERTI GyKI Fertődi kísérleti parcelláin két év eredményeit tekintve sikeresnek mondható a kezelés, ezért javasolt lenne további kísérletek beállítása, esetleg egyéb készítmények bevonásával.



Damage Caused by the Spotted Fruit Fly (*Drosophila suzukii* Matsumura, 1931) to Berries and the Potential Use of Salicylic Acid in Pest Control

CSILLA GOMBKÖTŐ*, ÁGNES KOLLÁNYI, GÁBOR KOLLÁNYI, JENŐ VARGA

Hungarian University of Agriculture and Life Sciences, Institute of Horticultural Sciences

Fruit Growing Research Centre, Fertőd Research Station, Sarród, Hungary

ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0000-4689-2858>

Email: Gombkoto.Csilla@uni-mate.hu

ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0004-7999-0891>

ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0008-8533-7628>

*Corresponding author/Levelező szerző

ABSTRACT

Drosophila suzukii is a horticultural pest originating from East-Asia that is now widespread globally and causes significant economic losses in berry crops and certain stone fruits. Females possess a serrated ovipositor, enabling them to lay eggs in ripening fruit. As a result, infested berries often drop prematurely, become affected by secondary infections (fungal and bacterial), and are rendered unmarketable. Since there is currently no fully effective control method available in Hungary, the development of alternative strategies is a priority. In berry production, compliance with pre-harvest intervals presents a particular challenge because many species are continuously fruiting or everbearing. Consequently, the development of biological or low-residue plant protection methods is highly desirable. Over recent years, experiments have been conducted to develop natural repellents, the use of parasitoid species, and physical protection strategies, such as isolation; however, these methods and technologies have often failed to deliver consistent results. Following recommendations from plant physiology specialists, experiments using salicylic acid and jasmonic acid formulations were initiated. Both compounds are known to enhance plant immunity by inducing systemic defence responses, thereby improving resistance to pests and pathogens.

The study presents results from trials using a plant conditioning preparation containing salicylic acid, conducted at the Fertőd Research Station of MATE KERTI GYKI. In both 2024 and 2025, a reduction in larval population density within berries was observed. These findings indicate that salicylic acid represents a promising supplementary tool in the control of *D. suzukii*, warranting further investigation under field conditions.

Keywords: *Drosophila suzukii*, berry fruits, everbearings, salicylic acid, systemic acquired resistance



REFERENCES

- Baser, N., Ouantar, M., Broutou, O., Lamaj, F., Verrastro, V., & Porcelli F. (2015). First finding of *Drosophila suzukii* (Matsumura) (Diptera: Drosophilidae) in Apulia, Italy, and its population dynamics throughout the year. *Fruits*, 70(4), 225-230. <https://revues.cirad.fr/index.php/fruits/article/view/32089>
- Bing, X-L., Winkler, J., Gerlach, J., Loeb, G., & Buchon, N. (2020). Identification of natural pathogens from wild *Drosophila suzukii*. *Pest Management Science*, 77(4), 1594-1606. <https://doi.org/10.1002/ps.6235>
- Buck, N., Fountain, M-T., Potts, S-G., Bishop, J., & Garratt, M-P-D. (2022). The effects of non-crop habitat on spotted wing drosophila (*Drosophila suzukii*) abundance in fruit systems: A meta-analysis. *Agricultural and Forest Entomology*, 25(1), 66-76. <https://doi.org/10.1111/afe.12531>
- Calabria, G., Maca, J., Bächli, G., Serra, L., & Pascual, M. (2012). First records of *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) in Europe. *Journal of Applied Entomology*, 136(1-2), 139-147. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.2010.01583.x>
- Casida, J. (2015). Golden Age of RyR and GABA-R Diamide and Isoxazoline Insecticides: Common Genesis, Serendipity, Surprises, Selectivity and Safety. *Chemical research in toxicology*, 28. <https://doi.org/10.1021/tx500520w>
- Cini, A., Ioriatti, C., & Anfora, G. (2012). A review of the invasion of *Drosophila suzukii* in Europe and a draft research agenda for integrated pest management. *Bulletin of Insectology*, 65, 149-160.
- Crava, C. M., Zanini, D., Amati, S., Sollai, G., Crnjar, R., Paoli, M., Rossi-Stacconi, M. V., Rota-Stabelli, O., Tait, G., Haase, A., Romani, R., & Anfora, G. (2020). Structural and transcriptional evidence of mechanotransduction in the *Drosophila suzukii* ovipositor. *Journal of Insect Physiology*, 125. <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2020.104088>
- Delaney, T. P., Uknes, S., Vernooij, B., Friedrich, L., Weymann, K., Negrotto, D., Gaffney, T., Gut-Rella, M., Kessmann, H., Ward, E., & Ryals, J. (1994). A central role of salicylic Acid in plant disease resistance. *Science*, 266(5188), 1247-1250. <https://doi.org/10.1126/science.266.5188.1247>
- Deutsch, F., & Kiss, B. (2021). Seasonal Abundance Changes of Spotted Wing *Drosophila* in Neighbouring Habitats in Hungary. In *Proceedings of the 1st International Electronic Conference on Entomology*, MDPI: Basel, Switzerland, 1-15 July 2021. <https://doi.org/10.3390/IECE-10488>
- Fu, Z. Q., Yan, S., Saleh, A., Wang, W., Ruble, J., Oka, N., Mohan, R., Spoel, S. H., Tada, Y., & Zheng, N. (2012). NPR3 and NPR4 are receptors for the immune signal salicylic acid in plants. *Nature*, 486(7402), 228-232. <https://doi.org/10.1038/nature11162>
- Fukuto, T. R. (1990). Mechanism of action of organophosphorus and carbamate insecticides. *Environmental Health Perspectives*, 87, 245-254. <https://doi.org/10.1289/ehp.9087245>
- Gaffney, T., Friedrich, L., Vernooij, B., Negrotto, D., Nye, G., Uknes, S., Ward, E., Kessmann, H., & Ryals, J. (1993). Requirement of salicylic Acid for the induction of systemic acquired resistance. *Science*. 261(5122), 754-756. <https://doi.org/10.1126/science.261.5122.754>. PMID: 17757215
- Giorgini, M., Wang, X-G., & Wang, Y., ... & Guerrieri, E. (2019). Exploration for native parasitoids of *Drosophila suzukii* in China reveals a diversity of parasitoid species and narrow host range of the dominant parasitoid. *Journal of Pest Sciences*, 92, 509-522. <https://doi.org/10.1007/s10340-018-01068-3>
- Gombkötő, Cs. (2024). Októberben tetőzik a rajzás. *Kertészet és Szőlészet*. 73(40), 13.



- Guédot, C., Avanesyan, A., & Hietala-Henschell, K. (2018). Effect of Temperature and Humidity on the Seasonal Phenology of *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) in Wisconsin. *Environmental Entomology*, 47(6), 1365-1375. <https://doi.org/10.1093/ee/nvy159>
- Harinda Champa, W. A., Gill, M. I. S., Mahajan, B. V. C., & Arora, N. K. (2014). Preharvest salicylic acid treatments to improve quality and postharvest life of table grapes (*Vitis vinifera* L.) cv. Flame Seedless. *Journal of Food Science and Technology*, 52(6), 3607-3616. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1422-7>
- Hausfather, Z. (2025, July 29). State of the climate: 2025 on track to be second or third warmest year on record. *CarbonBrief*. <https://www.carbonbrief.org/state-of-the-climate-2025-on-track-to-be-second-or-third-warmest-year-on-record>
- Haviland, D. R., & Beers, E. H. (2012). Chemical Control Programs for *Drosophila suzukii* that Comply With International Limitations on Pesticide Residues for Exported Sweet Cherries. *Journal of Integrated Pest Management*, 3(2), F1–F6. <https://doi.org/10.1603/IPM11034>
- Horváth, Cs. (2023). Nagy gond a foltösszárnyú muslinca elleni védekezés. *Kertészet és Szőlészet*, 72(41), 12-13.
- Hou, S., & Tsuda, K. (2022). Salicylic acid and jasmonic acid crosstalk in plant immunity. *Essays in Biochemistry*, 66(5), 647-656. <https://doi.org/10.1042/EBC20210090>
- Ioriatti, C., Guzzon, R., Anfora, G., Ghidoni, F., Mazzoni, V., Villegas, T. R., Dalton, D. T., & Walton, V. M. (2018). *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae) Contributes to the Development of Sour Rot in Grape. *Journal of Economic Entomology*, 111(1), 283-292. <https://doi.org/10.1093/jee/tox292>
- Jarrett, B. J. M., Linder, S., Fanning, P. D., Isaacs, R., & Szűcs, M. (2022). Experimental adaptation of native parasitoids to the invasive insect pest, *Drosophila suzukii*. *Biological Control*, 167. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2022.104843>
- Kanzawa, T. (1939). Studies on *Drosophila suzukii* Mats. Kofu. *Review of Applied Entomology*, 29, 622.
- Keeseey, I-W., Knaden, M., & Hansson, B-S. (2015). Olfactory specialization in *Drosophila suzukii* supports an ecological shift in host preference from rotten to fresh fruit. *Journal of Chemical Ecology*, 41, 121-128. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10886-015-0544-3>
- Kenis, M., Tonina, L., & Eschen, R. (2016). Non-crop plants used as hosts by *Drosophila suzukii* in Europe. *Journal of Pest Sciences*, 89, 735-748. <https://doi.org/10.1007/s10340-016-0755-6>
- Kim, T-J.; & Lim, G-H. (2023). Salicylic Acid and Mobile Regulators of Systemic Immunity in Plants: Transport and Metabolism. *Plants*, 12(5), 1013. <https://doi.org/10.3390/plants12051013>
- Kinjo, H., Kunimi, Y., & Nakai, M. (2014). Effects of temperature on the reproduction and development of *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae). *Applied Entomology and Zoology*, 49, 297-304. <https://doi.org/10.1007/s13355-014-0249-z>
- Király, Z. (2004). Types and mechanisms of plant resistance (in Hungarian). *Magyar Tudomány*, 10, 1090-1094.
- Kirschbaum, D. S., Funes, C. F., Buonocore-Biancheri, M. J., Suárez, L., & Ovruski, S. M. (2020). The Biology and Ecology of *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae). In Garcia, F. R. M. (Ed.) *Drosophila suzukii Management* (pp. 41-91). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-62692-1_4
- Knoll, V., Ellenbroek, T., & Romeis, J. (2017). Seasonal and regional presence of hymenopteran parasitoids of *Drosophila* in Switzerland and their ability to parasitize the invasive *Drosophila suzukii*. *Scientific Reports*, 7, 40697. <https://doi.org/10.1038/srep40697>



- Koo, Y. M., Heo, A. Y., & Choi, H. W. (2020). Salicylic Acid as a Safe Plant Protector and Growth Regulator. *Plant Pathology*, 36(1), 1-10. <https://doi.org/10.5423/PPJ.RW.12.2019.0295>
- Lee, J. C., Bruck, D. J., Dreves, A. J., Ioriatti, C., Vogt, H., & Baufeld P. (2011). In Focus: Spotted wing drosophila, *Drosophila suzukii*, across perspectives. *Pest Management Science*, 67(11), 1349-1351. <https://doi.org/10.1002/ps.2271>
- Liu, S., Gao, H-H., Chen, H., Zheng, L., Yu, Y., & Zhai, Y. (2019). Effects of temperature and relative humidity on the flight ability of *Drosophila suzukii* and *Drosophila melanogaster*. *Journal of Plant Protection*, 46(6), 1284-1291. <https://doi.org/10.13802/j.cnki.zwbhxb.2019.2018212>
- Ma, C-S., Zhang, W., Peng, Y., Zhao, F., Chang, X-Q., Xing, K., Zhu, L., Ma, G., Yang, H-P., & Rudolf, V-H-W. (2021). Climate warming promotes pesticide resistance through expanding overwintering range of a global pest. *Nature Communications*, 12, 5351. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-25505-7>
- MacFarland, T-W., & Yates, J-M. (2016). Mann–Whitney U Test. In *Introduction to Nonparametric Statistics for the Biological Sciences Using R* (pp. 103-132). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-30634-6_4
- McKnight, P. E., & Najab, J. (2010). *Mann-Whitney U-Test*. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9780470479216.corpsy0524>
- Németh, E-K., Varga, J., Gombkötő, N., Kollányi, Á., Kisé, T-A., & Gombkötő, Cs. (2024). Options of Integrated Pest Management (IPM) of *Drosophila suzukii*. *Gradus*, 11(3). <https://doi.org/10.47833/2024.3.AGR.004>
- Poyet, M., Le Roux, V., Gilbert, P., Meirland, A., Prévost, G., Eslin, P., & Chabrierie, O. (2015). The Wide Potential Trophic Niche of the Asiatic Fruit Fly *Drosophila suzukii*: The Key of Its Invasion Success in Temperate Europe? *PLoS one*, 10(11), e0142785. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0142785>
- Revadi, S., Vitagliano, S., Rossi Stacconi, M. V., Ramasamy, S., Mansourian, S., Carlin, S., Vrhovsek, U., Becher, P. G., Mazzoni, V., Rota-Stabelli, O., Angeli, S., Dekker, T., & Anfora, G. (2015). Olfactory responses of *Drosophila suzukii* females to host plant volatiles. *Physiological Entomology*, 40(1), 54-64. <https://doi.org/10.1111/phen.12088>
- Ross, A. F. (1961). Systemic acquired resistance induced by localized virus infections in plants. *Virology*, 14(3), 340-358. [https://doi.org/10.1016/0042-6822\(61\)90319-1](https://doi.org/10.1016/0042-6822(61)90319-1)
- Sánchez-Bayo, F. (2012). Insecticides mode of action in relation to their toxicity to non-target organisms. *Journal of Environmental and Analytical Toxicology*, S4, S4-002. <https://doi.org/10.4172/2161-0525.S4-002>
- Shawer, R. (2020). Chemical Control of *Drosophila suzukii*. In Garcia, F. R. M. (Ed.) *Drosophila suzukii Management* (pp. 133-142). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-62692-1_7
- Shimono, M., Sugano, S., Nakayama, A., Jiang, C-J. Ono, K., Toki, S., & Takatsuji, H. (2007). Rice WRKY45 plays a crucial role in benzothiadiazole-inducible blast resistance. *The Plant Cell*, 19(6), 2064-2076. <https://doi.org/10.1105/tpc.106.046250>
- Tian, H., Xu, L., Li, X., & Zhang, Y. (2025). Salicylic acid: The roles in plant immunity and crosstalk with other hormones. *Journal of Integrated Plant Biology*, 67(3), 773-785. <https://doi.org/10.1111/jipb.13820>
- Vlot, A. C., Sales, J. H., Lenk, M., Bauer, K., Brambilla, A., Sommer, A., Chen, Y., Wenig, M., & Nayem, S. (2021). Systemic propagation of immunity in plants. *New Phytology*, 229(3), 1234-1250. <https://doi.org/10.1111/nph.16953>



- Walsh, D. B., Bolda, M. P., & Goodhue, R. E., ... & Zalom, F. G. (2011). *Drosophila suzukii* (Diptera: Drosophilidae): invasive species of management concern for sweet cherry, blueberry, and raspberry. *Journal of Integrated Pest Management*, 2(1), 1-7. <https://doi.org/10.1603/IPM10010>
- Ward, E. R., Uknes, S. J., Williams, S. C., Dincher, S. S., Wiederhold, D. L., Alexander, D. C., Ahlgoy, P., Mettraux, J.-P., & Ryals, J. A. (1991). Coordinated gene activity in response to agents that induce systemic acquired resistance, *The Plant Cell*, 3(10), 1085-1094. <https://doi.org/10.2307/3869297>
- Winkler, A., Jung, J., Kleinhenz, B., & Racca, P. (2021). Estimating temperature effects on *Drosophila suzukii* life cycle parameters. *Agricultural and Forest Entomology*, 23. <https://doi.org/10.1111/afe.12438>
- Yan, S., & Dong, X. (2014). Perception of the plant immune signal salicylic acid. *Current Opinion in Plant Biology*, 20, 64-68. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2014.04.006>
- Zavaliev, R., Mohan, R., Chen, T., & Dong, X. (2020). Formation of NPR1 condensates promotes cell survival during the plant immune response. *Cell*, 182(5), 1093–1108.e18. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2020.07.016>
- Zerulla, F. N., Schmidt, S., Streitberger, M., Zebitz, C. P. W., & Zelger, R. (2015). On the overwintering ability of *Drosophila suzukii* in South Tyrol. *Journal of Berry Research*, 5(1), 41-48. <https://doi.org/10.3233/JBR-150089>
- Zhang, Y., & Li, X. (2019). Salicylic acid: biosynthesis, perception, and contributions to plant immunity. *Current Opinion in Plant Biology*, 50. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2019.02.004>
- Zhang, P., Jackson, E., Li, X., & Zhang, Y. (2025). Salicylic acid and jasmonic acid in plant immunity. *Horticultural Researches*, 12 (7): uhaf082. <https://doi.org/10.1093/hr/uhaf082>

©Copyright 2025 by the Authors.

The journal is Open Access (Platinum). This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).





Alternative Fermented Feeds in Ruminant Nutrition: Effects on Rumen Fermentation and Milk Production (A Review)

BERNADETT BANA*, ESZTER ZSÉDELY

Albert Kázmér Faculty of Agricultural and Food Sciences of Széchenyi István University

Department of Animal Science, Mosonmagyaróvár, Hungary

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-3760-8812>

Email: bana.bernadett@sze.hu

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2356-5648>

*Corresponding author/Levelező szerző

Received/Érkezett: 13.06.2025

Revised/Átdolgozva: 22.06.2025

Accepted/Elfogadva: 12.11.2025

Published/Megjelent: 23.12.2025

ABSTRACT

The continuous rise in feed costs and the increasing competition for feed resources have made the search for innovative feeding strategies in ruminant production increasingly urgent. This paper reviews the effects of fermented feeds—including fermented total mixed rations (FTMR) and fermented concentrate ingredients such as soybean meal, corn gluten meal, yellow wine lees, and rapeseed by-products—on rumen fermentation, milk yield, and milk composition. Fermented feeds have received growing attention in recent years, as they have been shown to improve nutrient digestibility, enhance the activity of beneficial ruminal microorganisms, and positively influence fermentation processes. Evidence suggests that their inclusion not only improves milk yield and composition but also enhances feed efficiency and overall animal health indicators. Furthermore, some studies report increased profitability, although available data on cost-effectiveness remain limited. Overall, the use of fermented feeds represents a promising approach to addressing the challenges of modern livestock production and may contribute to the development of more economical and sustainable ruminant husbandry.

Keywords: fermented feed, FTRM, rumen fermentation, milk production, sustainability

1. INTRODUCTION

Animal feed supply is gradually decreasing due to human population growth and various natural phenomena, resulting in high feed costs. In recent decades, feed production costs have increased significantly, placing a heavy burden on farmers. To address this problem, many researchers have focused on developing new, low-cost alternative feeds (Sirohi et al., 2001). According to Jeong et al. (2016), by-products may be the only option for the production of affordable feeds. These by-products, derived from food processing and manufacturing, are not suitable for human consumption (Xu et al., 2007). Feeding strategies such as the use of industrial by-products can help reduce competition for fodder crops and optimize rumen



efficiency. The incorporation of agro-industrial by-products into diets offers strategic advantages for livestock production by lowering feed costs, reducing food competition, and mitigating environmental impacts (Salami et al., 2019).

2. THE IMPORTANCE OF FERMENTED FEED

In ruminant nutrition, traditional preservation methods such as haymaking, silage, and haylage continue to play a fundamental role. Although hay can be stored for long periods, considerable nutrient losses may occur during harvesting and drying, particularly with easily degradable components (Zamudio et al., 2024). By contrast, silage is produced through anaerobic fermentation, during which microorganisms convert carbohydrates into organic acids, primarily lactic acid. This rapid decline in pH effectively suppresses the growth of undesirable microorganisms (Muck, 2017). The advantages of silage include higher nutrient yields per hectare and greater compatibility with mechanized production systems. Haylage, with a dry matter content of 40-60 %, represents an intermediate form between hay and silage. It ensures better nutrient preservation than hay, although it is more sensitive to packing and ensiling conditions (da Silva et al., 2019). In Western Europe, silage has progressively replaced hay as the dominant preserved forage, whereas in developing regions, inadequate preservation practices often compromise forage quality.

The popularity of fermentation technologies is often attributed to technological advantages such as simple equipment design, low cost, and environmentally friendly characteristics. However, in the context of animal nutrition, the true value of fermentation lies in its ability to ensure the long-term preservation of feed and to significantly enhance nutrient utilization. According to the review by Katu et al. (2025), fermentation is an effective method for restoring the nutritional value of alternative feed ingredients, reducing costs, and simultaneously maintaining or improving the biological value of diets, particularly by enhancing digestibility and reducing antinutritional factors. Two primary technologies are applied in the production of fermented feeds. Solid-state fermentation (SSF) takes place on low-moisture solid substrates (e.g., soybean meal, rapeseed cake). Its advantages include low water requirements, reduced risk of contamination, and the use of substrates that can be directly applied in animal diets. However, SSF is limited by the difficulty of controlling temperature and moisture, as well as the need for specialized equipment (Couto & Sanromán, 2006). In contrast, submerged fermentation (SmF) occurs in high-moisture media, offering easy control of parameters and scalability at industrial levels. Its disadvantages are high water, and energy demands and the reliance on costly bioreactors (Subramaniam & Vimala, 2012). For the production of ruminant feeds, SSF is generally considered more practical, whereas SmF plays a supplementary role, primarily in the preparation of microbial starter cultures.

In the initial stages of feed fermentation, the pH remains relatively high because acid production is still limited, and the abundance of lactic acid bacteria and other beneficial microorganisms is low. As the process progresses, microbial activity increases, primarily due to the proliferation of lactic acid bacteria, which produce organic acids (mainly lactic acid). Consequently, the pH gradually decreases while the acidity increases. This decline in pH is one of the most important indicators of fermentation, as it inhibits the growth of undesirable microorganisms and contributes to the long-term stability of the feed (Muck, 2017; Kung et al., 2018). Thus, microbial fermentation not only preserves feed but also enhances its nutritional value by converting starch and sugars into fermentation products such as lactic acid, other organic acids, and alcohols (Eun et al., 2007). For example, the fermentation of apple pomace (Rodríguez-Muela., 2015), soybean



meal (Feizi et al., 2020., Wang et al., 2021) and rapeseed meal (Rehemujiang et al., 2023) can increase the nutritional value of feed. The selection of the right microbial strains is key to the success of the process, as it influences the quality of the final fermentation products. The available evidence shows that the use of lactic acid bacteria (LAB) is one of the most popular methods to improve the nutritional value and palatability of feed (Gomez-Alarcon et al., 1990). This is because these bacteria produce a variety of organic acids, aromatic compounds and other nutrients during fermentation that contribute to improve feed quality (Verni et al., 2019; Yang et al., 2016). They are also an effective method for killing pathogenic microorganisms that remain in feed (Niba et al., 2009). Fermented feeds are associated with a range of beneficial effects on the gastrointestinal system. A reduction in abomasal pH has been reported, resulting in a more acidic environment that promotes digestive processes, enhances nutrient utilization, and may contribute to improved protection against enteric pathogens (Canibe & Jensen, 2012; Scholten et al., 1999). In ruminants, however, supplementation with fermented concentrates has been observed to increase ruminal pH, suggesting modifications in fermentation dynamics and microbial community structure, which may subsequently influence nutrient digestibility and overall metabolic responses (Lee et al., 2023). A study by Zhang et al. (2017) found that the inclusion of microbially fermented feeds in a 50 % concentrate mixture significantly increased the nutrient digestibility of the feed and the average daily gain in goats. Microbially fermented feeds significantly alter the rumen fermentation process, including increasing the number of rumen microorganisms, enhancing nutrient flow and improving feed digestibility. According to Piamphon et al. (2017), the use of microbially fermented feeds increases the number of microorganisms in the rumen, which contributes to more efficient nutrient utilisation. Although previous studies have acknowledged the nutritional benefits of fermented feeds, much of this research has been conducted with monogastric animals such as pigs and poultry. In the case of ruminants, a considerable number of studies have investigated fermented forages and silages; however, research specifically addressing the fermentation of concentrate feedstuffs for ruminants remains limited. Therefore, while the general nutritional effects of fermented feeds in ruminant nutrition are relatively well documented (*Table 1*), further studies are required to clarify the specific role and potential benefits of fermented concentrates in ruminant feeding systems.

3. NEW TYPE OF FEED FOR RUMINANTS

The study of fermented feeds is receiving considerable attention in the field of animal nutrition (*Table 1*). Total mixed ration (TMR) was originally developed as a complete feed for dairy cows and has been associated with numerous nutritional and economic advantages (Sirohi et al., 2001). In recent years, increasing attention has been directed toward its fermented form, fermented total mixed ration (FTMR), which combines the well-established benefits of TMR with the additional advantages of microbial fermentation—such as improved nutrient digestibility and enhanced feed efficiency (Wang et al., 2024; Paul et al., 2023). Fermented total mixed ration (FTMR) is a feed mixture containing concentrate and roughage, fermented in anaerobic conditions in a sealed tank for 21 days using lactic acid bacteria. This fermentation process improves the utilization of nutrients from the feed, making FTMR a simple and efficient solution for livestock production (Wognen et al., 2009). Vasupen et al. (2005) found that FTMR increases nutrient utilization, while Vasupen et al. (2006) found that FTMR positively affects the nutrient digestibility of diets in dairy cattle. In addition, FTMR extends the shelf life of feed, which provides additional benefits to farmers. One of the characteristic features of fermented total mixed ration (FTMR) is the variation in nutritional value



of the feed changes with the length of the fermentation period, caused by the production of minor metabolites (Kondo et al., 2016). During prolonged storage, losses of protein and soluble sugar fractions may occur (Nishino et al., 2003). Soluble sugars are primarily converted into lactic acid and other organic acids, while proteins may undergo proteolysis, leading to the formation of peptides, amino acids, and, in some cases, ammonia, which can negatively affect feed quality and animal health (Wang & Nishino., 2013). Another feature of FTMR is that it contains high concentrations of microbiota, which perform important metabolic functions and can aid in nutritional modification. For example, after 56 days of fermentation, *Lentilactobacillus buchneri* and *Pediococcus acidilactici* became dominant in FTMR, whereas in fresh TMR no clear dominance of specific bacterial taxa was observed. This indicates that fermentation time plays a crucial role in shaping the microbial community structure of FTMR (Hu et al., 2015). Also found that bacterial strains are key factors influencing the nutrient content of FTMR. During the fermentation process, different bacterial strains perform different metabolic activities that affect the final nutritional value of FTMR. During longer fermentation periods, the composition of the microbiota changes, which may lead to further nutritional modifications in the FTMR (Xie et al., 2020). Overall, nutritional modifications of FTMR and microbiota composition are closely related to the length of fermentation periods and the presence of bacterial strains. Together, these factors influence the final nutritional value of FTMR. Therefore, the fermentation of total mixed rations has gained increasing attention due to its potential to improve nutrient digestibility and animal performance.

In addition to the fermentation of whole TMR, promising results have also been obtained with the fermentation of individual concentrate ingredients. Among these, soybean meal (SBM) deserves particular attention, as it represents the most important source of vegetable protein in livestock production (Boguhn et al., 2008). The preparation of fermented soybean meal (FSBM) has been described by Rezazadeh et al. (2019). In brief, dried SBM containing 90 % dry matter was hydrated by immersion in distilled water (385 g water/1000 g SBM) for 60 minutes until its moisture content increased to approximately 35 %. The hydrated SBM was subsequently heat-treated in a steam bath at 65 °C for one hour, cooled to room temperature, and then inoculated with *Bacillus subtilis* GR-101 (4 log cfu/g SBM). The inoculated substrate was mixed thoroughly and fermented in a bed-packed incubator for 48 hours. After fermentation, the FSBM was dried at 50-60 °C to reduce its moisture content to around 10 % and then ground in a hammer mill. The fermentation of SBM results in the partial hydrolysis of proteins, leading to increased concentrations of small peptides and free amino acids that are more readily utilized by ruminal microbes and the host animal (Liu et al., 2007). Furthermore, fermentation reduces antinutritional factors such as trypsin inhibitors, lectins, and oligosaccharides, thereby improving protein utilization and gastrointestinal health (Hong et al., 2004). Consequently, FSBM is considered a superior protein source compared to untreated SBM, offering improved digestibility, enhanced microbial protein synthesis in the rumen, and better overall nutrient utilization in ruminants (Rezazadeh et al., 2019). Cider is a traditional Chinese alcoholic beverage made from rice, sorghum or wheat. It has been popular in China for centuries and the yellow wein lees (YWL) produced during its production are a major by-product. YWL has high crude protein content (315-413 g/kg dry matter), which makes it particularly valuable for livestock production. Its price is one third of the price of SBM (soybean meal), making it an economical source of protein in China (Hu et al., 2014). However, YWL has an unbalanced amino acid (AA) profile and is difficult to preserve due to its high moisture content (Zheng and Qian., 2007). A previous study showed that microbial pretreatment can improve the nutritional value of YWL. The study found that the fermented YWL had higher crude protein and peptide content, improved amino



acid profile and better in vitro rumen digestibility (Yao et al., 2018). This suggests that fermented YWL may be a suitable protein feed for ruminants. The use of microbially fermented YWL may not only provide a more economical alternative to conventional feeds but may also contribute to sustainable feeding practices. During the fermentation process, micro-organisms break down the complex molecules in YWL, making them more digestible for animals. In addition, the bioactive compounds produced during fermentation can improve animal health and performance. Fermentation of yellow wine lees (YWL) converts complex macromolecules, such as structural carbohydrates, proteins, and antinutritional factors, into simpler, more digestible compounds. At the same time, bioactive metabolites (organic acids, peptides, antioxidants) are produced, which enhance nutrient utilization, gut health, and immune function, ultimately improving animal performance (Kara & Öztaş, 2023).

Corn gluten meal is a major by-product of the wet milling of corn and is used mainly as a source of protein in animal feed. However, due to its imbalance in the amino acid profile and low water solubility (Zhuang et al., 2013), corn gluten meal is difficult to use directly as a protein ingredient in calf feed. Research has shown that by fermentation of corn gluten meal, its large proteins are hydrolyzed into small peptides, which significantly improves the nutritional quality and water solubility of proteins in various substrates (Neumann et al., 2010).

Rapeseed production has become the largest source of oilseeds in the European Union. Rapeseed oil production involves the pressing of rapeseed to produce crude rapeseed cake (RC), which is known for its rich protein, fibre and mineral content. This by-product can be a potential source of protein in animal feed (Bayat et al., 2021; Gao et al., 2022). Goiri et al. (2021) showed that lactating dairy cows fed diets containing RC had increased milk production. However, despite the many promising effects of RC, it is recommended to use it in limited amounts as it might contain antinutritional factors such as glucosinolates, phytic acid, alkaloids, erucic acid and tannins (Negawoldes., 2018; Song et al., 2022).



Table 1: Alternative fermented feeds for ruminants

Feed	Inoculum	Animals	Effects	References
Total mixed ration	<i>Lactobacillus acidophilus</i> <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Hanwoo steers (3)	Better Acetate/Propionate	Kim et al. (2012)
	<i>Lactobacillus plantarum</i> <i>Lactobacillus buchneri</i>	Lactating Holstein Frisian (36)	Higher milk fat concentration, Milk fat yield, DM and CP degradation, estimated microbial CP yield and feed, Higher VFA efficiency higher	Zhang et al. (2020)
	<i>Lactobacillus acidophilus</i> <i>Bacillus subtilis</i>	Hanwoo steers (3)	Lower rumen pH Higher acetate, propionate, and total VFA content microbial population was not affected	Miguel et al. (2021)
Cottonseed meal and rapeseed meal	Not specified	Lactating Holstein Frisian (4)	Unsaturated fatty acids in milk fat lower	Wongnen et al. (2009)
	<i>Bacillus clausii</i>	Male Hu sheep (51)	No negative effects on rumen microbiota Increased VFA yield	Rehemujiang et al. (2023)
Soybean meal	<i>Bacillus subtilis</i>	Holstein Frisian calves (39)	Increase calf performance	Feizi et al. (2020)
	<i>Lactobacillus</i> spp. <i>Bacillus subtilis</i> <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Lactating Holstein Frisian (24)	Modulated rumen fermentation and rumen bacterial microbiota	Wang et al. (2021)
	Not specified	Lactating Holstein Frisian (18)	Modified the rumen fermentation, improved the ruminal bacterial composition, and enhanced the milk composition, FCM, and milk componens yield	Amin et al. (2022)
	<i>Saccharomyces cerevisiae</i> <i>Bacillus subtilis</i>	Lactating Holstein Frisian (48)	Altered the rumen fermentation parameters and bacterial community Increased serum prolactin level	Zhang et al. (2024)
<i>Broussonetia Papyrifera</i>	Not specified	Guanhang dairy goats (18)	Increase the milk production	Zhao et al., (2022)
Chinese herbals	Not specified	Lactating Holstein frisian (40)	Improve milk performance and immune function	Shan et al. (2018)



Yellow wine lees	<i>Calathea utilis</i> <i>Bacillus subtilis</i>	Hu sheeps (3)	Improved the MCP and VFA synthesis Enhanced the digestibility	Yao et al. (2018)
	Not specified	Lactating Holstein frisian (15)	Higher milk yield greater VFA concentration and molar proportion of acetate	Yao et al. (2020)
Rapeseed cake	Not specified	Lactating Holstein Frisian (3/4/20)	Lowered ruminal acetate Increased propionate proportion Increased beneficial fatty acid content in milk	Gao et al. (2023)

4. EFFECT OF FERMENTED FEED ON RUMEN FERMENTATION

There is a lot of research on the impact of fermented feeds on rumen fermentation. In a study by Kim et al. (2012), three different diets were investigated: T1 (FTMR 18,4 %, high chenille, mammoth wild rye feed and whole barley), T2 FTMR 17,9 %, rice straw and whole barley) and T3 (rice straw, whole barley and probiotics, but not fermented feed). The production of volatile fatty acids (VFA) increased with the progression of the fermentation period, reflecting enhanced microbial activity and feed degradation. This not only indicates improved digestibility of the feed but also suggests greater energy availability for the host animal, since VFAs represent the primary energy source for ruminants (particularly acetate, propionate, and butyrate). Jiang et al. (2019) determined how supplementation with fermented corn gluten meal (FCGM) affects growth, rumen fermentation and plasma metabolites of post-weaning calves. Calves fed the FCGM diet had higher rumen levels of ammonia-nitrogen, acetate, propionate, total volatile fatty acid, microbial protein and proteinase. Rumen pH was lower in the FCGM group. The relative abundance of *Bacteroidetes* and *Prevotellaceae* was higher in the FCGM group, while the proportion of *Ruminobacter* was lower compared to the control (not supplemented with FCGM) group. Yao et al. (2020) evaluated the effects of replacing soybean meal (SBM) with unfermented and microbially fermented yellow wein lees (YWL) on in vitro rumen fermentation characteristics. Two different mixtures containing 400 g/kg YWL at different ratios (1:0, 1:1, 1:2, 1:5 and 0:1, w/w) were prepared to replace SBM. Microbial fermentation of YWL significantly increased the digestibility of microbial protein (MCP; $p < 0.01$) and in vitro crude protein (CP; $p < 0.01$) and also improved nitrogen utilization efficiency ($p < 0.01$). The YWL ratio used to replace SBM had linear and quadratic effects on MCP ($p < 0.01$), total volatile fatty acids (VFA; $p < 0.01$), in vitro CP digestibility, and nitrogen utilization efficiency ($p < 0.01$), with the optimal substitution ratio being 1:1. Another study also investigated the effect of replacing soybean meal (SBM) with fermented soybean meal (FSBM) on rumen fermentation and the bacterial community of Holstein calves. Thirty-nine calves were divided into three groups: (1) control: 27 % SBM + 0 % FSBM (FSBM0, $n = 13$); (2) 18 % SBM + 9 % FSBM (FSBM9, $n = 13$); and (3) 13.5 % SBM + 13.5 % FSBM (FSBM13, $n = 13$). While conventional SBM contained a high proportion of large peptides (3-10 amino acids), FSBM was characterized by higher concentrations of ammonium nitrogen ($\text{NH}_3\text{-N}$), free amino acids, and small peptides (2-3 amino acids). Calves in the FSBM13 group exhibited lower concentrations of acetic acid, $\text{NH}_3\text{-N}$, and acetate/propionate (A/P) ratios, together with higher levels of caproic, valeric, and isovaleric acids in the rumen fluid. These parameters are generally considered beneficial, since reduced $\text{NH}_3\text{-N}$ indicates more efficient



nitrogen capture by ruminal microbes, while a lower A/P ratio reflects a metabolic shift toward propionate, the main glucogenic precursor in ruminants. Moreover, calves receiving FSBM13 showed a higher prevalence of *Prevotella ruminicola*, a genus associated with improved protein and carbohydrate utilization, whereas the relative abundance of *Ruminococcus albus* and *Butyrivibrio fibrisolvens*—fiber-degrading species linked to higher acetate production—was reduced compared to the control. Network analysis further revealed that the prevalence of *Ruminococcus albus* correlated positively with large peptides, while butyric acid was associated with small peptides, supporting the view that peptide composition influences microbial community structure. Collectively, these findings suggest that FSBM supplementation enhances calf performance by promoting more efficient nitrogen utilization, favouring glucogenic fermentation pathways, and enriching bacterial taxa associated with improved nutrient digestibility (Feizi et al., 2020). Zhang et al. (2020) show that the FTMR diet improves the concentration of volatile fatty acids in the rumen, increases the molar ratio of acetate and ammonia-N concentration, while reducing the digestibility of butyrate, organic matter, NDF, and ADF. According to the findings of Rehemjiang et al. (2023), ruminal pH was significantly higher in the control group compared to animals fed fermented TMR, which contradicts the statement reported in the abstract. Furthermore, microbial crude protein (MCP) concentrations were significantly greater in the fermented TMR group. Distinct shifts in rumen microbiota composition were also observed: fermented TMR promoted the proliferation of Firmicutes and *Prevotella*, while reducing the abundance of Bacteroidetes. Collectively, these results indicate that fermented TMR exerts beneficial effects on rumen fermentation and microbial protein synthesis.

5. EFFECT OF FERMENTED FEED ON MILK COMPONENTS AND MILK PRODUCTION

Vasupen et al. (2006) compared the effects of feeding total mixed ration (TMR) and fermented total mixed ration (FTMR) on the performance of dairy cows. Voluntary feed intake, milk yield, milk protein and fat content, microbial counts, and rumen pH did not differ significantly between the two groups ($P > 0.05$). However, the digestibility of dry matter (DM), organic matter (OM), acid detergent fiber (ADF), and non-structural carbohydrates (NSC) was significantly higher in cows fed FTMR compared with those fed TMR ($P < 0.05$). These findings indicate that while FTMR does not alter intake or milk yield parameters, it improves nutrient digestibility, which may contribute to enhanced feed efficiency. Wognen et al. (2009) did not observe significant effects of FTMR on milk yield, milk composition, or rumen fermentation parameters. Yao et al. (2020) evaluated the effects of unfermented yellow wine lees (UYWL) and fermented yellow wine lees (FYWL) as alternative protein sources in the diets of lactating cows. Cows fed FYWL exhibited higher dry matter intake, milk yield, milk protein yield, and energy-corrected milk yield compared with those fed UYWL. Although milk composition, feed efficiency, and nitrogen conversion rates did not differ significantly between the two groups, cows on the UYWL diet showed lower nitrogen intake, blood urea nitrogen, urinary nitrogen, microbial protein, and metabolizable protein. These findings suggest that fermentation of yellow wine lees enhances nitrogen utilization and contributes to improved production performance. However, when FTMR was fed with wet corn gluten feed (WCGF) and corn starch instead of alfalfa hay, the FTMR ration has resulted in higher crude protein (CP) and lactic acid content and lower pH in the rumen. Milk fat concentration, milk fat yield, DM and CP breakdown, estimated microbial CP yield and feed efficiency were higher in cows fed the FTMR diet. However, cows fed the FTMR diet had lower DM intakes. In this study, it was also reported that



cows fed FTMR diets significantly increased IOFC (IOFC = income over feed cost the IOFC was calculated by subtracting feed costs from milk income) compared to cows fed unfermented TMR, as the low cost of fermentation reduced feed expenditure while milk production revenue remained unchanged (Zhang et al., 2020). One study aimed to evaluate the rumen microbiota, milk composition and milk component yield of Holstein cows supplemented with fermented soybean meal (FSBM). Supplementation with FSBM increased milk urea nitrogen levels, milk protein yield, fat corrected milk and milk fat yield, while decreasing milk somatic cell count. In the rumen, the relative abundance of *Fibrobacterota* and *Spirochaetota* phyla increased due to the presence of fermented soybean meal in the ration, while the proportion of Proteobacteria was lower (Amin et al., 2022).

6. CONCLUSION

The application of fermented feeds in ruminant nutrition and production performance offers numerous advantages. Several studies have demonstrated that fermented feeds – such as fermented total mixed rations (FTMR) – enhance nutrient digestibility, stimulate ruminal microbial activity, and positively influence rumen fermentation processes. The selection of appropriate microbial strains is of critical importance for the success of fermentation, as it largely determines the quality and nutritional value of the final product. Empirical evidence suggests that fermented feeds exert beneficial effects not only on milk yield but also on milk composition. Their inclusion in ruminant diets contributes to improved animal health and enhanced production performance. Bioactive compounds generated during fermentation strengthen the immune system and promote more efficient nutrient utilization. Fermented soybean meal and corn gluten, for example, have been shown to improve rumen fermentation parameters, increase the production of volatile fatty acids (VFA), and beneficially modulate the ruminal microbial community. Although the cost-effectiveness of fermented feeds has been investigated in a limited number of studies, the available results indicate that their use can result in higher profitability. Consequently, there is a clear need for further domestic research to validate these findings under local conditions. The incorporation of fermented feeds not only increases the economic efficiency of animal production but also contributes to sustainability by reducing feeding costs and lowering environmental impacts. Future studies should focus on the long-term effects of fermented feeds, the targeted use of different microbial strains, and the optimization of the fermentation process in order to develop more sustainable feeding strategies for ruminants. In conclusion, the use of fermented feeds represents a promising approach to addressing the challenges of modern livestock production and to advancing more economically viable and environmentally sustainable husbandry practices.



Alternatív fermentált takarmányok a kérődzők táplálkozásában: hatásuk a bendőfermentációra és a tejtermelésre (irodalmi áttekintés)

BANA BERNADETT*, ZSÉDELY ESZTER

Széchenyi István Egyetem, Albert Kázmér Mosonmagyaróvári Kar

Állattudományi Tanszék, Mosonmagyaróvár

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-3760-8812>

Email: bana.bernadett@sze.hu

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2356-5648>

*Corresponding author/Levelező szerző

ÖSSZEFOGLALÁS

A takarmányköltségek folyamatos emelkedése és a takarmányforrásokért folytatott verseny egyre sürgetőbbé teszi az innovatív takarmányozási megoldások keresését a kérődző-ágazatban. Jelen tanulmány áttekinti a fermentált takarmányok – köztük a fermentált teljes takarmánykeverékek (FTMR), valamint fermentált koncentrátum-összetevők, úgymint a szójadara, a kukoricaglutén, a sárgaborseprő és a repce melléktermékek – hatásait a bendőfermentációra, a tejtermelésre és a tej összetételére. A fermentált takarmányok az utóbbi években kiemelt figyelmet kaptak, mivel bizonyítottan javítják a tápanyagok emészthetőségét, elősegítik a bendőmikroorganizmusok aktivitásának fokozását, és kedvezően alakítják a fermentációs folyamatokat. Az eredmények arra utalnak, hogy alkalmazásuk nemcsak a tejhozamot és -összetételt, hanem a takarmányhasznosítás hatékonyságát is javítja, miközben kedvező hatással van az állategészségügyi mutatókra. Emellett egyes vizsgálatok a jövedelmezőség növekedését is jelezték, ugyanakkor a költséghatékonyságra vonatkozó adatok még korlátozottak. Összességében a fermentált takarmányok alkalmazása ígéretes lehetőséget kínál a modern állattenyésztés kihívásainak kezelésére, valamint hozzájárulhat a gazdaságosabb és fenntarthatóbb termelési rendszerek megvalósíthatóságához.

Kulcsszavak: *fermentált takarmány, FTMR, bendő fermentáció, tejtermelés, fenntarthatóság*

REFERENCES

- Amin, A. B., Zhang, L., Zhang, J., & Mao, S. (2022). Fermented soybean meal modified the rumen microbiome to enhance the yield of milk components in Holstein cows. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 106(22), 7627-7642. <https://doi.org/10.1007/s00253-022-12240-2>
- Bayat, H., Cheng, F., Dehghanizadeh, M., & Brewer, C. E. (2021). Recovery of Nitrogen from Low-Cost Plant Feedstocks Used for Bioenergy: A Review of Availability and Process Order. *Energy & Fuels*, 35(18), 14361-14381. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.1c02140>
- Boguhn, J., Kluth, H., Bulang, M., Engelhard, T., Spilke, J., & Rodehutschord, M. (2008). Effects of using thermally treated lupins instead of soybean meal and rapeseed meal in total mixed rations on in vitro microbial yield and performance of dairy cows. *Journal of animal physiology and animal nutrition*, 92(6), 694-704. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2007.00767.x>



- Canibe, N., & Jensen, B. B. (2012). Fermented liquid feed—Microbial and nutritional aspects and impact on enteric diseases in pigs. *Animal Feed Science and Technology*, 173(1-2), 17-40. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2011.12.021>
- Cao, Y., Takahashi, T., Horiguchi, K. I., Yoshida, N., & Cai, Y. (2010). Methane emissions from sheep fed fermented or non-fermented total mixed ration containing whole-crop rice and rice bran. *Animal Feed Science and Technology*, 157(1-2), 72-78. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2010.02.004>
- Couto, S. R., & Sanromán, M. A. (2006). Application of solid-state fermentation to food industry—a review. *Journal of Food Engineering*, 76(3), 291-302. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.05.022>
- da Silva, A. L., dos Santos, B. R. C., Perazzo, A. F., Neto, J. M. C., de Sousa Santos, F. N., Pereira, D. M., & Santos, E. M. (2019). Haylage: a forage conservation alternative. *Nucleus Animalium*, 11(1), 73-80. <https://doi.org/10.3738/21751463.3560>
- Eun, J. B., Jin, T. Y., & Wang, M. H. (2007). The effect of waxy glutinous rice degree of milling on the quality of Jinyangju, a Korean traditional rice wine. *Korean Journal of Food Science and Technology*, 39(5), 546-551.
- Feizi, L. K., Zad, S. S., Jalali, S. A. H., Rafiee, H., Jazi, M. B., Sadeghi, K., & Kowsar, R. (2020). Fermented soybean meal affects the ruminal fermentation and the abundance of selected bacterial species in Holstein calves: a multilevel analysis. *Scientific reports*, 10(1), 12062. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-68778-6>
- Gao, J., Cheng, B., Sun, Y., Zhao, Y., & Zhao, G. (2022). Effects of dietary inclusion with rapeseed cake containing high glucosinolates on nitrogen metabolism and urine nitrous oxide emissions in steers. *Animal Nutrition*, 8, 204-215. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2021.05.006>
- Gao, M., Cieślak, A., Huang, H., Gogulski, M., Petrič, D., Ruska, D., Patra, A. K., El-Sherbiny, M., & Szumacher-Strabel, M. (2023). Effects of raw and fermented rapeseed cake on ruminal fermentation, methane emission, and milk production in lactating dairy cows. *Animal Feed Science and Technology*, 300, 115644. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2023.115644>
- Goiri, I., Zubiria, I., Lavín, J. L., Benhissi, H., Atxaerandio, R., Ruiz, R., Mandaluniz, N., & García-Rodríguez, A. (2021). Evaluating the inclusion of cold-pressed rapeseed cake in the concentrate for dairy cows upon ruminal biohydrogenation process, ruminal microbial community and milk production and acceptability. *Animals*, 11(9), 2553. <https://doi.org/10.3390/ani11092553>
- Gomez-Alarcon, R. A., Dudas, C., & Huber, J. T. (1990). Influence of cultures of *Aspergillus oryzae* on rumen and total tract digestibility of dietary components. *Journal of Dairy Science*, 73(3), 703-710. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(90\)78723-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(90)78723-1)
- Hong, K. J., Lee, C. H., & Kim, S. W. (2004). *Aspergillus oryzae* GB-107 fermentation improves nutritional quality of food soybeans and feed soybean meals. *Journal of Medicinal Food*, 7(4), 430-435. <https://doi.org/10.1089/jmf.2004.7.430>
- Hu, X., Hao, W., Wang, H., Ning, T., Zheng, M., & Xu, C. (2015). Fermentation Characteristics and Lactic Acid Bacteria Succession of Total Mixed Ration Silages Formulated with Peach Pomace. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 28(4), 502-510. <https://doi.org/10.5713/ajas.14.0508>
- Hu, Y., Pan, L., Dun, Y., Peng, N., Liang, Y., & Zhao, S. (2014). Conversion of yellow wine lees into high-protein yeast culture by solid-state fermentation. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 28(5), 843-849. <https://doi.org/10.1080/13102818.2014.962407>



- Jeong, C. D., Mamuad, L. L., Ko, J. Y., Sung, H. G., Park, K. K., Lee, Y. K., & Lee, S. S. (2016). Rumen fermentation and performance of Hanwoo steers fed total mixed ration with Korean rice wine residue. *Journal of Animal Science and Technology*, 58, 4. <https://doi.org/10.1186/s40781-016-0084-6>
- Jiang, X., Liu, X., Liu, S., Li, Y., Zhao, H. B., & Zhang, Y. G. (2019). Growth, rumen fermentation and plasma metabolites of Holstein male calves fed fermented corn gluten meal during the postweaning stage. *Animal Feed Science and Technology*, 249, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.01.012>
- Jiang, X., Ma, G. M., Cui, Z. Q., Li, Y., & Zhang, Y. G. (2020). Effects of fermented corn gluten meal on growth performance, plasma metabolites, rumen fermentation and bacterial community of Holstein calves during the pre-weaning period. *Livestock Science*, 231, 103866. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2019.103866>
- Kara, K., & Öztaş, M. A. (2023). The effect of dietary fermented grape pomace supplementation on in vitro total gas and methane production, digestibility, and rumen fermentation. *Fermentation*, 9(8), 741. <https://doi.org/10.3390/fermentation9080741>
- Katu, J. K., Tóth, T., & Varga, L. (2025). Enhancing the nutritional quality of low-grade poultry feed ingredients through fermentation: A review. *Agriculture*, 15(5), 476. <https://doi.org/10.3390/agriculture15050476>
- Kim, S. H., Alam, M. J., Gu, M. J., Park, K. W., Jeon, C. O., Ha, J. K., Cho, K. K., & Lee, S. S. (2012). Effect of total mixed ration with fermented feed on ruminal *in vitro* fermentation, growth performance and blood characteristics of Hanwoo steers. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 25(2), 213-223. <https://doi.org/10.5713/ajas.2011.11186>
- Kim, T. I., Mayakrishnan, V., Lim, D. H., Yeon, J. H., & Baek, K. S. (2018). Effect of fermented total mixed rations on the growth performance, carcass and meat quality characteristics of Hanwoo steers. *Animal Science Journal*, 89(3), 606-615. <https://doi.org/10.1111/asj.12958>
- Knapp, J. R., Laur, G. L., Vadas, P. A., Weiss, W. P., & Tricarico, J. M. (2014). Invited review: Enteric methane in dairy cattle production: Quantifying the opportunities and impact of reducing emissions. *Journal of dairy science*, 97(6), 3231-3261. <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7234>
- Kondo, M., Shimizu, K., Jayanegara, A., Mishima, T., Matsui, H., Karita, S., Goto, M., & Fujihara, T. (2016). Changes in nutrient composition and *in vitro* ruminal fermentation of total mixed ration silage stored at different temperatures and periods. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(4), 1175-1180. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7200>
- Kung Jr, L., Shaver, R. D., Grant, R. J., & Schmidt, R. J. (2018). Silage review: Interpretation of chemical, microbial, and organoleptic components of silages. *Journal of dairy Science*, 101(5), 4020-4033. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13909>
- Lee, S., Ryu, C. H., Back, Y. C., Lee, S. D., & Kim, H. (2023). Effect of fermented concentrate on ruminal fermentation, ruminal and fecal microbiome, and growth performance of beef cattle. *Animals*, 13(23), 3622. <https://doi.org/10.3390/ani13233622>
- Liu, X., Feng, J., Xu, Z., Lu, Y., & Liu, Y. (2007). The effects of fermented soybean meal on growth performance and immune characteristics in weaned piglets. *Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences*, 31(5), 341-345.
- Miguel, M., Mamuad, L., Ramos, S., Ku, M. J., Jeong, C. D., Kim, S. H., Cho, Y. I., & Lee, S. S. (2021). Effects of using different roughages in the total mixed ration inoculated with or without coculture of *Lactobacillus acidophilus* and *Bacillus subtilis* on *in vitro* rumen fermentation and microbial population. *Animal Bioscience*, 34(4), 642-651. <https://doi.org/10.5713/ajas.20.0386>



- Muck, R. E. (2010). Silage microbiology and its control through additives. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39, 183-191. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982010001300021>
- Niba, A. T., Beal, J. D., Kudi, A. C., & Brooks, P. H. (2009). Bacterial fermentation in the gastrointestinal tract of non-ruminants: influence of fermented feeds and fermentable carbohydrates. *Tropical animal health and production*, 41, 1393-1407. <https://doi.org/10.1007/s11250-009-9327-6>
- Negawoldes, T. Y. (2018). Review on nutritional limitations and opportunities of using rapeseed meal and other rape seed by-products in animal feeding. *J Nutr Health Food Eng*, 8(1), 43-48. <https://doi.org/10.15406/jnhfe.2018.08.00254>
- Neumann, P. E., Walker, C. E., & Wang, H. L. (1984). Fermentation of corn gluten meal with *Aspergillus oryzae* and *Rhizopus oligosporus*. *Journal of Food Science*, 49(4), 1200-1201. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1984.tb10429.x>
- Nishino, N., Harada, H., & Sakaguchi, E. (2003). Evaluation of fermentation and aerobic stability of wet brewers' grains ensiled alone or in combination with various feeds as a total mixed ration. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83(6), 557-563. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1395>
- Paul, O. B., Urmi, S. S., & Biswas, M. A. A. (2023). Effect of TMR and Fermented TMR on ruminal in vitro digestion and gas production *Adv. Anim. Vet. Sci*, 11(4), 586-594. <https://doi.org/10.3389/fvets.2024.1408348>
- Piamphon, N., Wachirapakorn, C., Bannasan, K., Pornsopin, P., Sotawong, P., & Gunun, P. (2017). Influence of *Aspergillus niger* or *Saccharomyces cerevisiae*-fermented Napier grass (*Pennisetum purpureum*) mixed with fresh cassava root on blood parameters and nutrient digestibility in growing beef cattle. *Pak J Nutr*, 16(10), 776-781. <https://doi.org/10.3923/pjn.2017.776.781>
- Rehemujiang, H., Yusuf, H. A., Ma, T., Diao, Q., Kong, L., Kang, L., & Tu, Y. (2023). Fermented cottonseed and rapeseed meals outperform soybean meal in improving performance, rumen fermentation, and bacterial composition in Hu sheep. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1119887. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1119887>
- Rezazadeh, F., Kowsar, R., Rafiee, H., & Riasi, A. (2019). Fermentation of soybean meal improves growth performance and immune response of abruptly weaned Holstein calves during cold weather. *Animal Feed Science and Technology*, 254, 114206. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.114206>
- Rodríguez-Muela, C., Rodríguez, H. E., Arzola, C., Díaz-Plascencia, D., Ramírez-Godínez, J. A., Flores-Mariñelarena, A., Mancillas-Flores, P. F., & Corral, G. (2015). Antioxidant activity in plasma and rumen papillae development in lambs fed fermented apple pomace. *Journal of Animal Science*, 93(5), 2357-2362. <https://doi.org/10.2527/jas.2014-8670>
- Salami, S. A., Luciano, G., O'Grady, M. N., Biondi, L., Newbold, C. J., Kerry, J. P., & Priolo, A. (2019). Sustainability of feeding plant by-products: A review of the implications for ruminant meat production. *Animal Feed Science and Technology*, 251, 37-55. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.02.006>
- Sirohi, S. K., Malik, R., & Walli, T. K. (2001). Development and evaluation of protected fat in wheat straw based total mixed ration. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 14(10), 1405-1408. <https://doi.org/10.5713/ajas.2001.1405>
- Scholten, R. H., van der Peet-Schwering, C. M., Verstegen, M. W., Den Hartog, L. A., Schrama, J. W., & Vesseur, P. C. (1999). Fermented co-products and fermented compound diets for pigs: a review. *Animal Feed Science and Technology*, 82(1-2), 1-19. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(99\)00096-6](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(99)00096-6)



- Shan, C. H., Guo, J., Sun, X., Li, N., Yang, X., Gao, Y., Qiu, D., Li, X., Wang, Y., Feng, M., Wang, C., & Zhao, J. J. (2018). Effects of fermented Chinese herbal medicines on milk performance and immune function in late-lactation cows under heat stress conditions. *Journal of Animal Science*, 96(10), 4444-4457. <https://doi.org/10.1093/jas/sky270>
- Song, Y., Sun, L., Zhang, S., Fan, K., Wang, H., Shi, Y., Shen, Y., Wang, W., Zhang, J., Han, X., Mao, Y., Wang, Y., & Ding, Z. (2022). Enzymes and microorganisms jointly promote the fermentation of rapeseed cake. *Frontiers in Nutrition*, 9, 989410. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.989410>
- Su, Y., Chen, G., Cai, Y., Gao, B., Zhi, X., & Chang, F. (2020). Effects of *Broussonetia papyrifera*-fermented feed on the growth performance and muscle quality of Hu sheep. *Canadian Journal of Animal Science*, 100(4), 771-780. <https://doi.org/10.1139/cjas-2018-0167>
- Subramaniam, R., & Vimala, R. (2012). Solid state and submerged fermentation for the production of bioactive substances: a comparative study. *Int J Sci Nat*, 3(3), 480-486.
- Xie, Y., Xu, S., Li, W., Wang, M., Wu, Z., Bao, J., Jia, T., & Yu, Z. (2020). Effects of the application of *Lactobacillus plantarum* inoculant and potassium sorbate on the fermentation quality, in vitro digestibility and aerobic stability of total mixed ration silage based on alfalfa silage. *Animals*, 10(12), 2229. <https://doi.org/10.3390/ani10122229>
- Xu, C., Cai, Y., Moriya, N., & Ogawa, M. (2007). Nutritive value for ruminants of green tea grounds as a replacement of brewers' grains in totally mixed ration silage. *Animal Feed Science and Technology*, 138(3-4), 228-238. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2006.11.014>
- Yang, J., Tan, H., & Cai, Y. (2016). Characteristics of lactic acid bacteria isolates and their effect on silage fermentation of fruit residues. *Journal of Dairy Science*, 99(7), 5325-5334. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-10952>
- Yao, K. Y., Zhang, T. Z., Wang, H. F., & Liu, J. X. (2018). Upgrading of by-product from beverage industry through solid-state fermentation with *Candida utilis* and *Bacillus subtilis*. *Letters in applied microbiology*, 67(6), 557-563. <https://doi.org/10.1111/lam.13078>
- Yao, K. Y., Gu, F. F., & Liu, J. X. (2020). In vitro rumen fermentation characteristics of substrate mixtures with soybean meal partially replaced by microbially fermented yellow wine lees. *Italian Journal of Animal Science*, 19(1), 18-24. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2019.1686433>
- Vasupen, K., Yuangklang, C., Witayakun, S., & Srinanuan, P. (2005). *Effect of different moisture on quality of fermented total mixed ration*. CABI.
- Zamudio, D., Killerby, M. A., Charley, R. C., Chevaux, E., Drouin, P., Schmidt, R. J., Bright, J., & Romero, J. J. (2024). Factors affecting nutrient losses in hay production. *Grass and Forage Science*, 79(4), 499-515. <https://doi.org/10.1111/gfs.12685>
- Zhang, G., Li, Y., Fang, X., Cai, Y., & Zhang, Y. (2020). Lactation performance, nitrogen utilization, and profitability in dairy cows fed fermented total mixed ration containing wet corn gluten feed and corn stover in combination replacing a portion of alfalfa hay. *Animal Feed Science and Technology*, 269, 114687. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114687>
- Zhang, L. U., Chung, J., Jiang, Q., Sun, R., Zhang, J., Zhong, Y., & Ren, N. (2017). Characteristics of rumen microorganisms involved in anaerobic degradation of cellulose at various pH values. *Rsc Advances*, 7(64), 40303-40310. <https://doi.org/10.1039/C7RA06588D>
- Zhang, L., Tian, H., Shi, H., Pan, S., Chang, J., Dangal, S. R. S., Qin, X., Wang, S., Tubiello, F. N., Canadell, J. G., & Jackson, R. B. (2022). A 130-year global inventory of methane emissions from livestock: Trends, patterns, and drivers. *Global Change Biology*, 28(17), 5142-5158. <https://doi.org/10.1111/gcb.16280>



- Zhao, M., Lv, D., Hu, J., He, Y., Wang, Z., Liu, X., Ran, B., & Hu, J. (2022). Hybrid *Broussonetia papyrifera* fermented feed can play a role through flavonoid extracts to increase milk production and milk fatty acid synthesis in dairy goats. *Frontiers in Veterinary Science*, 9, 794443. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.794443>
- Zheng, G., & Qian, H. (2007). Ingredients and flavor analysis of yellow wine lees and study of its feasibility of making condiments. *China Condiment*, 4, 20-25.
- Zhuang, H., Tang, N., & Yuan, Y. (2013). Purification and identification of antioxidant peptides from corn gluten meal. *Journal of Functional Foods*, 5(4), 1810-1821. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2013.08.013>
- Vasupen, K., Yuangklang, C., Sarnklong, C., Wongsuthavas, S., Mitchaothai, J., & Srenanul, P. (2006). Effects of total mixed ration and fermented total mixed ration on voluntary feed intake, digestion nutrients digestibility, and milk production in lactating dairy cows.
- Verni, M., De Mastro, G., De Cillis, F., Gobetti, M., & Rizzello, C. G. (2019). Lactic acid bacteria fermentation to exploit the nutritional potential of Mediterranean faba bean local biotypes. *Food Research International*, 125, 108571. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108571>
- Wang, C., & Nishino, N. (2013). Effects of storage temperature and ensiling period on fermentation products, aerobic stability and microbial communities of total mixed ration silage. *Journal of Applied Microbiology*, 114(6), 1687-1695. <https://doi.org/10.1111/jam.12200>
- Wang, L., Jin, S., Wang, P., Li, X., Liu, C., Sun, S., Zhang, G., Chang, J., Yin, Q., Zhang, H., & Zhu, Q. (2024). Fermented total mixed ration enhances nutrient digestibility and modulates the milk components and fecal microbial community in lactating Holstein dairy cows. *Frontiers in Veterinary Science*, 11, 1408348. <https://doi.org/10.3389/fvets.2024.1408348>
- Wang, Z., Yu, Y., Li, X., Xiao, H., Zhang, P., Shen, W., Wan, F., He, J., Tang, S., Tan, Z., Wu, D., & Yao, H. (2021). Fermented soybean meal replacement in the diet of lactating Holstein dairy cows: modulated rumen fermentation and ruminal microflora. *Frontiers in Microbiology*, 12, 625857. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.625857>
- Wongnen, C., Wachirapakorn, C., Patipan, C., Panpong, D., Kongweha, K., Namsaen, N., Gunun, P., & Yuangklang, C. (2009). Effects of fermented total mixed ration and cracked cottonseed on milk yield and milk composition in dairy cows. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 22(12), 1625-1632. <https://doi.org/10.5713/ajas.2009.80668>

©Copyright 2025 by the Authors.

The journal is Open Access (Platinum). This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).





A karbonlábnyom csökkentésének néhány aspektusa a sertéstenyésztésben

FŐGLEIN FLÓRA, HÚTH BALÁZS, TOSSENBERGER JÁNOS*

Széchenyi István Egyetem, Albert Kázmér Mosonmagyaróvári Kar

Állattudományi Tanszék, Mosonmagyaróvár

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0002-3456-4077>

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0003-9413-8691>

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0000-3862-0035>

Email: tossenberger.janos@sze.hu

*Corresponding author/Levelező szerző

Received/Érkezett: 2025.04.11.

Revised/Átdolgozva: 2025.06.18.

Accepted/Elfogadva: 2025.10.18.

Published/Megjelent: 2025.12.23.

ÖSSZEFOGLALÁS

A sertéstenyésztés jelentős környezeti kihívásokkal néz szembe, különösen a takarmányozás területén. A karbonlábnyom csökkentése ezen a területen is kiemelt fontosságú, mivel a kibocsátás legnagyobb része a takarmány előállításából ered, főként a fehérjetakarmányok, elsősorban a szója eredetének okán. Tekintettel arra, hogy a felhasználásra kerülő szója elsődlegesen importból származik, felhasználása markáns környezeti és fenntarthatósági problémákat vet fel. Dolgozatunkban arról kívánunk áttekintést adni, hogy a fenntartható sertéstenyésztés takarmányozási rendszerei – milyen lehetőségeket kínálnak a környezeti terhelés csökkentésére, valamint milyen stratégiák és innovációk segíthetik elő a karbonlábnyom mérséklését. Röviden bemutatásra kerülnek a sertéshústermelés környezeti aspektusai, a takarmányok szállításából és a keveréktakarmányok előállításából adódó potenciális terhelések, a fehérjenövény fajok és fajták okszerű megválasztásában rejlő lehetőségek, valamint felvázolásra kerülnek azok a potenciális jövőbeni irányok is, amelyek követése hozzájárulhat a sertéságazat környezetterhelésének csökkentéséhez. A rendelkezésre álló ismeretek alapján összességében az prognosztizálható, hogy a sertéstenyésztéshez kapcsolódó általános fenntarthatósági célok elérése az aktuális klímaviszonyokhoz adaptált, lokális takarmánynövény-termesztést, illetve olyan innovatív feldolgozási technológiák alkalmazását követeli meg, amelyek a legkisebb szántóföldi veszteséggel és energiafelhasználással, és a termelés karbon-lábnyomának csökkentésével járnak. Potenciálisan ilyen feldolgozási technológiát jelenthet a különböző szántóföldi kultúrák vegetatív és generatív növényi részeinek a fehérjehozam szempontjából optimálisnak vélt időpontban történő betakarítása, majd erjesztett takarmányként való felhasználása is.

Kulcsszavak: sertéstenyésztés, fenntarthatóság, alternatív fehérjeforrások, környezeti terhelés



1. BEVEZETÉS

A fenntartható állattartás fejlesztése kulcsfontosságú szerepet játszik egy jövőálló élelmezési rendszer kialakítása szempontjából. Bawden et al. (1991) már több mint három évtizeddel ezelőtt felhívták a figyelmet arra, hogy azok a módszerek, amelyeket jelenleg sikeresen alkalmaztak a mezőgazdasági termelés fejlesztése érdekében, a jövőben már nem lesznek fenntartható termelésre alkalmasak. A fenntartható mezőgazdaság fogalmának meghatározására már több mint 800 definíció ismert, de mindmáig úgy tűnik, hogy egyik sem tökéletes (Olesen, 2000). Az általánosan elfogadott álláspont szerint a fenntartható rendszereknek döntően két alapfeltételnek kell megfelelniük (Thompson és Nardone, 1999): elegendő helyi erőforrással rendelkezzenek és a működési biztonság hosszú távon fenntartható legyen. Conway (1997) szerint a fenntartható mezőgazdaság nemcsak a termelés fokozását, hanem a környezeti hatások minimalizálását is célozza. Az erőforrások hatékony használata és a biodiverzitás megőrzése kulcsfontosságú tényezők a fenntartható jövő megteremtésében. Dolgozatunkban arról kívánunk áttekintést adni, hogy a fenntartható állattartás – különösen a sertésenyésztés takarmányozási rendszerei – milyen lehetőségeket kínálnak a környezeti terhelés csökkentésére, valamint milyen stratégiák és innovációk segíthetik elő a karbonlábnyom mérséklését az állattenyésztésben. Ezen szakmai vonal mentén röviden bemutatjuk a világ hústermelésének tendenciáit, a sertéshústermelés környezeti aspektusait, a takarmányok szállításából és a keveréktakarmányok előállításából adódó potenciális terheléseket, a fehérjenövény fajok és fajták, mint eszenciális takarmánykomponensek okszerű megválasztásában rejlő lehetőséget, valamint felvázoljuk azokat a potenciális jövőbeni irányokat is, amelyek követése hozzájárulhat a sertéságazat környezetterhelésének csökkentéséhez.

2. VILÁG HÚSTERMELÉSÉNEK TENDENCIÁI

A becslések szerint a világ népessége 2050-re 9 milliárd fölé emelkedik, ami azt jelenti, hogy az élelmiszerigények kielégítése érdekében a mezőgazdasági termelést 50 %-kal kell növelni, miközben az elérhető szántóföldi terület várhatóan csökkenni fog (Tenke et al., 2023). Bár egyes országokban a népesség jelentős csökkenését valószínűsítik (például Közép- és Kelet-Európában), más országok esetében arra számítanak, hogy 2100-ra a népesség megkétszereződik vagy megháromszorozódik, sőt akár nyolcszorosára is nőhet (United Nations, 2022). A globális hústermelés várhatóan több mint háromszorosára nő (Ezeh et al., 2020). Az 1999-es 229 millió tonnáról 2050-re 465 millió tonnára emelkedik (Steinfeld et al., 2006). Az OECD és a FAO közös jelentése szerint 2023-ban a hústermelés elérte a 354 millió tonnát, ami 0,7 %-os növekedést jelent az előző évhez képest. Az előrejelzések alapján 2024-ben a globális hústermelés várhatóan tovább emelkedik, és eléri a 360,6 millió tonnát (OECD és FAO, 2023). Előrejelzések szerint az EU hústermelése 2030-ig évi 47 millió tonnán marad, és az egy főre jutó húsfogyasztás is 68,5 kg körüli szinten stagnál, miközben a húsexport a jelenlegi 4,35 millió tonnáról 4,70 millió tonnára bővül. A hazai húsfogyasztásban számottevő változásra nem számíthatunk, a belső fogyasztás továbbra is döntően a baromfi- és sertéshúsról fog korlátozódni (European Commission, 2017; KSH, 2024; OECD és FAO, 2023). A legfrissebb elérhető adatok szerint 2021-ben a magyar lakosság átlagosan 82 kilogramm húst fogyasztott fejenként (ennek 30 %-át teszi ki a sertéshús), amivel hazánk a világ legtöbb húst fogyasztó országai között az első negyedben helyezkedik el (KSH, 2024). A fogyasztás növekedésének nagy aránya a fejlődő országokban várható, a demográfiai növekedés, az élelmiszerpreferenciák változásai, és a városok növekvő populációihoz közeli állattenyésztési rendszerek növekedése miatt (FAO, 2021).



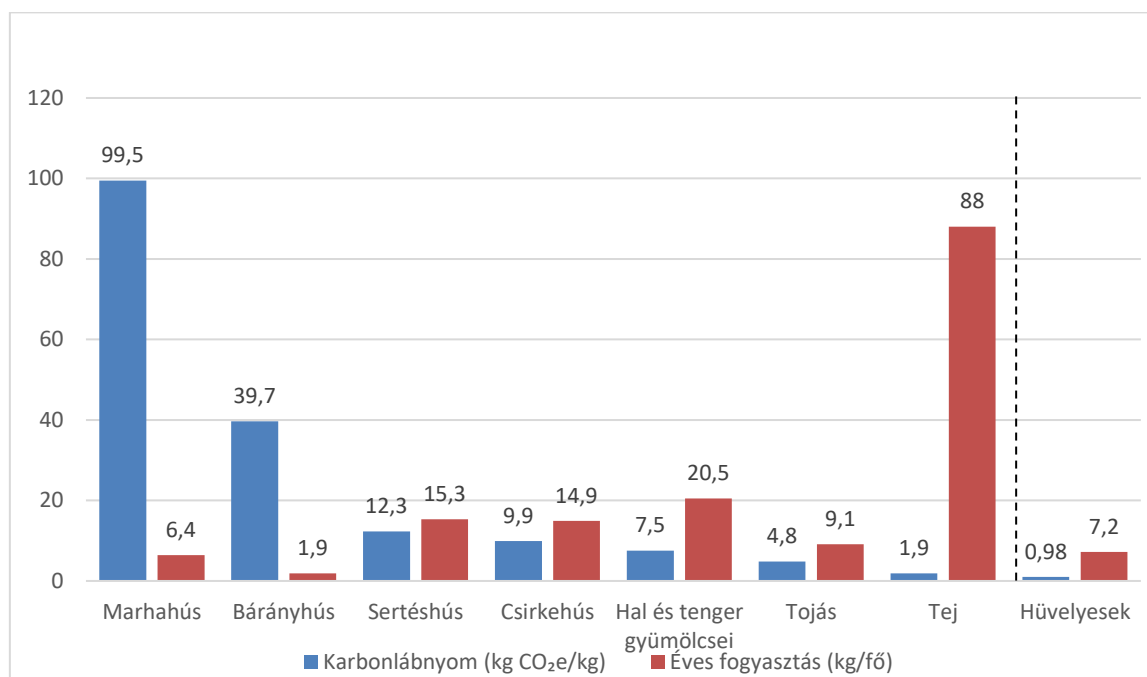
Az EU fogyasztói szokásainak változása miatt folyamatos növekedést mutatnak a vegánok, vegetáriánusok és flexitariánusok, ami részben környezetvédelmi okokkal indokolható. Szükséges azonban megjegyezni, hogy jelenleg még mindig alacsony a fogyasztók hajlandósága arra, hogy a húst rovarokkal vagy sejtalapú hússal helyettesítsék, de ezek lehetőséget kínálnak a fehérje olcsó tömeges előállítására, alacsonyabb környezeti lábnyom mellett (Rauw et al., 2020). Post (2012) a sejtalapú hús technológiai, etikai és gazdasági aspektusait vizsgálja, különösen az őssejtek felhasználásának lehetőségeit az ilyen húsok előállításában. Az őssejtek képesek különböző típusú sejtek (pl. izomsejtek) kialakítására, ami lehetővé teszi az izomszövetek laboratóriumi környezetben történő előállítását. Az említett hús előállítása számos technikai kihívást jelent, mint például a megfelelő növekedési környezet biztosítása, a sejteket tápláló tápanyagok költségei és az önálló izomszövetek kialakulásának biztosítása. A kutatás azt is taglalja, hogy bár az ún. tenyésztett hús fenntartható alternatívának tűnik, a technológia még mindig költséges és további fejlesztéseket igényel. Az állati sejt alapú hús (Animal Cell Based Meat: ACBM) környezettudatos alternatívaként való alkalmazása iránti érdeklődés egyre nő, néhány adat erről már rendelkezésre áll. Jelenleg az ACBM termékeket csak kis mennyiségben állítják elő, de a gyártó cégek a termelés bővítésére készülnek (Chriki és Hocquette, 2020). Derrick et al. (2024) eredményei azt mutatják, hogy a tenyésztett hús nem feltétlenül kevesebb erőforrást igénylő fehérje, mint a hagyományos hús, sőt, ha az iparág nem képes teljes mértékben áttérni a gyógyszeripari minőségű összetevőkről az élelmiszer- és takarmányipari alapanyagokra, akkor jelentősen nagyobb környezeti hatással is járhat. Ez az átállás komoly kihívást jelent, mivel a növekedési közegeket valószínűleg az egyes sejtvonalakhoz kell optimalizálni, hogy a sejtsűrűséget a jelenlegi gyógyszeripari teljesítményen túl is elérjük. Fontos megjegyezni, hogy ezeket az eredményeket minimumnak kell tekinteni, mivel a növekedési közeg összetevőinek környezeti értékelése nem teljeskörű. Emellett etikai kérdéseket is felvet, például az állati jogok és a laboratóriumban előállított hús elfogadottságának társadalmi aspektusait.

A mezőgazdasági szektor környezeti hatásainak csökkentésére tett erőfeszítések mellett, ahogy az előzőekben említettük, az új technológiai megoldások, mint például a sejtalapú hús előállítása, jelenthetnek alternatívát a hagyományos húsfogyasztás csökkentésében. A modern mezőgazdaság fejlődése és a fenntartható gazdálkodási gyakorlatok szükségessége mind arra mutatnak, hogy az élelmiszertermelés környezeti terhelésének mérséklésére irányuló stratégiák a jövőben kulcsfontosságú szerepet kapnak. A mezőgazdaság termelékenységének növekedése mellett a modernizáció is növelte ugyan a szektor jövedelmezőségét, de ezen kívül megnövelte az energiaigényt, a vízfogyasztást és a széndioxidhoz hasonló üvegházhatású gázok (ÜHG) kibocsátását is. A COP26 Klímatalálkozó jelentése alapján a mezőgazdaságból és az élelmiszertermelésből származó ÜHG kibocsátása az elmúlt 30 évben 17 %-kal emelkedett, és a globális mezőgazdasági és élelmiszeripari rendszer 2019-ben 17 milliárd tonna széndioxidot bocsátott ki. Ezzel a globális összes kibocsátás 31 %-át adta (Tubiello et al., 2021). Az állattenyésztés egységnyi környezet-terhelőhatását a felére kell csökkenteni ahhoz, hogy megfékezzük a terhelés szintjének növekedését a jelenlegi szint fölé (Steinfeld et al., 2006). A mezőgazdasági szektor 2050-re kulcsfontosságú szereplővé válhat az ÜHG, mint a szén-dioxid (CO₂), a dinitrogén-oxid (N₂O) és a metán (CH₄) kibocsátásában. A mezőgazdasági termelési módszerek, például a szántóföldi gazdálkodás, az állattenyésztés és a trágyázás, jelentős mértékben hozzájárulnak ezen gázok kibocsátásához, amelyek a globális felmelegedés és a klímaváltozás egyik fő okozói. Ha nem történik átfogó változás a fenntartható gazdálkodási gyakorlatok terén, a mezőgazdaság hozzájárulása az ÜHG kibocsátásához továbbra is növekedni fog, és komoly hatással lesz a globális éghajlatra. A párizsi

ENSZ Klímaváltozási Konferencia (2015) után szinte valamennyi ország kormánya a benyújtott dokumentum alapján a mezőgazdaságot fontosnak tekintette, és mindannyian elhivatott kötelezettséget vállaltak az ÜHG kibocsátásának csökkentése és az energia- és vízfogyasztás mérséklése mellett (Tubiello et al., 2021).

3. SERTÉSHÚS TERMELÉS ÉS ANNAK KÖRNYEZETI VONATKOZÁSAI

A sertéshús a világ egyik legszélesebb körben fogyasztott húsfélése, amely különösen fontos szerepet játszik a globális húsfogyasztásban. Előállítás – hasonlóan más állattenyésztési ágazatokhoz – jelentős ÜHG kibocsátása miatt egyre szigorúbb környezetvédelmi elvárásoknak kell megfelelnie, amit általában a karbonlábnyom csökkentésének szükségességében deklarálnak és sürgetően megoldandó feladatnak tekintenek (Steinfeld et al., 2006). Ebből adódóan a jövőben kulcsfontosságú, hogy az alacsony szén-dioxid-kibocsátás elérését segítő fejlesztéseket és kutatásokat globálisan is támogassák, ami hozzájárulhat a szén-dioxid semlegesség eléréséhez ebben az ágazatban is.



1. ábra: A különböző élelmiszerek egy főre jutó fogyasztása és karbonlábnyoma

Forrás: Eurostat Comext adatbázis (2024)

Bár a globális marhahúsfogyasztás csupán 6,4 kg/fő/év, az ehhez kapcsolódó fajlagos kibocsátás (99,5 kg CO₂e/kg) következtében ez az élelmiszer egyedül a vizsgált termékek teljes éves karbonlábnyomának közel 45 %-áért felelős (1. ábra). Ez arra utal, hogy a marhahús a globális étrend karbonlábnyomának elsődleges hajtóereje, és kiemelt célpontja lehet az élelmiszerrendszerek dekarbonizációs stratégiáinak. Az állati eredetű élelmiszerek fogyasztása aránytalanul járul hozzá a globális ÜHG-kibocsátáshoz. A nyolc vizsgált élelmiszer közül az állati eredetűek (marha-, juh-, sertés- és csirkehús, hal, tej, tojás) összesen több mint 1,41 tonna CO₂e/fő/év kibocsátással járnak, szemben a növényi eredetű hüvelyesek elenyésző 7,1 kg CO₂e/fő/év értékével. Ez megerősíti a korábbi kutatásokat, amelyek szerint az állati termékek aránytalanul nagy környezeti terheléssel

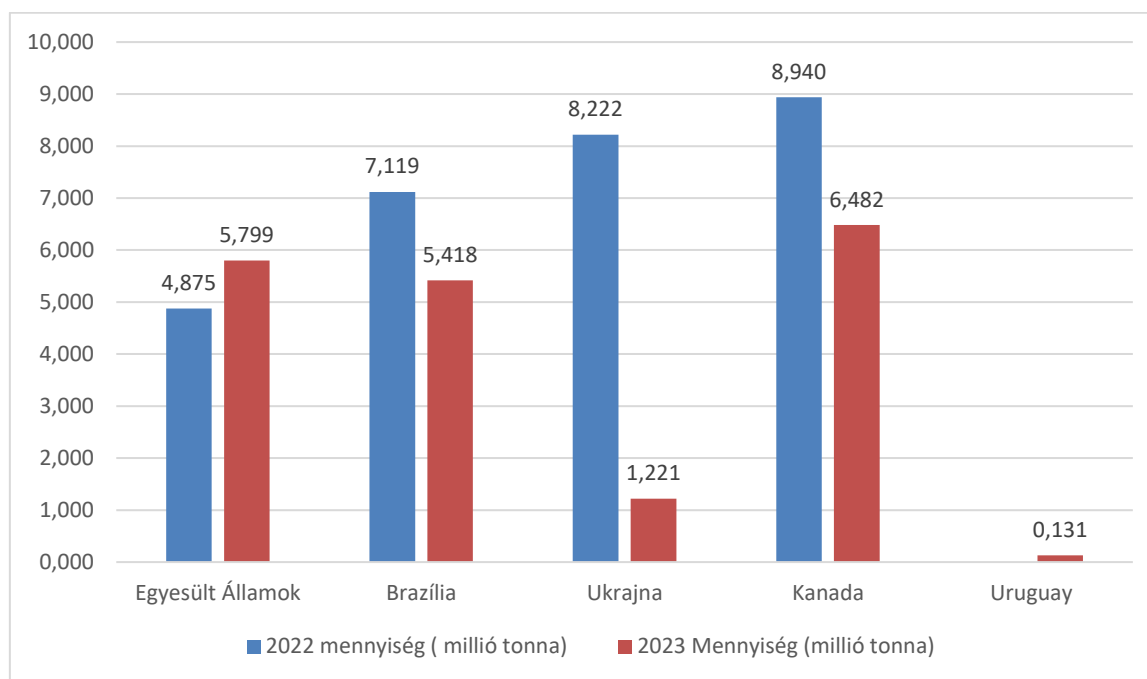


járnak, különösen a hús- és tejtermékek. A tej alacsony fajlagos karbonlábnyoma (1,9 kg CO₂e/kg) elsősre környezetbarát választásnak tűnhet, azonban a magas éves globális fogyasztás (88 kg/fő) miatt az ebből származó kibocsátás (167,2 kg CO₂e/fő/év) meghaladja például a csirkehúshoz köthető értéket. Ez rávilágít arra, hogy a környezeti hatás nem csupán a termék karbonintenzitásától, hanem annak fogyasztási volumenétől is függ. A növényi alapú élelmiszerek jelentősen csökkenthetik a globális élelmiszer-rendszerek emisszióját. A hüvelyesek karbonlábnyoma mindössze 0,98 kg CO₂e/kg, és globális szinten is alacsony a fogyasztási szintjük (7,2 kg/fő/év), így az ebből adódó kibocsátás marginális (7,1 kg CO₂e/fő/év). Ennek alapján a növényi alapú étrend, különösen a hüvelyesek fogyasztásának ösztönzése, kulcsfontosságú stratégia lehet a globális éghajlatváltozás elleni küzdelemben. A sertéshús fogyasztása globálisan nagy, közepes karbonintenzitás mellett is jelentős kibocsátást eredményez. A sertéshús globális fogyasztása évi 15,3 kg/fő, ami a vizsgált húsfélék közül a legnagyobb. Fajlagos karbonlábnyoma 12,3 kg CO₂e/kg, amely ugyan elmarad a marha- vagy bárányhús értékétől, de a nagy mennyiség miatt a teljes éves kibocsátás 188,2 kg CO₂e/fő értékre tehető. Ez a teljes élelmiszer-karbonlábnyom mintegy 13 %-át teszi ki, ami kiemeli a sertéshús köztes szerepét: nem extrém szennyező, de nagy tömegű fogyasztása miatt jelentős kibocsátási forrás. A sertéshús karbonlábnyoma elsődlegesen a takarmányozáshoz, illetve a takarmánytermeléshez, különösen a szója- és gabonafélékhez kötődik. Az olyan stratégiák, mint a környezetbarát takarmányozás, a fermentálás vagy a felhasználásra kerülő takarmánykomponensek helyi előállítása, csökkenthetik a lábnyomot. A sertéshús fogyasztása globálisan elterjedt, különösen Ázsiában (pl. Kína), ahol az állati fehérjebevitel jelentős részét biztosítja. Az iparszerű sertéshús-termelés környezeti hatása kulcsfontosságú kérdés a fenntarthatóság szempontjából, különösen az ÜHG kibocsátásának csökkentése terén. Az ÜHG-kibocsátás mérséklése alapvető szerepet játszik a globális éghajlatváltozás kedvezőtlen hatásainak enyhítésében (IPCC, 2007). A kutatások azt jelzik, hogy a sertéstartás során mért CO₂e értéket részben ellensúlyozza a takarmányként használt növények fotoszintézise (Philippe és Nicks, 2015). Ezen túlmenően, a trágyából származó CO₂-kibocsátást sokáig elhanyagolták, miközben az a trágyában lévő szerves anyagok lebomlásából származik, és jelentős mértékben hozzájárul az ÜHG-kibocsátás növekedéséhez. Az állatok légzése ugyancsak hozzájárul a CO₂-kibocsátáshoz, mivel az az anyagcsere-folyamatok során keletkező és távozó gázok között is szerepel (Philippe és Nicks, 2015). A sertéstenyésztés terén a feladatunk ebből adódóan tehát olyan, nagy hústermelő képességgel, kedvező takarmányértékesítéssel és kiváló reprodukciós teljesítménnyel rendelkező állományok termelésbe vétele, amelyekkel a jelentős termelési volumen mellett, a különféle fogyasztói igényeket kielégíteni képes, jó minőségű sertéshús állítható elő (Tenke et al., 2023). Az ágazat szereplőinek együttműködése és a megfelelő támogatás kulcsfontosságú ahhoz, hogy a sertéshús előállítása fenntarthatóbbá váljon, és képes legyen kielégíteni a fogyasztói igényeket, miközben mérsékli a környezeti terhelést.

4. A SZÁLLÍTÁS KÖRNYEZETI HATÁSAI

Környezetterhelés szempontjából Popp et al. (2018) kiemelik a hosszabb, pl. tengeren túli szállítás kiemelkedő szerepét. Ez a faktor az abrakfogyasztó állatok takarmányozásban meghatározó szerepet betöltő szója vonatkozásában jelentkezik markánsan, tekintettel arra, hogy a felhasználásra kerülő szója döntő része tengerentúli országokból származik. Jó példa erre a szójaimport kontinentális megoszlása. Az európai országokba elsődlegesen dél-amerikai, főként brazil szóját importálnak. Az Amerikai Egyesült Államok, Brazília, Argentína és Paraguay részesedése

a globális szójatermelésből és külkereskedelemből továbbra is 80-90 % között változik (Popp et al., 2018). Kína a világ szójapiacának legnagyobb vásárlója, mivel a világviszonylatban forgalmazott szója kétharmada hozzá kerül. Az Európai Unió jelenleg a második legnagyobb szójabab-beszerző és vezető szereplő a globális szójaforgalom szempontjából (Popp et al., 2018). Az EU elmúlt években realizált szójaimportjának változása a 2. ábrán látható.



2. ábra: Az EU szójabab importjának megoszlása és mennyiségi értékei 2022-2023

Forrás: Eurostat Comext adatbázis 2022-2023

Az adatok azt mutatják, hogy az importált mennyiségek hogyan változtak két egymást követő évben (2022 és 2023). Az elemzés szempontjából érdekes a különböző országok közötti eltérés, például Brazília és az Egyesült Államok dominanciája. Az importált mennyiség és annak értéke kulcsfontosságú mutatók a nemzetközi kereskedelem és a mezőgazdasági piacok elemzésében. A szójabab globális importja és exportja szoros összefüggésben áll a fenntarthatósági kihívásokkal. A szójababtermelés környezeti hatásai, mint például az erdőirtás, a talajdegradáció és a vízhasználat, komoly aggodalmakat vetnek fel, különösen az olyan országokban, mint Brazília, ahol a trópusi erdők irtása közvetlenül összefonódik a szójatermesztéssel. Figyelemre méltó, hogy a hosszabb tengerentúli útvonalon szállított szója mennyisége (Brazília) a vizsgált időszakban markánsan csökkent, míg a viszonylag rövidebb szállítási útvonalon érkező ugyancsak tengerentúli szója (Egyesült Államok) mennyisége viszont növekedett. Ez a tendencia érvényesült az uruguay-i szója esetében is, ezen tétel mennyisége azonban nem jelentős. A szállítási útvonalak optimalizálásával, üzemanyag-hatékony járművek használatával és a szállítmányok egyesítésével csökkenteni lehet a szállítással kapcsolatos karbonlábnyomot. Poore és Nemecek (2018) szerint a szállítás általában az élelmiszerek teljes karbonlábnyomának kevesebb, mint 10 %-át teszi ki, de bizonyos globális szállítási láncok (pl. szója) esetében ez az arány nagyobb lehet.

A szállítási távolságok csökkentése hatékonyan csökkentheti az üvegházhatású gázok kibocsátását, amelynek mértéke 13 és 18 % között változhat a szállítási lánc a termeléstől a végfelhasználóig történő logisztikai szakasz hosszától függően (Zhou et al., 2018; Chen et al., 2020).



Az EU importpolitikája és a közös agrárpolitika (KAP) szabályozza a szójabehozatalt. Az egyes országok eltérő vámokat és importkorlátozásokat alkalmazhatnak. A jelentkező kedvezőtlen hatások csökkentése érdekében az európai országok, köztük Magyarország is próbálja növelni a helyi fehérjenövény-termesztést annak érdekében, hogy csökkentse az importfüggőséget. Magyarországon az ipari növények termelése 2023-ban jelentős, 44 %-os volumennövekedést mutatott az előző évhez képest, amelyhez a fehérjenövények – például a szója, a borsó vagy a lóbab – termésmennyiségének emelkedése is hozzájárult (KSH, 2023). Amíg 2010 körül kb. 30 ezer hektáron termesztettek szóját, addig ez a terület 2023-ra ez 60–70 ezer hektár körülire nőtt (KSH, 2023). Az Európai Bizottság adatai szerint az EU-27 tagállamaiban a szójabab vetésterülete több mint kétszeresére nőtt az elmúlt tíz évben, így 2021-ben elérte a 958 ezer hektárt (KSH, 2023). Az idézett források egyértelműen rávilágítanak a globális szójatermelés és a kereskedelem dominanciájára, különösen az Egyesült Államok, Brazília, Argentína és Paraguay részéről, és a szállítási lánc optimalizálásának szükségességére.

5. KEVERÉKTAKARMÁNYOK ELŐÁLLÍTÁSA

A takarmánytermelés relatív részesedése a sertéságazat teljes ÜHG kibocsátásában 31-76 %-a között változik, amely magában foglalja az egyes összetevők előállítását, gyártását és szállítását (FAO, 2006). Ezek az információk fontosak az olyan további takarmányozási kutatások számára, amelyek hozzájárulhatnak a sertéságazat potenciális környezeti hatásainak mérsékléséhez. Emellett a takarmányozási gyakorlatokról szerzett részletesebb információk és adatok segíthetik a kutatási eredmények összehasonlítását, mivel jelentős eltérések tapasztalhatók az egyes eredmények között, még az azonos funkcionális egységek esetén is (Kebreab et al., 2013). Egy olyan rendszerben, ahol a takarmánytermeléshez használt összes összetevő vagy azok nagy aránya a nemzetközi kereskedelemben is részt vesz, az adott termékekhez kapcsolódó hatások megoszlanak a nemzetközi kereskedelemben részt vevő országok között (Balogh és Jámbor, 2020). Számos tanulmány megerősítette, hogy a takarmányozás a legnagyobb környezeti hatással járó tényező a sertésartériális rendszerekben. Szükséges megjegyezni, hogy az új takarmányozási technológiák csökkenthetik a termelési láncsal kapcsolatos környezeti lábnyomot (Maher et al., 2025). A precíziós takarmányozás kiemelt figyelmet kap a táplálóanyagok hasznosításának optimalizálására alkalmazható módszerként, és ezért ígéretes eszközként tartható számon a fenntarthatóbb állattenyésztési rendszerek fejlesztésének irányába. Több tanulmány értékelte a takarmányozási stratégiákat, amelyeket életképes alternatívaként jelöltek meg a termelési lánc környezeti lábnyomának csökkentésére. Ezek az új precíziós takarmányozási módok jó példái az innovatív megoldásoknak, amelyek szükségesek a paradigmák áttöréséhez, az erőforrás-hatékonyság javításához és ahhoz, hogy a jelenlegi termelési környezetet fenntarthatóbb állattenyésztési rendszerek felé tereljük (Pomar et al., 2019). A sertések takarmányozása nemcsak gazdasági szempontokat foglal magába, hanem a növekedés dinamikáját, a színhús arányt, a takarmányértékesítést, és az alomnagyságot, továbbá környezeti tényezőket is, például a nitrogén- és foszfor-kibocsátás csökkentését, valamint az állatjólléti szempontokat, továbbá a kondíciót és a betegségekkel szembeni ellenálló képességet (Yang et al., 2007).

Noya et al. (2016) a sertéshús előállítás karbon lábnyomát vizsgálva azt találták, hogy az 6,70 kg CO₂ eq/kg (élő súly) illetve 8,70 kg CO₂ eq/kg között változhat, ami jelentős eltérésnek tekinthető. Lényeges, hogy a takarmány eredetű karbon lábnyom a hizlalás végén a teljes CO₂



eq értéknek a 75 %-át is elérheti. Ebből adódóan annak csökkentése leginkább a takarmányozás ilyen irányú racionalizálásával lehetséges, amit Gyurcsó et al. (2011) adatai is alátámasztani látszanak. A takarmánykeverékek gyártásának különböző szakaszaiban használt energiafogyasztásról még mindig kevés nyilvános adat áll rendelkezésre, és ezek az adatok jelentős eltéréseket mutathatnak. A jelenlegi kutatások alapján a takarmányelőállítás és feldolgozás jelentős energiafelhasználást igényel, amely nagyrészt fosszilis energiahordozóktól, mint például földgáz, szén és dízel, függ. Ez az energiafogyasztás a sertéshústermelés teljes energiafelhasználásának jelentős részét képezi. A takarmánynövény termesztés és feldolgozás a sertéstermelési lánc teljes energiafelhasználásának meghatározó elemei (van der Werf és Petit, 2002). Paris et al. (2022) tanulmányában az energiafelhasználást és az ipari sertéshústermelés fenntarthatóságát vizsgálják. A kutatás rámutat arra, hogy a takarmány előállítása és az állatok takarmányozása az energiaigény legnagyobb részét teszi ki, ezért az iparszerű termelésben alkalmazott fosszilis tüzelőanyagok csökkentése fontos lépés a fenntarthatóság növelése felé. Megállapításra került az is, hogy az energiafelhasználás 40-60 %-a a takarmány előállításából származik, amely a legnagyobb energiaigényű része a sertéshústermelésnek. Összességében a takarmánytermelés, vagyis az állatok etetéséhez szükséges takarmányok előállításának és feldolgozásának a hozzájárulása az összes energia szükséglethez 26 és 68 % között változhat (Schulz és Schulte, 2014). Jelenleg a sertéseket általában az egyes korcsoportok táplálói igényei alapján takarmányozzák az individuális táplálóanyag szükségletük figyelembevételével. Ami annyit jelent, hogy minden állat ugyanazt a takarmányt fogyasztja egy adott időszakban, miközben a populáció egy része a szükségleténél több táplálóanyagot vesz fel, addig egy másik része kevesebbet (Haushield et al., 2010). A precíziós takarmányozás nyújtotta lehetőségek a hagyományos csoportos takarmányozási rendszerek helyett már számos előnyt mutatnak ezzel összefüggésben is. Ennek a takarmányozási rendszernek a fő előnyei közé tartozik a táplálóanyag felhasználás hatékonyságának növekedése, a környezetterhelő anyagok kibocsátásának csökkenése, valamint a termelési rendszer általános fenntarthatóságának javulása (Pomar et al., 2019). Tekintettel arra, hogy azok a sertések, amelyek a szükségleteik felett vesznek fel táplálóanyagot, a többletet kiürítik. A megnövekedett táplálóanyag felvétel csökkenti az értékesülést is, ami egyúttal nagyobb emissziót eredményez. Ez különösen igaz a fehérje (nitrogén) és a foszfor vonatkozásában (Andretta et al., 2016). A nitrogén értékesítésének hatékonysága életkortól, egészségi állapottól és a nyersfehérje szinttől függően is különbözik (Rakhshandeh et al., 2013). Az idézett szerzők vizsgálataik során azt is igazolták, hogy a szójaliszt és a dikalcium-foszfát mennyisége jelentősen csökkenthető az ajánlásokhoz képest, az állatok teljesítményének csökkenése nélkül. Adataik szerint az „egyedre szabott” táplálóanyag ellátás lehetővé teszi pl. a lizin bevitelének akár 26 %-os csökkentését, valamint a nitrogén és foszfor kiválasztás 30, illetve 14 %-os mérséklését anélkül, hogy az befolyásolná a termelésbe vont sertések teljesítményét (Andretta et al., 2014). A takarmány összetétele az alapanyagok szempontjából szintén egy lehetséges mód a táplálóanyagok kiürítésének csökkentésére, így a bélsár összetételének befolyásolására. A bélsárral történő nitrogén ürítése szorosan összefügg az étrend vagy takarmány összetételével (Pelletier et al., 2013).

6. A FEHÉRJENÖVÉNYEK MINT ESZENCIÁLIS TAKARMÁNYKOMPONENSEK

A fehérjenövények termesztése az EU szántóterületének csupán 3 %-át foglalja el. Annak ellenére, hogy az ágazat 1978 óta részesül támogatásban, az Európai Unióban a száraz hüvelyesek termesztése az 1980-as években csak átmenetileg nőtt, majd 2009-re ismét körülbelül egymillió hektárra csökkent (Popp et al., 2018). Az eddigi előrejelzések szerint az EU-ban nem várható az olaj- és fehérjenövények



(hüvelyesek) vetésterületének és termelésének jelentős növekedése, ezért ezek, mint alternatív fehérjeforrások, sem fognak nagymértékben bővülni. Ezt Popp et al. (2018) azzal magyarázzák, hogy Európa agroklimatikus viszonyai nem kedveznek a fehérjenövények, például a szójabab széleskörű termesztésének, ami hozzájárul a kontinens takarmányfehérje-hiányához. Bár a szója és más fehérjenövények vetésterülete 2013 óta növekszik Európa területén részben a 2015-ben bevezetett új támogatási rendszernek köszönhetően, vetésterületük aránya az összes mezőgazdasági területhez viszonyítva továbbra is alacsony. Számos tagország termeléshez kötött többlettámogatást biztosít, és a zöldítés keretében is engedélyezett a termesztésük. Magyarországon azonban a növekvő szójatermelésnek ennél nagyobb jelentőséget tulajdonítanak (Popp et al., 2018). Fontos megjegyezni, hogy Magyarországon a várható többlettermelés évente legfeljebb 0,1-0,2 millió tonna (European Commission, 2018).

A sertés- és baromfihús iránti kereslet várhatóan jelentősen növekedni fog (Alexandratos et al., 2012), amely elsősorban a népesség növekedésének és az egy főre jutó fogyasztás emelkedésének köszönhető (Robinson et al., 2011). A megnövekedett kereslet a takarmányfehérje iránti nagyobb igényt is fokozza (National Research Council, 1994; 2012; 2016).

A fehérjenövények közül a legnagyobb gazdasági jelentősége a szójababnak van. A monogasztrikus állatok számára a legelterjedtebb növényi fehérjeforrás, és a világ legnépszerűbb hüvelyes olajmag kultúrája (FAO, 2013). A szójabab átlagosan 40-41 % fehérjét tartalmaz a szárazanyagtartalomra vonatkoztatva. A szójabab hasonló mennyiségű szénhidrátot is tartalmaz, mint fehérjét, de a takarmányokban a szénhidrátok táplálkozási és antinutritív hatásait gyakran figyelmen kívül hagyják (Irish és Balnave, 1993). A szójadara a takarmányokban a legfontosabb forrása a jó minőségű növényi fehérjének. Valójában a világ szójatermelésének 85 %-át évente szójaolaj és szójadara előállítására hasznosítják, amelynek közel 97 %-a állati takarmányként kerül felhasználásra (FAO, 2023). A szója esetében általában annak szemtermése, illetve annak extrahált darája kerül felhasználásra. Fledderus (2005) adatai szerint a szójabab oldható anyagaiból származó oligoszacharidok kukoricakeményítő helyettesítéseként való használata szopós malacoknál bélműködési zavart okozott. Zhang et al. (2001) adatai szerint a választott malacoknál a természetes szója oligoszacharidok hatása eltérhet az ipari úton előállított oligoszacharidokétól. Szükséges azonban megjegyezni, hogy a növedék- és hízósertések fehérje- és aminosav szükségletének kielégítéséhez ilyen arányú szójadara bekeverése szakmailag indokolatlannak látszik.

Összességében a szója a legtöbb abrakfogyasztó gazdasági haszonállat diétájában meghatározó fehérjeforrás, ugyanakkor annak legnagyobb hányadát a már említett tengerentúli importból szerezzük be, ami a nagy szállítási távolság miatt a nagy karbonlábnyom fő okozója. A tengerentúlról – elsősorban Brazíliából, Argentínából vagy az Egyesült Államokból – származó szója karbonlábnyoma jelentősen nagyobb, akár 2,0-4,5 kg CO₂e/kg, extrém esetekben pedig 6 kg CO₂e/kg is lehet, amit elsősorban az erdőirtásból fakadó földhasználat-változás, valamint a több ezer kilométeres szállítási láncok terhelése magyaráz (Poore és Nemecek, 2018). A szója helyettesítésére, illetve részleges kiváltására kiemelten fontos új takarmányfélések, takarmánynövényfajok és technológiák integrálása a sertések takarmányozásába. Ehhez gyakran szükség van az esszenciális aminosavak nagyobb arányú felhasználására a kiegyensúlyozott étrend kialakítása érdekében (Lestingi, 2024). Az enyhült szabályozás lehetőséget biztosít arra, hogy például fermentált állati eredetű fehérjéket ismét be lehessen vezetni a sertések takarmányába. Ez segíthet nemcsak a szója kiváltásában, hanem az esszenciális aminosavak optimális bevitelében is, amely hozzájárul a sertések táplálóanyag igényeinek pontosabb kielégítéséhez. Azonban fontos, hogy az ilyen fehérjeforrások



alkalmazása előtt megfelelő ellenőrzéseket végezzünk, hogy elkerüljük az esetleges egészségügyi kockázatokat (Zhang et al., 2020).

A nyers szójagmag jelentős antinutritív-anyag tartalma miatt még a kérődző állatokkal sem etethető, ezért a felhasználás előtt ezen faktorok inaktíválása elengedhetetlen. Erre különböző technológiák rendelkezésre állnak, ezek az eljárások azonban általában jelentős szállítási költséggel járnak, mivel egy-egy szójafeldolgozó üzem kapacitásának kihasználásához viszonylag nagy szójatermő terület szükséges. Ezen túlmenően a feldolgozó üzemek energiafelhasználása is jelentős, amit viszont lokális megoldások fejlesztésével mérsékelni lehet. Ilyen eljárásnak tekinthető a fermentálás is. A fenntarthatósági szempontok figyelembevételével új lehetőségek nyílhatnak a szója erjesztett tömegtakarmánnyként való alkalmazására. Ezek a takarmányok azonban nagy rosttartalommal rendelkeznek, ami korlátot szabhat felhasználásukra a sertések takarmányozásában. Ismertek azonban olyan sertés genotípusok, amelyekre az emésztőtraktusuk felépítése miatt kifejezetten jó rostemésztés jellemző (Jørgensen et al., 2007). Ez a sajátosság lehetővé teszi a nagyobb rosttartalmú takarmányok felhasználását a sertések takarmányozásában is. Xie et al. (2022) az erjesztett szójababbal (Fermented Soybean Meal: FSM) végzett kísérleteik adatai szerint a FSM-tartalmú étrend jelentősen növeli ($P < 0,05$) az átlagos napi súlygyarapodást és emellett a táplálóanyagok felszívódását is. Álláspontjuk szerint az FSM probiotikumokat valamint exoenzimeket, vitaminokat és különféle rövidláncú zsírsavakat (SCFA) is biztosít az állatok számára. Ezen anyagok javíthatják a táplálóanyagok felszívódását, továbbá az állatok immunstátuszát is erősítik (Smiricky-Tjardes et al., 2003). A sertések takarmányozása során tapasztalt megnövekedett emészthetőség valószínűleg a probiotikumok által megváltoztatott enzimaktivitásnak tudható be (Sun et al., 2012).

Sun et al. (2012) szerint az erjedés alatt a lipáz aktivitása növekedett, ami javította a zsírok emészthetőségét. Ez a növekedés a lipid összetevők jobb lebontásához vezetett, ami viszont csökkentette a plazma teljes koleszterin és LDL-C koncentrációját. Az eredmények alapján az erjesztés során bekövetkező lipáz aktivitás növekedése nemcsak a zsírok emésztését segítette elő, hanem a koleszterinszint csökkentésében is szerepet játszhatott, ahogyan azt Xu et al. (2019) is megállapította. Ezen túlmenően a fermentált takarmánylisztben (FSM) magasabb fehérje, kalcium és összfoszfor-szintet állapítottak meg. A zsírtartalom és a pH is alacsonyabb volt összehasonlítva a nem erjesztett takarmánnyal (Hao et al., 2020). Más tanulmányok is azt mutatják, hogy a probiotikumokkal kombinált fermentált szójakomponenst (FSM) tartalmazó diéta növelte az átlagos napi súlygyarapodást valamint másodlagos immunválasz is kimutatható volt. Ezek az eredmények arra utalnak, hogy az FSM egyúttal probiotikus hatással is rendelkezik (Hung et al., 2008). Az FSM-et tartalmazó diéta növelheti a sertések növekedési teljesítményét, beleértve az átlagos napi súlygyarapodást, amit Hung et al. (2008) is megerősítettek. Ez hozzájárul a jobb vágási eredményekhez, mivel a sertések gyorsabban érik el a megfelelő vágósúlyt, és a hús minősége is javulhat. Ezen kívül a probiotikumok és egyéb erjesztett összetevők javíthatják az állatok egészségi állapotát, ami szintén pozitívan befolyásolja a vágási paramétereket. Az FSM-ben található probiotikumok, exoenzimek és SCFA-k javítják az emésztést és tápanyagfelszívódást, aminek hatására az állatok jobb kondíciót érnek el. Ez a hús minőségének javulásához vezethet, mivel a jobb táplálóanyag-felvétel és a jobb immunválasz elősegítik a kevesebb zsírt tartalmazó hús előállítását. Az FSM étrenddel való takarmányozás emellett hozzájárulhat a hús textúrájának javulásához is, mivel az erjedési folyamatok elősegítik a fehérjék és zsírok emészthetőségét, ami a hús ízét és állagát is befolyásolja. Összességében az erjesztett szójabab kedvező hatással van a termelési paraméterekre, a vágási értékekre és a húsminőségre (Xie et al., 2022), ezáltal a fermentált szójakomponens hozzájárulhat a környezetterhelés csökkentéséhez is.



7. AZ EGYES SZÓJAJAJTÁKBAN REJLŐ LEHETŐSÉGEK

A klímaváltozás okozta termesztési nehézségek leküzdésében a megfelelő fajták kiválasztása kulcsfontosságú szerepet játszik. A növénytermesztés szereplői olyan fajtákat keresnek, amelyek jól alkalmazkodnak a környezeti feltételekhez, jól reagálnak a környezeti stresszfaktorokra, magas termőképességgel rendelkeznek, és stabil teljesítményt nyújtanak, továbbá biztonságosan értékesíthetők a piacon. Ebből adódóan a fajtaválasztás folyamata napjainkban egyre összetettebb döntéssé vált. Az országos fajtakísérletek során a szója és más alternatív fehérjeforrások fajtáinak teljesítménye eltérő adottságú területeken összehasonlítható, így hasznos tájékozódási forrást jelentenek a gazdálkodók számára különböző ökológiai viszonyok mellett. A kereskedőknek, termelőknek és felhasználóknak is szükségük van egy független információs bázisra, amely bemutatja a termelés biológiai alapjainak gazdasági és termesztési használhatóságát, bővítve ezzel az ismereteiket. Számos szója fajtát nemesítettek ki, hogy alkalmazkodjanak a különböző ökológiai feltételekhez és megfeleljenek a különféle igényeknek.

A szója fehérjetartalma egy olyan minőségi tulajdonság, amelyet főként a gének additív hatásai irányítanak, és általában negatívan korrelál az agronómiai tulajdonságokkal. A nagy fehérjetartalmú, illetve hozamú szójafajták kiválasztása a fenntartható fehérje-termelés szempontjából a szója nemesítésének egyik nehézsége. A szója génbanki erőforrásainak gazdag genetikai változatossága képezi az alapját a nagy hozamú és fehérjetartalmú szója fajták nemesítésével kapcsolatos akadályok leküzdésének (Petereit et al., 2022). Az Ökológiai Mezőgazdasági Kutatóintézet által végzett on-farm ökológiai fajtakísérletek Magyarországon (2013 óta) azt mutatták, hogy a tesztelt szójafajták olajtartalma 18-23 % között változott az évek átlagában, míg a fehérjetartalom 32-44% között alakult (Borbélyné Hunyadi, 2022). A szerző adatai szerint kiemelkedő fehérjetartalom és stabilitás figyelhető meg például az ES Mentor, Borbála és Hipro 15 fajták esetében és a másodvetésben tesztelt korai és szuperkorai fajták is 40 % feletti fehérjetartalmat értek el (pl. Betti, Merlin, Regina, Amandine). Míg az EU fajtalistán csaknem 600 szójafajta van, addig a hazai listán 2022-ben 51 fajta szerepelt, amelyből 8 nagy fehérjetartalmú, élelmiszeripari felhasználásra alkalmas fajta, a többi azonban kizárólag takarmányozási célra használható.

A vizsgált szójafajták fehérjetartalmának emészthetőségéről nyilvános hazai adat nem áll rendelkezésre, miközben az egyes fajták takarmányozási értékét azok emészthető fehérjetartalma határozza meg. Ez abból adódik, hogy az állatok fehérje bioszintézisükhöz csak azt a fehérjét (azokat az aminosavakat) tudják felhasználni, amelyek az ileum végéig felszívódnak. A postileális bélszakaszból felszívódó N-tartalmú vegyületek a fehérjeszintézisben ugyanis már nem vesznek részt (Zebrowska, 1973; Tossenberger et al., 2000). Az ileális emészthetőség-vizsgálatok jelentősége abban rejlik, hogy lehetővé teszik a fehérje és aminosavak pontosabb értékelését, amelyek az állatok számára hasznosíthatóak. Ennek alapján a takarmánykeverékek és receptúrák pontosabb kialakítása válik lehetségessé, amely segíti az állatok táplálkozási igényeinek precízebb kiszolgálását, miközben csökkenti a felesleges fehérjebevitelből eredő környezeti kibocsátásokat (Stein et al., 2007). Ebből adódóan fontos lenne a szójafajták fajtaspecifikus emészthető nyersfehérje/aminosav tartalmának ismerete, amely hozzájárulhatna a N-emisszió, így az összesített környezetterhelés csökkentéséhez is.



8. A FENTARTHATÓSÁG JÖVŐBENI IRÁNYAI

A jövőben elengedhetetlen olyan növényfajok és fajták azonosítása, amelyek a helyi környezetben jól fejlődnek és ennek következtében szükséges a termelési potenciáljuk, valamint tápanyag- és antinutritív anyag-tartalmuk értékelése, illetve ismerete. Az agrártermelési rendszerek optimalizálása és a helyi növény- és haszonállatfajták genetikai tulajdonságainak javítása továbbra is indokolt, amit szelektív genetikai fejlesztés követhet (Petropoulos et al., 2023). Az EU Farm to fork strategy (2020) szerint, az állattenyésztés terén az egyik intézkedési pont az, hogy „vizsgáljuk meg az EU szabályait a kritikus takarmányok (pl. erdőirtott területen termesztett szója) iránti függőség csökkentése érdekében, támogassuk az EU-ban termesztett növényi fehérjét és alternatív takarmányok használatát” úgy, ahogyan az az Európai Unió Növényi Fehérje Tervében (Development of plant proteins in the EU, 2018) körvonalazásra került.

A takarmányfehérje-hatékonyság javítása az állatok táplálóanyag-igényeinek pontos meghatározásával, a takarmányreceptúrák optimalizálásával és exogén enzimek alkalmazásával segíthet csökkenteni a szükséges takarmányfehérje teljes mennyiségét, és részben enyhíteni az adott problémákat (Sureshkumer et al., 2023). Bár a helyben termelt takarmányfehérjék és az emberi fogyasztásra nem alkalmas melléktermékek a legjobb megoldások az állattenyésztés környezeti lábnyomának csökkentésére, a különböző földrajzi területeken található jó minőségű takarmányfehérjék, mint például a szójaliszt importját és exportját globálisan egyensúlyban kell tartani a kitűzött célok mielőbbi elérése érdekében (Sung et al., 2023). Az akadémiai szféra és az ipar közötti szoros együttműködés szükséges a legújabb tudományos és technológiai megoldások keresésében, mint például új takarmányfeldolgozási módszerek kidolgozása, a fehérje minőségének pontos értékelése, valamint az állatok fehérje/aminosav hasznosításának javítása területén, amelyet innovatív megoldások segíthetnek (Sung et al., 2023).

Az Európai Bizottság 2010-2030 közötti előrejelzése szerint a fehérjenövények, amelyek a szántóföldi terület 1,7 %-át foglalják el, továbbra is korlátozott szerepet játszanak. A szójabab esetében a terület körülbelül 10 %-kal, 0,9 millió hektárról 1,0 millió hektárra bővíthet. Az EU részesedése a globális szójabab-importból 9 %, míg a szójadara esetében ez elérheti a 31 %-ot. A szójabab területének alakulása a GMO-mentes szója felárától, a GMO-mentes takarmányozás és a GMO-mentes szójanemesítés fejlődésétől függ (European Commission, 2017). Az olajosnövények globális termelése a 2010 és 2030 közötti időszakban várhatóan 28,8 millió tonnáról 33,5 millió tonnára nő. Ezen belül a szója éves termése 1,2 millió tonnáról 3,0 millió tonnára emelkedik, ami jól mutatja a növekvő keresletet és a termesztési kapacitások bővülését. A legfrissebb adatok szerint a 2024/2025-ös gazdasági évben a globális szójababtermelés rekordot döntött, elérve a 425 millió tonnát, ami 8 %-kal haladja meg az előző év kibocsátását. A legnagyobb termelő országok közül Brazíliában a termelés közel 10 %-kal, 169 millió tonnára nőtt, míg az Egyesült Államokban 7 %-os növekedést követően 121 millió tonnás termést várnak (USDA, 2025). Kína továbbra is a világ legnagyobb szójaimportőre, ugyanakkor az Európai Unió is kiemelt szereplő marad: a globális szójabab-import körülbelül 10 %-át, míg a szójaliszt-import mintegy 30 %-át az EU jegyzi. Ezáltal az Unió – különösen a takarmányozás területén – vezető szerepét megőrzi a globális szójaellátási láncban. A globális olajosnövények piacának dinamikájában a repcetermelés csökkenése is szerepet játszik, amely a szója és napraforgó termelésének növekedésével párhuzamosan egy új trendet mutat. A repcetermelés csökkenésével párhuzamosan a szója és napraforgó termelése emelkedik, de az olajnövények importja is nő, elsősorban a szójabab folyamatosan növekvő behozatalának köszönhetően (European Commission, 2017). A jövőben a precíziós nemesítési eljárások (például az



antinutritív faktorok csökkentése és a fehérjetartalom növelése), az ipari úton előállított aminosavak széleskörű felhasználása (a keveréktakarmányok fehérjetartalmának csökkentése révén), valamint a feldolgozási technológiák fejlesztése várhatóan hozzájárul a növényi fehérje előállításának alacsony önellátottsági szintjének növeléséhez (Popp et al., 2018).

A sertéságazat karbonlábnyomának csökkentése és a fenntarthatóság előmozdítása érdekében számos ajánlás áll rendelkezésre, amelyek közül a legfontosabbak, pl. a FAO (2013): „Climate-Smart Agriculture Sourcebook” átfogó ismereteket nyújtanak a klímabarát mezőgazdasági gyakorlatokról, beleértve az állattenyésztést is, és útmutatást adnak a fenntartható mezőgazdasági rendszerek kialakításához. Az Európai Bizottság (2020) „A körforgásos gazdaság cselekvési terve” részletesen bemutatja az Európai Unió stratégiáját a körforgásos gazdaság megvalósítására, beleértve az élelmiszer-termelés és fogyasztás fenntarthatóságának javítását. A FAO (2021): „Climate-smart livestock production: A practical guide for Asia and the Pacific region” egy olyan útmutató, amely klímabarát állattenyésztési gyakorlatokat tárgyal, amelyek csökkentik az ÜHG kibocsátását és elősegítik a fenntarthatóságot. Ezek a dokumentumok részletes információkat nyújtanak a fenntartható gyakorlatokról és stratégiákról, amelyek alkalmazhatók a sertéságazatban a karbonlábnyom csökkentése érdekében. A jövő sertéstakarmányozása az innovációra és a fenntarthatóságra épül. Az alternatív fehérjeforrások, az adatalapú precíziós takarmányozás, a környezetbarát termesztési módszerek és az alacsony kibocsátású takarmány-adalékok együttes alkalmazása csökkentheti az iparág karbonlábnyomát. Ezek az újítások nemcsak a környezetvédelem szempontjából előnyösek, hanem hosszú távon gazdaságilag is fenntarthatóbbá tehetik a sertéságazatot.

9. KÖVETKEZTETÉSEK

Az elmúlt évtizedekben az alapvető takarmányozási kutatások forradalmi előrehaladása alapján új módszereket és technikákat dolgoztak ki, amelyek forradalmi változásokat hozhatnak a sertéstakarmányozásba, a szabadon tartott rendszerektől az intenzív állattartásig világszerte. Ennek ellenére még mindig számos terület van a sertések takarmányozásában, illetve tenyésztésében, amelyek között az alternatív fehérjeforrások kutatása, a funkcionális adalékanyagok fejlesztése és a hús minőségének javítása is szerepel. A jövő sertéstakarmányozása a tudomány és technológia fejlődésével egyre inkább a biztonság, a hatékonyság, a minőség és az ökológiai szempontok figyelembevételével fog alakulni. A cél az, hogy a takarmányozás nemcsak gazdaságosabb, hanem „környezetbarátabb” és fenntarthatóbb is legyen. Emellett a kutatás és a fejlesztés a takarmány összetételének és alkalmazásának finomhangolására összpontosít, hogy még jobban megfeleljenek az állatok táplálkozási igényeinek, miközben csökkenthetők lehetnek a környezetre gyakorolt negatív hatások. A jövő takarmányozási rendszerei a legújabb tudományos ismeretek és technológiai újítások alkalmazásával biztosítják az optimális növekedést és jóllétet a sertések számára. Összességében az prognosztizálható, hogy az állattenyésztéshez kapcsolódó általános fenntarthatósági célok elérése az aktuális klímaviszonyokhoz adaptált, lokális takarmánynövény-termesztést, illetve ehhez kapcsolódóan olyan innovatív feldolgozási technológiák alkalmazását követeli meg, amelyek a legkisebb szántóföldi veszteséggel és energiafelhasználással, és a termelés karbon-lábnyomának csökkentésével járnak. Potenciálisan ilyen feldolgozási technológiát jelenthet a különböző szántóföldi kultúrák vegetatív (szár és levél) és generatív (termés) növényi részeinek a fehérjehozam szempontjából optimálisnak vélt időpontban történő betakarítása, majd erjesztett takarmánnyként való felhasználása.



Selected Aspects of Reducing the Carbon Footprint in Pig Farming

FLÓRA FŐGLEIN, BALÁZS HÚTH, JÁNOS TOSSENBARGER*

Albert Kázmér Faculty of Agricultural and Food Sciences of Széchenyi István University

Department of Animal Science, Mosonmagyaróvár, Hungary

ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0002-3456-4077>

ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0003-9413-8691>

ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0000-3862-0035>

Email: tossenberger.janos@sze.hu

*Corresponding author/Levelező szerző

ABSTRACT

Pig production faces major environmental challenges, particularly in the field of nutrition. Reducing the dietary CO₂ footprint is of crucial importance, as most emissions stem from feed production primarily due to the use of protein ingredients such as soy. Since soy is largely imported, its use raises significant environmental and sustainability concerns. This paper aims to present various options that feeding systems of sustainable pig production can consider to mitigate their environmental impact, alongside strategies and innovations that may help reduce the CO₂ footprint. A brief overview is given of the environmental aspects of pig production, including the potential impacts arising from the transportation and manufacture of feed and feed ingredients. The paper also discusses the opportunities provided by the rational selection of protein crop species and varieties, as well as potential future directions that could contribute to lowering the environmental burden of pig production. Based on the available evidence, it can be concluded that achieving general sustainability objectives in pig production requires the localised cultivation of feed crop adapted to prevailing climate conditions, coupled with the use of innovative processing technologies that minimise field losses and energy consumption while reducing the production-related CO₂ footprint. Harvesting both vegetative and generative plant parts of various field crops at the optimal time for protein yield, and their subsequent use as fermented feed ingredients, may provide effective processing solutions.

Keywords: *pig nutrition, sustainability, alternative protein sources, environmental impact*

IRODALOMJEGYZÉK

- Alexandratos, N., & Bruinsma, J. (2012). World agriculture towards 2030/2050: The 2012 revision. *ESA Working Paper No. 12-03*. Food and Agriculture Organization. <https://www.fao.org/4/ap106e/ap106e.pdf>
- Andretta, I., Hickmann, F. M. W., Remus, A., Franceschi, C. H., Mariani, A. B., Orso, C., Kipper, M., Létourneau-Montminy, M.-P., & Pomar, C. (2021). Environmental Impacts of Pig and Poultry Production: Insights From a Systematic Review. *Frontiers in Veterinary Science*, 8, 750733. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.750733>
- Andretta, I., Pomar, C., Rivest, J., Pomar, J., & Radünz, J. (2016). Precision feeding can significantly reduce lysine intake and nitrogen excretion without compromising the performance of growing pigs. *Animal*, 10, 1137-1147. <https://doi.org/10.1017/S1751731115003067>



- Andretta, I., Pomar, C., Rivest, J., Pomar, J., Lovatto, P., & Radünz Neto, J. (2014). The impact of feeding growing-finishing pigs with daily tailored diets using precision feeding techniques on animal performance, nutrient utilization, and body and carcass composition. *Journal of Animal Science*, 92, 3925-3936. <https://doi.org/10.2527/jas.2014-7643>
- Balogh, J. M., & Jámor, A. (2020). Az agrárkereskedelem környezeti hatásainak vizsgálata szisztematikus szakirodalmi áttekintés segítségével. *Közgazdasági Szemle*, 67(9), 930-949. <https://doi.org/10.18414/KSZ.2020.9.930>
- Bawden, R. J. (1991). Systems thinking and practice in agriculture. *Journal of Dairy Science*, 74, 2362-2373. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78410-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78410-5)
- Borbélyné Dr. Hunyadi, É. (2023). *A szójatermesztés biológiai alapjai – Gyakorlati útmutató a fajtaválasztáshoz az ökológiai szójatermesztésben*. Ökológiai Mezőgazdasági Kutatóintézet (ÖMKI), Budapest. <https://biokutatas.hu/kiadvany/gyakorlati-utmutato-a-fajtavavlasztashoz-az-okologiai-szojatermesztésben>
- Chen, J., Wang, S., Ou, C. T., & Jiang, X. (2020). Study on carbon emission measurement and dynamic optimization of fresh meat supply chain. *Journal of China Agricultural University*, 25, 165-182. <https://doi.org/10.3390/foods12234203>
- Conway, G. R. (1997). *The doubly green revolution: Food for all in the 21st century*. Cornell University Press.
- Chriki, S., & Hocquette, J.-F. (2020). The myth of cultured meat: A review. *Frontiers in Nutrition*, 7(7). <https://doi.org/10.3389/fnut.2020.00007>
- Ezeh, A., Kissling, F., & Singer, P. (2020). Why sub-Saharan Africa might exceed its projected population size by 2100. *The Lancet*, 396, 1131-1133. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)31522-1](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)31522-1)
- European Commission. (2017). *EU agricultural outlook for the EU agricultural markets and income 2017–2030*. https://agriculture.ec.europa.eu/system/files/2018-07/agricultural-outlook-2017-30_en_0.pdf
- European Commission. (2018). *Short-term outlook for EU agricultural markets in 2018 and 2019*. https://commission.europa.eu/document/download/bbf88ec7-da61-4126-8a50-fa2f34beacd5_en?filename=sto-2018-autumn-methodology.pdf
- European Commission. (2018). *Report on the development of plant proteins in the European Union*. https://agriculture.ec.europa.eu/document/download/73712bee-50e3-409a-9f47-88c5c7adb044_en?filename=pp-day1-panel-agronomic-practices-and-environmental-benefits_en.pdf
- European Commission. (2020). *Farm to Fork Strategy: For a fair, healthy and environmentally-friendly food system*. https://food.ec.europa.eu/horizontal-topics/farm-fork-strategy_en
- European Commission. (2020). *A körforgásos gazdaság cselekvési terve [Circular Economy Action Plan]*. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/api/files/attachment/863170/EU_Greenddeal_Circular_economy_hu.pdf
- Eurostat. (2024). EU trade by HS6 [HS 1201 – Soya beans]. Eurostat Comext database. <https://agridata.ec.europa.eu/extensions/DataPortal/trade.html>
- Eurostat. (2024). EU imports of soya beans (HS 1201), 2022-2023. Eurostat Comext Database. <https://trendeconomy.com/data/h2/EuropeanUnion/1201>
- FAO. (2006). *Livestock's long shadow: Environmental issues and options*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/3/a0701e/a0701e00.htm>



- FAO. (2013). *Climate-Smart Agriculture Sourcebook*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO. (2021). *Climate-smart livestock production: A practical guide for Asia and the Pacific region*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO. (2023). *Statistical Yearbook – World Food and Agriculture 2023*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Fledderus, J. (2005). *Possibilities of soy concentrate in piglet feeds without AGPs*. Report No. 728, Schothorst Feed Research, Lelystad, The Netherlands, 1-22.
- Olesen, I., Groen, A. F., & Gjerde, B. (2000). Definition of animal breeding goals for sustainable production systems. *Journal of Animal Science*, 78(3), 570-582. <https://doi.org/10.2527/2000.783570x>
- Guo, B., Sun, L., Jiang, S., Ren, H., Sun, R., Wei, Z., Hong, H., Luan, X., Wang, J., Wang, X., Xu, D., Li, W., Guo, C., & Qiu, L. J. (2022). Soybean genetic resources contributing to sustainable protein production. *Theoretical and Applied Genetics*, 135, 4095-4121. <https://doi.org/10.1007/s00122-022-04222-9>
- Gyurcsó, G., Tóth, T., Fábíán, J., Tossenberger, J. (2011, szeptember 29-30). Az L-valin kiegészítés hatása a brojlercsirkék fontosabb természetes mutatóira [Konferencia szekció]. LIII. Georgikon napok. Nemzetközi Tudományos Konferencia, Keszthely, Magyarország.
- Hauschild, L., Pomar, C., & Lovatto, P. A. (2010). Systematic comparison of the empirical and factorial methods used to estimate the nutrient requirements of growing pigs. *Animal*, 4, 714-723. <https://doi.org/10.1017/S1751731109991546>
- Hao, L., Su, W., Zhang, Y., Wang, C., Xu, B., Jiang, Z., Wang, F., Wang, Y., & Lu, Z. (2020). Effects of supplementing with fermented mixed feed on the performance and meat quality in finishing pigs. *Animal Feed Science and Technology*, 266, 114501. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114501>
- Hung, A., Su, T. M., Liao, C. W., & Lu, J. J. (2008). Effect of probiotic combination fermented soybean meal on growth performance, lipid metabolism and immunological response of growing-finishing pigs. *Asian Journal of Animal and Veterinary Advances*, 3(6), 431-436. <https://doi.org/10.3923/ajava.2008.431.436>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2007). *Climate change 2007: Synthesis report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC. <https://www.ipcc.ch/report/ar4/syr/>
- Irish, P. R., & Balnave, D. (1993). Nutritional and antinutritional factors of feed ingredients used in pig diets. *Animal Feed Science and Technology*, 40(1-2), 137-147.
- Jørgensen, H., Serena, A., Theil, P. K., Hedemann, M. S., & Knudsen, K. E. B. (2007). The fermentative capacity of growing pigs and adult sows fed diets with fermented feed ingredients. *Livestock Science*, 109(1-3), 111-114. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2007.01.102>
- Kebreab, E., Strathe, A. B., Fadel, J. G., Moraes, L. E., & France, J. (2013). Impact of dietary manipulation on nutrient flows and greenhouse gas emissions in pig production: A review. *Journal of Animal Science*, 91(9), 4781-4792. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-6277>
- Kim, S. W., Less, J. F., Wang, L., Yan, T., Kiron, V., Kaushik, S. J., & Lei, X. G. (2019). Meeting global feed protein demand: Challenge, opportunity, and strategy. *Annual Review of Animal Biosciences*, 7, 17.1–17.23. <https://doi.org/10.1146/annurev-animal-030117-014838>
- Központi Statisztikai Hivatal. (2023). *A szójabab termelése vármegye és régió szerint, 2022*. https://www.ksh.hu/stadat_files/mez/hu/mez0080.html



- Központi Statisztikai Hivatal. (2024). *Jövedelem és fogyasztás*. <https://www.ksh.hu/jovedelem-es-fogyasztas>
- Lestingi, A. (2024). Alternative and sustainable protein sources in pig diet: A review. *Animals*, 14(2), 310. <https://doi.org/10.3390/ani14020310>
- Maher, S., Sweeney, T., & O'Doherty, J. V. (2025). Optimising nutrition for sustainable pig production: Strategies to quantify and mitigate environmental impact. *Animals*, 15(10), 1403. <https://doi.org/10.3390/ani15101403>
- McDonald, S., Edwards, R. A., Greenhalgh, J. F. D., Morgan, C. A., Sinclair, L. A., & Wilkinson, R. G. (2011). *Animal nutrition*. Pearson Education Limited.
- Miao, Z., Zhao, Z., Long, T., & Chen, X. (2023). Carbon footprint in agriculture sector: A literature review. *Carbon Footprints*, 2(13). <https://doi.org/10.20517/cf.2023.29>
- National Research Council. (1994). *Science and judgment in risk assessment*. The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/2125>
- National Research Council. (2012). *A framework for K–12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas*. The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/13165>
- National Research Council. (2016). *Assessing the reliability of complex models: Mathematical and statistical foundations of verification, validation, and uncertainty quantification*. The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/13395>
- Noya, I., Aldea, X., Gasol, C. M., González-García, S., Amores, M. J., Colón, J., Ponsá, S., Roman, I., Rubio, M. A., Casas, E., Moreira, M. T., & Boschmonart-Rives, J. (2016). Carbon and water footprint of pork supply chain in Catalonia: From feed to final products. *Journal of Environmental Management*, 171, 133-143. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.01.039>
- OECD & Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2023). *OECD-FAO agricultural outlook 2023-2032*. OECD Publishing.
- Paris, B., Vandorou, F., Tyriss, D., Balafoutis, A. T., Vaiopoulos, K., Kyriakarakos, G., Manolagos, D., & Papadakis, G. (2022). Energy use in the EU livestock sector: A review recommending energy efficiency measures and renewable energy sources adoption. *Applied Sciences*, 12(4), 2142. <https://doi.org/10.3390/app12042142>
- Pelletier, N., Ibarburu, M., & Xin, H. (2013). A carbon footprint analysis of egg production and processing supply chains in the Midwestern United States. *Journal of Cleaner Production*, 54, 108-114. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.04.041>
- Petereit, J., Marsh, J. I., Bayer, P. E., Danilevicz, M. F., Thomas, W. J. W., Batley, J., & Edwards, D. (2022). Genetic and genomic resources for soybean breeding research. *Plants*, 11(9), 1181. <https://doi.org/10.3390/plants11091181>
- Petropoulos, S. A., Barros, L., & Ferreira, I. C. F. R. (2023). Rediscovering local landraces: shaping horticulture for the future, volume II. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1329995. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1329995>
- Philippe, F.-X., & Nicks, B. (2015). Review on greenhouse gas emissions from pig houses: Production of carbon dioxide, methane and nitrous oxide by animals and manure. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 199, 10-25. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.08.015>
- Pomar, C., Hauschild, L., Zhang, G. H., Pomar, J., & Lovatto, P. A. (2019). Precision feeding can significantly reduce feeding cost and nutrient excretion in growing pigs. *Animal*, 13(7), 1374-1383.
- Poore, J., & Nemecek, T. (2018). Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. *Science*, 360(6392), 987-992. <https://doi.org/10.1126/science.aaq0216>



- Popp, J., Harangi-Rákos, M., & Oláh, J. (2018). Fehérjetakarmány függőség az EU-ban: Status quo? *Állattenyésztés és Takarmányozás*, 67(4), 209-224.
- Post, M. J. (2012). Cultured meat from stem cells: Challenges and prospects. *Meat Science*, 92(3), 297-301. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.04.008>
- Rakhshandeh, A., Htoo, J. K., Karrow, N., Miller, S. P., & de Lange, C. F. M. (2013). Impact of immune system stimulation on the ileal nutrient digestibility and utilisation of methionine plus cysteine intake for whole-body protein deposition in growing pigs. *British Journal of Nutrition*, 111, 101-110. <https://doi.org/10.1017/S0007114513001955>
- Risner, D., Negulescu, P., Kim, Y., Nguyen, C., Siegel, J. B., & Spang, E. S. (2024). Environmental impacts of cultured meat: A cradle-to-gate life cycle assessment. *ACS Food Science & Technology*, 4(5), 577-586. <https://doi.org/10.1021/acsfoodscitech.4c00281>
- Robinson, T. P., & Pozzi, F. (2011). *Mapping supply and demand for animal-source foods to 2030*. Animal Production and Health Working Paper. No. 2, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. <http://www.fao.org/docrep/014/i2425e/i2425e00.pdf>
- Rauw, W. M., Rydhmer, L., Kyriazakis, I., Øverland, M., Gilbert, H., Dekkers, J. C. M., Hermes, S., Bouquet, A., Gómez Izquierdo, E., Louveau, I., & Gomez-Raya, L. (2020). Prospects for sustainability of pig production in relation to climate change and novel feed resources. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100(9), 3575-3586. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10338>
- Schulz, H., & Schulte, R. (2014). Energy efficiency in livestock production: A review of the role of feed and feed processing in reducing energy consumption. *Livestock Science*, 167, 90-98.
- Sureshkumar, S., Song, J., Sampath, V., & Kim, I. (2023). Exogenous enzymes as zootechnical additives in monogastric animal feed: A review. *Agriculture*, 13(12), 2195. <https://doi.org/10.3390/agriculture13122195>
- Smiricky-Tjardes, M. R., Grieshop, C. M., Flickinger, E. A., Bauer, L. L., Healy, H. P., & Fahey, G. C. Jr. (2003). Nutritional and immunological benefits of fermented soybean meal for weanling pigs. *Journal of Animal Science*, 81(10), 2496-2504.
- Stein, H. H., Fuller, M. F., & Moughan, P. J. (2007). Definition of apparent, true, and standardized ileal digestibility of amino acids in pigs. *Livestock Science*, 109, 282-285.
- Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M., & de Haan, C. (2006). *Livestock's long shadow*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Sun, Y., Zhang, Y., & Wang, H. (2012). Effects of probiotics on nutrient digestibility and enzyme activity in weaned pigs. *Animal Nutrition*, 25(3), 245-251.
- Tenke, J., Vida, O., Nagy, I., & Tossenberger, J. (2023). Classifying high performance genetic lines in pork production by evaluating ileal crude protein and selected amino acid digestibility in growing pigs. *Animals*, 13(12), 1898. <https://doi.org/10.3390/ani13121898>
- Thompson, P. B., & Nardone, A. (1999). Sustainable livestock production: Methodological and ethical challenges. *Livestock Production Science*, 61, 111-119.
- Tossenberger, J., Fébel, H., Babinszky, L., Gundel, J., Halas, V., & Bódisné Garbacz, Z. (2000). Az aminosavak ileális emészthetősége sertésekben. 1. közlemény: Az ileális emészthetőség meghatározása különböző módszerekkel. *Állattenyésztés és Takarmányozás*, 49(4), 375-384.
- Tubiello, F. N., Rosenzweig, C., Conchedda, G., Karl, K., Gütschow, J., Pan, X., Obli-Laryea, G., Wanner, N., Yue Qiu, S., De Barros, J., Flammini, A., ... & Sandalow, D. (2021). Greenhouse gas emissions from food systems: Building the evidence base. *Environmental Research Letters*, 16(6), 065007. https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac018e?urlappend=%3Futm_source%3Dresearchgate.net%26utm_medium%3Darticle



- USDA (United States Department of Agriculture). (2025). *Soybean outlook: U.S. and global production estimates*.
- United Nations. (2022). *World population prospects 2022: Summary of results*. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. https://www.un.org/development/desa/pd/sites/www.un.org.development.desa.pd/files/wpp_2022_summary_of_results.pdf
- van der Werf, H. M. G., & Petit, J. (2002). Evaluation of the environmental impact of agriculture at the farm level: a comparison and analysis of 12 indicator-based methods. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 93(1-3), 131-145. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(01\)00354-1](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00354-1)
- Wu, Y., Zhao, J., Xu, C., Ma, N., He, T., Zhao, J., Ma, X., & Thacker, P. A. (2020). Progress towards pig nutrition in the last 27 years. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100(14), 5102-5110. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9095>
- Yang, P., Yu, M., Ma, X., & Deng, D. (2023). Carbon footprint of the pork product chain and recent advancements in mitigation strategies. *Foods*, 12(23), Article 4203. <https://doi.org/10.3390/foods12234203>
- Zebrowska-Lupina, I., & Kleinrok, Z. (1973). Behavioural effects of yohimbine administered intraventricularly in the rat. *Psychopharmacologia*, 33(3), 267-275.
- Zhang, L. Y., Li, D. F., Qiao, S. Y., Wang, J. T., Bai, L., Wang, Z. Y., & Han, I. K. (2001). The effect of soybean galactooligosaccharides on nutrient and energy digestibility and digesta transit time in weaning piglets. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 14, 1598-1604.
- Zhang, Y., et al. (2020). Utilization of fermented soybean meal in swine diets: Effects on growth performance, nutrient digestibility, and meat quality. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 11(1), 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2022.105128>
- Zhou, Y., Dong, H., Xin, H., Zhu, Z., Huang, W., & Wang, Y. (2018). Carbon footprint assessment of a large-scale pig production system in northern China: A case study. *Transactions of the ASABE*, 61, 1121-1131.
- Xu, B., Li, Z., Wang, C., Fu, J., Zhang, Y., Wang, Y., & Lu, Z. (2019). Effects of fermented feed supplementation on pig growth performance: A meta-analysis. *Animal Feed Science and Technology*, 259. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.114315>
- Xie, K., Dai, Y., Zhang, A., Yu, B., Luo, Y., Li, H., & He, J. (2022). Effects of fermented soybean meal on growth performance, meat quality, and antioxidant capacity in finishing pigs. *Journal of Functional Foods*, 94. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2022.105128>
- Yang, T. S. (2007). Environmental sustainability and social desirability issues in pig feeding. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 20(4), 605-614.

©Copyright 2025 by the Authors.

The journal is Open Access (Platinum). This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).





Az Európai Unióban engedélyezett rovarfajok elemzése: szakirodalmi áttekintés

BANA BERNADETT^{1*}, LEDÓNÉ ÁBRAHÁM RITA², GALLEN ATTILA³, TŐZSÉR JÁNOS¹

¹Széchenyi István Egyetem, Albert Kázmér Mosonmagyaróvári Kar, Állattudományi Tanszék

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-3760-8812>

Email: bana.bernadett@sze.hu

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5632-1765>

²Széchenyi István Egyetem, Albert Kázmér Mosonmagyaróvári Kar, Növénytudományi Tanszék

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9062-1382>

³Karát Broiler Kft., Vasvár

*Corresponding author/Levelező szerző

Received/Érkezett: 2025.06.13.

Revised/Átdolgozva: 2025.06.22.

Accepted/Elfogadva: 2025.07.24.

Published/Megjelent: 2025.12.23.

ÖSSZEFOGLALÁS

A globális fehérjeválság és a fenntartható élelmiszertermelés iránti igény felgyorsította az alternatív fehérjeforrások, köztük az ehető rovarok kutatását. Az Európai Unió (EU) 2015/2283-as Novel Food-rendelete és az EFSA kockázatértékelései alapján jelenleg kilenc rovarfaj – *Tenebrio molitor*, *Alphitobius diaperinus*, *Acheta domesticus*, *Gryllus assimilis*, *Gryllodes sigillatus*, *Locusta migratoria*, *Hermetia illucens*, *Bombyx mori* és *Musca domestica* – engedélyezett emberi fogyasztásra vagy takarmányozási célra. A tanulmány célja a biológiai, táplálkozási és környezeti jellemzők szintézise, valamint a rovarfehérje-ipar szerepének értékelése a körforgásos gazdálkodásban. A módszertan PRISMA-alapú szakirodalmi áttekintésre épült, amely a 2015-2025 közötti Q1-Q2 folyóiratokat, EFSA-dokumentumokat és LCA-adatokat elemezte. Az eredmények szerint a vizsgált fajok fehérjetartalma 40-70 %, zsírtartalma 15-35 % között változik, míg aminosav-profiljuk és zsírsav-összetételük a hagyományos állati fehérjeforrásokkal egyenértékű. Az LCA-elemzések alapján a rovarfehérje-előállítás üvegházhatásúgáz-kibocsátása akár 80-90 %-kal alacsonyabb a marha- vagy sertéshúsénál. A kutatás rávilágít arra, hogy a rovarfajok biológiai diverzitása, ipari adaptálhatósága és környezeti előnyei jelentős szerepet játszhatnak a jövő fenntartható élelmiszer- és takarmányrendszereinek kialakításában.

Keywords: engedélyezett rovarfajok, fenntartható fehérjeforrás, körforgásos gazdálkodás, tápérték, ipari hasznosíthatóság

1. BEVEZETÉS

A 21. század egyik legjelentősebb kihívása a fehérjehiány, amelyet a népességnövekedés, a városi életmód elterjedése és az intenzív állattenyésztés magas környezeti terhelése okoz (Van Huis és Tomberlin, 2016). Az állati eredetű fehérjék – hús, hal, tojás, tej – előállítása jelentős föld-, víz- és energiaigénnyel jár, miközben a természeti erőforrások egyre korlátozottabbak (Halloran et al., 2021).



A fehérjekereslet 2050-re 60-70 %-kal nőhet, ami a hagyományos forrásokkal nem fedezhető. A fenntartható alternatív fehérjeforrások közül az ehető rovarok az utóbbi évtizedben a legígéretesebb megoldássá váltak (Barragán-Fonseca et al., 2020).

A tudományos és szakpolitikai irodalomban az „ehető rovar” kifejezés nem kizárólag az emberi fogyasztásra jóváhagyott fajokat jelöli. A fogalom gyakran tág értelemben használatos, és magában foglalja mindazokat a rovarfajokat, amelyek biztonságosan felhasználhatók fehérjeforrásként – akár élelmiszerként, akár takarmányként (Van Huis et al., 2013; Veldkamp et al., 2012).

Az ehető rovarok az elmúlt két évtizedben az élelmiszertudomány és a fenntartható mezőgazdasági kutatások egyik központi irányává váltak. Ennek oka, hogy a rovarok kiemelkedően hatékony biokonverterek, képesek növényi melléktermékeket, élelmiszeripari hulladékot és alacsony tápértékű biomasszát magas biológiai értékű fehérjévé, aminosavakká és vitaminokká alakítani (Barragán-Fonseca et al., 2020). A rovarfehérjék aminosav-profilja kedvező, biológiai hasznosulásuk magas, előállításuk pedig lényegesen kisebb környezeti lábnyommal jár, mint a hagyományos állati fehérjeforrásoké (Oonincx és de Boer, 2012).

A fehérjealapú összetevők részleges vagy teljes kiváltása rovarfehérjével jelentősen csökkentheti az élelmiszer- és takarmánygyártás környezeti hatásait, javíthatja az állatjóllétet, és mérsékelheti az élelmiszerpazarlást – mindezt minimális üvegházhatású gázkibocsátás mellett (Spartano és Grasso, 2021).

További előny, hogy a rovarokat intenzív, vertikális rendszerben is lehet tenyészteni, ami lényegesen kevesebb területet és vizet igényel, mint a hagyományos állattenyésztés. Ez a termelési forma gazdaságilag is életképes, miközben minimális üvegházhatású gázkibocsátással jár (Penedo et al., 2022). Az életciklus-analízisek (LCA) szerint 1 kg rovarfehérje előállítása átlagosan 2,7 kg CO₂-egyenértékkel terheli a környezetet, míg a marhahús esetében ez meghaladja a 60 kg-ot (Oonincx és de Boer, 2012; Wilkinson et al., 2018). Az Európai Unió az ehető rovarokat két jogi keretben szabályozza:

- Az (EU) 2015/2283 számú Novel Food-rendelet, amely az emberi fogyasztásra szánt rovarokat és termékeiket engedélyezi. Az Európai Unióban jelenleg négy rovarfaj (*Acheta domesticus*, *Locusta migratoria*, *Tenebrio molitor*, *Alphitobius diaperinus*) rendelkezik élelmiszerként való felhasználási engedéllyel, míg egy további faj engedélyezése folyamatban van az EFSA értékelése alapján. Az engedélyezéshez az Európai Élelmiszerbiztonsági Hatóság (EFSA, European Food Safety Authority) végzi a tudományos kockázatértékelést (EFSA, 2021).
- Az (EU) 2017/893 számú Takarmányozási rendelet, amely meghatározza, mely rovarfajok használhatók fehérjealapú takarmányként. Jelenleg nyolc rovarfaj (*Acheta domesticus*, *Gryllobates sigillatus*, *Gryllus assimilis*, *Tenebrio molitor*, *Alphitobius diaperinus*, *Hermetia illucens*, *Bombyx mori*, *Musca domestica*) engedélyezett állati takarmányban. E fajok használata elsősorban baromfi-, sertés- és akvakultúra-takarmányokban terjedt el, részben a szójaliszt és halliszt kiváltására (Makkar et al., 2014).

Bár az EU-ban egyre több rovarfaj rendelkezik hivatalos engedéllyel, a fajok biológiai, tápértéki és környezeti jellemzőiről szóló adatok töredezetek és nehezen összehasonlíthatók. A legtöbb tanulmány egy-egy faj kémiai összetételére, vagy termelési paramétereire koncentrál, ám hiányzik az összehasonlító, integrált elemzés, amely a biológiai életciklust, a tápértéket, a környezeti hatást és az ipari potenciált együttesen vizsgálja (Menozzi et al., 2021; Penedo et al., 2022).

E kutatás célja, hogy tudományos áttekintést adjon az Európai Unióban engedélyezett ehető rovarfajokról, kiemelve a fajok biológiai és ökológiai alkalmazkodóképességét, fehérje- és zsírtartalmukat, aminosav-profiljukat, életciklusuk (LCA, Life Cycle Analysis) és tenyésztésük



környezeti hatását, valamint ipari és gazdasági felhasználási lehetőségeiket. Az ilyen integrált szemléletű összehasonlítás elengedhetetlen ahhoz, hogy a rovarfehérjék a fenntartható élelmiszer- és takarmányláncok stratégiai részévé váljanak.

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

A tanulmány irodalomkutatása a PRISMA 2020 (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) irányelveit követte (1. ábra) (Page et al., 2021). A keresés célja az volt, hogy azonosítsa az EFSA által 2015 és 2025 között értékelt és engedélyezett ehető rovarfajokkal kapcsolatos, tudományosan megalapozott kutatásokat, amelyek a biológiai tulajdonságokra, tápértékre, bioaktív összetevőkre és környezeti hatásokra vonatkoznak. A keresés három elsődleges adatforrásban zajlott:

- Scopus – tudományos publikációk (Q1-Q2 folyóiratok)
- Web of Science (Core Collection) – kísérletes és review típusú cikkek
- EFSA Scientific Dossiers és Novel Food-jelentések (2015-2025)

A keresés időintervalluma: 2015. január 1. – 2025. április 30. Ez az időszak lefedi a Novel Food-rendelet (2015/2283/EU) életbe lépésétől napjainkig terjedő időszakot. A keresés kombinált kulcsszavakkal történt:

- edible insects OR insect protein
- EFSA OR Novel Food OR authorised species
- nutritional composition OR protein content OR fatty acids
- life cycle OR growth rate OR bioconversion
- bio-waste valorization OR circular economy OR LCA

A szűrés során az alábbi feltételeket alkalmaztuk:

- document type = „article” vagy „review”
- language: English
- journal rank = Q1-Q2 (Scimago 2023)

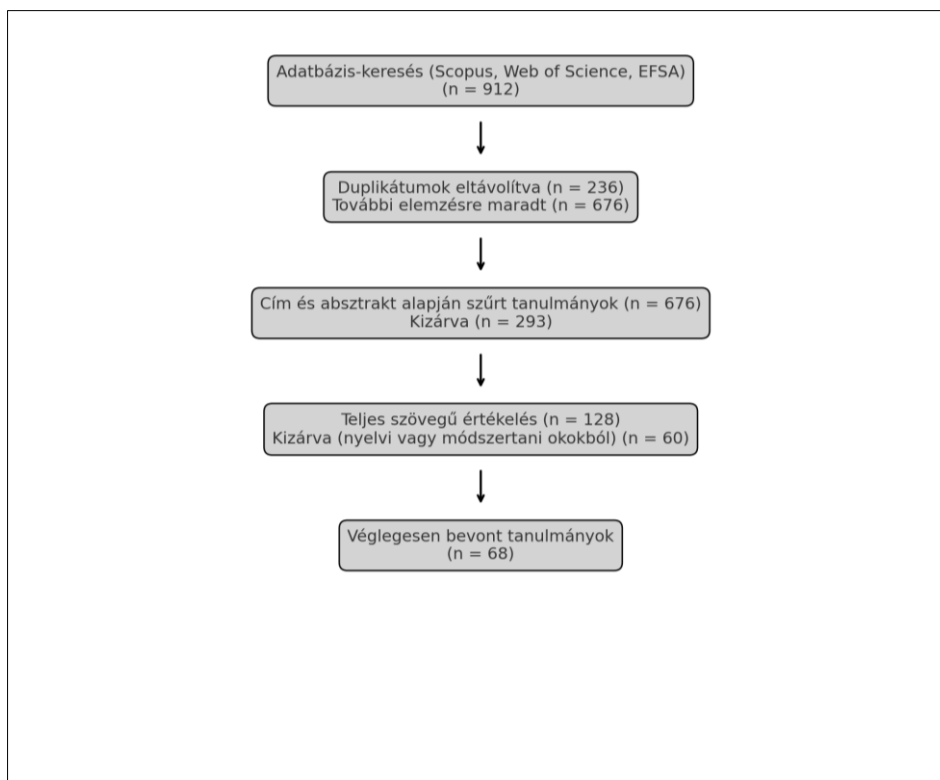
Beválogatásra kerültek azok a cikkek, amelyek:

- legalább egy EFSA által engedélyezett fajt tárgyaltak (*Acheta domesticus*, *Gryllodes sigillatus*, *Gryllus assimilis*, *Locusta migratoria*, *Tenebrio molitor*, *Alphitobius diaperinus*, *Hermetia illucens*, *Bombyx mori*, *Musca domestica*)
- részletes biológiai, táplálkozási vagy környezeti adatokat tartalmaztak
- kísérletes vagy összehasonlító módszertant alkalmaztak

Kizárásra kerültek a nem lektorált („grey literature”) források, a nem angol nyelvű publikációk, valamint azon cikkek, amelyek nem tartalmaztak mennyiségi adatokat. A válogatás eredménye: 912 találat → 236 duplikátum eltávolítva → 421 cikk cím-/absztrakt-szűrés után → 128 teljes szövegű vizsgálat → 68 véglegesen bevont tanulmány.

Az adatokat fajonként rendszereztük, majd táblázatos formában összesítettük:

- tápérték (fehérje, lipid, rost)
- esszenciális aminosav- és zsírsavprofil
- életsiklus-paraméterek
- LCA-mutatók (CO₂-egyenérték, vízlábnyom, FCR)



1.ábra: Az irodalmi szűrés folyamata a PRISMA-2020 alapján

3. AZ EU ÁLTAL ENGEDÉLYEZETT ROVARFAJOK RÉSZLETES BEMUTATÁSA

Az Európai Unió által engedélyezett rovarfajok bemutatása során elsőként a fajok fejlődési típusait ismertetjük, mivel ezek meghatározzák a rovarok biológiai sajátosságait, tenyésztési feltételeit és ipari hasznosítási lehetőségeit. Ezt követően fajonkénti elemzés formájában részletezzük a kilenc engedélyezett rovar biológiai, tápérték és környezeti jellemzőit, külön kitérve az egyes fajok ipari hasznosítására és szerepére.

3.1 A rovarok fejlődése

A rovarok fejlődése a biológiai sokféleség egyik legösszetettebb és legjobban tanulmányozott folyamata. A rovar rendek között jelentős eltérés mutatkozik abban, hogyan alakul át a petéből a kifejlett imágó. A fejlődés fő típusai: ametabolikus, hemimetabolikus és holometabolikus fejlődés (Chapman, 2013). A rovarok fejlődése petéből indul. A pete embrionális fejlődést követően lárvává alakul. A növekedés csak vedlések során valósul meg, mivel a külső váz (kutikula) nem képes tágulni. A vedlést az ekdizon nevű hormon szabályozza, amely a hipotalamusz-neuroendokrin rendszerhez hasonló protoracikus mirigyek és koponya-ganglionok irányítása alatt áll (Nijhout, 2013). A fejlődés szakaszai fajonként eltérnek, de általánosan megkülönböztethető az embrionális, lárv, báb és imágó stádium.

3.1.1 Ametabolikus fejlődés

Az ametabolikus fejlődésben nincs átalakulás. A fiatal egyedek (pronympha) a kifejlett rovarokhoz hasonlóak, csak kisebbek és ivaréretlenek. Ez a típus jellemző például a karcsúszárnyúakra

(Thysanura) és a csótányfélék primitív rokonaira. A fejlődés során fokozatos növekedés és vedlés zajlik, de nincsenek jelentős morfológiai változások (Gullan és Cranston, 2021).

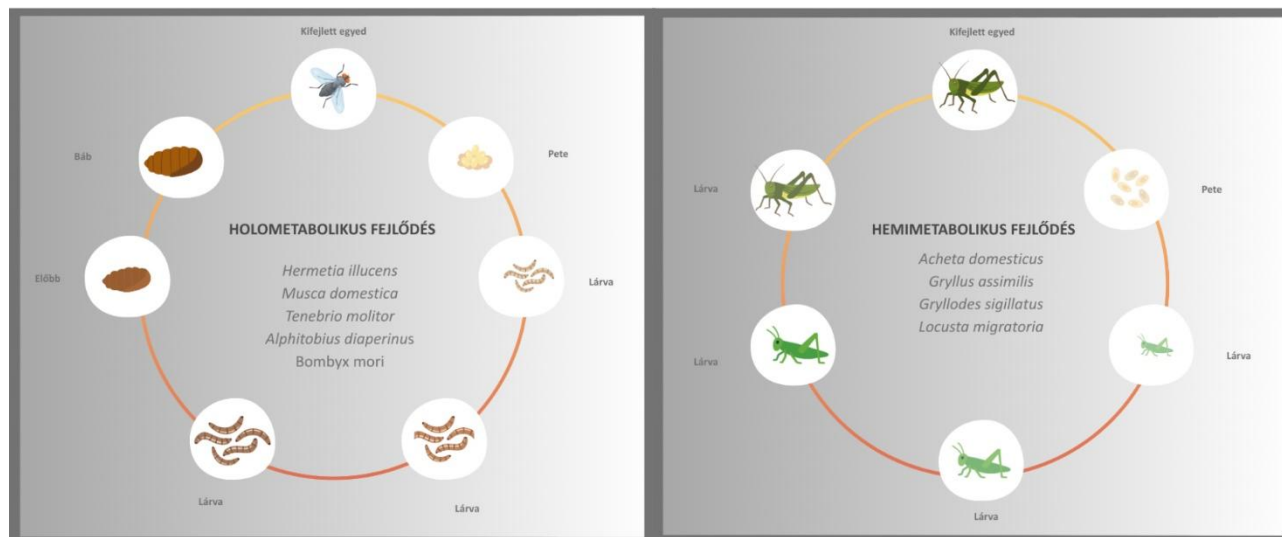
3.1.2 Hemimetabolikus fejlődés (részleges átalakulás)

Ebben az esetben a nimfa morfológiailag hasonlít a kifejlett egyedre, de hiányzik a szárny és a teljesen kifejlett ivarszerv. A nimfa többször vedlik, majd az utolsó vedlés után alakul ki az imágó. A szárnyas rovarok nagy részére (pl. sáskák, tücskök – Orthoptera) ez a típus jellemző (Chapman, 2013). A hemimetabolikus fejlődés ökológiai szempontból előnyös, mivel a fiatal és kifejlett egyedek azonos élőhelyen és hasonló táplálékon élnek, így a populációk stabilan fenntarthatók.

3.1.3 Holometabolikus fejlődés (teljes átalakulás)

A rovarok legfejlettebb csoportjaiban (pl. bogarak – Coleoptera, lepkék – Lepidoptera, legyek – Diptera, hártványsszárnyúak – Hymenoptera) teljes metamorfózis zajlik. A fejlődés szakaszai: pete – embrionális szakasz, lárva – specializált táplálkozó forma, báb – nyugalmi, átépülési szakasz, amely során a test szerkezete teljesen átalakul, imágó – ivarérett, szaporodó forma. A holometabolikus fejlődés előnye, hogy a lárva és az imágó ökológiai igénye teljesen különböző, ami csökkenti az intraspecifikus kompetíciót, és hozzájárul a fajok nagyfokú adaptivitásához (Truman és Riddiford, 2019).

A kilenc Európai Unióban engedéllyel rendelkező rovarfaj közül négy faj – *Acheta domesticus*, *Gryllus assimilis*, *Gryllodes sigillatus* és *Locusta migratoria* – hemimetabolikus, vagyis részleges átalakulással fejlődik, míg öt faj – *Tenebrio molitor*, *Alphitobius diaperinus*, *Hermetia illucens*, *Musca domestica* és *Bombyx mori* – holometabolikus, azaz teljes átalakuláson megy keresztül a fejlődési ciklusa során (2. ábra).



2. ábra: Az Európai Unióban engedélyezett rovarfajok fejlődési típus szerint

Forrás: Saját készítés

3.2 Rovarfajok

A feldolgozott szakirodalmi források lehetővé tették, hogy a kilenc engedélyezett rovarfaj adatait egységes rendszerben vizsgáljuk és összehasonlítsuk. Az alkalmazott módszertan alkalmas arra, hogy a fajok biológiai sajátosságait és ipari jellemzőit integrált módon értékeljük. A 2. táblázat



fajonként összesítve mutatja be az adatgyűjtés és az elemzés legfontosabb eredményeit. A táblázat segítségével egyértelműen kirajzolódnak azok a fajspecifikus különbségek és hasonlóságok, amelyek alapján a rovarfehérjék takarmányozási hasznosítása megalapozottan értékelhető, illetve további kutatási irányok is kijelölhetők.

2.táblázat: Az EU-ban engedélyezett rovarfajok fő biológiai és ipari jellemzői

Faj	Taxonómia (Rend / Család)	Életciklus hossza (nap)	Fehérje (% DM)	Lipid (% DM)	Fő zsírsav	Fő ipari alkalmazás	Forrás
<i>Acheta domesticus</i>	Orthoptera / Gryllidae	45	65	18	Linolsav, leucin, lizin	Élelmiszerfehérje, snack, fehérjepor	EFSA, 2022; Magara et al., 2021; Rumpold és Schlüter, 2013
<i>Gryllodes sigillatus</i>	Orthoptera / Gryllidae	40	66	16	Lizin, treonin, olajsav	Élelmiszer, sporttáplálék, takarmány	Magara et al., 2025
<i>Gryllus assimilis</i>	Orthoptera / Gryllidae	50	63	20	Leucin, metionin, linolsav	Takarmányfehérje, liszt	Ribeiro et al., 2024; Payne et al., 2016
<i>Locusta migratoria</i>	Orthoptera / Acrididae	90	60	17	Linolsav, valin, hisztidin	Élelmiszer, takarmány, aminosav-forrás	EFSA, 2021; Ochiai et al., 2022
<i>Tenebrio molitor</i>	Coleoptera / Tenebrionidae	55	55	30	Olajsav, linolsav, leucin	Élelmiszer, takarmány, bioanyag (kitin)	EFSA, 2021; Gkinali et al., 2022; Oonincx és de Boer, 2012
<i>Alphitobius diaperinus</i>	Coleoptera / Tenebrionidae	45	53	28	Palmitinsav, leucin, lizin	Takarmányfehérje, állati eledel	EFSA, 2022; Mierzejewska et al., 2025
<i>Hermetia illucens</i>	Diptera / Stratiomyidae	14	43	33	Laurinsav (C12:0), valin, izoleucin	Hulladék- biokonverzió, takarmányzsír, biodízel	Gold et al., 2022; Meneguz et al., 2018; Spranghers et al., 2017
<i>Musca domestica</i>	Diptera / Muscidae	10	55	23	Palmitinsav, leucin, arginin	Takarmányfehérje, biokonverzió, állati táp	Čičková et al., 2015; Hamani et al., 2022
<i>Bombyx mori</i>	Lepidoptera / Bombycidae	28	55	30	Olajsav, linolsav, glicin	Élelmiszer, kozmetikum, gyógyszer vivőanyag	Marzoli et al., 2022; Numata és Kaplan, 2025



4. INTEGRÁLT ELEMZÉS

E fejezet célja, hogy az egyedi jellemzőket integrált módon értelmezze, kiemelve a fajok közötti szinergiákat, különbségeket és összefüggéseket.

4.1 Biológiai diverzitás és adaptációs különbségek

A vizsgált fajok négy rendbe tartoznak (Orthoptera, Coleoptera, Diptera, Lepidoptera), ami jelentős életmódbeli és ökológiai diverzitást eredményez.

- Az Orthoptera (tücskők, sáskák) fajai — *Acheta domesticus*, *Gryllus assimilis*, *Locusta migratoria* — száraz környezethez adaptált, gyors szaporodású, mindenevő rovarok, melyek takarmányon és növényi mellékterméken egyaránt tenyésztethetők (Halloran et al., 2021).
- A Coleoptera fajok (*Tenebrio molitor*, *Alphitobius diaperinus*) ezzel szemben raktári típusú, gabonaalapú szubsztrátokon nevelhetők, jól kontrollálható környezetben, és magas fehérjehozamuk miatt ideálisak ipari termelésre (Vandeweyer et al., 2021).
- A Diptera képviselői — *Hermetia illucens* és *Musca domestica* — a biokonverziós specialisták, rövid élett ciklusuk (10–14 nap) és nagy hulladéklebontó képességük révén kulcsszereplők az ökológiai tápanyagkörforgásban (Gold et al., 2022; Čičková et al., 2015).
- A Lepidoptera (*Bombyx mori*) esetében a biotechnológiai hasznosítás dominál, a faj bábja és fehérjéi (fibroin, szericin) nemcsak táplálkozási, hanem gyógyászati és anyagtudományi jelentőséggel bírnak (Numata és Kaplan, 2025).

Ez a diverzitás teszi lehetővé, hogy ezek a fajok komplementer ökológiai és ipari funkciókat töltsenek be. A tücskők és bogarak biztosítják a fehérjét, a legyek a hulladékfeldolgozást, a selyemlepke pedig a bioalapú ipari innovációt.

4.2 Tápérték és környezeti hatás közötti kapcsolat

A fajok fehérjetartalma 40-70 %, a zsírtartalom 15-35 %, a kitin 4-8 % között mozog. Az adatok alapján két fő csoport különíthető el:

- Fehérje-domináns fajok: *Acheta domesticus*, *Gryllodes sigillatus*, *Tenebrio molitor* — 60-70 % fehérje, alacsony zsírtartalom (15-20 %), jó emészthetőség (85-90 %).
- Lipid-domináns fajok: *Hermetia illucens*, *Musca domestica*, *Bombyx mori* — 25-35 % zsírtartalom, speciális zsírsavprofilokkal (laurinsav, olajsav, linolsav).

Az élett ciklus-elemzések alapján a környezeti hatás és a tápérték között inverz korreláció mutatható ki: minél rövidebb a fejlődési idő és nagyobb a lipidfrakció, annál alacsonyabb az ökológiai lábnyom (Oonincx és de Boer, 2012). A *Hermetia illucens* például 3 kg CO₂-eq/kg fehérje, míg a *Tenebrio molitor* 2,7–3,5 kg CO₂-eq/kg, ami lényegesen kedvezőbb, mint a halliszt (~13 kg) vagy a szarvasmarha (~60 kg). A *Locusta migratoria* és *Acheta domesticus* esetében a magas fehérjeszintet mérsékelt vízlábnyom (2-3 L/g fehérje) kíséri, ami a növényi eredetű fehérjéknél is versenyképes (Rumpold és Schlüter, 2013). E fajok tehát nemcsak táplálkozásbiológiai szempontból értékesek, hanem ökológiai hatékonyságuk is kiemelkedő.



4.3 Ipari hasznosíthatóság

Az integrált értékelés három ipari területet különít el.

- Élelmiszeripari terület: *Acheta domesticus*, *Tenebrio molitor*, *Locusta migratoria*. EFSA által jóváhagyott Novel Food státusz (2021-2023). Felhasználás: snackek, fehérjeporok, pékáruk, húsanalógok.
- Takarmányipari terület: *Hermetia illucens*, *Musca domestica*, *Alphitobius diaperinus*. Fő előny a hulladék alapú biokonverzió és magas fehérjehozam. Halgazdaságban, baromfitápokban a halliszt részleges kiváltása, valamint kutya- és macskaeledelekben használják. Az olajfrakciók (C12:0, C16:0) javítják az immunfunkciót és a növekedést (Spranghers et al., 2017).
- Bioanyag- és biomedicinális terület: *Bombyx mori*, *Tenebrio molitor*. Kitin és kitozán biopolimerek, amelyeket csomagolóanyag, sebgyógyító, gyógyszer vivőanyagként használnak (Ravi et al., 2023). *Bombyx mori* fibroin és szericin fehérjéi regeneratív orvoslásban és kozmetológiában alkalmazhatók (Numata és Kaplan, 2025).

E három irány integrálása jelenti a „multi-sectoral insect bioeconomy” alapját, amely a fehérjeválság, hulladékhasznosítás és biotechnológia metszéspontjában helyezkedik el.

4.4 Bioaktív komponensek és funkcionális potenciál

A rovarok nemcsak fehérje- és zsírforrások, hanem funkcionális élelmiszer-összetevők is. A *Hermetia illucens* lárvák laurinsavban (C12:0) gazdag lipidjei antimikrobiális és antivirális hatásúak (Gold et al., 2022). A *Bombyx mori* bábfehérjéiből származó peptidek (bombyxin, szericin) antioxidáns, neuroprotektív és immunmoduláns aktivitásúak (Cermenó et al., 2022). A *Tenebrio molitor* fehérjékből kivont peptidek ACE-gátló (ACE, Angiotensin Converting Enzyme) és antioxidáns hatásokat mutatnak (Rumpold és Schlüter, 2013). A *Gryllosigillus* és *Acheta domesticus* fehérjehidrolizátumai jó aminosav-emészthetőséggel és *in vitro* antioxidáns aktivitással rendelkeznek (Summart et al., 2024). Ezen bioaktív összetevők integrációja lehetőséget teremt a funkcionális élelmiszerek és nutraceutikumok (egészségvédő hatás) fejlesztésére, amelyek a fenntarthatósági és egészségügyi trendeket egyaránt szolgálják.

4.5 EU-szabályozás, piaci és gazdasági akadályok

Bár az Európai Élelmiszerbiztonsági Hatóság (EFSA, 2021–2024) négy rovarfajt engedélyezett különböző feldolgozott formákban (szárított, fagyasztott, porított), a rovaralapú élelmiszerek tényleges piaci bevezetése az Európai Unióban továbbra is korlátozott. A szektor fejlődését elsősorban szabályozási, társadalmi és gazdasági tényezők gátolják. Szabályozási szempontból az engedélyezés jelenleg faj- és feldolgozás-specifikus, ami fragmentált jogi környezetet eredményez, és megnehezíti az egységes termékstandardok kialakítását, illetve a határokon átnyúló kereskedelmet. A fogyasztói bizalom szintén korlátozó tényező, különösen Nyugat-Európában, ahol a rovarok élelmiszerként történő elfogadottsága továbbra is alacsony, és kulturális fenntartások övezik az ilyen termékeket. A kockázatkezelés területén az EFSA (2022) a mikrobiológiai veszélyeket – például *Salmonella* és *Bacillus* fajok jelenlétét – valamint az allergénkeresztreakciókat (különösen a rákfélékkel szemben) azonosította fő kockázati tényezőként. Gazdasági oldalról a magas beruházási költségek, a jelentős energiaigény, valamint a tenyésztőrendszerek korlátozott méretezhetősége továbbra is akadályozzák az iparág nagyléptékű bővülését. E tényezők következtében a fejlődési irányok egyre inkább a takarmány- és bioanyag-ágazat felé tolódnak el, ahol a jogi és társadalmi korlátok lényegesen enyhébbek. Az International Platform of Insects for



Food and Feed (IPIFF, 2024) előrejelzései szerint 2030-ra az uniós rovarfehérje-termelés elérheti az évi 3 millió tonnát, amelynek mintegy 70%-át a (*Hermetia illucens*) és a *Tenebrio molitor* adhatja. E trendek arra utalnak, hogy az európai rovaripar a konszolidáció és specializáció szakaszába lépett, amelyet a technológiai fejlesztések, az integrált termelési láncok és a bioalapú ipari alkalmazások felé történő diverzifikáció jellemez.

5. KÖVETKEZTETÉSEK

A rovaralapú fehérjetermelés az elmúlt évtizedben a fenntartható élelmiszer- és takarmányrendszerek egyik legdinamikusabban fejlődő területévé vált. Az Európai Unió rendeleteinek köszönhetően ma már kilenc rovarfaj – köztük a *Tenebrio molitor*, *Acheta domesticus*, *Locusta migratoria*, *Hermetia illucens*, *Gryllus assimilis*, *Gryllobius sigillatus*, *Alphitobius diaperinus*, *Bombyx mori* és *Musca domestica* – jogszerűen alkalmazható az uniós élelmiszer- és takarmányláncban. E fajok biológiai diverzitása és adaptációs képessége lehetővé teszi, hogy a különböző hulladékáramokat (gabona-, zöldség-, állati-eredetű melléktermékeket) magas biológiai értékű fehérjévé, lipiddé és bioaktív vegyületekké alakítsák.

Az összehasonlító elemzések alapján a rovarfehérjék tápértéke – különösen az esszenciális aminosav-profil, a magas emészthetőség és a kedvező zsírsav-összetétel – a hagyományos fehérjeforrások (pl. szója, halliszt) versenyképes alternatíváját kínálja. A fajspecifikus különbségek azonban jelentősek. A *Hermetia illucens* és a *Musca domestica* kiemelkedő biokonverziós hatékonysággal rendelkezik, míg a *Tenebrio molitor* és az *Alphitobius diaperinus* tenyésztése gazdaságilag stabil, jól skálázható technológiai alapot nyújt. A Gryllidae fajok pedig kedvező íz- és textúraprofiljuk miatt az emberi fogyasztás számára ígéretesek.

A környezeti életciklus-elemzések igazolták, hogy a rovarfehérje-előállítás szén-dioxid-egyenértéke és vízlábnyoma a marha-, sertés- vagy baromfihúséhoz képest akár 80–90 %-kal alacsonyabb (Oonincx és de Boer, 2012; Dreyer et al., 2021). Emellett a rovarok ürüléke értékes szerves trágyaként hasznosítható, ezáltal zárttá tehető az élelmiszer-hulladék, rovar, fehérje, tápanyag körforgás, ami a bioökonómia gyakorlati megvalósítását jelenti (Lenaerts et al., 2018).

Mindazonáltal a szektor előtt továbbra is kihívás a szabályozási harmonizáció, az ipari méretű biztonsági standardok kidolgozása és a fogyasztói elfogadottság növelése (Menozzi et al., 2021). A jövőbeli kutatásoknak a genetikai szelekcióra, a mikrobiális biztonságra, valamint a funkcionális fehérjék és bioaktív peptidok kinyerésére kell összpontosítaniuk, mivel ezek adják az iparág valódi innovációs potenciálját.

Összességében a rovaralapú rendszerek nem csupán új fehérjeforrást jelentenek, hanem egy átfogó, fenntartható biomassza-átalakítási megoldást, amely összeköti az élelmiszer-, agrár- és körforgásos gazdasági szektorokat. A tudományosan megalapozott, integrált szemléletmód nélkülözhetetlen ahhoz, hogy az uniós rovaripar a következő évtizedben vezető példává váljon a zöld átállás és az élelmiszer-önrendelkezés területén.



Analysis of Insect Species Authorised in the European Union

BERNADETT BANA^{1*}, RITA LEDÓNÉ ÁBRAHÁM², ATTILA GALLEN³, JÁNOS TÓZSÉR¹

¹Albert Kázmér Faculty of Agricultural and Food Sciences of Széchenyi István University

Department of Animal Science, Mosonmagyaróvár, Hungary

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-3760-8812>

Email: bana.bernadett@sze.hu

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5632-1765>

²Albert Kázmér Faculty of Agricultural and Food Sciences of Széchenyi István University

Department of Plant Science

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9062-1382>

³Karát Broiler Ltd., Vasvár, Hungary

*Corresponding author/Levelező szerző

ABSTRACT

The accelerating global protein shortage and the increasing demand for sustainable food production have intensified research into alternative protein sources, including edible insects. Under Regulation (EU) 2015/2283 and based on EFSA risk assessments, nine insect species – *Tenebrio molitor*, *Alphitobius diaperinus*, *Acheta domesticus*, *Gryllus assimilis*, *Gryllodes sigillatus*, *Locusta migratoria*, *Hermetia illucens*, *Bombyx mori*, *Musca domestica* – are currently authorised within the European Union for human consumption or feed purposes. This review synthesises biological, nutritional and environmental data to evaluate the role of insect-derived proteins in the circular bioeconomy. A PRISMA-guided systematic literature review (2015-2025) was conducted using the Scopus and Web of Science databases, and EFSA dossiers, with a focus on Q1-Q2 peer-reviewed journals and life-cycle assessment (LCA) indicators. The findings indicate that the analysed species contain 40-70 % crude protein and 15-35 % lipids, with amino acid and fatty acid profiles comparable to conventional animal-based proteins. LCA results further show that insect protein production generates up to 80-90 % lower greenhouse gas emissions than beef or pork production. Overall, authorised insect species display considerable biological diversity, high adaptive capacity, and favourable environmental performance, positioning them as strategic components of resilient future food and feed systems within the European circular economy.

Keywords: *authorised insect species, sustainable protein source, circular economy, nutritional value, industrial applicability*



IRODALOMJEGYZÉK

- Barragán-Fonseca, K. Y., Barragán-Fonseca, K. B., Verschoor, G., van Loon, J. J., & Dicke, M. (2020). Insects for peace. *Current Opinion in Insect Science*, 40, 85-93.
- Cermeno, M., Bascón, C., Amigo-Benavent, M., Felix, M., & FitzGerald, R. J. (2022). Identification of peptides from edible silkworm pupae (*Bombyx mori*) protein hydrolysates with antioxidant activity. *Journal of Functional Foods*, 92, 105052. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2022.105052>
- Chapman, R. F. (2013). *The insects: structure and function* (5th ed.) Cambridge University Press.
- Čičková, H., Newton, G. L., Lacy, R. C., & Kozánek, M. (2015). The use of fly larvae for organic waste treatment. *Waste management*, 35, 68-80. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.09.026>
- Dreyer, M., Hörtenhuber, S., Zollitsch, W., Jäger, H., Schaden, L. M., Gronauer, A., & Kral, I. (2021). Environmental life cycle assessment of yellow mealworm (*Tenebrio molitor*) production for human consumption in Austria—a comparison of mealworm and broiler as protein source. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 26(11), 2232-2247. <https://doi.org/10.1007/s11367-021-01980-4>
- EFSA Panel on Nutrition, Novel Foods and Food Allergens (NDA), Turck, D., Castenmiller, J., De Henauw, S., Hirsch-Ernst, K. I., Kearney, J., ... & Knutsen, H. K. (2021). Safety of frozen and dried formulations from migratory locust (*Locusta migratoria*) as a Novel food pursuant to Regulation (EU) 2015/2283. *Efsa Journal*, 19(7), e06667. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2021.6667>
- EFSA Panel on Nutrition, Novel Foods and Food Allergens (NDA), Turck, D., Bohn, T., Castenmiller, J., De Henauw, S., Hirsch-Ernst, K. I., ... & Knutsen, H. K. (2021). Safety of frozen and dried formulations from whole house crickets (*Acheta domesticus*) as a Novel food pursuant to Regulation (EU) 2015/2283. *Efsa Journal*, 19(8), e06779. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2021.6779>
- Gkinali, A. A., Matsakidou, A., Vasileiou, E., & Paraskevopoulou, A. (2022). Potentiality of *Tenebrio molitor* larva-based ingredients for the food industry: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 119, 495-507. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.11.024>
- Gold, M., Tomberlin, J. K., Diener, S., Zurbrugg, C., & Mathys, A. (2018). Decomposition of biowaste macronutrients, microbes, and chemicals in black soldier fly larval treatment: A review. *Waste Management*, 82, 302-318. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.10.022>
- Gullan, P. J., & Cranston, P. S. (2021). *The insects: An outline of entomology* (6th ed.). Wiley-Blackwell.
- Halloran, A., Ayieko, M., Oloo, J., Konyole, S. O., Alemu, M. H., & Roos, N. (2021). What determines farmers' awareness and interest in adopting cricket farming? A pilot study from Kenya. *International Journal of Tropical Insect Science*, 41(3), 2149-2164. <https://doi.org/10.1007/s42690-020-00333-2>
- Hamani, B., Moula, N., Taffa, A. G., Leyo, I. H., Mahamadou, C., Detilleux, J., & Van, Q. C. D. (2022). Effect of housefly (*Musca domestica*) larvae on the growth performance and carcass characteristics of local chickens in Niger. *Veterinary World*, 15(7), 1738. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2022.1738-1748>
- Lenaerts, S., Van Der Borght, M., Callens, A., & Van Campenhout, L. (2018). Suitability of microwave drying for mealworms (*Tenebrio molitor*) as alternative to freeze drying: Impact on nutritional quality and colour. *Food chemistry*, 254, 129-136. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.02.006>
- Magara, H. J., Niassy, S., Ayieko, M. A., Mukundamago, M., Egonyu, J. P., Tanga, C. M., ... & Ekesi, S. (2021). Edible crickets (Orthoptera) around the world: distribution, nutritional value, and other benefits—a review. *Frontiers in nutrition*, 7, 537915. <https://doi.org/10.3389/fnut.2020.537915>
- Magara, H. J., Hugel, S., & Fisher, B. L. (2025). Growth Performance and Nutritional Content of Tropical House Cricket (*Gryllobates sigillatus* (Walker, 1969)) Reared on Diets Formulated from Weeds and Agro By-Products. *Insects*, 16(6), 600. <https://doi.org/10.3390/insects16060600>



- Makkar, H. P. S., Tran, G., Heuzé, V., & Ankers, P. (2014). State-of-the-art on use of insects as animal feed. *Animal Feed Science and Technology*, 197, 1-33. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.07.008>
- Marzoli, F., Antonelli, P., Saviane, A., Tassoni, L., Cappelozza, S., & Belluco, S. (2022). Bombyx mori from a food safety perspective: a systematic review. *Food Research International*, 160, 111679. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111679>
- Meneguz, M., Schiavone, A., Gai, F., Dama, A., Lussiana, C., Renna, M., & Gasco, L. (2018). Effect of rearing substrate on growth performance and chemical composition of *Hermetia illucens* larvae. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(15), 5776-5784. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9127>
- Menozi, D., Sogari, G., Mora, C., Gariglio, M., Gasco, L., & Schiavone, A. (2021). Insects as feed for farmed poultry: are Italian consumers ready to embrace this innovation? *Insects*, 12(5), 435. <https://doi.org/10.3390/insects12050435>
- Mierzejewska, S., Domiszewski, Z., Piepiórka-Stepuk, J., Bielicka, A., Szpicer, A., & Wojtasik-Kalinowska, I. (2025). Analysis of the Impact of the Addition of *Alphitobius diaperinus* Larval Powder on the Physicochemical, Textural, and Sensorial Properties of Shortbread Cookies. *Applied Sciences*, 15(8), 4269. <https://doi.org/10.3390/app15084269>
- Nijhout, H. F. (2003). Development and evolution of adaptive polyphenisms. *Evolution & development*, 5(1), 9-18. <https://doi.org/10.1046/j.1525-142X.2003.03003.x>
- Numata, K., & Kaplan, D. L. (2025). Silk proteins: designs from nature with multipurpose utility and infinite future possibilities. *Advanced Materials*, 37(22), 2411256. <https://doi.org/10.1002/adma.202411256>
- Ochiai, M., Tezuka, K., Yoshida, H., Akazawa, T., Komiya, Y., Ogasawara, H., ... & Nakada, M. (2022). Edible insect *Locusta migratoria* shows intestinal protein digestibility and improves plasma and hepatic lipid metabolism in male rats. *Food Chemistry*, 396, 133701. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133701>
- Oonincx, D. G. A. B., & de Boer, I. J. M. (2012). Environmental impact of the production of mealworms as a protein source for humans – A life cycle assessment. *PLoS ONE*, 7(12), e51145. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0051145>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., & Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Payne, C. L. R., Scarborough, P., Rayner, M., & Nonaka, K. (2016). Are edible insects more or less 'healthy' than commonly consumed meats? A comparison using two nutrient profiling models developed to combat over-and undernutrition. *European journal of clinical nutrition*, 70(3), 285-291. <https://doi.org/10.1038/ejcn.2015.149>
- Penedo, A. O., Bucher Della Torre, S., Götze, F., Brunner, T. A., & Brück, W. M. (2022). The consumption of insects in Switzerland: university-based perspectives of entomophagy. *Foods*, 11(18), 2771. <https://doi.org/10.3390/foods11182771>
- Ravi, H. K., Degrou, A., Costil, J., Trespeuch, C., Chemat, F., & Vian, M. A. (2020). Larvae mediated valorization of industrial, agriculture and food wastes: Biorefinery concept through bioconversion, processes, procedures, and products. *Processes*, 8(7), 857. <https://doi.org/10.3390/pr8070857>
- Ribeiro, G. H. M., Guimarães, V. H. D., da Silva Teixeira, H. A., Farias, L. C., Guimarães, A. L. S., de Paula, A. M. B., & Santos, S. H. S. (2024). Dietary supplementation with black cricket (*Gryllus assimilis*) reverses protein-energy malnutrition and modulates renin-angiotensin system expression in adipose tissue. *Food Research International*, 189, 114570. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.114570>



- Rumpold, B. A.-Schlüter, O. K. (2013). Potential and challenges of insects as an innovative source for food and feed production. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 17, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2012.11.005>
- Spartano, S., & Grasso, S. (2021). UK consumers' willingness to try and pay for eggs from insect-fed hens. *Future Foods*, 3, 100026. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2021.100026>
- Sprangers, T., Ottoboni, M., Klootwijk, C., Olyn, A., Deboosere, S., De Meulenaer, B., & De Smet, S. (2017). Nutritional composition of black soldier fly (*Hermetia illucens*) prepupae reared on different organic waste substrates. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(8), 2594-2600. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8081>
- Summart, R., Imsoonthornruksa, S., Yongsawatdigul, J., Ketudat-Cairns, M., & Udomsil, N. (2024). Characterization and molecular docking of tetrapeptides with cellular antioxidant and ACE inhibitory properties from cricket (*Acheta domesticus*) protein hydrolysate. *Heliyon*, 10(15), e35156. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e35156>
- Truman, J. W., & Riddiford, L. M. (2019). The evolution of insect metamorphosis: a developmental and endocrine view. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 374(1783), 20190070. <https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0070>
- Vandeweyer, D., De Smet, J., Van Loooveren, N., & Van Campenhout, L. (2021). Biological contaminants in insects as food and feed. *Journal of Insects as Food and Feed*, 7(5), 807-822. <https://doi.org/10.3920/JIFF2020.0060>
- Van Huis, A. (2013). Potential of insects as food and feed in assuring food security. *Annual review of entomology*, 58(1), 563-583. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120811-153704>
- Van Huis, A., & Tomberlin, J. K. (2016). *Insects as food and feed: from production to consumption*. Wageningen Academic Publishers.
- Veldkamp, T., van Duinkerken, G., & van Huis, A., ... & van Boekel M. A. J. S. (2012). *Insects as a sustainable feed ingredient in pig and poultry diets - a feasibility study*. Report 638. Wageningen UR Livestock Research.
- Wilkinson, K., Muhlhausler, B., Motley, C., Crump, A., Bray, H., & Ankeny, R. (2018). Australian consumers' awareness and acceptance of insects as food. *Insects*, 9(2), 44. <https://doi.org/10.3390/insects9020044>

©Copyright 2025 by the Authors.

The journal is Open Access (Platinum). This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).





A rövid élelmiszer-ellátási láncok termékeinek integrációs lehetőségei és kihívásai a közétkeztetésben: tudományos publikációk elemzése

KOVÁRCZI ANNA^{1*}, BERTALAN ANDRÁS¹, MIKLÓSNÉ VARGA ANITA¹, VARGA PÉTER MIKLÓS²,
KACZ KÁROLY¹, TROJÁN SZABOLCS¹

Széchenyi István Egyetem, Albert Kázmér Mosonmagyaróvári Kar

Agrárökonómiai Tanszék Mosonmagyaróvár

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-4222-3981>

E-mail: kovarci.anna@sze.hu

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-4686-3375>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8314-5077>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4442-0600>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0186-5949>

²Cibus Hungaricus Alapítvány, Mosonmagyaróvár

<https://orcid.org/0000-0002-4296-7004>

*Corresponding author/Levelező szerző

Received/Érkezett: 2025.10.06.

Revised/Átdolgozva: 2025.11.10.

Accepted/Elfogadva: 2025.12.01.

Published/Megjelent: 2025.12.23.

ÖSSZEFOGLALÁS

A rövid élelmiszer-ellátási láncok (RÉL-ek) a hagyományos élelmiszerrendszerek fenntartható alternatívájaként jelentek meg, különösen a köz- és intézményi ellátás területén számos előnyt kínálva. Ugyanakkor a RÉL-ek alkalmazása a közétkeztetésben sajátos kihívásokat vet fel, mint például a logisztikai nehézségek, a tranzakciós költségek, az infrastruktúra hiányosságai, az élelmiszer biztonság, illetve a szabályozási környezet korlátai. Jelen áttekintő tanulmány célja, hogy rendszerezze és bemutassa a rövid élelmiszer-ellátási láncok legfontosabb fenntarthatósági jellemzőit a közétkeztetés kontextusában. Az anyagban feltárásra kerülnek, hogy milyen kutatásokat végeztek el eddig a RÉL kulcsfontosságú jellemzőiről, amelyek hozzájárulnak, illetve kihívást jelentenek a közétkeztetésben, és amelyek az intézményi vendéglátásban való fenntarthatóságuk szempontjából relevánsak.

A szekunder kutatás releváns nemzetközi tanulmányokra építve tárja fel a RÉL-ek földrajzi, gazdasági, társadalmi és intézményi dimenzióit, jelentős figyelmet fordítva a gyakorlati megvalósítás és a skálázhatóság lehetőségeire. Az eredmények hozzájárulhatnak a közétkeztetésre irányuló fenntartható stratégiák megalapozásához, különösen olyan városi és vidéki környezetben, ahol az élelmiszer-önrendelkezés és a lokális gazdaság erősítése kiemelt célkitűzés. A várakozások szerint a feltárt kutatási mintázatok és tudásrések megalapozhatják a további multidiszciplináris vizsgálatokat, valamint támogathatják olyan szakpolitikai és intézményi döntések előkészítését, amelyek előmozdítják a RÉL-ek integrálását a közétkeztetés gyakorlatába. Vizsgálatunk során arra



törekedtünk, hogy a témakörben elérhető nagyszámú publikációkból kiszűrjük azokat, amelyek valóban relevánsak a kutatás témájának szempontjából. Fő célunk a RÉL-ekhez kapcsolódó termékek integritását és alkalmazhatóságát, hozzáférhetőségét elemző tanulmányok azonosítása volt, kiemelt figyelmet fordítva a fenntarthatósági vonatkozásokra. A bibliometriai elemzés eredményeként három markáns kutatási klasztert azonosítottunk (fenntarthatóság-szabályozás, ellátásbiztonság-járványügy, táplálkozástudomány-egészség), amelyek egyértelműen mutatják, hogy a RÉL-ek a közétkeztetés több dimenziójában, fenntarthatósági eszközként jellennek meg. A PRISMA módszertannal végzett szűrés eredményeként pedig mindössze két nemzetközi publikáció vizsgálja részletesebben a RÉL-ek gyakorlati integrációját a közétkeztetésben, amely rávilágít a terület alulkutatottságára és a további empirikus kutatások sürgető szükségességére.

Kulcsszavak: közétkeztetés, rövid élelmiszer-ellátási láncok, fenntarthatóság, hozzáférhetőség

1. BEVEZETÉS – IRODALMI ÁTTEKINTÉS

A közintézményi étkeztetés szervezett formájú közösségi ellátás, amely rendszeres étkezést biztosít oktatási intézményekben, szakképzési intézményekben, állami és önkormányzati finanszírozású nyári táborokban, fekvőbeteg-ellátó intézményekben, a szociális ellátás, a gyermekjóléti alapellátás és a gyermekvédelmi szakellátás keretében, különböző életkorú és egészségi állapotú személyek számára – általában előzetes megrendelés alapján – a nap meghatározott időszakában és meghatározott időtartamra (EMMI, 2014). A közétkeztetési rendszerek fenntarthatósága – környezeti, gazdasági és társadalmi szempontból egyaránt – egyre hangsúlyosabb kérdés mind a szakpolitikai döntéshozók, mind a tudományos közösség körében. A közétkeztetés napjainkban jóval több, mint pusztán ételek rendszeres biztosítása intézményi keretek között. Nem csupán szolgáltatás, hanem komplex társadalmi intézmény, amely egyszerre hat az egészségre, a közösségi normákra, fogyasztói szokásokra és a gazdasági szerkezetre (Báti, 2023). Különösen a gyermekétkeztetés esetében válik nyilvánvalóvá, hogy az étkezésen keresztül a társadalom legkülönbözőbb rétegei érhetők el, így a közétkeztetés hatékony beavatkozási térként működik a táplálkozással összefüggő egészségkockázatok csökkentésében (Zentai et al., 2023). Egy gyermek akár 12 ezer étkezését is intézményes keretek között fogyasztja el: ez idő alatt formálódik ízlése, étkezési szokásai, sőt kulturális identitása is (Zentai et al., 2023). Ugyanakkor a közétkeztetés nemcsak a jelen egészségére, hanem a jövő élelmiszerrendszerére is hatással van: beszerzési gyakorlatai, az élelmiszerlánc hosszúsága, valamint az étkezési normák mind hozzájárulnak ahhoz, hogy a közétkeztetés fenntarthatósági és környezetpolitikai szempontból is kulcsszereplővé váljon. Egyre több szakmai álláspont tekint rá úgy, mint rendszerszintű csomópont, amely összeköti az élelmiszer-termelést, az ellátási láncokat, a táplálkozás politikát, és a szociális ellátórendszereket. Ahogy Báti (2023) fogalmaz: a közétkeztetés „társadalmi beágyazottsága” annak nem mellékes vonása, hanem lényegi tulajdonsága. A fenntartható élelmiszer-ellátás kialakítása e szektorban nemcsak az éghajlatváltozás mérséklése, hanem az élelmiszerbiztonság, a közösségi jólét és az egészségügyi célok elérése szempontjából is kiemelkedően fontos.

Egyre inkább előtérbe kerülnek a rövid élelmiszer ellátási láncok (RÉL-ek, angolul: Short Food Supply Chains, SFSCs), amelyek alternatívát kínálnak a globálisan szervezett, gyakran hosszú ellátási láncú, sokszereplős, és többnyire jelentős környezeti terheléssel járó hagyományos élelmiszerrendszerekkel szemben. A RÉL-t az a jellemző különbözteti meg a konvencionális láncoktól, hogy közvetlenebb kapcsolatot létesítenek a termelők és a fogyasztók között, csökkentve a beékelődő közvetítők számát. A helyi közösségek aktivizálásával erősítik a termelők és a fogyasztók



közötti kapcsolatokat, előmozdítják a bizalmat, az igazságosságot és a szolidaritást a közösségen belül (O'Connor et al., 2024). Gyakran közvetlen interakciókat tartalmaznak, például a mezőgazdasági termelők piacait, vagy a közösség által támogatott mezőgazdaságot (angolul: Community Supported Agriculture, CSA), vagy közösségi mezőgazdaságot (Gombkötő et al., 2020), amelyek fokozzák a kollektíva elkötelezettségét és a társadalmi kohéziót (Lami et al., 2023). Hozzájárulnak a közegészségügyhöz is azáltal, hogy hozzáférést biztosítanak a friss, szezonális és tápláló élelmiszerekhez, ami elengedhetetlen a fenntartható köz- és intézményi étkeztetéshez (Gomez-Ramos, 2023; Ušča és Aleksějeva, 2023). Rendszerint megőrzik a helyi kulináris hagyományokat és a kulturális örökséget, amely hozzáadott értéket képvisel az élelmiszerrendszernek a gazdasági és környezeti előnyökön túl (Charatsari et al., 2023; Hoang, 2021). A fenntartható mezőgazdasággal, az egészséges táplálkozással és a környezetvédelemmel kapcsolatos ismeretterjesztésre, valamint szemléletformálásra egyaránt kínálnak lehetőséget (Ušča és Aleksějeva, 2023; Hoang, 2021). A RÉL-t átláthatóságuk és nyomon követhetőségük jellemzi, amelyek kritikus fontosságúak a fogyasztói bizalom kiépítéséhez és az élelmiszerek minőségének biztosításához (Jia et al., 2023; Borsotto et al., 2023).

A rövid(ebb) ellátási lánc lehetővé teszi a termelési és elosztási folyamatok jobb nyomon követését, biztosítva a fenntarthatósági előírások betartását az egész rendszerben (Doernberg et al., 2022). A technológia és az innováció integrációja javíthatja a RÉL hatékonyságát és fenntarthatóságát. Például a digitális platformok és a nyomon követhetőségi rendszerek (pl. blockchain) pozitív hatással lehetnek a termelők és a fogyasztók közötti kommunikációra, míg a körforgásos gazdaság stratégiai optimalizálhatják az erőforrások felhasználását és csökkenthetik a hulladékot (Chavhan és Dutta, 2024; Hoang, 2021). Ezek az innovációk kiemelten fontosak az intézményi vendéglátás szempontjából is, mivel a RÉL-ek hangsúlyozzák a földrajzi közelséget, tehát az élelmiszereket korlátozott földrajzi területen állítják elő, dolgozzák fel és fogyasztják el. Ezáltal csökkentve a szállítási költségeket, a szén-dioxid kibocsátást és az élelmiszer-mérföldeket, amelyek által a rendszer környezetvédelmi szempontból fenntarthatóbbá válik (León-Bravo et al., 2024; Ušča és Aleksějeva, 2023). A helyi beszerzés azt is biztosítja, hogy az élelmiszer megőrizze frissességét és tápértékét, amelyek létfontosságúak a köz- és intézményi vendéglátás szempontjából, ahol a minőség és az egészségre gyakorolt hatás a legfontosabbak.

A RÉL-ek csökkentett környezeti hatásokkal járnak a rövidebb szállítási távolságok, az alacsonyabb energiafogyasztás és a minimális csomagolási követelmények miatt (Ušča és Aleksějeva, 2023; Doernberg et al., 2022). Ezenkívül a RÉL-ek gyakran elősegítik a fenntartható mezőgazdasági gyakorlatokat – például az ökológiai gazdálkodást –, és az agro-biodiverzitást, amelyek javítják a környezeti fenntarthatóságot (Hoang, 2021). A RÉL-ek ökológiai gazdálkodói kiemelik az erőforrások körkörösségének jelentőségét, a biológiai sokféleséget és a vegyi anyagok csökkentett felhasználását, amelyek elsőrendű fontossággal bírnak a környezeti fenntarthatóságot tekintve (Ušča és Aleksějeva, 2023).

A RÉL-ek lokalizált természetük miatt eredendően ellenállóak, amely lehetővé teszi számukra hogy gyorsan alkalmazkodjanak a kereslet változásaihoz, az ellátási lánc zavaraihoz és a környezeti kihívásokhoz (Kumar et al., 2025; Michel-Villareal, 2022). A fenntarthatósági gyakorlatok, például a hulladékcsökkentés és a körforgásos gazdálkodás stratégiáinak integrálása tovább növeli a RÉL-ek rugalmasságát (Michel-Villareal, 2022), illetve optimalizálhatják az erőforrások felhasználását (Chavhan és Dutta, 2024; Hoang, 2021). A RÉL-ek megtartják a közösségen belüli bevételeket, ezért jelentős mértékben hozzájárulnak a helyi gazdaság fejlődéséhez is. Tanulmányok kimutatták, hogy a helyi élelmiszerrendszerekre fordított pénz a helyi gazdaságban kering, munkahelyeket teremtve,



illetve a vidékfejlesztést ösztönözve (Kloczko-Gajewska et al., 2023). A RÉL-ek helyi multiplikátor hatásának (angolul: local multiplier, LM) elemzése azt mutatta, hogy a mezőgazdasági termelésből származó bevételek nagyrésze a helyi gazdaságokon belül marad, amely jelentős szorzóhatást eredményez (Kloczko-Gajewska et al., 2023).

A fenntarthatósági célkitűzések elérése azonban nem kizárólag a termelők és a fogyasztók szerepvállalásán múlik: a RÉL térnyerését döntően befolyásolja a megfelelő intézményi és szakpolitikai környezet is. A RÉL sikere gyakran az erős kormányzástól és az intézményi támogatástól függ. A zöld közélelmiszer-beszerzési (angolul: Green Public Food Procurement, GPPF) politikák és az EU termelőtől a fogyasztóig (angolul: Farm to Fork) stratégiája már most is szerepet játszanak a RÉL-ek preferálásában azáltal, hogy a fenntarthatósági és egészségügyi mutatókat integrálják a közbeszerzési folyamatokba (Gómez-Ramos, 2023). A RÉL-ek fejlesztése és méretezése támogató politikákat, illetve intézményi kereteket igényel. Az olyan városi élelmiszerpolitikák és kezdeményezések, mint az „AgroBridges” projekt, fontos szerepet játszottak a RÉL koncepció előmozdításában azáltal, hogy eszközöket és kereteket biztosítottak fenntarthatóságuk értékeléséhez és javításához (Doernberg et al., 2022; Borsotto et al., 2023). A döntéshozók kardinális szerepet játszanak a RÉL-ek számára kedvező környezet megteremtésében a motivációk, a szabályozások, és az infrastruktúra-fejlesztés révén (Kumar et al., 2025). Hasonlóképpen a tanúsítások és címkézési rendszerek segítik a fogyasztókat a RÉL termékek élelmiszer-eredetének átláthatóságában, azonosításában és támogatásában, ezáltal ösztönözve a fenntartható vásárlási döntéseket. A technológiai innovációk, mint a digitális nyomon követési rendszerek (például a blockchain), vagy a körforgásos gazdasági megoldások, szintén új lehetőségeket kínálnak a láncok hatékonyságának és rugalmasságának fokozására.

Az OECD 2024-es jelentése (OECD, 2024a) „A versenygyakorlatok javítása a magyar közbeszerzésekben” nemcsak a magyar helyzet elemzését adja, hanem globális normákat és elvárásokat is megfogalmaz. A jelentés egyik fő megállapítása, hogy a verseny intenzitása továbbra is alacsony az olyan magyar közbeszerzési eljárásokban – különösen a kisebb önkormányzati, vagy szociális ellátási szegmensekben –, mint a közétkeztetés. A központosított és gyakran árcentrikus megközelítés háttérbe szorítja az innovatív, fenntartható, vagy helyi gazdaságra építő hatású ajánlatokat. Javaslatok között szerepel az eljárások egyszerűsítése, az ajánlattevők körének bővítése – leginkább a kis- és közepes méretű vállalkozások számára –, valamint a nem ár alapú értékelés szempontok erőteljesebb érvényesítése. A közétkeztetésben ez azt jelenti, hogy a helyi beszállítók, termelői közösségek bevonása elősegíthető, ha a közbeszerzési szabályozás lehetővé teszi a minőségi és fenntarthatósági szempontok előtérbe helyezését.

Az OECD által kiadott (OECD, 2024b) „Közbeszerzési teljesítménymérési keretrendszer fejlesztése Magyarországon” című jelentés, a közbeszerzési rendszer komplexitását és az értékelési mechanizmusok strukturális gyengeségeit vizsgálja. A jelentés hangsúlyozza, hogy egy modern közbeszerzési rendszer nem működhet teljesítménymérés nélkül. A nemzetközi példák alapján egy jól kialakított KPI-rendszer (fő teljesítménymutató, angolul: Key Performance Indicator, KPI) képes mérni és javítani az eljárások hatékonyságát, átláthatóságát és társadalmi hasznosságát. A közétkeztetés szempontjából ez különösen releváns, hiszen az ellátás minősége, folyamatossága, illetve fenntarthatósága csak abban az esetben biztosítható, amennyiben a beszállítók és szolgáltatók teljesítményét objektív, adatvezérelt módon lehet értékelni. A jelentés kiemeli továbbá, hogy a teljesítménymérés nemcsak visszacsatolást ad a döntéshozók számára, hanem elősegítheti a jó gyakorlatok terjedését is, például a rövid élelmiszer-ellátási láncok integrálásán keresztül.



Az elmúlt években több nemzetközi kutatás is rámutatott arra, hogy a RÉL-ek közétkeztetésben betöltött szerepe egyre nagyobb érdeklődés tárgyát képezi, ugyanakkor a publikációk jelentős része elsősorban esettanulmányokra vagy konceptuális megközelítésekre épül. A hangsúly többnyire a RÉL-ek fenntarthatósági előnyeinek bemutatásán, a helyi gazdaságra gyakorolt hatásainak elemzésén, illetve a fogyasztói bizalom és a közösségi részvétel kérdésein van, ezzel szemben a közétkeztetési rendszerekbe történő gyakorlati integráció folyamatai csak korlátozottan kerültek feltárára. Bár egyes szerzők részletesen vizsgálják a beszerzési, logisztikai, vagy intézményi akadályokat, a RÉL-ek operatív működésének, illetve skálázhatóságának összehasonlító elemzése továbbra is hiányzik a nemzetközi szakirodalomból. Ez a kutatási rés arra utal, hogy a közétkeztetés fenntartható átalakításában rejlő lehetőségek feltérképezése, korántsem tekinthető lezártnak, amely indokolttá teszi a terület átfogóbb, rendszerszintű vizsgálatát.

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

Az irodalomgyűjtést a Scopus adatbázisban végeztük 2025.09.16-án, hogy a legfrissebb adatokkal dolgozhassunk az alábbi keresőkifejezések kombinációival: ALL („public catering” AND „short food supply chains” AND „sustainability” AND „availability”). Az elsődleges feldolgozáshoz a Scopus online felületének beépített elemző eszközeit használtuk. A vizsgálat során, a korábban alkalmazott ALL („public catering” AND „short food supply chains” AND „sustainability” AND „availability”), amelyek a Scopus adatbázis megfogalmazásában „AND (LIMIT-TO (DOCTYPE, "cp") OR LIMIT-TO (DOCTYPE, "re") OR LIMIT-TO (DOCTYPE, "ar")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE, "English"))” keresőkifejezést használtuk kiindulópontként, 98 dokumentumot eredményezve.

A Scopus felületének alapvető funkcióin túllépve, a mélyebb kapcsolatok és trendek feltáráshoz a Biblioshiny alkalmazást vettük igénybe. Ez a program, a Bibliometrix egy R programnyelvben fejlesztett, nyílt forráskódú csomag könnyen kezelhető grafikus felületet kínáló bővítménye, amely lehetővé teszi a bibliometriai vizsgálatok elvégzését anélkül, hogy a felhasználónak programozási ismeretkerekre lenne szüksége. A szoftver többek között biztosítja az adatok importálását és konvertálását, különféle adatbázisokból történő begyűjtését, továbbá kiterjedt analitikai és vizualizációs lehetőségeket nyújt, amelyek révén elemezhetők a források, szerzők, dokumentumok, illetve a tudományos tudásstruktúrák összefüggései (Ghorbani, 2024).

A lekérdezés eredményeként kialakított adatbázisunk elemzésének második körében, a Biblioshiny felületet alkalmaztuk, amely a Bibliometrix R csomag fő funkcióit teszi elérhetővé egy felhasználóbarát, grafikus környezetben (Ghorbani, 2024). A Biblioshiny használatának fő célja az volt, hogy a vizsgált témakörök szélesebb körű összefüggéseit feltárjuk, valamint szemléletes vizuális ábrázolásokon keresztül jobban megértsük a kapcsolódó kutatási irányokat. A szoftver lehetővé teszi a bibliometriai adatok importálását, átalakítását, feldolgozását, valamint támogatja az adatgyűjtést különböző API-k (alkalmazásprogramozási felületek, angolul: Application Programming Interfaces) segítségével. A rendszer fő előnye, hogy a komplex elemzések és vizualizációk (pl. tudományos hálózatok feltérképezése, szerzői- és forráselemzések, hivatkozási hálózatok vizsgálata) programozási ismeretek nélkül is elvégezhetők. A módszer különösen hasznos a kiemelkedően produktív szerzők, a legtöbbet idézett publikációk, illetve a meghatározó kutatási irányok azonosításában, valamint a tudományos közösségek és együttműködési mintázatok feltárában. A program használatával sikerült azonosítani a legjelentősebb témacsomópontokat.

A kereséshez használt kulcsszavakat és azok variációit eltávolítottuk a hálóból, mivel ezek természetüknél fogva domináns csomópontként jelentek volna meg: „public catering”, „public food



procurement”, „institutional food services”, „institutional catering”, „canteen”, „public procurement”, „green procurement”, „circular economy”, „life cycle costing”, „short food supply chains”, „sustainability”, „availability”, „practicability”, „viability”, „integrity”, flexibility”, „literature review”, „literature reviews”, „systematic literature review”. A paraméterezést az 1. táblázatban ismertetettek alapján végeztük el.

1. táblázat: Biblioshiny paraméterezése a vizsgálatban

Method parameters	
Network Layout	Automatic Layouts
Clustering Algorithm	Walktrap
Normalization	Assosiation
Node Color by Year	No
Number of Nodes	50
Repulsion Force	0,1
Remove Isolated Nodes	Yes
Minimum Number of Edges	2
Graphical parameters	
Opacity	0,7
Number of Labels	1000
Label cex	Yes
Node Shape	Dot
Label size	3
Edge size	5
Node Shadow	Yes
Edit nodes	No

A létrehozott adatbázis kezdetben túl nagynak bizonyult a részletes vizsgálathoz, ezért a következő lépésekkel finomítottuk a keresést: kizárólag a rövid élelmiszer-ellátási láncokra vonatkozó kulcsszót alkalmaztuk (angol nyelven). Ennek eredményeként egy jóval kezelhetőbb méretű adathalmazt kaptunk, amelyet 2025.09.25-én a PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) irányelv alapján szűrtünk tovább. Ez a módszertan egy átláthatóságot és részletességet biztosító keretrendszert kínál a szisztematikus szakirodalmi áttekintéshez (Page et al., 2021). A folyamat fő elemei közé tartozik a kutatási kérdés pontos meghatározása, a protokoll megtervezése, az átfogó irodalomfeltárás, a releváns tanulmányok kiválasztása, valamint az adatkinyerés. A begyűjtött adatok rendszerezését követően az eredmények részletes bemutatása és a bizonyítékok minőségének értékelése zárja a folyamatot.

3. EREDMÉNYEK

A szisztematikus irodalomfeltárás és bibliometriai elemzés eredményei alapján megállapítható, hogy a közétkeztetés és a RÉL kapcsolata viszonylag szűk, de fokozódó kutatási érdeklődés tárgyát képezi. A várt eredményekhez viszonyítva a nemzetközi szakirodalom szerkezete több ponton megerősítette, hogy a közétkeztetés és a RÉL-ek kapcsolata továbbra is periférikus, azonban gyorsuló ütemben bővülő kutatási terület, amelyet néhány domináns téma köré szerveződik, mint a fenntarthatósági átmenetek, élelmiszer ellátási reziliencia és a lokalizált gazdasági előnyök. A

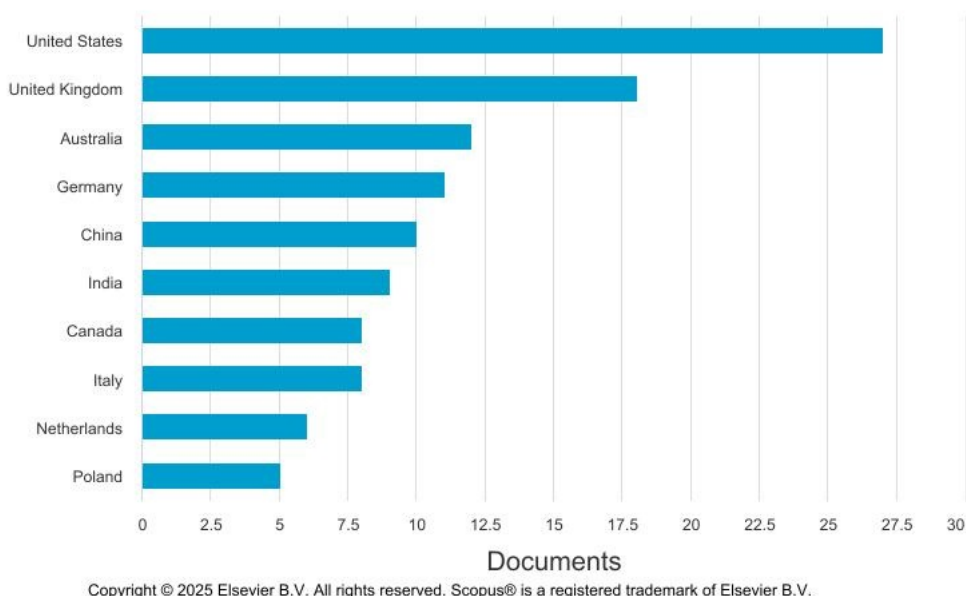


publikációs mintázatok ugyanakkor azt is jelzik, hogy a terület multidiszciplináris jellege miatt a kutatás nem egyetlen jól körülhatárolható tudományos közösségben koncentrálódik, sokkal inkább egymástól részben független tematikus mezőben zajlik. A közétkeztetés operatív rendszereire, intézményi folyamataira, vagy konkrét integrációs mechanizmusaira épülő empirikus kutatások helyett elsősorban az elméleti keretek, stratégiai megközelítések, illetve általános fenntarthatósági diskurzusok dominálnak. Előbbiek arra utalnak, hogy a tudományos érdeklődés elsősorban inkább a RÉL-ek normatív és makro szintű előnyeire, mint a környezeti lábnyomcsökkentésre, a helyi gazdaságfejlesztésre, vagy a társadalmi kohézióra fókuszál, miközben azok a vizsgálatok, amelyek a közétkeztetés intézményi sajátosságait, ellátási láncstruktúráját, szerződéses mechanizmusait, vagy a RÉL-ek bevezetéséhez szükséges infrastruktúrákat és a szervezeti kapacitásokat elemznék, alulreprezentáltak.

4. ADATBÁZIS ELEMZÉS

4.1. A Scopus adatbázisban végzett lekérdezés és a felület elemzési eszközeinek alkalmazása

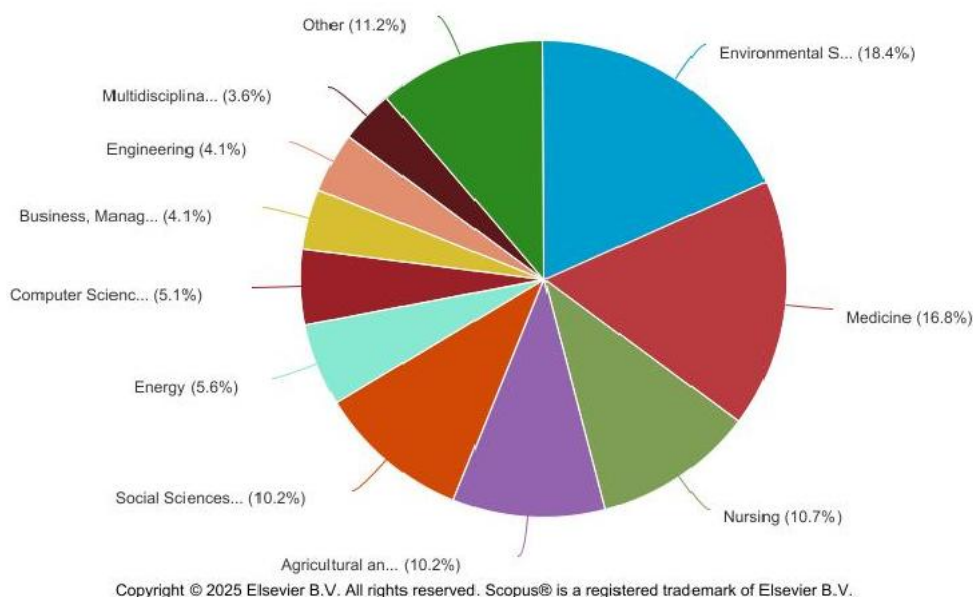
A vizsgálat során igyekeztünk elkerülni, hogy a kutatók előzetes feltételezéseit torzítsák az eredményeket, ezért kiindulásként egy szélesebb spektrumot lefedő kulcsszavas keresést végeztünk. A kereséshez az alábbi kifejezéseket használtuk: ALL („public catering” AND „short food supply chains”). A 803 cikk találati halmazát szűkítettük az angol nyelvű publikációkra, miközben kizártuk a könyvrészleteket, illetve a más nyelven megjelent tanulmányokat. Ennek oka egyrészt az, hogy a könyvrészletek gyakran önálló publikációként is megjelennek, így ismétlődést okozhatnak, másrészt a szakkönyvek esetében jellemzően csak az alapadatok (cím, összefoglaló) érhetők el. Az egyéb idegen nyelvű források tudományos súlya szintén marginálisnak tekinthető. A szűrést követően összesen 638 releváns cikk maradt az adatbázisban. Majd tovább szűkítve a keresést az ALL (public AND catering AND short AND food AND supply AND chains AND sustainability AND availability) kulcsszavakkal, amely a Scopus adatbázis megfogalmazásában „AND (LIMIT-TO (DOCTYPE, "ar")) OR LIMIT-TO (DOCTYPE, "re") OR LIMIT-TO (DOCTYPE, "cp")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE, "English"))” néven szerepel, így 98 cikkel dolgoztunk tovább. Az adatbázis elsődleges áttekintésére a gyűjtőfelület által biztosított beépített elemző eszközöket alkalmaztuk. Az országonkénti vagy területenkénti publikációs megoszlási ábrán (1. ábra) jól látszik Észak-Amerika és Nyugat-Európa dominanciája, amelyet Ázsia gyors felzárkózása egészít ki, tehát a globális tudományos erőter változását mutatja. Magyarország mindössze egy dokumentummal szerepel a listán, amely a 34. helyet jelenti. E tény arra utal, hogy a vizsgált közétkeztetés és a RÉL-ek kapcsolatának területén eddig csak szórványosan születtek kutatások, így a jövőben nagy potenciál rejlik a téma kutatási aktivitásának növelésében, illetve a nemzetközi együttműködések erősítésében. Továbbá ez a pozíció egyértelműen igazolja a „hosszú farok” jelenséget, amely a nemzetközi publikációs eloszlások tekintetében gyakori, néhány ország dominál, sok másik pedig marginális részesedéssel van jelen. Mivel a regionális kutatások globális átláthatósága korlátozott, ezért érdemes lehet célzott stratégiákat kialakítani a nemzetközi disszemináció erősítésére.



1. ábra: A lekérdezett dokumentumok mennyiségi eloszlása országoként

Forrás: Saját vizsgálat, scopus.com, 2025.09.25

Kördiagrammon (2. ábra) a publikációk tudományterületek szerinti eloszlása kerül bemutatásra, amelyen egyértelműen kirajzolódik, hogy a legnagyobb arányban a környezeti- (angolul: Environmental Sciences, 18,4 %), illetve az orvostudományok (angolul: Medicine, 16,8 %) területéhez kapcsolódnak. A közétkeztetés és a RÉL-ek témája erősen beágyazódik a környezeti fenntarthatóság és az egészségügyi hatások diskurzusába. A fenntartható élelmiszerrendszerek környezeti lábnyomának csökkentése, valamint a helyi szezonális alapanyagok közétkeztetésbe való integrálása mind olyan kutatási irány, amely egyszerre érinti a klímaváltozás mérséklését és a közegészségügyi előnyöket. A további százalékos arányok azt is jelzik, hogy a közétkeztetés nem pusztán táplálkozási, hanem egészségmegőrzési és prevenciók kérdésként jelenik meg a tudományos kutatásban. Az egészségügyi szakirodalom egyre inkább felismeri, hogy a közétkeztetés (iskolákban, kórházakban, idősotthonokban) kulcsfontosságú a táplálkozással összefüggő krónikus betegségek megelőzésében, és a RÉL-ek hozzájárulhatnak a friss, kevésbé feldolgozott alapanyagok biztosításához. A szociológiai- és társadalompolitikai kutatások rámutatnak arra, hogy a közétkeztetésbe integrált RÉL-ek a helyi gazdaságok megerősítésén és a fogyasztói bizalom építésén/elnyerésén keresztül a közösségi kohéziót, illetve a helyi identitástudat erősödését is támogatják. A logisztikai menedzsmentje szorosan kapcsolódik a szállítás optimalizálásához, a digitális nyomkövetéshez (blockchain) és az energiatakarékos konyhatechnológiához. Azonban a gazdasági fenntarthatóság csak akkor lehet hosszú távú, amennyiben költséghatékony megoldásokkal szolgál, illetve megoldásokat kínál a közétkeztetési intézmények számára. Végül a multidiszciplinaritás (angolul: Multidisciplinarity, 3,6 %), illetve az egyéb (angolul: Other, 11,2 %) kategóriák azt tükrözik, hogy a téma széles spektrumú, interdiszciplináris érdeklődést vált ki, ahol a fenntarthatósági, egészségügyi, társadalmi és gazdasági szempontok komplex rendszert alkotnak.

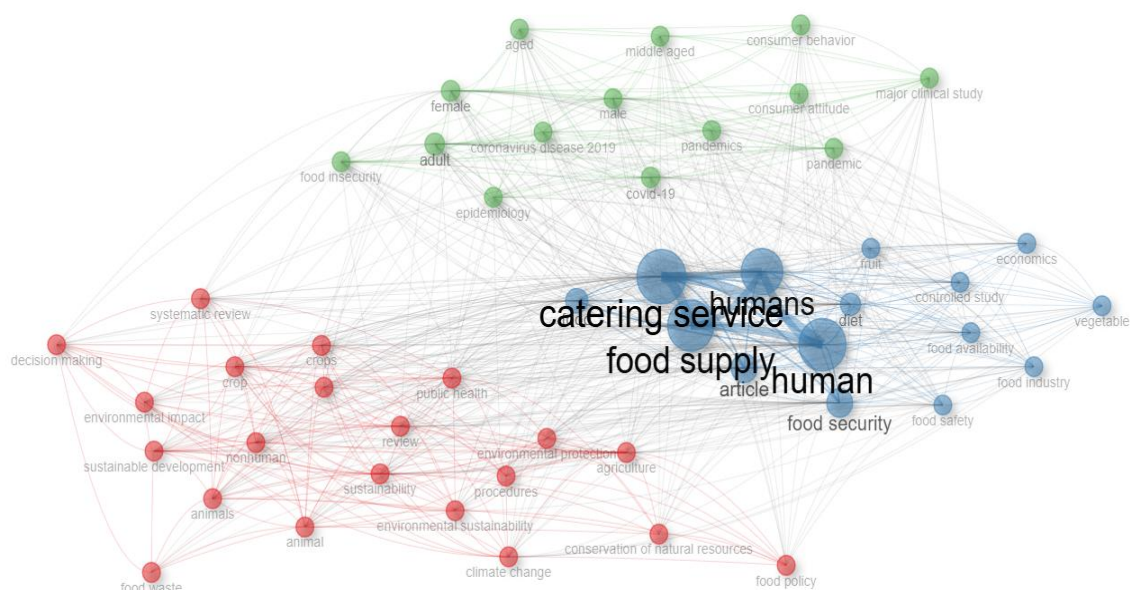


2. ábra: A lekérdezett dokumentumok eloszlása kutatási területenként

Forrás: Saját vizsgálat, scopus.com, 2025.09.25

4.2. Biblioshiny alkalmazással végzett találati elemzés

Az eredmények alapján egy tudományos kapcsolatháló vázolható fel (3. ábra), amely a közétkeztetés és a hozzá kapcsolódó témák tudományos diskurzusát jeleníti meg. A csomópontok kulcsszavakat reprezentálnak, a köztük húzódó élek pedig a közös előfordulásukat, vagyis a témakörök közötti kapcsolatot. A hálózat magjában található a nagyobb méretű csomópontok, mint az emberek, tömegétkeztetési szolgáltatás, élelmiszer-ellátás (angolul: humans, catering service, food supply), amelyek arra utalnak, hogy a közétkeztetés témakörében a humán egészség, a szolgáltatások működése és az élelmiszer-ellátás biztosítása képezik a kutatás alapját. A színek szerint három fő kutatási klaszter rajzolódik ki, amelyek összekapcsolódnak a központi témákkal. A piros klaszter, a fenntarthatóság és a szabályozás irányából közelíti meg a közétkeztetést. Itt jelennek meg a RÉL-hez legközelebb álló témakörök, hiszen a helyi termelés, a környezeti hatások csökkentése és a közpolitikai ösztönzők kulcselemei a közétkeztetés fenntarthatóbb irányba mozdításának. A zöld csoport a járványügyi és egészségügyi kockázatok köré épül. A COVID-19 fertőzés kapcsán felerősödött az ellátási láncok, illetve a közétkeztetés biztonságának kérdése, amely összefüggésben áll a RÉL-ekkel, hiszen a helyi beszerzés potenciálisan ellenállóbb és rugalmasabb rendszert biztosíthat válsághelyzetekben is. A kék klaszter a táplálkozástudományi és a humán egészség aspektusaira koncentrálna, különös tekintettel a gyermekekre. A közétkeztetés egészségfejlesztő szerepe itt jelenik meg, illetve szoros kapcsolatban áll az ellátásba kerülő élelmiszerek minőségével, valamint eredetével, amely szintén a RÉL egyik alapvető kérdése.

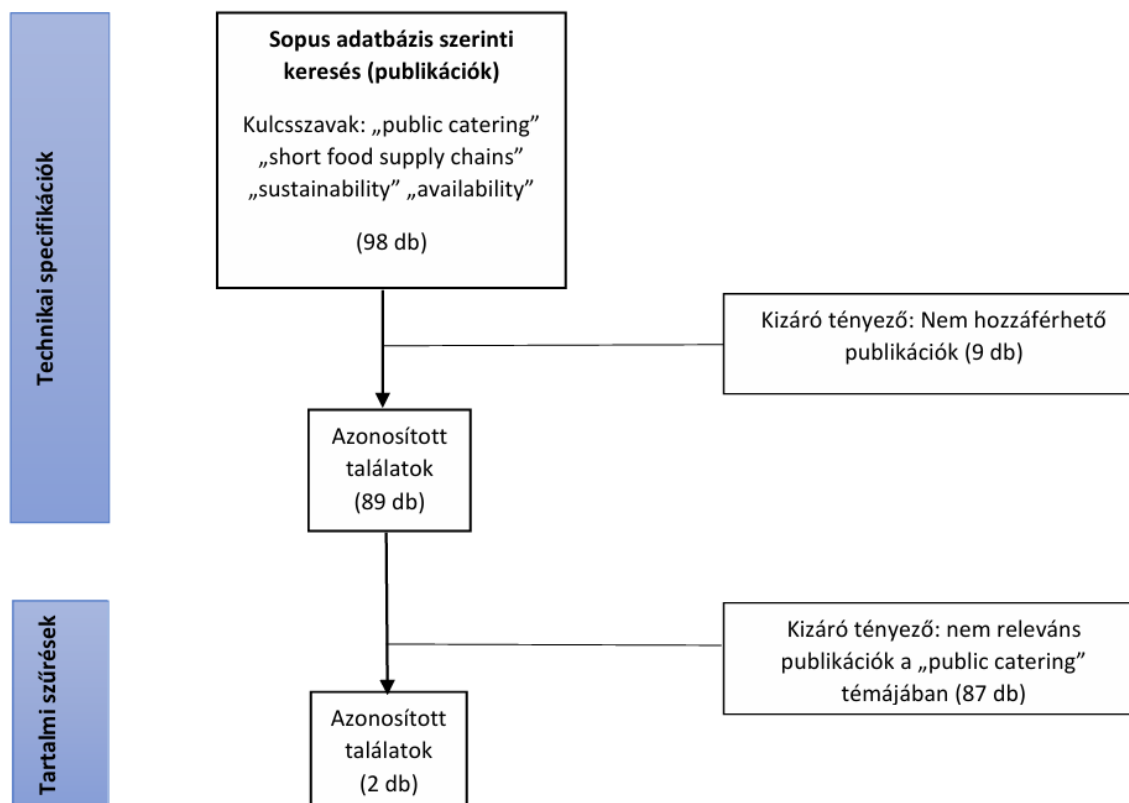


3. ábra: Bibliometrikus hálózat a lekérdezett publikációk témakörök szerinti kapcsolódási pontjairól

Forrás: Saját vizsgálat (Biblioshiny)

4.3. A keresés PRISMA módszeres szűkítése

Harmadik lépésként a PRISMA módszertannal (4. ábra) tovább szűkítettük a találati listát. A PRISMA egy nemzetközileg elfogadott irányelv, amelynek célja, hogy a szisztematikus irodalmi áttekintések – review cikkek és metaanalízisek – készítését áttekinthetővé, illetve egységesen értékelhetővé tegye a szerzők számára. A PRISMA 2020 nyilatkozat – figyelembe véve a módszertani és terminológiai fejlődést az elmúlt évtizedben – frissített iránymutatásokat tartalmaz a rendszer szintű áttekintések elkészítésére (Sarkis-Onofre et al., 2021). A módszer alkalmazása különösen a keresési és szűrési eljárások dokumentálásában előnyös, mivel folyamatábráján keresztül egyértelműen bemutatatható, hogy hány találat került azonosításra, mely tanulmányok estek ki és milyen okok miatt, valamint melyek kerültek be a végső elemzésbe. Ez a strukturált megközelítés növeli a vizsgálat hitelességét, bizonyítva az eredmények reprodukálhatóságát és átláthatóságát. A lekérdezést végeztük a Scopus adatbázisban: ALL („public catering” AND „short supply food chains” AND „sustainability” AND „availability”), amely 120 cikkből álló találati halmazt hozott létre. A könyvrészleteket, valamint a más nyelveken megjelent publikációkat kizártuk a vizsgálatból, így ebben az esetben is az angol nyelvű cikkekre korlátoztuk. A keresés 98 találatot eredményezett, amely az eredeti, Bibliometrix R csomag programjával elemzett lista lényegesen szűkebb részhalmazát képezi, illetve amelyekből 9 publikáció nem volt hozzáférhető a szerzők számára, ezért elemzésre alkalmatlanok voltak. A technikai szűrés után a tartalmi szűrés lépései következtek. A kutatás szempontjából lényeges, hogy a vizsgált kulcsszavak tényleges, releváns információt is nyújtsanak a témában, amellett, hogy a cikkekben szó szerint előfordulnak. A 89 fennmaradó cikk tartalmát tekintve első körben a „public catering” kifejezés megjelenését vizsgáltuk, fókuszálva a fenntarthatóságra és az elérhetőségre.



4. ábra: PRISMA folyamatábra

Forrás: Saját vizsgálat

Csupán két cikk maradt a vizsgálati körben, amelyből a „The sustainable innovation design in catering service” (Chung et al.,2022) című publikáció a vendéglátás fenntarthatósági és innovációs kihívásait vizsgálja, különös tekintettel a COVID-19 járvány által alakított fogyasztói magatartásra és az online ételrendelési platformok térnyerésére. A szerzők a szolgáltatásminőség mérésére a vendéglátóipari szolgáltatásminőség DINESERV modelljét (angolul: Dining Service Quality Model) alkalmazták. Ezt követően a Kano-modell (a vásárlói és felhasználói elégedettség vizsgálatára), a TRIZ (orosz kifejezés rövidítése, Teória a Feltalálói Problémamegoldásról) és a TOPSIS (több szempontos döntéstámogatás) módszerek integrálásával dolgoztak ki keretrendszert a mobil vendéglátás szolgáltatásainak optimalizálására. Az eredmények rámutatnak, hogy a fogyasztói elégedettséget nem csupán fizikai termékek, hanem a digitális élmény, illetve a szolgáltatói környezet is erősen meghatározza, miközben a járványhelyzet felgyorsította a digitalizációt, valamint az érintésmentes megoldások iránti keresletet. A tanulmány hozzájárul a fenntartható üzleti modellek és a technológia-alapú szolgáltatásinnovációk elméleti megalapozásához a vendéglátásban, gyakorlati szinten pedig iránymutatást ad az ügyfél-elégedettség és -lojalitás növelését célzó rendszerszintű fejlesztésekhez.

A „Sustainability Transitions in University Food Service—A Living Lab Approach of Locavore Meal Planning and Procurement” (Kretschmer és Dehm, 2021) című esettanulmány a Kasseli Egyetem közétkeztetési rendszerében vizsgálja a fenntarthatósági átmenetek lehetőségeit, a Living Lab megközelítést alkalmazva a lokális, organikus alapanyagokra épülő menütervezés, illetve beszerzés előmozdítására. A Living Lab egy olyan valós környezetben zajló kísérleti és innovációs megközelítés, ahol a különböző szereplők közösen dolgoznak ki, tesztelnek és értékelnek új megoldásokat. A



kutatás a Planetary Health Diet (bolygóbarát egészséges étrend) és a Német Táplálkozástudományi Társaság irányelveit kombinálta az organikus élelmiszerrendszerek alapelveivel. Külső szakértők, hallgatók és a közétkeztető szervezet (angolul: Assosiations of Student Affairs and Services - ASAS) bevonásával két iteratív cikluson keresztül fejlesztett ki fenntarthatósági kritériumokat, amelyeket konkrét menütervek kidolgozásán keresztül teszteltek. Az eredmények azt mutatták, hogy a régióból származó bio alapanyagokra épülő menük bizonyos mértékig megfeleltek a táplálkozási, ökológiai és költségsemlegességi kritériumoknak, ugyanakkor a logisztikai és szervezeti kihívások, mint az ellátási lánc töredezettsége vagy a feldolgozottsági szint korlátai, jelentős akadályt képeznek.

5. KÖVETKEZTETÉSEK

Az elemzés alapján megállapítható, hogy a közétkeztetés és a RÉL-ek kapcsolata a nemzetközi tudományos diskurzusban feltörekvő, de még korlátozottan vizsgált kutatási terület. Bár a fenntarthatósági, egészségügyi és társadalmi szempontok egyaránt kiemelkedők, a releváns publikációk száma csekély, illetve többségük esettanulmány jellegű. Három fő kutatási irány azonosítható a jelen tanulmány alapján:

- Fenntarthatóság és környezetvédelem – a RÉL-ek hozzájárulhatnak a klímavédelmi célok eléréséhez, oly módon, hogy csökkentik a közétkeztetés környezeti lábnyomát, emellett támogatják a helyi gazdaságokat is.
- Ellátásbiztonság és reziliencia – a helyi forrásokra épülő rendszerek világhelyzetekben rugalmasabbak, így csökkentik az ellátási zavarok kockázatát és hozzájárulnak a közétkeztetés biztonságához.
- Táplálkozás és egészség – a RÉL-ek lehetővé teszik a friss, szezonális és a kevésbé feldolgozott alapanyagok beépítését a menükbe, ami pozitívan hat a közegészségügyre, különösen a gyermekétkeztetés területén.

A választott módszertan fő korlátja a Scopus-adatbázis kizárólagos használata, amely bár a legnagyobb multidiszciplináris források egyike, mégsem teljes. A mezőgazdasági, szociológiai, élelmiszerbiztonsági és regionális fejlesztési témák esetében számos releváns publikáció más adatbázisokban (Web of Science, Google Scholar) érhető el, amelyek hiánya bizonyos nyelvek és régiók kutatásainak alulreprezentáltságát eredményezhetik. Annak ellenére, hogy a kutatásban kizártuk a könyvek és könyvrészletek általi kétszeres felsorolási lehetőségeket, mivel bizonyos tanulmányok eltérő metaadatokkal szerepelnek a különböző adatforrásokban, azok megnehezítik a duplikációk kiszűrését. A kulcsszó alapú keresés szintén lehatárolja a publikációk közötti szűrést, hiszen a közétkeztetés és a RÉL-ek eltérő terminológiákkal jelenhetnek meg a nemzetközi szakirodalomban, mint például „institutional catering”, „food services”, vagy „public food procurement”.

Mindezek ellenére még hiányoznak azok a mélyebb empirikus kutatások, amelyek részletesen vizsgálnák a közétkeztetésben alkalmazott RÉL-ek gazdasági életképességét, szervezési-logisztikai kihívásait, illetve hosszú távú fenntarthatóságát. A jövőbeli kutatások számára ezért kiemelten indokolt lehet a multidiszciplináris megközelítés, amely a RÉL-szervezés, a közpolitika, a társadalomtudomány és a táplálkozástudomány integrációjára épít, több adatbázis együttes használatának segítségével, amelyek így jelentősen növelhetik a terület publikációs lefedettségét. A kutatási módszertan továbbá kiegészíthető akár chatbotok integrálásával is, amelynek következménye, hogy a mesterséges intelligencia-vezérelt rendszerek egyre inkább módszertani eszközzé válnának.



A Scopus adatbázis lekérdezés alapján Magyarország egyetlen releváns publikációval szerepel a nemzetközi térben, ami a hazai tudományos jelenlét szűkösségét jelzi, ezért több kutatási irány is kijelölhető, mint a hazai intézményi közétkeztetés RÉL alapú beszerzési lehetőségek vizsgálata, illetve a Pilot-projektek (integrált iskolakonyhai modellek, önkormányzati RÉL-bővítési programok és RÉL közbeszerzési kísérletek) elemzése, értékelése.

Integration Opportunities and Challenges for Short Food Supply Chain Products in Public Catering: Analysis of Scientific Publications

ANNA KOVÁRCZI^{1*}, ANDRÁS BERTALAN¹, ANITA MIKLÓSNÉ VARGA¹, PÉTER MIKLÓS VARGA²,
KÁROLY KACZ¹, SZABOLCS TROJÁN¹

¹Albert Kázmér Faculty of Agricultural and Food Sciences of Széchenyi István University, Department of Agricultural Economics, Mosonmagyaróvár, Hungary

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-4222-3981>

E-mail: kovarci.anna@sze.hu

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-4686-3375>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8314-5077>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4442-0600>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0186-5949>

²Cibus Hungaricus Foundation, Mosonmagyaróvár, Hungary

<https://orcid.org/0000-0002-4296-7004>

*Corresponding author/Levelező szerző

ABSTRACT

Short food supply chains (SFSCs) have emerged as a sustainable alternative to conventional food systems, offering multiple advantages, particularly in the area of public and institutional catering. However, their implementation in public catering is accompanied by specific challenges, including logistical complexity, transaction costs, infrastructural limitations, food safety requirements, and regulatory constraints. This review aims to systematise and critically assess the most important sustainability-related characteristics of short food supply chains in the context of public catering. The paper synthesises existing research on the factors that either facilitate or hinder the integration of SFSCs into institutional catering systems, with particular emphasis on their contribution to sustainability. Drawing on international literature, the study examines the geographical, economic, social, and institutional dimensions of SFSCs, paying particular attention to practical implementation and scalability. The findings may contribute to the development of sustainable public catering strategies, especially in urban and rural contexts where food sovereignty and strengthening of local economies are strategic objectives. It is expected that the research patterns and knowledge gaps identified will provide a basis for further multidisciplinary studies and support the formulation of policy and institutional decisions that promote the integration of SFSCs into public catering practices. In this study, we aimed to filter out those publications that are truly relevant to the research topic from the large body of literature available. Our main goal was to identify studies



analysing the integrity, applicability, and accessibility of SFSC-related products, with particular emphasis on sustainability aspects. As a result of the bibliometric analysis, three distinct research clusters were identified (sustainability regulation, food security and epidemics, and nutrition science and health), clearly indicating that SFSCs function as a sustainability tool across several dimensions of public catering. Furthermore, screening based on the PRISMA methodology, revealed that only two international publications examine the practical integration of SFSCs into public catering in detail, highlighting both the under-researched nature of the field and the urgent need for further empirical research.

Keywords: public catering, short food supply chains, sustainability, availability

IRODALOMJEGYZÉK

- Báti, A. (szerk.) (2023). *Menzadimenziók. A gyermek-közétkeztetés társadalmi beágyazottsága*. Néprajztudományi Intézet, HUN-REN Bölcsészettudományi Kutatóközpont, Budapest. <https://doi.org/10.61380/978-963-567-072-7>
- Borsotto, P., Cagliero, R., Giarè, F., Giordani, G., Iacono, R., Manetti, I., & Sardone, R. (2023). Measuring Short Food Supply Chain Sustainability: A Selection of Attributes and Indicators through a Qualitative Approach. *Agriculture*, 13(3), 646. <https://doi.org/10.3390/agriculture13030646>
- Charatsari, C., Lioutas D.-E., Michailidis, A., Aidonis, D., De Rosa, M., Partalidou, M., Achillas, Ch., Nastis, S., & Camanzi, L. (2023). Facets of value emerging through the operation of short food supply chains. *NJAS: Impact in Agricultural and Life Sciences* 95(1), 1-38. <https://dx.doi.org/10.1080/27685241.2023.2236961>
- Chavhan, R., & Dutta, P. (2024). Redesigning quick commerce fresh and short food supply chains: circular economy strategies for sustainable last-mile operations. *British Food Journal*, 127(5), 1676-1701. <https://doi.org/10.1108/bfj-05-2024-0560>
- Chung, J.-C., Huang, Y.-F., Weng, M.-W., & Lin, J.-C. (2022). The Sustainable Innovation Design in Catering Service. *Sustainability*, 14, 278. <https://doi.org/10.3390/su14010278>
- Doernberg, A., Piore, A., Zasada, I., Wascher, D., & Schmutz, U. (2022). Sustainability assessment of short food supply chains (SFSC): developing and testing a rapid assessment tool in one African and three European city regions. *Agriculture and Human Values* 39, 885-904. <https://doi.org/10.1007/s10460-021-10288-w>
- EMMI (2024). EMMI rendelet 37/2014. IV.30. 2. § (1) 14. pont – A közétkeztetés fogalma, a közétkeztetésre vonatkozó táplálkozás-egészségügyi előírásokról. <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a1400037.emm>
- Ghorbani, B. D. (2024). Bibliometrix: Science Mapping Analysis with R Biblioshiny Based on Web of Science in Applied Linguistics, In Meihami, H., & Esfandiari, R. (Eds.), *A Scientometrics Research Perspective in Applied Linguistics* (1st) (pp. 197-234). https://doi.org/10.1007/978-3-031-51726-6_8
- Gombkötő, N., Teschner, G., Mezei, K. (2020). A közösség által támogatott mezőgazdaság előnyei és hátrányai. *Acta Agronomica Óváriensis* 61(1), 107-122. https://www.researchgate.net/publication/342719591_A_kozosseg_altal_tamogatott_mezogazdasag_elonyei_es_hatranyai



- Gómez-Ramos, A. (2023). The contribution of green public food procurement to sustainability: evidence from two case studies in Spain. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 47(8), 1158-1185. <https://doi.org/10.1080/21683565.2023.2223555>
- Hoang, V. (2021). Modern Short Food Supply Chain, Good Agricultural Practices, and Sustainability: A Conceptual Framework and Case Study in Vietnam. *Agronomy*, 11(12), 2408. <https://doi.org/10.3390/AGRONOMY11122408>
- Jia, F., Shahzadi, G., Bourlakis, M., & John, A. (2023). Promoting resilient and sustainable food systems: A systematic literature review on short food supply chains. *Journal of Cleaner Production*, 435. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.140364>
- Kloczko-Gajewska, A., Malak-Rawlikowska, A., Majewski, E., Wilkinson, A., Gorton, M., Tocco, B., Wąs, A., Saïdi, M., Török, Á., & Veneziani, M. (2023). What are the economic impacts of short food supply chains? A local multiplier effect (LM3) evaluation. *European Urban and Regional Studies* 31(3). <https://doi.org/10.1177/09697764231201572>
- Kretschmer, S., & Dehm, S. (2021). Sustainability Transitions in University Food Service—A Living Lab Approach of Locavore Meal Planning and Procurement. *Sustainability*, 13(13), 7305. <https://doi.org/10.3390/su13137305>
- Kumar, V., Verma, P., Shah, B., & Kumar, V. (2025). Redesigning short food supply chains for sustainable livelihoods and economies worldwide: a review of contributions from the British Food Journal. *British Food Journal*, 127(5) 1848-1874. <https://doi.org/10.1108/bfj-05-2024-0556>
- Lami, O., Mesías, J.-F., & Horrillo A. (2023). A qualitative study on the development of short supply channels in the Spanish agri-food sector: Producers' perspectives and expectations. *Journal of agriculture and food research*, 14. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100894>
- León-Bravo, V., Borrello, B., Ciccullo, F., & Caniato, F. (2024). Unpacking Proximity for Sustainability in Short Food Supply Chains. *Business Strategy and The Environment* 34(2), 1551-2719. <https://doi.org/10.1002/bse.4079>
- Michel-Villarreal, R. (2022). Towards sustainable and resilient short food supply chains: a focus on sustainability practices and resilience capabilities using case study. *British Food Journal* 125(5), 1914-1935. <https://doi.org/10.1108/bfj-09-2021-1060>
- O'Connor, G., Reis, K., Desha, C., & Burkett, I. (2024). Valuing farmers in transitions to more sustainable food systems: A systematic literature review of local food producers' experiences and contributions in short food supply chains. *Agriculture and Human Values*, 42, 565-592. <https://doi.org/10.1007/s10460-024-10601-3>
- OECD (2024a). *A versenygyakorlatok javítása a magyar közbeszerzésben: Az egyetlen ajánlattétel csökkentése és a beszállítói részvétel fokozása*. OECD Közirányítási Szemle. OECD Publishing, Párizs. <https://doi.org/10.1787/5d1c1ec1-en>
- OECD (2024b). *A közbeszerzési teljesítménymérési keretrendszer fejlesztése Magyarországon: a hatékonyság, a megfelelés és a stratégiai célkitűzések értékelése*. OECD Public Governance Reviews. OECD Publishing, Párizs. <https://doi.org/10.1787/afc1d91a-en>
- Paciarotti, C., & Torregiani, F. (2021). The logistics of the short food supply chain: a literature review. *Sustainable Production and Consumption*, 26, 428–442. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.10.002>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., McGuinness, L. A., Stewart, L. A., Thomas, J., Tricco, A. C., Welch, V. A., Whiting, P. & Moher, D. (2021). The PRISMA 2020



statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *The BMJ*, 372(71). <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>

Sarkis-Onofre, R., Catalá-López, F., Aromataris, E., & Lockwood, C. (2021). How to properly use the PRISMA Statement. *Systematic Reviews. Springer Nature Link* 117(10). <https://doi.org/10.1186/s13643-021-01671-z>

Ušča, M., & Aleksējeva, L. (2023). Environmental Sustainability Aspects in Short Food Supply Chains: the Views of Organic Farmers and Consumers. *Rural Sustainability Research* 345(50). <https://doi.org/10.2478/plua-2023-0018>

Zentai, A., Feigl, E., Varga, A., Mihály, K., & Greiner, E. (2023). Menzadimenziók. A gyermek-közétkeztetés társadalmi beágyazottsága. In Bádi, A. (Ed.), *A gyermek-közétkeztetés táplálás-egészségügyi jelentősége* (pp. 261–266). <https://doi.org/10.61380/978-963-567-072-7-11>

©Copyright 2025 by the Authors.

The journal is Open Access (Platinum). This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).





A hedonikus ármodellek szerepe a vadászati haszonbérleti díjak elemzésében: nemzetközi tapasztalatok és hazai vonatkozások

ABAUJI NORBERT^{1*}, TROJÁN SZABOLCS², MAROSÁN MIKLÓS³

¹Széchenyi István Egyetem, Wittmann Antal Növény-, Állat- és Élelmiszer-tudományi

Multidiszciplináris Doktori Iskola, Mosonmagyaróvár

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0008-6327-0899>

Email: abauji.norbert@univet.hu

²Széchenyi István Egyetem, Albert Kázmér Mosonmagyaróvári Kar

Agrárökonómiai Tanszék, Mosonmagyaróvár

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0186-5949>

³Széchenyi István Egyetem, Albert Kázmér Mosonmagyaróvári Kar

Talaj-, Víz- és Természettudományi Tanszék, Mosonmagyaróvár

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0004-5904-8313>

*Corresponding author/Levelező szerző

Received/Érkezett: 2025.10.15.

Revised/Átdolgozva: 2025.11.26.

Accepted/Elfogadva: 2025.11.28.

Published/Megjelent: 2025.12.23.

ÖSSZEFOGLALÁS

A vadászati haszonbérletek díjképzésének megértése egyre fontosabb a földtulajdonosok, a vadászatra jogosult szervezetek és a szakpolitika számára. A nemzetközi szakirodalom alapján a hedonikus ármodell hatékony módszert kínál a bérleti díjak meghatározó tényezőinek feltárására. A tanulmány áttekinti e modell elméleti alapjait és alkalmazásait, különös tekintettel a vadászati szektorban végzett kutatásokra. Az eredmények szerint a bérleti díjakat elsősorban a terület természeti adottságai, a vadállomány nagysága és összetétele, valamint a szerződéses feltételek és a piaci környezet alakítják. Bár az egyes országok és régiók tapasztalatai eltérnek, a főbb összefüggések konzisztensen megjelennek: a nagyvadfajok jelenléte, a változatos élőhely és a jobb megközelíthetőség rendszerint magasabb bérleti díjjal jár. A magyar szabályozási környezetben, ahol a díjmegállapítás nem egységes és gyakran konfliktusforrás, a hedonikus modellek tudományosan megalapozott eszközt nyújthatnak egy átláthatóbb, fenntarthatóbb díjkalkulációs rendszer kidolgozásához. A tanulmány rávilágít arra is, hogy a hazai vizsgálatok sikeréhez elengedhetetlen a szélesebb adatbázis és az egységes módszertani keretek kialakítása, valamint kijelöli a további kutatások irányait, ideértve a vadkárok, a rekreációs hasznosítás és a piaci mechanizmusok részletesebb vizsgálatát.

Kulcsszavak: vadászati haszonbérleti díj, hedonikus ármodell, vadgazdálkodás



1. BEVEZETÉS

Magyarországon a vadgazdálkodás évszázadok óta meghatározó eleme a társadalmi és gazdasági életnek, nemzetgazdasági jelentősége pedig ma is figyelemre méltó, különösen a vadászturizmus, a vadgazdálkodásból származó bevételek és a munkahelyteremtő szerepe révén. Ennek megfelelően jogi és intézményi szabályozása is hosszú történelmi múltra tekint vissza. A jelenleg hatályos, 1996. évi LV. törvény a vad védelméről, a vadgazdálkodásról és a vadásatról e történelmi fejlődés eredményeként jött létre, és a földtulajdonhoz kapcsolt vadászati jog elvén alapul.

E törvény többek közt rendelkezik a vadászati jog haszonbérletének szabályairól, a haszonbérleti szerződés kötelező tartalmi elemeiről, valamint a haszonbérleti díj mértékének megállapításának módjáról is (Mikó et al., 1996; Rónai és Samu, 2013). A vadászati jog gyakorlásának legelterjedtebb formája a haszonbérleti rendszer, amelyben a vadászterületek időben korlátozott hasznosítása szerződéses formában történik, jellemzően vadásztársaságok által. A haszonbérleti díj megállapítása azonban sok esetben nem támaszkodik egzakt, objektív értékelési módszerekre, és jelentős eltérések mutatkoznak a különböző régiók és vadgazdálkodási egységek között. A jogalkotó ugyan biztosít mozgásteret a felek – a földtulajdonos és a haszonbérlő – közti megállapodásra, de az alkalmazott díjak mögött sokszor hiányzik a gazdaságilag megalapozott számítás (Mikó et al., 1996; Király et al., 2003).

A vadászati jog haszonbérlete – vagyis egy földtulajdonos vadászati jogának bérbeadása vadászati célokra – számos országban elterjedt gyakorlat, amely a magánföld-tulajdonosok számára jelentős kiegészítő jövedelemforrást nyújthat (Benson, 2001; Shrestha és Alavalapati, 2004). Ennek következményeként a vadászati haszonbérletek gazdasági elemzésében egyre nagyobb figyelmet kapnak azok a közgazdasági módszerek, amelyek képesek számszerűsíteni a területi és piaci tényezők hatását az árképzésre. Ezek közül kiemelkedik a hedonikus ármódszer, amely más területeken már széles körben alkalmazott, de a vadászati piacokon csak az utóbbi évtizedekben kezdett elterjedni (Rosen, 1974; Freeman, 1993).

A haszonbérleti díjak hazánkban is nagymértékű heterogenitást mutatnak, amit a természeti adottságok, a vadállomány jellemzői és a szerződéses feltételek egyaránt befolyásolnak. Éppen ezért merült fel az igény egy olyan objektív modellre, amely a vadászterületek jellemzői alapján segíthet meghatározni a reális bérleti díjat. Magyarországon az érvényben levő jogszabály meghatározza azt, hogy a vadászati jog a földtulajdonosé, de a bérleti díj megállapításához nem ad konkrét módszertani útmutatót (1996. évi LV. törvény), ezért különösen aktuális ez a kérdés.

Gyakran konfliktusok kiindulópontjaként szolgál a földtulajdonosok és a vadászatra jogosult felek között az, hogy az elmúlt évtizedben nem alakult ki egységes gyakorlat a díjképzésre. Tehát a hedonikus modell alkalmazása a vadászati szektorban tudományosan és gyakorlatilag is indokolt: segíthet feltárni, mely tényezők mennyire befolyásolják a bérleti díjakat, s ezáltal alapot adhat egy átláthatóbb, igazságosabb díjképzéshez. Összességében világít rá mindez a téma jelentőségére (Mingie et al., 2017; Abauji et al., 2024).

Jelen tanulmány célja, hogy áttekintést nyújtson a hedonikus ármodellről és bemutassa annak nemzetközi alkalmazásait a vadászati haszonbérleti díjak vizsgálatában, beleértve a legfontosabb kutatási eredmények összegzését és a hazai vonatkozásokat is. E munka ezáltal hozzájárul egy olyan átfogó kép kialakításához, amely alapot teremthet egy objektívebb és fenntarthatóbb haszonbérleti díjképzési rendszer megvalósításához Magyarországon.



2. A HEDONIKUS ÁRMÓDSZERRŐL ÁLTALÁNOSAN

A hedonikus ármódszer a közgazdaságtanban széles körben alkalmazott eszköz, amely áruk vagy szolgáltatások implicit értékösszetevőinek meghatározására szolgál a piaci árak alapján. Az ármódszer lényege az, hogy egy heterogén jószág – például egy lakóingatlan vagy más olyan termék, amely több tulajdonság kombinációjából áll – árát ezen tulajdonságok függvényeként értelmezzük. Mindezek által feltárható, hogy az egyes jellemzők mekkora részét teszik ki a teljes árnak, vagyis mennyit hajlandóak fizetni a vásárlók egy-egy tulajdonságért (Lancaster, 1966; Rosen, 1974).

A módszert Rosen (1974) klasszikus tanulmánya formalizálta, de gyakran említik korai előzményként Waugh (1928) zöldségpiaci elemzését is. A hedonikus modell a gyakorlatban jellemzően statisztikai regresszioelemzés formájában valósul meg: az adott jószág piaci árát függő változóként a jószág tulajdonságai magyarázzák, és a regressziós együtthatók az egyes tulajdonságok implicit árára utalnak (Taylor, 2003; Szerényi, 2005).

A hedonikus ármodell számos területen bizonyított az elmúlt évtizedekben. Tipikus alkalmazási területe az ingatlanpiac, ahol segítségével becslik például a lakóingatlanok értékében a lokációs tényezők, környezeti jellemzők (pl. levegőminőség, zajszint, panoráma), vagy a közeli szolgáltatások (iskolák, parkok) hatását (Garrod és Willis, 1999; Szerényi, 2005).

Hasonlóképp a munkaerőpiacon a hedonikus (kompenzációs) bérmodellek segítségével becslik, mekkora bérfelár szükséges a munkavállalók számára egy-egy kellemetlen vagy kockázatos munkakörülmény (pl. munkabiztonsági kockázatok) vállalásához – ezen az elven nyerhető ki a statisztikai életérték fogalma (Viscusi, 1993).

Ugyancsak használják nem-piaci javak értékelésére a környezeti közgazdaságtanban: például az életminőség javulásának pénzbeli értékét lehet megbecsülni környezeti károk csökkenése esetén, a lakásárak változásán keresztül (Freeman, 1993). Hasonló módon a hedonikus értékelést alkalmazták a pisztránghorgászat outfitter (horgásztatási) szolgáltatásainak piacán is a Sziklás-hegység nyugati részén (Pitts et al., 2012).

E szemléletet erősíti egy észak-karolinai vizsgálat is: a nyilvános vadászterületek közelségének ingatlanárakra gyakorolt hatását elemezték hedonikus árelemzéssel. A vizsgálat eredményéből kiderül, hogy a lakóingatlanok eladási ára egyes térségekben nő a közeli állami vadászterület hatására, ugyanakkor a közvetlen szomszédság bizonyos helyzetekben értékcsökkenést idézhet elő (például a vadászat okozta zaj és biztonsági aggodalmak miatt). Ezek a pozitív vagy negatív hatások a helyi társadalmi-környezeti kontextustól függenek – például attól, hogy van-e a közelben más védett terület –, ami azt jelenti, hogy a vadvédelmi célú területeknek a környező ingatlanértékekre való hatása erősen helyfüggő (Casola et al., 2022).

A módszer előnye, hogy valós piaci döntéseken alapuló (revealed preference) értékeket ad, nem pedig hipotetikus felmérésekre támaszkodik, így a kapott eredmények a fogyasztók tényleges fizetési hajlandóságát tükrözik egy-egy tulajdonságért. A módszer fő előnye, hogy valós piaci adatokra épít, így a fizetési hajlandóság implicit módon, de tényleges tranzakciókon keresztül becsülhető. Ez különösen hasznos lehet akkor, amikor közvetlen piac nincs a vizsgált jószágra (például a tiszta levegőre nincs önálló piac, de a lakásárakon keresztül a levegőminőség értéke számszerűsíthető) (Cropper és Oates, 1992; Freeman, 1993).

A módszer flexibilis: tetszőleges számú és típusú jellemző beépíthető a modellbe, amennyiben azok számszerűsíthetőek, és a rendelkezésre álló adatok lehetővé teszik. Ezenkívül a hedonikus modellekből nyert implicit árak jól használhatók költség-haszon elemzésekben és szabályozási



döntések megalapozásához, hiszen megmutatják, mekkora jóléti nyereség vagy veszteség társul egy-egy tulajdonság változásához (Taylor, 2003; Palmquist, 2005).

A hedonikus modell ugyanakkor számos módszertani kérdést vet fel, emiatt fontos megemlíteni korlátait is, melyet az 1. táblázatban foglaltunk össze.

1. táblázat: A hedonikus modell alkalmazásának módszertani korlátai

Korlátozó tényező	Magyarázat
Adatigényesség	Nagy mennyiségű, jó minőségű adatra van szükség az egyes attribútumok hatásának elkülönítéséhez.
Omitted variable bias	Ha egy fontos jellemző kimarad, a modell torzulhat – például a vadállomány minőségének hiányában a terület mérete „veszi fel” annak hatását.
Piaci feltételek	A módszer versenyzői piacot és teljes információt feltételez. Valódi piaci tökéletlenségek esetén a megfigyelt hedonikus függvény eltérhet az elméleti ideáltól. Kevés tranzakció esetén például az árak eltérhetnek a tényleges implicit értékektől.
Feltárható tartomány	Csak a mintában változó és a szereplők által észlelt jellemzők értéke becsülhető. Új, példátlan vagy nehezen mérhető minőségi aspektusok jelennek meg közvetlenül a modellben.
Kölcsönhatások és nemlinearitás	A jellemzők hatása gyakran nemlineáris vagy kölcsönhatásos. Ennek kezelésére speciális modellformák alkalmazása szükséges - interakciós változók, négyzetes tagok, Box–Cox transzformációk stb.

Forrás: Cropper és Oates (1992); Ekeland et al. (2004); Halvorsen és Palmquist (1980); Messonnier és Luzar (1990); Palmquist (2005).

A szakirodalomban konszenzus, hogy egyetlen piacon egy hedonikus becslésből az egyéni preferenciák (keresleti görbék) közvetlenül nem mindig azonosíthatók erős feltételezések nélkül. Mindazonáltal az „első lépcsős” hedonikus modellek – azaz az ár és jellemzők kapcsolatának becslése – rendkívül értékes információt adnak az egyes tulajdonságok implicit árára vonatkozóan, és széles körben használatosak az alkalmazott közgazdasági kutatásokban (Taylor, 2003).

3. A HEDONIKUS ÁRMODELL ALKALMAZÁSA A VADÁSZATI HASZONBÉRLETI VIZSGÁLATOKBAN

3.1 Árat befolyásoló tényezők a vadászati haszonbérleteknél

A nemzetközi szakirodalom számos olyan tényezőt azonosított, amely érdemben befolyásolja a vadászati haszonbérleti díjak alakulását. Ezek a tényezők három fő csoportba sorolhatók: a terület fizikai és biológiai jellemzői, a vadállomány és a vadászati lehetőségek jellemzői, valamint a szerződéses és piaci paraméterek (Mozumder et al., 2007). Az átfogó szakirodalmi összefoglalások rámutatnak arra is, hogy a vadászati haszonbérlet piacát nemcsak az egyedi ármeghatározó tényezők, hanem szélesebb gazdasági és szabályozási szempontok is alakítják (Mozumder et al., 2007; Munn és Hussain, 2014).

Munn és Hussain (2014) szakkönyvi fejezetükben áttekintik a vadászati haszonbérleti piacok struktúráját és gazdasági vonatkozásait: ismertetik a vadászati jog szabályozási kereteit az USA-ban, majd összegzik a vadászati bérbeadás kínálati és keresleti oldalának kutatási tapasztalatait. Kiemelik a földtulajdonosok bevételi motivációit (például, hogy a vadászatért kapott díj ösztönözheti az élőhelyek fejlesztését, és bizonyos régiókban meghaladhatja a hagyományos mezőgazdasági haszon értékét). Foglalkozik a vadászok fizetési hajlandóságával is – egy vagy több terület bérlésére –, illetve



rámutat a regionális eltérésekre (pl. egyes déli államokban a vadászati célú földhasználat a legjövedelmezőbb hasznosítás). Összességében azt hangsúlyozza a tanulmány, hogy a vadászati turizmus és bérbeadás lényeges vidékgazdasági tényező, amely munkahelyeket teremt és növeli az erdő- és mezőgazdasági területek értékét (Munn és Hussain, 2014). Mindez azt is jelzi, hogy a vadászati haszonbérleti díjak hatásai nemcsak a közvetlen bevételekben, hanem a földtulajdon értékében is megjelennek. Hussain és munkatársai (2013) észak-mississippi tranzakciós adatokon végzett hedonikus elemzésükben kimutatták, hogy minden 1 USD/acre-rel magasabb bérleti díj átlagosan 0,8%-kal növeli az erdőterületek piaci értékét. Eredményeik arra utalnak, hogy a bérleti díjak jövedelme tökéssül a földárakba, így a vadászati lehetőségek közvetett módon a termőföld hosszú távú értéknövekedéséhez is hozzájárulnak.

A vadászati jog bérbeadása az Egyesült Államokban, Észak-Európában és Magyarországon egyaránt ismert és alkalmazott szolgáltatás, de eltérő történeti háttérrel rendelkeznek és működnek. Az USA-ban már a 20. század közepétől virágzó piac alakult ki. A kutatások azt mutatják, hogy a bérleti díjat főleg a trófeás nagyvadak (különösen a fehér farkú szarvas) jelenléte határozza meg az országban; a terület mérete és más tényezők kisebb szerepűek (Livengood, 1983; Guynn és Busch, 1988). Az amerikai adatok alapján a nagyobb területek hektáronkénti díja alacsonyabb, viszont egyes élőhelyek (pl. ártéri erdők) kiugróan magas bevételt hoznak. Emellett a profi vadgazdálkodás is növeli a bérleti díjat. A regionális eltérések is jelentősek: például a Mississippi-deltavidéken jóval magasabb díjakat kérnek, mint a tengerparti síkságon, a jobb vadállomány és a presztízs okán (Rhyne et al., 2009).

Dániában a földtulajdonosoknak lehetősége van bérbe adni a vadászati jogot, ami fontos bevételi forrást jelent az országban. A dán adatok szerint hasonló tényezők hatnak az árakra, mint az USA-ban: a változatos, lombos erdőkért magasabb díjat fizetnek, míg a monoton fenyves kevésbé vonzó, és a nagyobb területek hektáronkénti díja itt is alacsonyabb (Meilby et al., 2006).

Svéd kutatások igazolták, hogy a terület nagysága, a vadállomány és a fekvés mind számít. Kimutatták azt is, hogy a hasonló adottságú, egymáshoz közeli területek díjai hasonlóak, tehát a helyi viszonyok és vadászati kultúra is befolyásolja az árakat (Mensah és Elofsson, 2015).

Sajátos skandináv eredmény, hogy a nagyragadozók (farkas, hiúz) jelenléte csökkenti a bérleti díjat, valószínűleg a vadállomány nagyragadozóknak köszönhető csökkenése miatt. Mindezt részletesen is kimutatta egy skandináv vizsgálat: Dél-Svédországban megvizsgálták a nagyragadozók jelenlétének a vadászati bérletek árára gyakorolt hatását. A hedonikus modell alapján azt az eredményt kapták, hogy a nagyragadozók felbukkanása csökkenti a bérleti díjakat, feltehetően amiatt, hogy a ragadozók visszafogják a vadállományt és rontják a vadászati élményt. Az eredmény rávilágít, hogy a vadgazdálkodás külső tényezői – mint a ragadozóállomány – jelentős befolyást gyakorolhatnak a bérleti díjakra (Mensah et al., 2019). Egy másik svédországi vizsgálat (Lozano et al., 2020) szintén a nagyragadozók hatását elemezte, de kiegészítve a szabályozott ragadozóvadászat tényezőjével. A hedonikus modell eredményei szerint a farkas és a hiúz jelenléte csökkenti a vadászati bérleti díjakat, de a hiúz hatása erősebb és tetemesebb. A medián regressziók alapján egy új farkasterület implicit hatása mintegy 15%-kal nagyobb, mint egy új hiúzterületé. A barnamedvék esetében közvetlen negatív hatásra nem találtak bizonyítékot, ugyanakkor a szabályozott, engedélyhez kötött medvevadászat pozitív és szignifikáns hatással bírt a bérleti díjakra, ami arra utal, hogy a nagyobb medveállomány közvetetten nettó gazdasági előnyökkel járhat.

Egy újabb svédországi, dinamikus térökonometriai elemzés kimutatta, hogy a hiúz predációja szignifikánsan mérsékli az őz-elejtések számát (helyben és a szomszédos területeken egyaránt), míg a farkasok jelenléte a jávorszarvas-terítéket korlátozza az adott térségben. Mivel a ragadozók



visszafogják a zsákmányállat-állományt és ezzel a vadászati hozamot, hatásuk közvetetten a bérleti díjak csökkenésében is megnyilvánulhat (Lozano et al., 2023).

Magyarországon a vadászati jog piaci bérbeadása az 1996-os törvény óta lehetséges. A földtulajdonosok a területeket jellemzően vadásztársaságoknak adják ki, de a díj szabad megállapodás tárgya – ez gyakran konfliktushoz vezet, mivel nincs objektív mérce. A kutatások szerint itthon is hasonló tényezők mozgatják az árakat, mint külföldön (Kőhalmi és Márkus, 1996; Király et al., 2003).

Hazánkban a vadászati ökonómiai összefüggések feltárásával, valamint az ezekhez kapcsolódó modellek és módszerek kidolgozásával foglalkozó terület kevésbé kutatottnak számít; e szűk körű vizsgálatok közül kiemelkedik Kőhalmi és Márkus (1996) munkája, akik elsőként tettek kísérletet arra, hogy tudományosan megalapozzák a haszonbérleti díjak meghatározását. Kutatómunkájuk során a vadászati haszonbérleti díj megállapítására kidolgoztak egy javaslatot. Elővették azokat a tényezőket, illetve összetevőket, amelyeket egyrészt a jogszabály alapján, másrészt ezen felül érdemes figyelembe venni a haszonbérleti díj megállapításakor. Lényeges ismérvként tekintettek a vadászterület kiterjedésére, melynek mérete emelheti a bérleti díj átlagos nagyságát. Megállapításuk szerint a vadászterület feltártsága, azaz a vadgazdálkodási és vadászati berendezések megléte emeli, hiánya csökkenti a bérleti díjat. A közúti gépjárműforgalmat azért tartják lényegesnek, mert a vaddal való ütközéseken túl a nehezebben biztosítható vadvédelem is befolyásoló tényezőt jelent. Így a nagy gépjármű forgalom negatív módon befolyásolhatja a bérleti díjat. Ugyancsak negatívan ható tényező a természetvédelmi kötöttség, a vadállomány kezelését vagy hasznosítását befolyásoló korlátozásokkal (Kőhalmi és Márkus, 1996).

A vadászati haszonbérleti díjat meghatározó tényezőket Battay vizsgálta skandináv kutatásokra támaszkodva. Doktori értekezésében két megye, Bács-Kiskun és Nógrád megye vadászati haszonbérleti adatait elemezte az adott területek vadállományának összetétele és minősége alapján. Vizsgálta a vadászterületek élőhelyi adottságait, az erdőterületek arányát, valamint elemezte a vadászterületek fővárostól való közúti távolságát. Battay (2020) doktori kutatásában többváltozós regressziós analízissel kimutatta, hogy a vadászati haszonbérleti díjat jelentős mértékben befolyásolja a nagyvad (különösen gímszarvas) jelenléte, a terület erdősültsége, valamint a fővároshoz való közúti távolság. Az általa vizsgált két megyében megfigyelhető, hogy az erdős-dombos, szarvasban gazdag Nógrádban szignifikánsan magasabbak a díjak, mint az alföldi, apróvadás Bács-Kiskunban, és a Budapesthez közeli területeken is magasabb díjakkal találkozunk a koncentrált kereslet miatt.

Ezek az eredmények összhangban állnak a nemzetközi tapasztalatokkal, ami rávilágít arra, hogy bár a piacok fejlődése eltérő lehet régióként, a bérleti díjakat alapvetően meghatározó tényezők és az azokat alakító szempontok meglepően hasonlóak.

3.1.1 Területi és környezeti jellemzők

A vadászterület mérete az egyik legkézenfekvőbb ármeghatározó tényező, ugyanakkor hatása nem egyértelműen arányos. Több tanulmány is kimutatta, hogy az egységnyi területre jutó bérleti díj gyakran csökken a terület nagyságának növekedésével (azaz a nagyobb vadászterületek fajlagosan olcsóbbak). Ennek magyarázata egyrészt az, hogy a nagy kiterjedésű területeket tipikusan csak vadásztársaságok vagy vagyonosabb vadászok tudják kibérelni, akik összességében többet fizetnek, de nem lineárisan többet minden plusz hektárért; másrészt a nagy területen belül lehetnek kihasználatlan részek is, amelyek csökkentik az átlagos értéket (Hussain et al., 2004; Shrestha és Alavalapati, 2004).



A földhasználat és élőhely minősége szintén kulcsfontosságú: általános eredmény, hogy a nagyobb erdősültség és a változatos élőhely növeli a vadászati értéket, mivel jobb életkörülményeket teremt a vadnak (Livengood, 1983; Meilby et al., 2006). Az ártéri keménylombos erdők egész évben táplálékot és menedéket biztosítanak a szarvasoknak és más vadfajoknak (Harris, 1984). Hasonlóan fontos élőhelyet jelentenek a domb- és hegyvidéki tölgyesek is, amelyek szintén gazdag táplálék- és bújóhelyforrást kínálnak a vadállomány számára (Dickson, 2004). Ezzel szemben az érett, zárt lombkoronájú fenyőültetvények aljnövényzete a fényhiány következtében erősen visszaszorul, így ezek a területek a vad számára már elsősorban menedéket nyújtanak, táplálékot viszont alig (Thill, 1990).

A hedonikus ármodellektől eltérő módszertanban, a fizetési hajlandóság közvetlen felmérésén alapuló vizsgálatok is kimutatták az élőhelyi tényezők jelentőségét. Egy Alabama államban végzett kutatás például telefonos és kérdőíves felmérés alapján arra a következtetésre jutott, hogy a vadászok nagyobb értéket tulajdonítanak azoknak a területeknek, ahol fenyő–keménylombú kevert állományok találhatók, míg a fiatal fenyveseket vagy kiterjedt tarvágásokat kevésbé részesítik előnyben. A különböző korú fákat magában foglaló vegyes állományokat kifejezetten kedvezőnek ítélték, mivel ezek jobb élőhelyet biztosítanak a szarvasok számára, ami közvetlenül növelte a vadászok fizetési hajlandóságát (Stribling et al., 1992).

Stribling és munkatársai eredményei összhangban vannak a hedonikus elemzésekkel, amelyek a tényleges bérleti díjak statisztikai vizsgálatán keresztül igazolták az élőhely szerkezeti tényezőinek hatását. Egy dániai vizsgálat szerint a tölgyes és egyéb lombos erdők arányának növekedése szignifikánsan emelte a bérleti díjat, jelezve, hogy a vadászok értékelik az erdő szerkezeti diverzitását (Meilby et al., 2006). Ugyanebben a tanulmányban azt találták, hogy ha egy birtok területének nagyobb hányadát adják bérbe vadászati célra, az csökkentette az egy hektárra jutó bérleti díjat – vagyis a tulajdonosok, akik szinte az egész területüket bérbe adják, engedményt kénytelenek tenni a bérlőknek a nagy volumen miatt.

A tájképi érték és az élőhely minősége nehezen számszerűsíthető ugyan, de gyakran proxy változókon keresztül kerül be a modellekbe. Ilyen lehet például a terület %-os aránya mocsaras-vizes élőhellyel vagy rétekkel (ami bizonyos vadfajok számára vonzó), illetve a mezőgazdasági területek aránya (amely takarmányt biztosíthat a vadnak). Munn és társai (2005) Mississippi állambeli vizsgálatukban szerepeltették a vizes élőhelyek arányát és a különböző földborítási kategóriákat (erdő, mezőgazdasági terület stb.) mint magyarázó változókat a bérleti díj függvényében. Eredményeik alapján a Delta régióban (árterületi gazdálkodású síkvidék) az erdős területek hektárjai, illetve a mezőgazdasági területek hektárjai is magasabb bérleti díjat értek, mint a Coastal (tengerparti síksági erdős) régióban – utalva arra, hogy a Delta régió termékeny élőhelyei és gazdagabb vadállománya miatt a vadászok többre értékelték az ottani földet. Érdekes módon ugyanebben a vizsgálatban azt találták, hogy a földtulajdonosok vadgazdálkodási ráfordításai (pl. élőhelyfejlesztés, takarmányozás) csak az egyik régióban (a tengerparti megyékben) vezettek magasabb díjakhoz, míg a másik régióban (Delta) nem befolyásolták érdemben a bérleti díjat. Ez arra utal, hogy a területi sajátosságok és a vadászok preferenciái közötti kapcsolat összetett: amit az egyik környezetben hajlandók megfizetni (pl. extra takarmányozást vagy élőhely-javítást), azért máshol – talán a bőséges természetes táplálék miatt – nem adnak többletpénzt.

Egy friss dániai elemzés szerint nemcsak az élőhely összetétele, hanem a birtokjelleg és a vadászhoz való hozzáférés is jelentős felárat hordoz a bérleti díjban (Legarth, et al., 2023). Fontos területi tényező a megközelíthetőség és fekvés: több tanulmány is igazolta, hogy a nagyvárosokhoz vagy lakott területekhez való közelség növelheti a bérleti díjakat, mivel a vadászok értékelik, ha kevesebbet kell utazniuk a terület eléréséhez (Shrestha és Alavalapati, 2004). Rhyne és munkatársai



(2009) Mississippi államban kimutatták, hogy a városoktól való távolság fordítottan arányos a bérleti díjjal, azaz a könnyebben megközelíthető, jó infrastruktúrájú területek drágábbak. Ugyanakkor a túl urbanizált környezet negatív is lehet (pl. zavaró tényezők, több illegális bejárás), így e hatásnak van egy optima. Goodwin és munkatársai (1993) Kansas államban végzett vizsgálatukban azt tapasztalták, hogy a városban élő vadászok 14,5%-kal nagyobb valószínűséggel mutattak fizetési hajlandóságot a magánterületek vadászati bérletéért, mint a vidéken élő vadászok. A városi vadászok kereslete erősebben jelenik meg a piacon, ami hozzájárulhat a bérleti díjak emelkedéséhez.

Összességében a területi adottságok közül azok a fontosak, amelyek a vad eltartókéességét és a vadászat kényelmét befolyásolják – a természeti erőforrás-gazdagság felértékeli, a hozzáférési nehézség vagy kevésbé ideális élőhely pedig leértékeli a területet. Standiford és Howitt (1993) a kaliforniai tölgyfás legelők többcélú hasznosítását vizsgálták, külön modellezve a faállomány, a takarmánytermelés és a vadászati bevételek összefüggéseit. Eredményeik szerint, ha a gazdálkodás csak szarvasmarha-tartásra épül, a tölgyfák fokozatosan eltűnnek, míg a vadászati és tűzifabevételek integrálásával fenntarthatóbb lombkoronaszintek alakulnak ki. A vadászati díjak tehát nemcsak jövedelemforrást, hanem ösztönzőt is jelentenek a tulajdonosok számára a természeti erőforrások megőrzésére.

3.1.2 Vadállomány és vadászati lehetőségek

A vadászati bérleti díj talán legjelentékenyebb hajtóereje a vadbőség és a vadászható fajok értéke. Számos kutatás igazolja, hogy a nagyvadállomány minősége és mennyisége erős pozitív hatással van az árakra (Livengood, 1983; Hussain et al., 2004; Rhyne et al., 2009).

Livengood (1983) egy a Texas államban végzett korai hedonikus elemzése megállapította, hogy a fehérfarkú szarvas (*Odocoileus virginianus*) állomány sűrűsége és trófeaminősége jelentősen növeli a vadászati jog bérleti díját. Hasonlóképpen az Alabama államban végzett fizetési hajlandóság-vizsgálatban Hussain és munkatársai (2004) azt találták, hogy a vadászok külön prémiumot hajlandók fizetni a területen előforduló trófeás szarvasokért, valamint pulykákért, ami a keresletben megjelenő preferenciákra utal.

A vadfajok közül a nagyvadak (szarvas, vaddisznó, medve stb.) jelenléte tipikusan a legfontosabb tényező: ahol ezek előfordulnak, ott a bérleti díj nagyságrendekkel magasabb lehet, mint ahol csak apróvad (nyúl, fácán stb.) érhető el (Pope és Stoll, 1985; Meilby et al., 2006; Rhyne 2007).

Ugyanakkor az apróvadak és vízivadak is hozzáadhatnak az értékhez: például egy Mississippi állambeli felmérésben a vadkacsa-vadászati lehetőség (vízivad jelenléte a területen) növelte a bérleti díjat. A vadászok tehát diverz vadászati élményt is kereshetnek. Továbbá a vadállomány mennyiségi mutatóin túl a minőségi jellemzők is számítanak: ide tartozik a trófeaminőség (pl. agancsméret), a faj korstruktúrája, egészségi állapota (Messonnier és Luzar, 1990; Rhyne et al., 2009).

Lundhede és szerzőtársai (2008) dániai adatokon elemezték, hogy a teríték nagysága (kilőtt szarvasok száma) milyen hatással van a bérleti díjra, és bár statisztikailag igazolt, hogy a magasabb terítékű területek drágábbak, a hatás meglepően kicsi volt. Ez arra utalhat, hogy a vadászok a vadbőség mellett más szempontokat is mérlegelnek, vagy hogy telített a piac. Dániában például általánosan jó a vadállomány, így csak kis különbséget jelent a plusz egy szarvas lehetősége.

A vadak egészségi állapotának piaci jelentőségét jól mutatja egy friss kutatás is: a krónikus sorvadásos betegség (CWD) hatását vizsgálták a vadászati bérleti díjakra vonatkozóan az Egyesült Államok délkeleti részén. A hedonikus modell eredményei alapján, ha egy területen



elejtett szarvasok között kimutatják a CWD-t, az az éves bérleti díjat átlagosan ~22%-kal (kb. 1,84 USD/acre-rel) csökkenti, míg a szomszédos területeken észlelt CWD nem volt szignifikáns hatású. A szerzők számításai szerint a betegség elterjedése esetén jelentős aggregált bevételkiesés érheti a földtulajdonosokat és a térséget (akár több millió dolláros nagyságrendben), ami rámutat a vadvédelem gazdasági jelentőségére a bérleti piacokon (Poudyal et al., 2025). Adhikari és munkatársai (2022) egy CWD-vel érintett térség vadászai körében végzett felmérés alapján azt mutatták ki, hogy a vadászok 51%-a átlagosan 20 USD/állat többletköltséget is vállalna egy olyan programban, amely megtéríti a fertőzött zsákmány feldolgozásának költségeit. Lerosé és munkatársai (2024) egy másik vizsgálatban arról számoltak be, hogy a megkérdezett vadászok 34–50%-a fizetne a CWD-tesztelésért és az elejtett beteg állatok tetemének ártalmatlanításáért is, átlagosan 15–25 USD közötti összeget (a felmérés módszertanától függően).

A vadászati lehetőségeket a szolgáltatások is jelentősen alakíthatják. Egy Mississippi állambeli kutatás a magánszolgáltatók által kínált komplex vadászati ajánlatokat vizsgálta, amelyek a vadfaj, a vadászat időtartama, valamint különböző kiegészítő szolgáltatások – például szállás, étkezés vagy horgászati lehetőség – kombinációjából álltak. Az elemzés kimutatta, hogy a szállás és a horgászati lehetőség jelentősen emelte az árakat és a vadfajok szerepe is meghatározónak bizonyult (Buller, 2006).

A vadállomány jellemzői mellett a vadászati lehetőségek típusai és a kapcsolódó infrastrukturális elemek is fontos tényezők. A vadászati lehetőségek körébe tartozik az is, hogy milyen típusú vadászatot kínál a terület. Például egy exkluzív, egyéni trófeavadászati lehetőség más értékelést kaphat, mint egy társas apróvad vadászat. Ha a terület rendelkezik infrastrukturális elemekkel – vadászház, magasles hálózat, etetők, kiépített utak – az kényelmi tényezőt jelent a bérlőnek, és jellemzően megemeli a díjat (Hussain et al., 2007). Ezt a hatást nehéz számszerűsíteni, de proxyk révén (pl. van-e vadászház a területen vagy sem, elektromos hálózat, utak hossza stb.) be szokták építeni a modellekbe.

Az élmény összetettsége is számít: Lundhede és munkatársai (2015) elemzésükben hangsúlyozzák, hogy a vadászat nem pusztán a zsákmányról szól, hanem a természetben töltött idő, a kihívás, a társaság mind értéket hordoz – ezek azonban közvetetten jelennek meg az árban (Gigliotti, 2000; Lundhede et al., 2015). Ennek mérésére gyakran a bérlő típusa ad információt: például, ha a bérlő egy vadásztársaság (konzorcium) több taggal, az utalhat arra, hogy társas vadászatokat tartanak, több élménnyel, ami a dán adatok szerint magasabb árhoz vezetett, mint amikor egyéni bérlő veszi ki a területet (Legarth et al., 2025). Ugyanebben a vizsgálatban nem meglepő módon azt találták, hogy ha a bérlő a földtulajdonos ismerősi köréből kerül ki (pl. rokon), és így a szerződés afféle baráti alapon jön létre, a díj jelentősen alacsonyabb – hiszen nem piaci alkun, hanem személyes viszonyon alapul.

Összességében a vadászati potenciál értékelésénél elmondható, hogy a nagyvadfajok jelenléte és mennyisége a legfontosabb árnövelő tényező, de minden kiegészítő lehetőség – különböző fajok, jobb trófea-minőség, infrastruktúra – hozzáadódik a bérleti díjhoz.

Nemcsak ökonometria vizsgálatok, hanem gyakorlati útmutatók is rámutatnak a bérleti díjakat befolyásoló tényezők fontosságára. Egy Missouri állambeli, kifejezetten földtulajdonosok számára készült útmutató hangsúlyozza, hogy a magánterületi vadászati hozzáférés iránti kereslet növekedése miatt, egyre több gazdálkodó érdeklődik földje bérbeadása iránt. A bérleti díjért cserébe történő vadásztatás kiegészítő jövedelmet biztosíthat, sőt a tapasztalatok szerint a vadászati célú hasznosítás hozzájárul a termőföld értéknövekedéséhez is. A kiadvány ismerteti a



sikeres bérbeadás feltételeit – például az írásos szerződés fontosságát, a vadászokkal való megfelelő kommunikációt – és felsorolja, mit keresnek a vadászok egy bérleti lehetőségben (ilyen tényezők többek között: más vadászok kizárása, bőséges vadállomány, biztonságos és vendégszerető környezet, valamint a terület megközelíthetősége és kényelmi szolgáltatásai) (Pierce és Milhollin, 2024).

3.1.3 Szerződéses feltételek és piaci környezet

A bérleti díjra hatással van maga a szerződés jellege is. Az egyik lényeges paraméter a bérleti időtáv: hosszabb távú (pl. többéves) szerződések esetén gyakran kedvezményt kap a bérlő az éves díjban, hiszen cserébe elköteleződik és kiszámíthatóságot nyújt a tulajdonosnak (Messonnier és Luzar, 1990). Ezzel szemben a rövidebb (éves, szezonális) bérletek fajlagosan drágábbak lehetnek – Rhyne és munkatársai (2009) aukciós adatokon kimutatták, hogy a vadászok hajlandóak voltak magasabb éves díjat fizetni a rövidebb, de rugalmasabb bérleti lehetőségért, mintha hosszú időre lekötnék magukat.

A szerződés feltételei közé tartozik az is, hogy hány fő vadászhat a területen: a fegyverenkénti díjazásos rendszer esetén például Texasban jellemző volt, hogy egy fegyverre vetítve 100-2000 USD-t is elkértek a 1980-as években (Livengood, 1983), ami átszámítva hektáronként 0,25-10 USD-t tett ki. A piaci környezet kapcsán lényeges, hogy milyen módon kerül megállapításra a díj. Ha nyílt, versengő piacon jön létre – mint amilyen Mississippi állam Sixteenth Section közföldjeinek esete, ahol árverésen adják bérbe a vadászati jogot – akkor a díjak a valós keresleti értéket jobban tükrözik. Rhyne és munkatársai (2009) éppen ezt használták ki: az árverési adatok elemzésével bizonyos jellemzők implicit árát magasabbnak találták, mint korábbi, önbevalláson alapuló tanulmányok. Arra jutottak, hogy a kis területű bérletek jóval magasabb hektáronkénti díjat érnek el, és hogy a rövidebb bérleti idő jelentősen növeli a licitált árakat – olyan összefüggések, amelyek a magánmegállapodásoknál kevésbé voltak nyilvánvalóak.

A piaci szerkezet másik oldala a keresleti oldal összetétele: régióként eltérő lehet, hogy inkább helyi vadászok vagy utazó bérlők dominálnak, illetve, hogy a kereslet meghaladja-e a kínálatot. Például Skandináviában a vadászati jog bérbeadása nagyon elterjedt, a vadászok száma is magas, de a jog sokszor helyi közösségekhez kötődik (pl. szövetkezetekhez Dániában), ami a piaci árakat mérsékelheti a belső allokáció miatt (Lundhede et al., 2015). Ezzel szemben az USA számos vidékén a kereslet erőteljesen növekedett (pl. az 1990-es évekre 30 milliónál is több amerikai vadászott évente), miközben az állami területek korlátozottak, így a magánföldek bérlése iránti kereslet felhajtotta az árakat (Baen, 1997; Cordell et al., 1999). Ezt tükrözi a vadászok számára a magánterületi hozzáférés jóval nagyobb haszna: egy georgiai felmérés szerint a bérelt vagy saját földön történő vadászat alkalmanként több mint kétszeres nettó rekreációs értéket nyújtott a nyilvános vagy szabadon hozzáférhető földekhez képest (Mingie et al., 2019).

A keresleti oldali preferenciák közvetlen feltárására választási kísérletek is adhatnak fogódzót a hedonikus bizonyítékok mellé. Egy Mississippiben végzett kérdőíves felmérés választási kísérletének eredményei szerint több bérleti attribútum – így a vadfajok sokfélesége, a terület távolsága a vadász lakhelyétől, a bérlet mérete, időtartama és díja – szignifikánsan befolyásolja a vadászok fizetési hajlandóságát. Bizonyos jellemzők esetében az extra fizetési hajlandóság elérhette az 5,7 USD/ha nagyságrendet. A döntésekben a demográfiai tényezők is számítottak: az idősebb és magasabb jövedelmű vadászok nagyobb valószínűséggel kötöttek bérleti szerződést (Hussain et al., 2010).

Egy másik délkeleti államban végzett vizsgálat (Mingie, 2015) hasonló módszerekkel elemezte a nagyvad-bérletek iránti keresletet és a vadászok preferenciáit. A kutatás kérdőíves felmérésre épült,



amelyet 3000 vadász körében végeztek Georgiában. A travel cost módszerrel becsült keresleti modellek alapján a fizetési hajlandóság legmagasabb a magánbérletek, legalacsonyabb pedig a nyilvános területek esetében volt. A választási kísérlet eredményei szerint a vadászok előnyben részesítették a nagyobb kiterjedésű, kevesebb taggal működő bérleteket, valamint a szarvasbikák elejtésére vonatkozó szigorúbb szabályokat és a frissen tarvágott erdőktől mentes területeket. A hedonikus elemzés a vadászklubok önbevallott tagdíjai alapján azt mutatta, hogy a bérleti díjat növelte a nagyobb terület, a vadföldek jelenléte és a vadállomány minősége, míg a tagok számának növekedése negatívan hatott. Az eredmények összességében azt jelzik, hogy a földtulajdonosok a megfelelő attribútumok kialakításával (pl. élőhelyfejlesztés, tagsági struktúra szabályozása) növelhetik a bérleti díjbevételt.

Az amerikai preferenciavizsgálatok mellett európai adatok is elérhetők: Soliño és munkatársai (2017) Andalúziában gyűjtöttek adatokat diszkrét választás kísérlet (DCE) keretében a hajtóvadászat iránti preferenciák és fizetési hajlandóság feltárására. A mintában 557 vadász szerepelt, akiknek hajtóvadászati csomagjait több jellemző mentén variálták (elejthető szarvasok száma, vadon élő vaddisznó vadászatának lehetősége, trófeás egyed jelenléte, résztvevők száma, utazási idő). Az eredmények szerint a nagyvadra specializálódott vadászok számára a trófeás példány jelenléte, az apróvad vadászoknál pedig a vaddisznó elejtésének lehetősége jelentette a legnagyobb többletértéket. A becsült marginális fizetési hajlandóság alapján egy tipikus „minőségi” hajtóvadászat ára (1 szarvas kvóta, trófea, vaddisznó, közeli helyszín, kevés résztvevő) kb. 341 euró volt, ami összhangban állt a piaci árakkal. Ugyanakkor a kizárólag apróvad vadászok többsége (65%) egyáltalán nem választott hajtóvadászatot, amit főként kulturális okokkal indokoltak, nem anyagi megfontolásokkal. Ez arra utal, hogy a hajtóvadászati piac bővülését a preferenciák határozzák meg, nem a költségvetési korlátok. A szerzők kiemelik, hogy az ilyen preferenciák objektív számbavétele hozzájárulhat egy átláthatóbb árképzéshez.

Az andalúziai piacról piaci adatokon alapuló elemzés is készült: Martínez-Jauregui és munkatársai (2015) 740 vadászterület több mint 13 ezer vadászati eseményének adatait vizsgálták hedonikus modellel. Eredményeik szerint a nagyvad-piacon a kilőtt egyedek mennyisége, trófeaminősége, valamint a szervezési és táji tényezők határozzák meg leginkább az árakat, míg az apróvadnál főként a fajösszetétel és a táji adottságok számítanak. A szerzők hangsúlyozzák, hogy a vadászati árakba nemcsak a hús vagy trófea értéke, hanem szélesebb ökológiai és társadalmi szempontok is beépülnek. Ez indokolja a transzparens, a fogyasztói preferenciákat is tükröző díjképzés szükségességét.

Az intézményi környezet szintén fontos szerepet játszhat. Jó példa erre Utah állam Cooperative Wildlife Management Units (CWMU) programja, ahol a földtulajdonosok, a vadászok és a vadgazdálkodási hatóságok együttműködése révén biztosítanak hozzáférést a magánterületekhez. A program keretében a földtulajdonosok a vadászati engedélyek egy részét közvetlenül értékesíthetik, míg másik részét állami sorsolás útján osztják ki. Ez a konstrukció egyszerre bővíti a vadászati lehetőségeket, bevételt teremt a tulajdonosoknak, és forrást biztosít élőhelyfejlesztésre, miközben erősíti az érintettek érdekelttségét a fenntartható gazdálkodásban (Messmer et al., 1998). Összességében a szerződéses és piaci tényezők úgy hatnak a vadászati haszonbérleti díjra, hogy ha minél nagyobb a versenyszellem és minél rugalmasabb a piac, a bérbeadók annál inkább realizálhatják a terület adottságaiból fakadó értéket, míg a kötöttebb, kevésbé átlátható piacon (pl. zárt közösségi vadászatok) a díjak alacsonyabbak maradhatnak a potenciálisnál.



3.2 Modellalkotási különbségek és módszertani eltérések

A hedonikus ármodellek elméleti kiindulópontját Lancaster (1966) fogyasztói elmélete és Rosen (1974) piactani elemzése képezi. Lancaster szerint minden árucikk „összetett jószág”, amely tulajdonságok halmazából épül fel, és a fogyasztók nem magukért a termékekért, hanem azok jellemzőiért fizetnek. Rosen modellje kiterjeszti ezt a megközelítést egy versenypiaci egyensúlyi keretre. Mindezek eredményeként a termék ára egy úgynevezett hedonikus árfunkcióval írható le, amely a termék tulajdonságainak vektorától függ (Chin és Chau, 2003; Nesheim, 2006; Gilbert, 2013; Lundhede et al., 2015).

Empirikus becsléskor a hedonikus árfüggvényt gyakran egyszerű lineáris regressziós formában írják fel. Az alábbi képlet (1. képlet) ezt szemlélteti:

$$P_i = \alpha + \sum_{j=1}^k \beta_j Z_{ji} + \varepsilon_i, \quad (1)$$

Ahol P_i az i -edik termék ára (pl. hektáronkénti bérleti díj), Z_{ji} a termék jellemzői (pl. területnagyság stb.), β_j a regressziós együtthatók, amelyek a tulajdonságok implicit marginális árát reprezentálják, α a konstans tag, ε_i a hibatag, k pedig a figyelembe vett jellemzők száma. A modell ezáltal a szolgáltatás vagy a jószág árát implicit értékösszetevőkre bontja (Rosen, 1974; Lundhede et al., 2015 alapján).

A vadászati haszonbérleti díjak esetében a hedonikus megközelítés különösen indokolt, mivel a bérletek jellemzői jelentős mértékben eltérnek egymástól (például: területméret, földrajzi elhelyezkedés, élőhely-szerkezet, vadállomány típusa, szerződéses feltételek stb.).

A nemzetközi szakirodalomban számos módszertani megközelítés található a vadászati haszonbérleti díjak hedonikus vizsgálatára. A 2. táblázat összefoglalja azon nemzetközi példákat, amelyek jól szemléltetik, hogy az adott régióban milyen típusú adatok, változók és ökonometriai modellek jellemzőek a vadászati haszonbérleti díjak hedonikus vizsgálatában.



2. táblázat: A vadászati haszonbérleti díjak hedonikus modelljeinek nemzetközi összehasonlítása

Ország / Régió	Adatgyűjtés, jellemző változók	Alkalmazott modellek
Észak-Amerika (USA)	Magánerdő-tulajdonosok körében végzett felmérések; species dummy-változók; különleges esetek: Mississippi állam aukciós bérletei	OLS regresszió; szelekciós modellek; kétlépcsős modellek
Észak-Európa (Svédország, Dánia)	Decentralizált források: felmérések, vadászegyesületi és erdőgazdálkodási nyilvántartások; Dániában részletes erdészeti könyvelés, erdőborítás százaléka	Többségében OLS regresszió (log-formában); több faj esetén numerikus állománysűrűség-változók; Dániában arányadatok
Közép-Európa (Magyarország)	Társulati formában bérbeadás (egy terület éves díja); aggregált adatok, kevés részlet a vadászlétszámról	OLS regresszió, terület-specifikus változók (pl. vadászterület nagysága, élőhely arányai)
Dél-Európa (Spanyolország)	Erdőgazdálkodói felmérés; a tulajdonosok saját célú vadászata (önfogyasztás)	Enlightenment megközelítés

Forrás: Angulo et al. (2000); Gren és Kerr (2022); Hussain et al. (2004, 2007); Little és Berrens (2008); Loomis és Fitzhugh (1989); Lozano et al. (2021); Martínez-Jauregui et al. (2016); Meilby et al. (2006); Munn és Hussain (2010); Zhang et al. (2006).

A példák jól szemléltetik, hogy a modellezés sokféle adatforrást és módszertani megoldást ötvözhet, ezek kiválasztását azonban többnyire az adott ország ökológiai adottságai, tulajdonosi viszonyai és intézményi keretei határozzák meg. Míg például az Egyesült Államokban a magántulajdonon alapuló kérdőíves adatfelvétel és szelekciós modellek elterjedtek, addig Észak-Európában jellemzően hivatalos nyilvántartásokon alapuló log-lineáris OLS regressziókat alkalmaznak. A módszertanok rugalmas kombinálása lehetőséget ad arra, hogy az egyes régiók sajátosságaihoz igazodó értékelési rendszerek alakuljanak ki.

Összességében elmondható, hogy a módszertani eltérések nem egymásnak ellentmondó megközelítések, hanem kiegészítő perspektívák, amelyek révén a hedonikus modell hatékonyan alkalmazható a lokális kontextusokhoz igazítva.

E tapasztalatok tükrében érdemes áttekinteni a hazai helyzetet is. A magyar szakirodalomból Battay Márton (2020) doktori értekezése emelhető ki, amelyben többváltozós regressziós elemzéssel vizsgálta a bérleti díjak alakulását befolyásoló tényezőket Bács-Kiskun és Nógrád megyében. Bár kutatása fontos lépést jelentett a tématerület hazai feltárásában, a korlátozott földrajzi lefedettség és a szűk indikátorkészlet következtében eredményei csak részleges képet nyújtanak. Noha a nemzetközi tapasztalatok hasznos kiindulópontot kínálnak, a magyarországi intézményi és piaci sajátosságok önálló megközelítést tesznek szükségessé.

A hazai gyakorlatból továbbra is hiányzik egy olyan országos lefedettségű, kvantitatív vizsgálat, amely a hedonikus ármodellezés módszertanát alkalmazva nyújtana átfogó képet.



4. ÖSSZEFOGLALÁS ÉS KÖVETKEZTETÉSEK

A vizsgált nemzetközi szakirodalmi példák világosan igazolják, hogy a hedonikus ármodellek változatos földrajzi és intézményi környezetben is sikerrel alkalmazhatók a vadászati haszonbérleti díjak elemzésére. Gyakorlati alkalmazásuk országonként eltér, ám minden esetben a helyi ökológiai, jogi és piaci viszonyokhoz igazodó módszertani megoldások érvényesülnek. Észak-Amerikában főként keresletorientált kérdőíves felmérésekre és szelekciós modellekre épülnek, míg Észak- és Közép-Európában inkább hivatalos nyilvántartási adatokra alapozott log-lineáris regressziós elemzések jellemzőek. Ezek a megközelítések nem versengenek egymással, hanem egymást kiegészítve tesznek lehetővé pontosabb díjértékelést – alkalmazkodva az adott ország adottságaihoz.

A nemzetközi tapasztalatok megerősítik, hogy a hedonikus modellek képesek számszerűsíteni olyan komplex tényezők hatását is, mint a terület fizikai adottságai, a vadállomány összetétele, a vadászati lehetőségek vagy a szerződéses feltételek. A díjak ezek kombinációja mentén alakulnak ki, így a modell fontos eszköze a piaci érték feltárásának. Mindezek alapján a hedonikus ármodellezés nemcsak kutatási célra, hanem döntéstámogatásra is alkalmazható, különösen olyan térségekben, ahol a bérleti díjak értékelése körül vita vagy bizonytalanság tapasztalható.

A nemzetközi eredmények tehát hasznos iránytűként szolgálhatnak a magyarországi gyakorlat továbbfejlesztéséhez is, különösen egy olyan szabályozási környezetben, ahol jelenleg hiányoznak az egységes, adatalapú díjképzési mechanizmusok. Egy országos adatgyűjtésre és elemzésre épülő, tudományosan megalapozott díjkalkulációs rendszer egyrészt erősítené a tulajdonosi jogok védelmét (a földtulajdonosok méltányos bevételhez jutnak és kiszámítható keretek között gyakorolhatják vadászati jogait), másrészt gazdasági racionalizálást hozna a díjképzésbe (a bérleti díjak objektív, piaci értéken alapuló megállapítását biztosítva).

Harmadrészt egy ilyen rendszer hozzájárulna a természeti erőforrások hosszú távú megőrzéséhez, mivel a díjak kialakítása során olyan ösztönzők építhetők be, amelyek jutalmazzák a fenntartható vadgazdálkodást és élőhelymegőrzést. Fontos ugyanakkor hangsúlyozni, hogy a hedonikus modell nem helyettesíti a tárgyalásokat és az egyedi körülmények mérlegelését, hanem szilárd alapot teremt azokhoz.

A jövőbeli kutatásokban indokolt kiterjeszteni a vizsgálatokat például a vadkár és a bérleti díj kapcsolatára (milyen mértékben kompenzálja a díj a vadkárokat), a turisztikai és rekreációs hasznosítás integrálására (fotósafari, horgászat), illetve a vadgazdálkodási beavatkozások megtérülésére (pl. intenzív takarmányozás, ragadozógyérítés). Mindezek tovább finomíthatják a díjképzési modellt és hozzájárulhatnak a fenntarthatóbb, igazságosabb vadgazdálkodási gyakorlat kialakításához.



The Role of Hedonic Pricing in the Analysis of Hunting Lease Fees in International and Domestic Contexts

NORBERT ABAUJI^{1*}, SZABOLCS TROJÁN², MIKLÓS MAROSÁN³

¹Széchenyi István University, Wittman Antal Plant-, Animal- and Food Sciences

Multidisciplinary Doctoral School, Mosonmagyaróvár, Hungary

ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0008-6327-0899>

Email: abauji.norbert@univet.hu

²Albert Kázmér Faculty of Agricultural and Food Sciences of Széchenyi István University

Department of Agricultural Economics, Mosonmagyaróvár, Hungary

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-0186-5949>

³Albert Kázmér Faculty of Agricultural and Food Sciences of Széchenyi István University

Department of Water Management and Natural Ecosystems, Mosonmagyaróvár, Hungary

ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0004-5904-8313>

*Corresponding author/Levelező szerző

ABSTRACT

Landowners, hunting organizations and policymakers have shown growing interest in how hunting lease fees are determined. International research indicates that the hedonic pricing model provides an efficient approach for analysing the determinants of lease fees. This study reviews the theoretical foundations of this model as well as the related methodological considerations, with particular emphasis on its applications in the hunting sector. Available data suggests that lease fees are primarily influenced by the natural characteristics of the area, the size and composition of game populations, contractual conditions, and the market environment. Although findings vary across countries and regions, the main correlations appear to be consistent: the presence of large game species, habitat diversity, and better accessibility are generally associated with higher rental fees. In Hungary, the regulatory environment does not provide standardised guidelines for setting hunting lease fees which frequently results in disputes between the contracting parties. The hedonic pricing approach may therefore offer a scientifically grounded tool for developing a transparent and sustainable pricing system. This study also highlights the need for comprehensive datasets and a unified methodological framework, both of which are essential for reliable domestic studies research. Finally, it outlines directions for further research, including a more detailed examination of the role of game damage, recreational use and market mechanisms in pricing.

Keywords: hunting lease fee, hedonic pricing, game management



IRODALOM

- Abauji, N., Troján, Sz., Vadváriné Gál, É., & Marosán, M. (2024). Factors influencing the leasing fees of hunting grounds in Hungary. *BIO Web of Conferences*, 125, 01013. <https://doi.org/10.1051/bioconf/202412501013>
- Adhikari, R. K., Poudyal, N. C., Muller, L. I., & Yoest, C. (2022). Hunters' Willingness to Pay to Avoid Processing Costs Associated with Harvesting Infected Game. *Journal of Agricultural and Applied Economics*, 54(1), 93-113. <https://doi.org/10.1017/aae.2021.26>
- Angulo, A. M., María Gil, J., Gracia, A., & Sánchez, M. (2000). Hedonic prices for Spanish red quality wine. *British Food Journal*, 102(7), 481-493. <https://doi.org/10.1108/00070700010336445>
- Baen, J. (1997). The Growing Importance and Value Implications of Recreational Hunting Leases to Agricultural Land Investors. *Journal of Real Estate Research*, 14(3), 399-414. <https://doi.org/10.1080/10835547.1997.12090909>
- Battay, M. B. (2020). *Economic valuation of certain property rights related to agricultural land: Identification of the determinants of hunting leases* [Doctoral dissertation, Szent István Egyetem].
- Benson, D. E. (2001). Wildlife and recreation management on private lands in the United States. *Wildlife Society Bulletin*, 29(1), 359-371. <http://www.jstor.org/stable/3784021>
- Buller, V. M., Hudson, D., Parkhurst, G., & Whittington, A. (2006). *The impact of hunting package attributes on hunting package prices in Mississippi* (Research Report No. 2006-01). Mississippi State University, Department of Agricultural Economics.
- Casola, W. R., Peterson, M. N., Wu, Y., Sills, E. O., Pease, B. S., & Pacifici, K. (2022). Measuring the value of public hunting land using a hedonic approach. *Human Dimensions of Wildlife*, 27(4), 343-359. <https://doi.org/10.1080/10871209.2021.1953196>
- Chin, T. L., & Chau, K. W. (2003). A critical review of literature on the hedonic price model. *International Journal for Housing Science and Its Applications*, 27(2), 145-165.
- Cordell, H. K., Betz, C. J., Bowker, J. M., English, D. B., Mou, S. H., Bergstrom, J. C., & Loomis, J. B. (1999). *Outdoor recreation in American life: A national assessment of demand and supply trends*. Sagamore Publishing.
- Cropper, M. L., & Oates, W. E. (1992). Environmental economics: A survey. *Journal of Economic Literature*, 30(2), 675-740. <http://www.jstor.org/stable/2727701>
- Dickson, J. G. (2004). Wildlife and upland oak forests (Gen. Tech. Rep. SRS-73, pp. 106-115). U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station.
- Ekeland, I., Heckman, J. J., & Nesheim, L. (2004). Identification and Estimation of Hedonic Models. *Journal of Political Economy*, 112(S1), S60-S109. <https://doi.org/10.1086/379947>
- Freeman, A. M. III. (1993). The measurement of environmental and resource values: Theory and methods. Resources for the Future.
- Garrod, G., & Willis, K. G. (1999). *Economic valuation of the environment: Methods and case studies*. Edward Elgar.
- Gigliotti, L. M. (2000). A classification scheme to better understand satisfaction of Black Hills deer hunters: The role of harvest success. *Human Dimensions of Wildlife*, 5(1), 32-51. <https://doi.org/10.1080/10871200009359171>
- Gilbert, S. W. (2013). *Applying the hedonic method* (NIST Technical Note 1811). National Institute of Standards and Technology. <https://doi.org/10.6028/NIST.TN.1811>



- Gren, I.-M., & Kerr, G. (2022). A Meta-Regression Analysis of Hunters' Valuations of Recreational Hunting. *Sustainability*, 15(1), 27. <https://doi.org/10.3390/su15010027>
- Goodwin, B. K., Offenbach, L. A., Cable, T. T., & Cook, P. S. (1993). Discrete/continuous contingent valuation of private hunting access in Kansas. *Journal of Environmental Management*, 39(1), 1–12. <https://doi.org/10.1006/jema.1993.1049>
- Guynn, D. E., Jr., & Busch, F. A. (1988). Forest industry hunt-lease programs in the southern United States. In *Proceedings of the Annual Conference of the Southeastern Association of Fish and Wildlife Agencies* (Vol. 42, pp. 404-410).
- Halvorsen, R., & Palmquist, R. (1980). The interpretation of dummy variables in semi-logarithmic equations. *American Economic Review*, 70(3), 474-475.
- Harris, L. D., Sullivan, R., & Badger, L. (1984). *Bottomland hardwoods: Valuable, vanishing, vulnerable*. U.S. Department of the Interior, Fish and Wildlife Service. Florida Cooperative Fish and Wildlife Research Unit.
- Hussain, A., Munn, I. A., Brashier, J., Jones, W. D., & Henderson, J. E. (2013). Capitalization of Hunting Lease Income into Northern Mississippi Forestland Values. *Land Economics*, 89(1), 137-153. <https://doi.org/10.3368/le.89.1.137>
- Hussain, A., Munn, I. A., Grado, S. C., West, B. C., Daryl Jones, W., & Jones, J. (2007). Hedonic Analysis of Hunting Lease Revenue and Landowner Willingness to Provide Fee-Access Hunting. *Forest Science*, 53(4), 493-506. <https://doi.org/10.1093/forestscience/53.4.493>
- Hussain, A., Munn, I. A., Hudson, D., & West, B. (2010). Attribute-based analysis of hunters' lease preferences. *Journal of Environmental Management*, 91(12), 2565-2571. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.07.004>
- Hussain, A., Zhang, D., & Armstrong, J. B. (2004). Willingness to pay for hunting leases in Alabama. *Southern Journal of Applied Forestry*, 28(1), 21-27. <https://doi.org/10.1093/sjaf/28.1.21>
- Király, I., Marosán, M., & Gál, J. (2003). A vadászterületek haszonbérlete. *Növényvédelmi tanácsok*, 12(5), 33-34.
- Kőhalmy, T., & Márkus, L. (1996). *Vadászati ökonómia*. Soproni Egyetem Kiadvány.
- Lancaster, K. J. (1966). A new approach to consumer theory. *Journal of Political Economy*, 74(2), 132-157. <https://doi.org/10.1086/259131>
- Legarth, J. V., Thorsen, B. J., & Lundhede, T. (2023). *Værdisætning af det danske jagtlejemarked*. Institut for Fødevarer- og Ressourceøkonomi, Københavns Universitet. IFRO Udredning Nr. 2023/28
- Legarth, J. V., Thorsen, B. J., & Lundhede, T. H. (2025). Investigating the alignment between stated motivations and revealed preferences for recreational hunting through a hedonic analysis of hunting leases. *Human Dimensions of Wildlife*, 1-17. <https://doi.org/10.1080/10871209.2025.2472683>
- Lerose, C. S., Peterson, M. N., Larson, L. R., Levine, J. F., Casola, W., Boggess, M., Watkins, C., & Fuller, J. (2024). What are hunters willing to pay for chronic wasting disease (CWD) management? A comparison of different contingent valuation approaches. *Journal of the Southeastern Association of Fish and Wildlife Agencies*, 11, 67-75.
- Little, J. M., & Berrens, R. P. (2008). The Southwestern Market for Big-Game Hunting Permits and Services: A Hedonic Pricing Analysis. *Human Dimensions of Wildlife*, 13(3), 143-157. <https://doi.org/10.1080/10871200701883580>
- Livengood, K. R. (1983). Value of Big Game from Markets for Hunting Leases: The Hedonic Approach. *Land Economics*, 59(3), 287. <https://doi.org/10.2307/3145730>



- Loomis, J. B., & Fitzhugh, E. L. (1989). Financial returns to California landowners for providing hunting access: Analysis and determinants of returns and implications to wildlife management. In *Transactions of the 54th North American Wildlife and Natural Resources Conference* (pp. 196-201).
- Lozano, J. E., Elofsson, K., Persson, J., & Kjellander, P. (2020). Valuation of Large Carnivores and Regulated Carnivore Hunting. *Journal of Forest Economics*, 35(4), 337-373. <https://doi.org/10.1561/112.00000518>
- Lozano, J. E., Elofsson, K., & Surry, Y. (2021). Heterogeneous impacts of large carnivores on hunting lease prices. *Land Use Policy*, 101, 105215. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.105215>
- Lozano, J. E., Elofsson, K., Surry, Y., & Marbuah, G. (2023). Spatio-Temporal Analysis of Game Harvests in Sweden. *Environmental and Resource Economics*, 85(2), 385-408. <https://doi.org/10.1007/s10640-023-00770-w>
- Lundhede, T. H., Jacobsen, J. B., & Jellesmark, B. (2008). *A Hedonic Pricing Model for Hunting in Denmark*. <https://doi.org/10.22004/AG.ECON.198783>
- Lundhede, T. H., Jacobsen, J. B., & Thorsen, B. J. (2015). A hedonic analysis of the complex hunting experience. *Journal of Forest Economics*, 21(2), 51-66. <https://doi.org/10.1016/j.jfe.2015.01.001>
- Martínez-Jauregui, M., Herruzo, A. C., & Campos, P. (2015). What does hunting market price reflect? The role of species, landscape and management. *Wildlife Research*, 42(3), 280. <https://doi.org/10.1071/WR14206>
- Martínez-Jauregui, M., Herruzo, A. C., Campos, P., & Soliño, M. (2016). Shedding light on the self-consumption value of recreational hunting in European Mediterranean forests. *Forest Policy and Economics*, 69, 83-89. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2016.05.002>
- Meilby, H., Strange, N., Jellesmark Thorsen, B., & Helles, F. (2006). Determinants of hunting rental prices: A hedonic analysis. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 21(1), 63-72. <https://doi.org/10.1080/02827580500463813>
- Mensah, J. T., & Elofsson, K. (2015). *An empirical analysis of hunting lease pricing and value of game in Sweden* [Working paper]. Swedish University of Agricultural Sciences.
- Mensah, J. T., Persson, J., Kjellander, P., & Elofsson, K. (2019). Effects of carnivore presence on hunting lease pricing in South Sweden. *Forest Policy and Economics*, 106, 101942. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2019.05.028>
- Messmer, T. A. (1998). Cooperative wildlife management units: Achieving hunter, landowner, and wildlife management objectives. *Wildlife Society Bulletin*, 26(2), 325-332. <http://www.jstor.org/stable/3784058>
- Messonnier, M. L., & Luzar, E. J. (1990). A hedonic analysis of private hunting land attributes using an alternative functional form. *Journal of Agricultural and Applied Economics*, 22(2), 129-135. <https://doi.org/10.1017/S1074070800001887>
- Mikó, Z., Vajai, L., & Cs. Nagy, A. (1996). *A vad védelméről, a vadgazdálkodásról, valamint a vadászatról szóló törvény: Útmutató és kommentár a vadászati jog gyakorlásához, hasznosításához*. Agrocent Kiadó.
- Mingie, J. C. (2015). *Estimating the economic value of big game hunting in Georgia: A nonmarket approach* (Publication No. 18116) [Doctoral dissertation, University of Georgia]. UGA Open Scholar.



- Mingie, J. C., Poudyal, N. C., Bowker, J. M., Mengak, M. T., & Siry, J. P. (2017). A Hedonic Analysis of Big Game Hunting Club Dues in Georgia, USA. *Human Dimensions of Wildlife*, 22(2), 110-125. <https://doi.org/10.1080/10871209.2017.1263767>
- Mingie, J. C., Poudyal, N. C., Bowker, J. M., Mengak, M. T., & Siry, J. P. (2019). Comparing the Net Benefit of Forestland Access for Big-Game Hunting across Landownership Types in Georgia, USA. *Forest Science*, 65(2), 189-200. <https://doi.org/10.1093/forsci/fxy045>
- Mozumder, P., Meghan Starbuck, C., Berrens, R. P., & Alexander, S. (2007). Lease and Fee Hunting on Private Lands in the U.S.: A Review of the Economic and Legal Issues. *Human Dimensions of Wildlife*, 12(1), 1-14. <https://doi.org/10.1080/10871200601107817>
- Munn, I. A., Loden, E. K., Grado, S. C., Jones, J. C., & Jones, W. D. (2005). Comparing hunting lease prices: A price decomposition approach. In *Proceedings of the 2005 Southern Forest Economics Workers (SOFEW) Annual Meeting*.
- Munn, I. A., & Hussain, A. (2010). Factors Determining Differences in Local Hunting Lease Rates: Insights from Blinder-Oaxaca Decomposition. *Land Economics*, 86(1), 66-78. <https://doi.org/10.3368/le.86.1.66>
- Munn, I. A., & Hussain, A. (2014). Hunting leases: Markets and economic implications. In S. Kant & J. Alavalapati (Eds.), *Handbook of forest resource economics* (pp. 175-187). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203105290>
- Nesheim, L. (2006). *Hedonic price functions*. CeMMAP working papers CWP18/06, Centre for Microdata Methods and Practice, Institute for Fiscal Studies. University College London.
- Palmquist, R. B. (2005). Chapter 16 Property Value Models. In *Handbook of Environmental Economics* (Vol. 2, pp. 763-819). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S1574-0099\(05\)02016-4](https://doi.org/10.1016/S1574-0099(05)02016-4)
- Pierce, R. A., II, & Milhollin, R. (2024). *Landowners' guide to lease hunting in Missouri* (Revised ed.). University of Missouri Extension. <https://hdl.handle.net/10355/89342>
- Pitts, H. M., Thacher, J. A., Champ, P. A., & Berrens, R. P. (2012). A Hedonic Price Analysis of the Outfitter Market for Trout Fishing in the Rocky Mountain West. *Human Dimensions of Wildlife*, 17(6), 446-462. <https://doi.org/10.1080/10871209.2012.677939>
- Pope, C. A., & Stoll, J. R. (1985). The Market Value of Ingress Rights for White-Tailed Deer Hunting in Texas. <https://doi.org/10.1017/S0081305200017192>
- Poudyal, N. C., Adhikari, R. K., Henderson, J. E., Tanger, S. M., Grala, R. K., Muller, L. I., Hunt, K. M., & Bhattarai, S. (2025). A hedonic analysis of chronic wasting disease's effect on hunting lease prices. *Forest Policy and Economics*, 178, 103573. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2025.103573>
- Rhyne, J. D. (2007). *Factors determining per acre market value of hunting leases on Sixteenth Section Lands in Mississippi* [Master's thesis, Mississippi State University].
- Rhyne, J. D., Munn, I. A., & Hussain, A. (2009). Hedonic Analysis of Auctioned Hunting Leases: A Case Study of Mississippi Sixteenth Section Lands. *Human Dimensions of Wildlife*, 14(4), 227-239. <https://doi.org/10.1080/10871200902736678>
- Rosen, S. (1974). Hedonic Prices and Implicit Markets: Product Differentiation in Pure Competition. *Journal of Political Economy*, 82(1), 34-55. <https://doi.org/10.1086/260169>
- Rónai, F., & Samu, L. (2013). *Vadászati jog*. Nemzeti Agrárszaktanácsadási, Képzési és Vidékfejlesztési Intézet.
- Shrestha, R. K., & Alavalapati, J. R. R. (2004). Effect of Ranchland Attributes on Recreational Hunting in Florida: A Hedonic Price Analysis. *Journal of Agricultural and Applied Economics*, 36(3), 763-772. <https://doi.org/10.1017/S1074070800027000>



- Soliño, M., Farizo, B. A., & Campos, P. (2017). Hunters' preferences and willingness to pay for driven hunts in southern Europe. *Wildlife Research*, 43(8), 649. <https://doi.org/10.1071/WR16044>
- Standiford, R. B., & Howitt, R. E. (1993). Multiple Use Management of California's Hardwood Rangelands. *Journal of Range Management*, 46(2), 176. <https://doi.org/10.2307/4002277>
- Stribling, H. L., Caulfield, J. P., Lockaby, B. G., Thompson, D. P., Quicke, H. E., & Clonts, H. A. (1992). Factors Influencing Willingness to Pay for Deer Hunting in the Alabama Piedmont. *Southern Journal of Applied Forestry*, 16(3), 125-129. <https://doi.org/10.1093/sjaf/16.3.125>
- Szerényi, M. Zs. (2005). *A természetvédelemben alkalmazható közgazdasági értékelési módszerek*. Komáromi Nyomda és Kiadó.
- Taylor, L. O. (2003). The Hedonic Method. In P. A. Champ, K. J. Boyle, & T. C. Brown (Eds.), *A Primer on Nonmarket Valuation* (Vol. 3, pp. 331-393). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-007-0826-6_10
- Thill, R. E. (1990). Managing southern pine plantations for wildlife. In *Proceedings of the XIX World Congress of the International Union of Forestry Research Organizations* (pp. 58-68). Canadian IUFRO World Congress Organizing Committee.
- Viscusi, W. K. (1993). The value of risks to life and health. *Journal of Economic Literature*, 31(4), 1912-1946.
- Waugh, F. V. (1928). Quality Factors Influencing Vegetable Prices. *Journal of Farm Economics*, 10(2), 185. <https://doi.org/10.2307/1230278>
- Zhang, D., Hussain, A., & Armstrong, J. B. (2006). Supply of Hunting Leases from Non-Industrial Private Forest Lands in Alabama. *Human Dimensions of Wildlife*, 11(1), 1-14. <https://doi.org/10.1080/10871200500470910>

©Copyright 2025 by the Authors.

The journal is Open Access (Platinum). This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).





Precíziós sertéstartási technológiák szerepe a fenntartható és versenyképes állattenyésztésben (Irodalmi áttekintés)

EGRI EDIT¹, TÓTH TAMÁS^{2*}, SZILI VIKTOR³

¹Széchenyi István Egyetem, Wittmann Antal Növény-, Állat- és Élelmiszer- tudományi

Multidiszciplináris Doktori Iskola, Mosonmagyaróvár

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-1347-514X>

²Széchenyi István Egyetem, Agrár-és Élelmiszeripari Kutató Központ, Győr

ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0003-4457-1473>

Email: toth.tamas@sze.hu

³Agrárközgazdasági Intézet Nonprofit Kft., Agrárgazdasági Információs Rendszerek Osztály, Budapest

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-1614-2866>

*Corresponding author/Levelező szerző

Received/Érkezett: 2025.10.30.

Revised/Átdolgozva: 2025.11.30.

Accepted/Elfogadva: 2025.12.10.

Published/Megjelent: 2025.12.23.

ÖSSZEFOGLALÁS

A precíziós sertéstartási technológiák (Precision Livestock Farming, PLF) alkalmazása a hazai állattenyésztésben még korlátozott. A nemzetközi trendek ugyanakkor egyértelműen bizonyítják, hogy ezek a megoldások hozzájárulnak a fenntarthatóság, az állatjóllét és a termelés hatékonyságának javításához. Az áttekintés célja az volt, hogy szakirodalmi adatok alapján feltárja, hogy a precíziós technológiák miként járulnak hozzá a sertéstartás gazdasági és környezeti teljesítményének javításához, valamint mely tényezők befolyásolják a bevezetésük sikerét. A szakirodalmi források elemzése rámutatott, hogy a szenzoros adatgyűjtés, az automatizált takarmányozás és a viselkedésmonitorozás kulcsfontosságú szerepet játszik a termelés optimalizálásában és az állatjólléti szempontok erősítésében. Ugyanakkor a technológiák elterjedését akadályozzák a magas beruházási költségek, a gazdálkodók digitális kompetenciájának hiánya és az adatkezeléssel kapcsolatos bizonytalanságok. A kutatások egyértelműen alátámasztják, hogy a PLF sikeres alkalmazásához nem csupán technológiai fejlesztés, hanem szemléletváltás, célzott oktatás és tudásátadás is szükséges. A jövő kihívása az adatalapú döntéshozatal integrálása a napi gyakorlatba, ami hosszú távon versenyképesebb és környezetkímélőbb termelést eredményezhet Magyarországon is.

Kulcsszavak: precíziós állattartás (PLF), sertéstartás digitalizációja, állatjóllét és fenntarthatóság, IoT és szenzortechnológia, takarmányozás optimalizálás



1. BEVEZETÉS

A mezőgazdaság digitalizációja egyre nagyobb szerepet kap az állattartásban, különösen a nagyüzemi telepeken, ahol a technológiai fejlesztések új lehetőségeket kínálnak. A digitalizáció hatékonyabbá és fenntarthatóbbá teheti a termelés irányítását, ugyanakkor szemléletváltást is igényel: a döntéseknek egyre inkább valós idejű adatokra kell épülniük. Mindez új készségeket, adatelemzési ismereteket és technológiai jártasságot követel meg a termelőktől.

A modernizációval párhuzamosan egyre több szakirodalmi munka foglalkozik a Mezőgazdaság 4.0 és a precíziós állattartás (Precision Livestock Farming, PLF) koncepciójával. Ezek a munkák az adatgyűjtés és -feldolgozás módszereit, az infokommunikációs megoldásokat, a döntéstámogató rendszereket és a robotizáció lehetőségeit elemzik. Kiemelt szerepet kapnak a szenzorok, IoT-eszközök, mesterséges intelligencián alapuló modellek és gépi tanulási algoritmusok, amelyek a termelési folyamatok optimalizálását szolgálják.

A sertéstartásban az állatok viselkedésének, egészségi állapotának és termelési mutatóinak nyomon követésére ma már kifejezetten a sertéstartásban validált és bevált technikai megoldások állnak rendelkezésre. Ezek alkalmasak a takarmány- és vízfogyasztás monitorozására, testtömegváltozások követésére, a napi aktivitás és viselkedési mintázatok rögzítésére, hangalapú viselkedés- vagy egészségügyi eltérések detektálására, valamint testhőmérséklet-mérésre. A rendszerek nemcsak az állatok egyedi azonosítását, hanem azok pontos térbeli nyomon követését is lehetővé teszik. A technológiai eszközök skálája széles: a gyakorlatban alkalmazott megoldások közé tartoznak a rádiófrekvenciás azonosítók (RFID), a kétdimenziós és háromdimenziós kamerarendszerek, hőkamerák, gyorsulásmérők, mikrofonok, tömegmérő szenzorok, víz- és takarmányáramlás-mérők, valamint GPS-alapú helymeghatározó rendszerek. Ezen eszközök kombinált alkalmazásával a sertéstartók átfogó képet nyerhetnek az állomány állapotáról, lehetővé téve a gyors beavatkozást és a döntéshozatal hatékonyságának növelését (Gómez et al., 2021).

A PLF-technológiák hatékony működéséhez elengedhetetlen egy jól kiépített informatikai háttér, amely biztosítja az adatgyűjtés, -tárolás és -feldolgozás zavartalan működését. Az állomány folyamatos, 24 órás megfigyelése lehetőséget nyújt az állatokat érintő problémák korai felismerésére. Az érzékelőkkel és szenzorokkal gyűjtött adatok elemzése alapján a sertéstartók időben tudnak beavatkozni, ami elősegíti az állatjólléti szempontok érvényesülését, hozzájárul a sertések egészségének megőrzéséhez, a takarmányozás optimalizálásához, valamint a gazdasági veszteségek csökkentéséhez, legyenek azok közvetlen pénzügyi- vagy más típusú, nehezebben számszerűsíthető veszteségek (Wang et al., 2022; Tzanidakis et al., 2021).

A precíziós állattartási rendszerek négy fő, egymással szorosan összekapcsolódó technológiai egységből állnak. Az első egységet az IoT-komponens alkotja, amely magában foglalja az adatgyűjtésre szolgáló érzékelőket, a környezeti feltételeket monitorozó és irányító eszközöket, valamint a hálózati adatátviteli rendszereket. A második egység az adatkezelésé: ebbe tartozik az adatok begyűjtése, előfeldolgozása, tárolása, valamint a rendszerhibák automatikus észlelésére szolgáló funkciók. A harmadik – elemző és döntéstámogató – egység mesterséges intelligenciára épül, és olyan funkciókat lát el, mint az állategészségügyi és állatjólléti állapotértékelés, betegségfelismerés, környezetmenedzsment, takarmányozási és termelési folyamatok optimalizálása, valamint a menedzsmentdöntések támogatása. Végül a negyedik, vizualizációs egység felel az összegyűjtött és feldolgozott információk megjelenítéséért, a felhasználóbarát visszacsatolásért (Wang et al., 2022).



A precíziós állattartási rendszerek elsődleges célkitűzése, hogy lehetővé tegyék a gazdaságilag hatékony, ugyanakkor releváns és megbízható adatgyűjtést az állattartás szempontjából kulcsfontosságú paramétereiről, mint például a növekedés dinamikája, a takarmányhasznosítás hatékonysága, valamint az állattartó létesítmények mikroklimatikus viszonyai. Az így nyert adatok alapjául szolgálhatnak a termelési folyamatok optimalizált, valós idejű szabályozásának és irányításának. A PLF-technológiák olyan mérési és adatfeldolgozási megoldásokat integrálnak, amelyek képesek a rendszer szempontjából kritikus tényezők – például az erőforrás-felhasználás hatékonysága, az állatok teljesítménye – folyamatos monitorozására. E rendszerek nemcsak az érzékelők révén végzett adatgyűjtést teszik lehetővé, hanem fejlett szoftveres megoldásokat is alkalmaznak az adatok értelmezésére és kiértékelésére. A cél az erőforrásokkal való hatékony gazdálkodás és az állatok termelési potenciáljának maximális kihasználása, miközben a termelési folyamatok stabilitása és fenntarthatósága is biztosított (Banhazi és Black, 2009; Banhazi et al., 2012a; Banhazi et al., 2012b).

2. AZ EGYEDI AZONOSÍTÁS ÉS TAKARMÁNYOZÁS JELENTŐSÉGE

A PLF-rendszerek alapvető pillérét képezi az egyedek azonosítását és nyomon követését lehetővé tevő elektronikus jelölés. Ez a technológia lehetővé teszi az állatok mozgásának és viselkedésének folyamatos, megbízható monitorozását különféle érzékelőkkel és leolvasóeszközökkel – például automata etetőknél vagy itatóknál –, így pontos adatok nyerhetők az állomány egyedeiről (Tóth és Halas, 2016).

Az egyedi elektronikus azonosítók – például a rádiófrekvenciás transzponderek – kulcsszerepet játszanak az adatalapú döntéshozatalban, hiszen lehetővé teszik az egyedszintű adatgyűjtést, ami a precíziós technológiák alkalmazásának alapfeltétele. Az RFID-jeladók pontosak, de a kis- és közepes méretű gazdaságok számára nem megfizethetők (Arulmozhi et al., 2021). A rádiófrekvenciás azonosítás hatékonyságát vizsgálta egy 2009-ben végzett kísérlet, amelyben választott malacok esetében tesztelték a passzív nagyfrekvenciás RFID-transzponderek működését (Reiners et al., 2009). A kutatás azt elemelte, hogy több transzponder egyidejű jeladása mellett mekkora az azonosítás pontossága. Az eredmények azt mutatták, hogy az eszközök magas, átlagosan 97,3%-os megbízhatósággal voltak képesek az egyedek azonosítására, ami alátámasztja az RFID-technológia gyakorlati alkalmazhatóságát a sertéstartásban is. Az ilyen típusú azonosítás nemcsak a termelés hatékonyságának növeléséhez járul hozzá, hanem az állatjóllét és a nyomonkövethetőség szempontjából is elengedhetetlen.

Az RFID-azonosítók nem csak zárt tartásban alkalmazhatók sikeresen az egyedek megfigyelésére, adatok gyűjtésére. Szabad tartású mangalica tenyészkocákkal végzett kísérlet alapján Alexy et al. (2024) megállapították, hogy az RFID-jeladóval ellátott állatoktól megbízhatóan lehet egyedi adatokat gyűjteni és azokat továbbítani egy adatfeldolgozást végző szerverre.

Az állattartás elválaszthatatlan része az állatok jóllétének és védelmének szabályozott biztosítása. Az állatvédelmi előírások értelmében a csoportosan tartott kocasüldők és kocák takarmányozásánál minden egyed számára biztosítani kell az elegendő takarmányhoz való hozzáférést, még kompetitív környezetben is (Nemzeti Jogszabálytár, 2023). Különösen a vemhes kocák csoportos tartása esetén előnyös az egyedi, elektronikus takarmányozási rendszerek alkalmazása, mivel ezek lehetővé teszik, hogy a táplálékanyag-ellátás az állatok genetikai háttere és vemhességi állapota alapján történjen. E technológiák hozzájárulnak a társas viselkedésből eredő stressz csökkentéséhez, mert biztosítják az akadálytalan hozzáférést a szükséges takarmányhoz a rangsor végén álló egyedeknek is (Halas,



2019). Az elektronikus egyedi etetőrendszerek több típusa ismert, amelyek alkalmazása számos előnyt kínál a modern állattartásban. Van olyan etetőkészülék, amelynél az állatok bejutása az etetőállásba csak akkor engedélyezett, ha az adott egyed számára jár a takarmányadag. A mozgásérzékelőkkel felszerelt rendszerek a bejáratú ajtók automatikus zárását is lehetővé teszik, megelőzve ezzel, hogy más állatok megzavarják a takarmányfelvételt. Egyes típusok vályú nélküli kivitelűek, amelyek megszüntetik a takarmány-maradékokból eredő pazarlást. A rendszerek kulcseleme az egyedi azonosítás, ami a belépési ponton, például az etetőállásnál vagy az ahhoz vezető folyosón működik, és lehetővé teszi az állatok pontos és megbízható azonosítását.

A takarmányozás precíz szabályozásához elengedhetetlenek azok a technológiai eszközök, amelyek lehetővé teszik az állatok egyedi szintű takarmányadagolását, a táplálékfelvételhez kapcsolódó viselkedés nyomon követését, valamint az etetés időtartamának mérését. Ezek az eszközök gyakran képesek a testtömeg-változások folyamatos követésére is, így az összegyűjtött paraméterek komplex elemzésével megbízható képet alkothatunk az állatok teljesítményéről. Jiao et al. (2016) hangsúlyozzák, hogy az egyedileg mért takarmányfelvétel pontos dokumentálása kulcsszerepet játszik a táplálóanyag-hasznosítás optimalizálásában, amely hosszú távon hozzájárul a sertéstartás hatékonyságának növeléséhez. A takarmányfogyasztási mintázatban bekövetkező eltérések nem csupán termelési mutatók változását jelzik, hanem potenciálisan állatjóléti vagy egészségügyi problémákra is utalhatnak. Az automatikus adatgyűjtés révén lehetővé válik a viselkedési anomáliák korai észlelése, ami segíti az időben történő beavatkozást. A precíziós állattenyésztési rendszerek kulcsfontosságú információkkal szolgálnak arról, hogy a sertések mennyi takarmányt fogyasztanak adagonként és naponta (Burns és Spajić, 2024). A szerzők javasolják az egyedi takarmányozást annak érdekében, hogy a termelés minden szakaszában a sertések optimális takarmányozása megvalósuljon. Maselyne et al. (2014; 2016) nagyfrekvenciás rádiófrekvenciás azonosításon (HF RFID) alapuló rendszert alkalmaztak a növendék sertések takarmányozási szokásainak vizsgálatára. Eredményeik alapján a technológia kiválóan alkalmas a takarmányfelvétel folyamatos és pontos rögzítésére, továbbá képes azonosítani az egyes egyedeknél jelentkező, viselkedéssel vagy egészségügyi változásokra utaló mintázatokat. A precíziós takarmányozási rendszerek így nemcsak a gazdasági hatékonyságot növelik, hanem közvetve az állatok jóllétéhez és egészségi állapotuk megőrzéséhez is hozzájárulnak.

A korszerű etetőberendezések lehetővé teszik többek között az egyedek etetési idejének mérését, az etetőlátogatások gyakoriságának nyomon követését, valamint a takarmányfelvételi szokások pontos feltérképezését. Egy különböző fajtájú hízósertéseken végzett vizsgálatban Fernández et al. (2011) megállapították, hogy az eltérő genotípusú állatok jelentősen különböznek takarmányfelvételi viselkedésükben: míg a landrace és nagy fehér fajták gyors takarmányfelvétellel jellemezhetők, addig a pietrain és duroc sertések lassabb ütemben fogyasztanak. Ezek a különbségek hatással vannak a termelési mutatókra is. Garrido-Izard et al. (2019) kutatásukban a sertések takarmányfelvételéhez kapcsolódó viselkedését az etetőállomások által gyűjtött adatok alapján értékelték, és szignifikáns összefüggést találtak az etető felkeresésének gyakorisága, az elfogyasztott takarmány mennyisége és az etetőnél töltött idő között. Ennek alapján a sertéseket lassan vagy gyorsan evő csoportokba sorolták.

Gaillard et al. (2020) kiemelik, hogy a táplálóanyagszükséglet időben változó, és az egyedek fejlődési stádiumától függ, ezért a hatékony takarmányhasznosításhoz a takarmányadagok napi, egyedre szabott igazítása szükséges. A precíziós takarmányozás célja olyan rugalmas, valós idejű rendszerek kialakítása, amelyek az aktuális szükségletekhez igazítják az ellátást, javítva a gazdasági eredményességet és a fenntartható erőforrás-gazdálkodást.



A gyakorlatban már léteznek olyan modellek, amelyek segítik a pontos táplálóanyag-igények előrejelzését. Ilyen például az InraPorc szoftver, amely fajta- és korcsoport-specifikusan becsüli meg a sertések táplálóanyag-szükségletét a hízalási időszak bármely pontján. E modellek révén a termelők optimalizálhatják a takarmányozási stratégiát. A növendék állatok esetében a nap folyamán eltérő időpontban végzett takarmányadagolás nemcsak a takarmányfelhasználás hatékonyságát növeli, hanem a versengés és stressz csökkenését is elősegítheti, ami hozzájárul az állatok jobb közérzetéhez és teljesítményéhez. Az elektronikus etetőállomások (Electronic Feeding Stations, EFS) célja az állatok takarmányozásával kapcsolatos adatok automatikus gyűjtése csoportos tartási rendszerekben. Faltys et al. (2014) hangsúlyozták, hogy a takarmányfelvétel mérésére szolgáló FIRE rendszer (Feed Intake Recording Equipment) által rögzített információk tudományos célokra is hasznosíthatók, amennyiben az adatgyűjtés pontosságát megfelelő kalibrálással és ellenőrzési protokollokkal biztosítják. Bruininx et al. (2003) vizsgálatukban választott malacokat vontak be az IVOG® rendszer validálására, amelyet a csoportosan elhelyezett növendék sertések egyedi takarmányfelvételének nyomon követésére fejlesztettek ki. Az IVOG® rendszer egyetlen száraz formájú takarmánykeveréket adagoló egységből áll, amely egy mérőcellára van telepítve, és elektronikus azonosító rendszerrel egészül ki. A szerzők eredményei szerint az IVOG® etetőállomás megbízhatóan alkalmazható a választott sertések egyedi takarmányfelvételének dokumentálására, monitorozására csoportos tartási körülmények között.

3. PRECÍZIÓS ESZKÖZÖK AZ ÁLLATJÓLÉT SZOLGÁLATÁBAN, BETEGSÉGEK KORAI FELISMERÉSE

Napjainkban jelentős figyelem irányul a gazdasági haszonállatok jóllétére, így ez a témakör több kutatás fókuszában áll. A modern intenzív sertéstartás egyik legnagyobb kihívása a sertések jóllétének megbízható értékelése. A vokalizáció, vagyis az állatok hangjának elemzése, nem invazív módszerként alkalmazható az állatjólléti állapot becslésére. Da Silva Cordeiro et al. (2013) kutatásukban a sertések különböző stresszhelyzeteinek azonosítását célozták meg akusztikus elemzés segítségével. A hangfelvételek alapján 81,12%-os pontossággal voltak képesek felismerni a fájdalom, az éhség vagy a hideg által kiváltott stresszre adott reakciókat.

Moi et al. (2014) a vizsgálataik során a sertéseket különféle stresszoroknak tették ki – többek között az etetés és itatás felfüggesztésének, valamint hőstressznek –, majd hangjaikat szoftveresen elemezték. Megállapították, hogy a hangok akusztikai paraméterei közül a hangintenzitás bizonyult a leginkább meghatározónak a különböző stresszhelyzetek megkülönböztetésében.

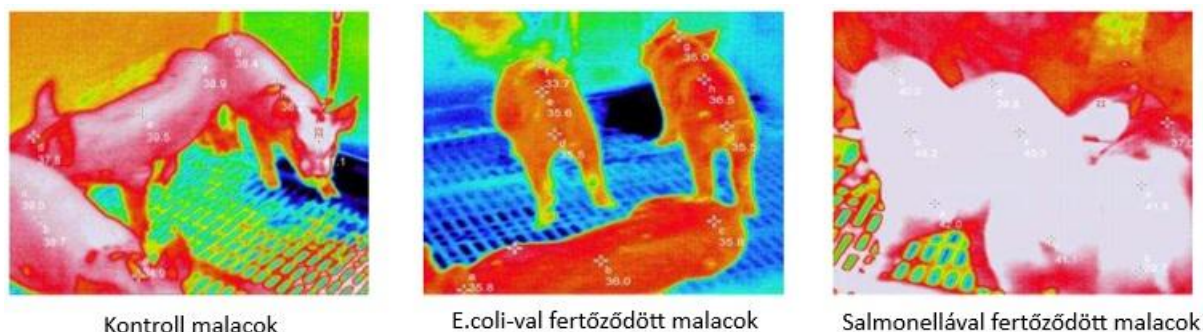
A sertések stresszállapotának értékelésére da Fonseca et al. (2020) infravörös hőkamerát alkalmaztak, amellyel a malacok bőrfelületének hőmérsékletét figyelték. A stressz azonosításához a legkisebb és legnagyobb mért infravörös hőmérsékleti értékeket, valamint a malac nemét használták független változóként. Eredményeik alapján az infravörös kamerás testhőmérséklet-mérés ígéretes eszköz lehet a stressz kimutatásában, ugyanakkor a modell megbízhatóságának növelése érdekében további prediktív változók bevonását is javasolták a gépi tanulási folyamatba.

A betegségek korai felismerésével csökkenthető a gazdasági veszteség, növelhető az állatok jólléte (Burns és Spajić, 2024). A sertések viselkedésének, egészségi állapotának monitorozására többféle eszköz közül választhatnak a sertéstartók: gyorsulásmérők, mérőcellák, kamerák, mikrofonok, fotoelektromos érzékelők, pirométerek és rádiófrekvenciás nyomkövetők.

Islam et al. (2015) a *Salmonella typhimurium*mal és *Escherichia colival* fertőződött sertéseket vizsgáltak a betegségek korai kimutatásának lehetőségére. A fertőzés előtti és utáni

testhőmérsékleti értékek között tapasztalt jelentős különbségek alapján sikeresen megkülönböztették a fertőzéseket (1. ábra).

1. ábra: Hőkamerás felvételek *Salmonella enterica* Typhimurium és *Escherichia coli* fertőzött malacokról

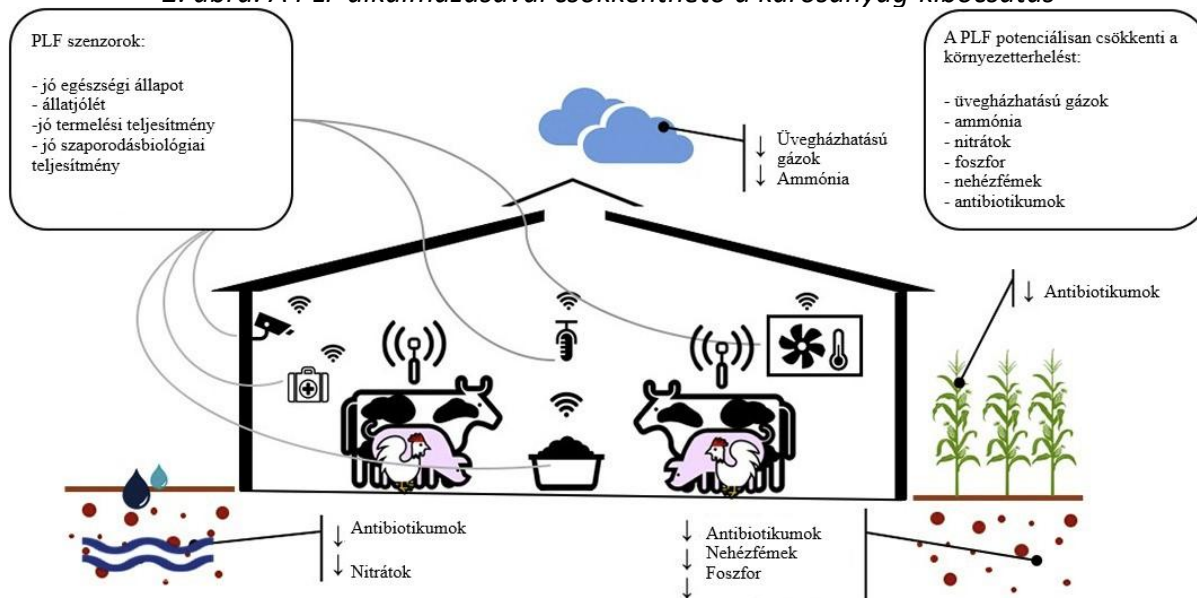


Forrás: Islam et al. (2015)

4. KÖRNYEZETTERHELÉS CSÖKKENTÉSÉNEK LEHETŐSÉGE

Az állatjóllét mellett a környezetterhelés csökkentésére is nagy figyelmet fordítanak a kutatók, mivel a precíziós állattartás érdemben hozzájárulhat a kibocsátások mérsékléséhez. Csökkentheti az üvegházhatású gázok (ÜHG) és az ammónia (NH_3) levegőbe jutását, valamint a víz- és talajszennyezést, különösen a nitrátok, antibiotikumok, foszforvegyületek és nehézfémek kibocsátásának visszaszorításával (2. ábra) (Tullo et al., 2019).

2. ábra: A PLF alkalmazásával csökkenthető a károsanyag-kibocsátás



Forrás: Tullo et al. (2019)

A Wageningeni Egyetem kutatói az Európai Unió Feed-a-Gene projektjének keretében egy olyan alternatív takarmányozási rendszert fejlesztettek ki, amelyben a sertések etetése az egyedi adottságaik – például születési súlyuk vagy hústermelő képességük – figyelembevételével történt. A vizsgálatok szerint az állatok valós táplálékanyagigényéhez igazított takarmányozás, valamint a



takarmányalapanyagok technológiai feldolgozásának javítása jelentős mértékben csökkentheti a káros anyagok környezetbe jutását. A kutatók megállapították, hogy a hatékonyabb táplálóanyaghasznosítás révén kevesebb nitrogén és egyéb ásványi anyag kerül a környezetbe, így az egyedi igényekre szabott, precíziós takarmányozási rendszerek alkalmazása nemcsak gazdasági, hanem ökológiai szempontból is előnyös megoldásnak tekinthető (Wageningen University & Research, 2023).

5. LEHETŐSÉGEK, KIHÍVÁSOK A PRECÍZIÓS TECHNOLÓGIÁBAN

A precíziós eszközök számos lehetőséget kínálnak, ugyanakkor alkalmazásuk során az állattartók jelentős kihívásokkal is szembesülnek. Wang et al. (2022) ehhez kapcsolódóan rámutatnak a jelenlegi megoldások főbb kihívásaira: az intelligens eszközök karbantartási igényeire, az adatgyűjtés és -tárolás technikai korlátaira. Továbbá arra, hogy szükség van olyan növekedési modellek fejlesztésére, amelyek képesek a sertések testtömegének alakulását figyelemmel kísérni, és az állatok táplálóanyag-igényéhez igazodva támogatni a precíziós takarmányozást. Mindez hozzájárulhat a költségek csökkentéséhez és a fenntarthatóbb gazdálkodási gyakorlatok kialakításához.

A kameraszenzorok olcsók, könnyen elérhetők és egyszerűen használhatók, ezért hatékony és megfizethető eszközt jelentenek a sertések pontos megfigyelésére. Ugyanakkor a kamerák sertéságazatban történő alkalmazásáról kevés információ áll rendelkezésre, ami hiányt jelent a termelők és kutatók számára is (Arulmozhi et al., 2021).

Balontong (2023) vizsgálatában képfeldolgozáson alapuló technikát alkalmazott a sertések élősúlyának becslésére, amelyhez kamera segítségével készített felvételeket. A módszer lehetőséget nyújt a növekedés nyomon követésére, és hozzájárulhat a sertésletelek teljesítményének pontosabb értékeléséhez. Az automatizált súlymonitorozás nemcsak csökkenti a gazdálkodók munkaterheit, hanem hozzáférést biztosít pontos és hasznos adatokhoz, amelyek támogatják a hatékonyabb menedzsmentdöntések meghozatalát.

Benjamin és Yik (2019) szerint a precíziós állattartási technológiák számos előnnyel járnak. Ilyenek például a munkaerőhatékonyság növelése, a nem invazív, automatizált rendszerek révén történő állatjóléti indikátorok nyomon követése, valamint a fogyasztók bizalmának erősítése az ágazat iránt. Megfelelő alkalmazás esetén a precíziós állattartás új lehetőségeket teremt a gazdálkodás hatékonyságának és fenntarthatóságának növelésére, az állatok egészségi állapotának és jóllétének javítására, valamint az élelmiszerlánc teljes hosszában a nyomon követhetőség erősítésére. Ez hozzájárul az élelmiszerbiztonság fokozásához (Berckmans, 2014). A PLF célja olyan automatizált, folyamatos adatgyűjtésen alapuló irányítási rendszerek kialakítása, amelyek valós idejű visszajelzést nyújtanak a gazdálkodóknak. Bár ezek a technológiák részben kiválthatják az emberi megfigyelést, a gazdálkodók tapasztalata és döntéshozatali képessége továbbra is kulcsfontosságú. A fejlesztések multidiszciplináris együttműködést igényelnek – többek között állatorvos-tudományi, mérnöki, fizikai és adatfeldolgozási szakterületekről.

A PLF-technológiák kutatása igen szerteágazó: kiterjed a mesterséges intelligencia, azon belül a gépi tanulás alkalmazására is. Ilyen módszerekkel előrejelezhető például a húsminőség (Ko et al., 2023), valamint kameraalapú megfigyeléssel vizsgálható az állatok testtartása és viselkedése, amely hozzájárulhat az egészségi állapot és a jóllét monitorozásához (Farahnakian et al., 2024). A PLF-rendszerek így jelentős hozzáadott értéket képviselnek a gazdálkodásban, mivel lehetővé



teszik az állatok jóllétének objektív, folyamatos, szakértői jelenlét nélküli értékelését (Vranken és Berckmans, 2017).

A PLF-eszközök használatának gyakorlati tapasztalatait Hartung et al. (2017) vizsgálták európai sertéstartók körében. A résztvevő termelők – akik nyitottak voltak az innovációra állományaik jellemzően az átlag felett teljesítettek – pozitív hozadékként az állatjóllét és a termelékenység javulását emelték ki, ugyanakkor problémaként nevezték meg a berendezések magas költségét, megbízhatósági problémáit és a komplex működésből adódó kihívásokat. Hasonló korlátokat említettek da Silveira et al. (2023) Brazíliában, illetve Tikász (2023) a LivestockSense projekt keretében, külön kiemelve az infrastruktúra és a szakképzettség hiányát, a digitális eszközök karbantartási igényét, valamint a megfelelő internetkapcsolat problémáit.

Az okosgazdálkodás (Smart Farming) forradalmi megközelítést képvisel az agrár-élelmiszeriparban, amely valós idejű adatgyűjtést tesz lehetővé érzékelők és IoT-alapú technológiák révén (Talero-Sarmiento et al., 2022). Ezek az integrált rendszerek támogatják a hatékonyabb döntéshozatalt, növelik a versenyképességet és a termelékenységet. Ugyanakkor kihívások mutatkoznak az interoperabilitás (együttműködőképesség), az adatbiztonság, a gazdálkodók eltérő felkészültsége és a technológia elterjedése terén. A fenntartható fejlődési célok elérése érdekében szemléletváltás szükséges, különösen a kisgazdaságok igényeire összpontosítva. Ehhez olyan módszerek alkalmazása javasolt, mint a közös és felhasználóközpontú tervezés, továbbá a társadalomtudományok bevonása a technológia gyakorlati elfogadtatásához. A szerzők az alábbi leküzdendő kihívásokat fogalmazták meg:

- A tapasztalt szakértők tudásának hasznosítása.
- A hozzáférhetőség javítása, a használhatóság fejlesztése.
- A döntéstámogató rendszerek gazdagítása.
- A technológiabeszerzés költségeinek csökkentése és az erőforrás-hatékonyság növelése.
- A kiberbiztonság garantálása.
- Az üzletmenet-folytonosság, a válságkezelés, a vezetés és az irányítás fejlesztése.

Papadopoulos et al. (2025) 52 nemzetközi kutatás alapján vizsgálták a digitális mezőgazdasági technológiák, köztük a precíziós állattartás gazdasági és környezeti hatásait. Eredményeik szerint a PLF-rendszerek javítják az állatok egészségi állapotát, csökkentik a betegségeket, optimalizálják a takarmányfelhasználást és növelik a termelékenységet. Bár az elektronikus etetőállomások és precíziós etetési stratégiák ígéretesek, a gazdaságok közötti különbségekhez való alkalmazkodás és a társadalmi-gazdasági akadályok – különösen a kistermelőknél – továbbra is kihívást jelentenek. A jövőben szükség van költséghatékony, könnyen adaptálható megoldások fejlesztésére. A tanulmány kiemeli, hogy a monitoring-technológiák egyre fontosabbak a jóllét és a hatékonyság javításában, és a kutatás-gyakorlat közötti szakadék áthidalása hozzájárul a fenntarthatósághoz és az erőforrás-hatékonysághoz.

Az adatvezérelt döntéshozatal lehetőségeit vizsgálták Van Klompenburg és Kassahun (2022) a sertéstartáshoz kapcsolódó irodalmi áttekintésük során. Eredményeik szerint a gépi tanulási algoritmusokat bemutató tanulmányok többsége csupán kis létszámú, kísérleti állatcsoportokra korlátozódik, és nem vonatkozik teljes állományokra vagy valódi termelési környezetekre. Kevés az olyan kutatás, amely valódi, üzemi körülmények között gyűjtött adatokra épül, és ezek is jellemzően egy-egy specifikus problémát vizsgálnak. A szerzők olyan kutatások szükségességére hívják fel a figyelmet, amelyek egész gazdaságokra terjednek ki, és eredményeik a gyakorlatban is alkalmazhatók.



Tuytens et al. (2022) szerint a precíziós állattenyésztés gyorsan fejlődik, ugyanakkor 12 olyan kockázatot azonosítottak, amelyek ronthatják az állatjóllétet. A közvetlen veszélyek közé sorolták a műszaki hibákat és a nem megfelelően validált rendszerek pontatlan riasztásait, míg a közvetett hatások a technológiába vetett túlzott bizalomból eredhetnek: kevesebb személyes állatmegfigyelés, a gondozói készségek romlása és a figyelmet igénylő egyedek felismerésének gyengülése.

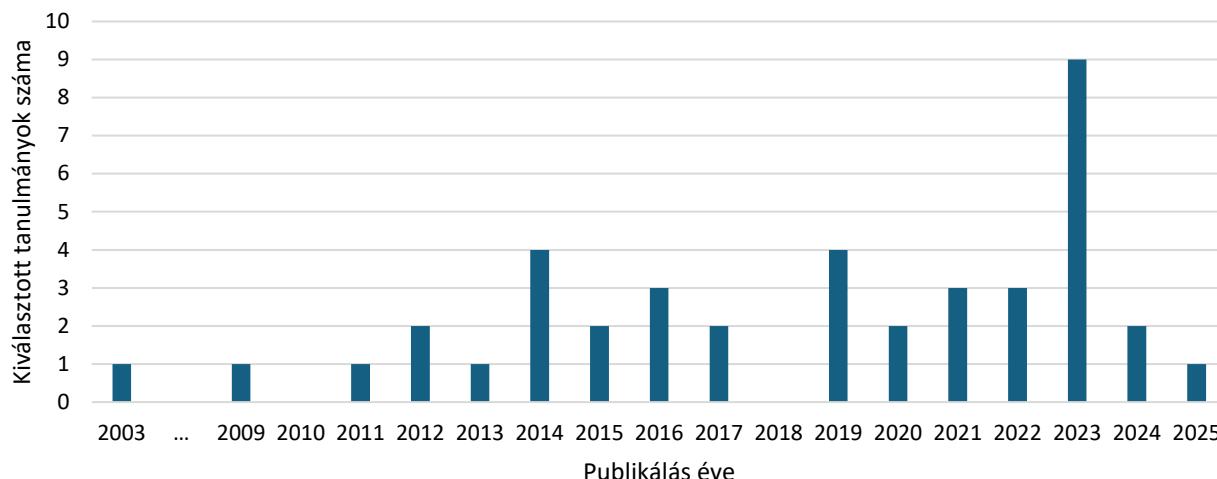
Amerikai sertéságazati szereplőkkel készített mélyinterjúk alapján Akinyemi et al. (2023) három attitűdcsoportot azonosítottak a PLF megítélésében. Az első csoport előnyösnek tartja a technológiát a gazdálkodás, az állatjóllét és a munkakörülmények javításában. A második szerint a PLF nem oldja meg az ágazati problémákat, és gyengítheti az állattartó–állat kapcsolatot. A harmadik csoport nem tartja szükségesnek a PLF-et; ők főként a gyenge internetkapcsolatot jelölték meg akadályként, amely sok gazdaságban korlátozza az adatátvitelt.

A digitális gazdaság hatását a nagyüzemi sertéstartásra Zhou et al. (2023) Kína 31 tartományában vizsgálták. Eredményeik szerint a digitális gazdaság a technológiai innováció, az értékesítés bővülése és a munkaerőköltségek csökkenése révén közvetlenül és közvetve is támogatja az ágazat fejlődését, amely jelentős tőkét, technológiát és stabil alapanyagforrást igényel. Ugyanakkor a magasabb digitalizáltságú régiók a szomszédos területekről tőkét és munkaerőt vonhatnak el, ami azok fejlődésére kedvezőtlen hatással lehet.

6. A FELDOLGOZOTT SZAKIRODALOM ÁTTEKINTÉSE

Az irodalmi áttekintéshez 41 cikket választottunk ki, amelyek 2003 és 2025 között jelentek meg. A hivatkozott tanulmányok közel egynegyede 2023-ban jelent meg (3. ábra).

3. ábra: A feldolgozott szakirodalom megoszlása a publikálás éve szerint



Forrás: Saját szerkesztés

A szakirodalmi áttekintés táblázata (1. táblázat) jól szemlélteti, hogy a precíziós állattartás kutatásai több, egymással összefüggő területet ölelnek fel. Az állatjóllét, a stressz és a viselkedésmonitorozás témaköre kiemelt figyelmet kap, ami jelzi a jóléti szempontok növekvő jelentőségét az intenzív sertéstartásban. A precíziós takarmányozás és az egyedi etetőrendszerek mellett az RFID-alapú azonosítás és a különféle monitoringeszközök – kamerák, mikrofonok, szenzorok – alkalmazása mutatja a digitalizáció és az automatizálás térnyerését. A gépi tanulás és az IoT-technológiák integrációja új lehetőségeket teremt az adatvezérelt döntéshozatalban, míg a fenntarthatóság és a



környezetterhelés csökkentése a globális trendekhez való alkalmazkodást tükrözi. Ugyanakkor a technológiai kihívások és az elfogadás kérdései rávilágítanak arra, hogy a PLF nem csupán műszaki, hanem gazdasági és társadalmi dimenziókkal is rendelkezik, amelyek jelentős mértékben meghatározzák a gyakorlati megvalósítás sikerét.

1. táblázat: A szakirodalmi áttekintés fő témakörei és hivatkozásai

Téma	Hivatkozások
Állatjólét, stressz, viselkedésmonitorozás	Da Silva Cordeiro et al., 2013; Moi et al., 2014; da Fonseca et al., 2020; Burns és Spajić, 2024; Vranken és Berckmans, 2017; Farahnakian et al., 2024; Tuytens et al., 2022
Precíziós takarmányozás és egyedi etetőrendszerek	Jiao et al., 2016; Burns és Spajić, 2024; Maselyne et al., 2014; 2016; Fernández et al., 2011; Garrido-Izard et al., 2019; Gaillard et al., 2020; Faltys et al., 2014; Bruininx et al., 2003; Wageningen University & Research, 2023
Egyedi azonosítás és RFID-technológia	Tóth és Halas, 2016; Arulmozhi et al., 2021; Reiners et al., 2009; Alexy et al., 2024
Monitoring eszközök (kamerák, mikrofonok, szenzorok) és gépi tanulás	Gómez et al., 2021; Wang et al., 2022; Islam et al., 2015; Arulmozhi et al., 2021; Balontong, 2023; Benjamin és Yik, 2019; Ko et al., 2023; Farahnakian et al., 2024
Környezeti terhelés csökkentése, fenntarthatóság	Tullo et al., 2019; Wageningen University & Research, 2023; Papadopoulos et al., 2025
PLF technológiai keretrendszer működés, előnyök	Banhazi és Black, 2009; Banhazi et al., 2012a; 2012b; Berckmans, 2014; Gómez et al., 2021; Benjamin és Yik, 2019
Technológiai kihívások és elfogadás	Wang et al., 2022; Hartung et al., 2017; da Silveira et al., 2023; Tikász, 2023; Talero-Sarmiento et al., 2022; Van Klompenburg és Kassahun, 2022; Akinyemi et al., 2023
Digitális gazdaság hatása	Zhou et al., 2023
Agrárdigitalizáció, PLF szerepe, elméleti háttér	Wang et al., 2022; Tzanidakis et al., 2021; Benjamin és Yik, 2019; Berckmans, 2014; Talero-Sarmiento et al., 2022

Forrás: Saját szerkesztés

7. KÖVETKEZTETÉSEK

A precíziós sertéstartás hozzájárul a fenntarthatóbb és versenyképesebb termeléshez. A PLF technológiák alkalmazása – például az RFID-alapú egyedi azonosítás, az automatizált takarmányozás, illetve az érzékelőkön alapuló viselkedés- és egészségmonitorozás – lehetővé teszi a valós idejű adatgyűjtést és döntéstámogatást. Ezek a rendszerek nemcsak a termelékenységet növelik, hanem az állatjóléti és környezetvédelmi szempontokat is erősítik. A kutatások szerint az automatizált rendszerek használatával csökken a pazarlás, javul a táplálóanyag-hasznosítás, és kevesebb káros anyag kerül a környezetbe, ezáltal a technológia közvetlenül is hozzájárul az üvegházhatású gázok és ammóniakibocsátás csökkentéséhez.



A digitalizáció terjedését jelenleg elsősorban a gazdaságméret, a rendelkezésre álló források és a szaktudás határozza meg. A nagyobb, tőkeerős gazdaságok már széles körben alkalmazzák a precíziós technológiákat, míg a kisebb telepeken ezek elterjedését anyagi korlátok, ismerethiány és a megtérülés bizonytalansága hátráltatja. A sikeres digitalizáció előfeltétele a tudásátadás és a gyakorlati képzések erősítése, valamint a technológiai fejlesztéseket támogató szakpolitikai és pályázati eszközök bővítése. Az egyszerű, alacsony költségű megoldások (például szenzoros szellőztetés, mobilalkalmazások) bevezetése segíthet a kisebb gazdaságok számára a digitális átmenet megkezdésében.

A jövő kihívása az adatalapú gazdálkodás gyakorlati integrálása és társadalmi elfogadása. Bár a PLF-rendszerek komoly potenciált jelentenek, a technológiai innovációk elfogadása és hatékony használata szemléletváltást igényel az állattartók részéről. Fontos a felhasználóbarát rendszerek fejlesztése, az adatbiztonság garantálása, valamint a gazdálkodók bevonása a fejlesztési folyamatokba. A kutatók szerint a digitális technológiák nem helyettesítik, hanem kiegészítik az emberi szakértelmet, az optimális eredmény eléréséhez a technológiai és az emberi tudás egyensúlya szükséges.



The role of precision pig farming technologies in sustainable and competitive animal husbandry (Review)

EDIT EGRI¹, TAMÁS TÓTH^{2*}, VIKTOR SZILI³

¹Széchenyi István University, Wittman Antal Plant-, Animal- and Food Sciences

Multidisciplinary Doctoral School, Mosonmagyaróvár, Hungary

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-1347-514X>

²Széchenyi István University, Agricultural and Food Research Centre, Győr, Hungary

ORCID iD: <http://orcid.org/0000-0003-4457-1473>

Email: toth.tamas@sze.hu

³Institute of Agricultural Economics, Department of Agricultural Economic Information Systems

Budapest, Hungary

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-1614-2866>

*Corresponding author/Levelező szerző

ABSTRACT

The application of Precision Livestock Farming (PLF) technologies in Hungarian livestock production remains limited, although international trends clearly indicate that these solutions contribute to improved sustainability, animal welfare, and production efficiency. The aim of this review was to examine, based on the literature, how precision technologies enhance the economic and environmental performance of pig farming, and which factors influence their successful implementation. Analysis of the literature reveals that sensor-based data collection, automated feeding, and behaviour monitoring play a crucial role in optimizing production and improving animal welfare standards. However, the widespread adoption of these technologies is hindered by high investment costs, farmers' limited digital skills, and uncertainties surrounding data management. Research clearly supports that the successful application of PLF requires not only technological development but also a paradigm shift, targeted training, and effective knowledge transfer. The future challenge lies in integrating data-driven decision-making into daily practice, which in the long term may lead to more competitive and environmentally sustainable production in Hungary as well. *Keywords: Precision Livestock Farming (PLF), Digitalization of Pig Production, Animal Welfare and Sustainability, IoT and Sensor Technology, Feed Optimization*



IRODALOMJEGYZÉK

- Akinyemi, B. E., Akaichi, F., Siegford, J. M., & Turner, S. P. (2023). US Swine Industry Stakeholder Perceptions of Precision Livestock Farming Technology: A Q-Methodology Study. *Animals*, 13(18), 2930. <https://doi.org/10.3390/ani13182930>
- Alexy, M., Pai, R. R., Ferenci, T., & Haidegger, T. (2024). The potential of RFID technology for tracking Mangalica pigs in the extensive farming system – a research from Hungary. *Pastoralism: Research, Policy and Practice*, 14, 12854. <https://doi.org/10.3389/past.2024.12854>
- Arulmozhi, E., Bhujel, A., Moon, B.-E., & Kim, H.-T. (2021). The Application of Cameras in Precision Pig Farming: An Overview for Swine-Keeping Professionals. *Animals*, 11(8), 2343. <https://doi.org/10.3390/ani11082343>
- Balontong, A. (2023, August 1-3). *TimBaboy: Swine Management System in PLF Integrating Image Processing for Weight Monitoring* [Conference session]. Pacuit 2023 International and National Conference, Bulacan State University, Malolos Bulacan.
- Banhazi, T., & Black, J. L. (2009). Precision Livestock Farming: A Suite of Electronic Systems to Ensure the Application of Best Practice Management on Livestock Farms. *Australian Journal of Multi-Disciplinary Engineering*, 7(1), 1-14. <https://doi.org/10.1080/14488388.2009.11464794>
- Banhazi, T. M., Lehr, H., Black, J. L., Crabtree, H., Schofield, P., Tschärke, M., & Berckmans, D. (2012a). Precision Livestock Farming: An international review of scientific and commercial aspects. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 5(3), 1-9. <https://doi.org/10.3965/j.ijabe.20120503.001>
- Banhazi, T. M., Babinszky, L., Halas, V., & Tschärke, M. (2012b). Precision Livestock Farming: Precision feeding technologies and sustainable animal production. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 5(4), 1-8. <https://doi.org/10.3965/j.ijabe.20120504.006>
- Benjamin, M., & Yik, S. (2019). Precision Livestock Farming in Swine Welfare: A Review for Swine Practitioners. *Animals*, 9(4), 133. <https://doi.org/10.3390/ani9040133>
- Berckmans, D. (2014). Precision livestock farming technologies for welfare management in intensive livestock systems. *Revue Scientifique et Technique*, 33(1), 189-196. <https://doi.org/10.20506/rst.33.1.2273>
- Bruininx, E. M. A. M., Van Der Peet-Schwering, C. M. C., Schrama, J. W., Den Hartog, L. A., Everts, H., & Beynen, A. C. (2003). The IVOG® feeding station: a tool for monitoring the individual feed intake of group-housed weanling pigs. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 85(3-4), 81-87. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0396.2001.00305.x>
- Burns, R. T., & Spajić, R. (2024). Precision Livestock Farming in Swine Production. In G. Kušec & I. D. Kušec (Eds.), *Tracing the Domestic Pig*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.114845>
- Da Fonseca, F. N., Abe, J. M., de Alencar Nääs, I., da Silva Cordeiro, A. F., do Amaral, F. V., & Ungaro, H. C. (2020). Automatic prediction of stress in piglets (*Sus Scrofa*) using infrared skin temperature. *Computers and Electronics in Agriculture*, 168. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.105148>
- Da Silva Cordeiro, A. F., de A. Nääs, I., Oliveira, S. R. M., Violaro, F., De Almeida, A. C. M., & Neves, D. P. (2013). Understanding Vocalization Might Help to Assess Stressful Conditions in Piglets. *Animals*, 3(3), 923-934. <https://doi.org/10.3390/ani3030923>
- Da Silveira, F., da Silva, S. L. C., Machado, F. M., Barbedo, J. G. A., & Amaral, F. G. (2023). Farmers' perception of the barriers that hinder the implementation of agriculture 4.0. *Agricultural Systems*, 208, 103656. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2023.103656>



- Faltys, G. L., Young, J. M., Odgaard, R. L., Murphy, R. B., & Lechtenberg, K. F. (2014). Technical note: Validation of electronic feeding stations as a swine research tool. *Journal of Animal Science*, 92(1), 272-276. <https://doi.org/10.2527/jas.2013-6808>
- Farahnakian, F., Farahnakian, F., Björkman, S., Bloch, V., Pastell, M., & Keikkonen, J. (2024). Pose Estimation of Sow and Piglets During Free Farrowing Using Deep Learning. *Journal of Agriculture and Food Research*, 16, 101067. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101067>
- Fernández, J., Fàbrega, E., Soler, J., Tibau, J., Ruiz, J. L., Puigvert, X., & Manteca, X. (2011). Feeding strategy in group-housed growing pigs of four different breeds. *Applied Animal Behaviour Science*, 134(3-4), 109-120. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2011.06.018>
- Gaillard, C., Brossard, L., & Dourmad, J. Y. (2020). Improvement of feed and nutrient efficiency in pig production through precision feeding. *Animal Feed Science and Technology*, 268, 114611. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114611>
- Garrido-Izard, M., Correa, E.-C., Requejo, J.-M., & Diezma, B. (2019). Continuous Monitoring of Pigs in Fattening Using a Multi-Sensor System: Behavior Patterns. *Animals*, 10(1), 52. <https://doi.org/10.3390/ani10010052>
- Gómez, Y., Stygar, A. H., Boumans, I. J. M. M., Bokkers, E. A. M., Pedersen, L. J., Niemi, J. K., Pastell, M., Manteca, X., & Llonch, P. (2021). A Systematic Review on Validated Precision Livestock Farming Technologies for Pig Production and Its Potential to Assess Animal Welfare. *Frontiers in Veterinary Science*, 8. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.660565>
- Halas, V. (2019, May 20). Perspektívák a sertések precíziós takarmányozásában. *Agrárágazat*. <https://agraragazat.hu/hir/perspektivak-a-sertesek-precizios-takarmanyozasaban>
- Hartung, J., Banhazi, T., Vranken, E., & Guarino, M. (2017). European farmers' experiences with precision livestock farming systems. *Animal Frontiers*, 7(1), 38-44. <https://doi.org/10.2527/af.2017.0107>
- InraPorc. (2023). https://inraporc.inrae.fr/inraporc/index_en.html
- Islam, M. M., Ahmed, S. T., Mun, H.-S., Bostami, A. B. M. R., Kim, Y.-J., & Yang, C.-J. (2015). Use of thermal imaging for the early detection of signs of disease in pigs challenged orally with *Salmonella typhimurium* and *Escherichia coli*. *African Journal of Microbiology Research*, 9(26), 1667-1674. <https://doi.org/10.5897/AJMR2015.7580>
- Ko, E., Jeong, K., Oh, H., Park, Y., Choi, J., & Lee, E. (2023). A deep learning-based framework for predicting pork preference. *Current Research in Food Science*, 6, 100495. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2023.100495>
- Jiao, S., Tiezzi, F., Huang, Y., Gray, K. A., & Maltecca, C. (2016). The use of multiple imputation for the accurate measurements of individual feed intake by electronic feeders. *Journal of Animal Science*, 94(2), 824-832. <https://doi.org/10.2527/jas.2015-9667>
- Maselyne, J., Saeys, W., De Ketelaere, B., Mertens, K., Vangeyte, J., Hessel, E. F., Millet, S., & Van Nuffel, A. (2014). Validation of a High Frequency Radio Frequency Identification (HF RFID) system for registering feeding patterns of growing-finishing pigs. *Computers and Electronics in Agriculture*, 102, 10-18. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2013.12.015>
- Maselyne, J., Saeys, W., Briene, P., Mertens, K., Vangeyte, J., De Ketelaere, B., Hessel, E. F., Sonck, B., & Van Nuffel, A. (2016). Methods to construct feeding visits from RFID registrations of growing-finishing pigs at the feed trough. *Computers and Electronics in Agriculture*, 128, 9-19. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.08.010>



- Moi, M., de A. Nääs, I., Caldara, F. R., de L. Almeida Paz, I. C., Garcia, R. G., & Cordeiro, A. F. S. (2014). Vocalization data mining for estimating swine stress conditions. *Engenharia Agrícola*, 34(3). <https://doi.org/10.1590/S0100-69162014000300008>
- Nemzeti Jogszabálytár. (2023). 32/1999. (III. 31.) FVM rendelet a mezőgazdasági haszonállatok tartásának állatvédelmi szabályairól. <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=99900032.fvm>
- Papadopoulos, G., Papantonatou, M.-Z., Uyar, H., Kriezi, O., Mavrommatis, A., Psiroukis, V., Kasimati, A., Tsiplakou, E., & Fountas, S. (2025). Economic and environmental benefits of digital agricultural technological solutions in livestock farming: A review. *Smart Agricultural Technology*, 10, 100783. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2025.100783>
- Reiners, K., Hegger, A., Hessel, E. F., Böck, S., Wendl, G., & Van den Weghe, H. F. A. (2009). Application of RFID technology using passive HF transponders for the individual identification of weaned piglets at the feed trough. *Computers and Electronics in Agriculture*, 68(2), 178-187. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2009.05.010>
- Talero-Sarmiento, L. H., Parra-Sanchez, D. T., & Lamos-Diaz, H. (2022, November 2-7). *Opportunities and Barriers of Smart Farming Adoption by Farmers Based on a Systematic Literature Review* [Conference session]. X. Conference on Innovation, Documentation, Education and Teaching Technologies, INNODOCT 2022, Valencia. <https://doi.org/10.4995/INN2022.2022.15746>
- Tóth, T., & Halas, V. (2016, August 9). Precíziós állattenyésztés – a szavakon túl. *Agronapló*. <https://www.agronaplo.hu/agrofokusz/20160809/precizios-allattenyesztes-a-szavakon-tul-37595>
- Tikász, I. (2023, June 9). Smart technológiák – tapasztalatok a magyarországi sertés- és baromfitartásban. *Agronapló*. <https://www.agronaplo.hu/agrofokusz/20230609/smart-technologiak-tapasztalatok-a-magyarorszag-i-sertes-es-baromfitartasban-39917>
- Tullo, E., Finzi, A., & Guarino, M. (2019). Review: Environmental impact of livestock farming and Precision Livestock Farming as a mitigation strategy. *Science of The Total Environment*, 650(2), 2751-2760. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.018>
- Tuytens, F. A. M., Molento, C. F. M., & Benaissa, S. (2022). Twelve Threats of Precision Livestock Farming (PLF) for Animal Welfare. *Frontiers in Veterinary Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.889623>
- Tzanidakis, C., Simitzis, P., Arvanitis, K., & Panagakis, P. (2021). An overview of the current trends in precision pig farming technologies. *Livestock Science*, 249, 104530. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2021.104530>
- Van Klompenburg, T., & Kassahun, A. (2022). Data-driven decision making in pig farming: A review of the literature. *Livestock Science*, 261, 104961. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2022.104961>
- Vranken, E., & Berckmans, D. (2017). Precision livestock farming for pigs. *Animal Frontiers*, 7(1), 32-37. <https://doi.org/10.2527/af.2017.0106>
- Wageningen University & Research. (2023). Precision feed for pigs reduces environmental impact. Retrieved October 10, 2023, from <https://www.wur.nl/en/research-results/research-institutes/livestock-research/show-wlr/precision-feed-for-pigs-reduces-environmental-impact.htm>
- Wang, S., Jiang, H., Qiao, Y., Jiang, S., Lin, H., & Sun, Q. (2022). The Research Progress of Vision-Based Artificial Intelligence in Smart Pig Farming. *Sensors*, 22(17), 6451. <https://doi.org/10.3390/s22176541>



Zhou, L., Wang, J., & Li, H. (2023). Effect of digital economy on large-scale pig farming: Evidence from China. *Cogent Food & Agriculture*, 9(1), 1206452. <https://doi.org/10.1080/23311932.2023.2238985>

©Copyright 2025 by the Authors.

The journal is Open Access (Platinum). This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).



Work of our Predecessors/
Elődeink munkássága

KÖVICS GYÖRGY

Professor emeritus

Debreceni Egyetem

Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar

Növényvédelmi Intézet

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2294-0648>

A Göllner – Dohy család három generációjának szerepe a mezőgazdák képzésében

A Göllner / Dohy család három generációja járult hozzá a gazdasz-nemzedékek képzéséhez, mindhárman debreceni kötődésűek. Ma már Wikipédia szócikkek is őrzik emléküket:

- (id.) Göllner János (1871-1942) Trianont követően (1920) családjával Kolozsvárról Debrecenbe menekült, ahol a Gazdasági Akadémián a műszaki tanszéket vezette.
- Dohy (szül. Göllner) János (1905-1990) Debrecenben a piaristáknál érettségizett, majd a Debrecen-Pallagi Gazdasági Akadémián 1926-ban szerzett diplomát (fitopatológus).
- ifjabb Dohy János (1934-2002) agrármérnök, a Magyar Tudományos Akadémia tagja, professzor, állatnemesítési és állattenyésztési kutatások kapcsolódnak munkásságához.

Kulcsszavak: Debreceni Gazdasági Akadémia, Göllner János (id.) mérnök, Dohy (Göllner) János (fitopatológus), Dohy János (agrármérnök) akadémikus, állattenyésztő

THE ROLE OF THE THREE GENERATIONS OF THE GÖLLNER-DOHY FAMILY IN THE TRAINING OF AGRICULTURAL HIGHER EDUCATION. Three generations of the Dohy/Göllner family contributed to the training of hundreds of agricultural engineers, all three of whom had ties to Debrecen, Eastern Hungary. Today, Wikipedia articles also preserve their memory and activities.

- (Senior) János Göllner (1871-1942), a mechanical engineer, fled with his family from Kolozsvár to Debrecen after the Treaty of Trianon (1920), where he headed the technical department of the Agricultural Academy.- János Dohy (earlier Göllner) (1905-1990) learned at the secondary schools from the Piarists in Debrecen, then graduated as an agricultural engineer from the Debrecen-Pallag Academy of Agriculture in 1926 (phytopathologist).
- János Dohy (Junior) (1934-2002) agricultural engineer, university professor, and researcher of animal breeding and husbandry were related to his activity. He was a member of the Hungarian Academy of Sciences (HAS)

Keywords: Debrecen Academy of Agriculture, János Göllner (Senior), mechanical engineer, professor of mechanics; János Dohy (earlier Göllner), phytopathologist; János Dohy, agricultural engineer, professor of animal husbandry, member of HAS

GÖLLNER JÁNOS (ID.)

Göllner János (id.) (Désakna, 1871. január 2. – Budapest, 1942. január 28.)¹ okl. mérnök, gépész-műszaki tanár, a kolozsvári, majd a debrecen-pallagi Gazdasági Akadémián, az 1921-ben működését megkezdő debreceni Orvostudományi karon, később az összevont természettudományi képzésben a fizika tárgy tanára.

Szépírói munkásságát Galambos János néven jegyezte.

A három-négy, tudósokból álló nemzedéket felölelő Göllner-Dohy család első jeles mezőgazdász generációjának képviselője. Édesapja bányamérnök volt, apja korai halálát követően nagynénje nevelte.

TANULMÁNYAI

A gimnáziumot Nagyszebenben végezte, szépirodalmi vonzalma mellett a műszaki pálya iránti érdeklődése (a geometria is érdekelte) megmutatkozott, melyet Kolbai Károly mezőgazdász édesapja keltett fel benne már középiskolai tanulmányai során.



(Id.) Göllner János kultúrmérnök

Forrás: A Szerző saját, retusált fotója Surányi B. 2007. alapján

A Pesti Királyi József Műegyetem mérnöki karára iratkozott be, majd szerzett okleveles kultúrmérnöki diplomát.

A gimnáziumot Nagyszebenben végezte, szépirodalmi vonzalma mellett a műszaki pálya iránti érdeklődése (a geometria is érdekelte) megmutatkozott, melyet Kolbai Károly mezőgazdász édesapja keltett fel benne már középiskolai tanulmányai során.

ÉLETPÁLYÁJA

Végzését követően (1898) az Esterházy uradalomban, két évig Tatán uradalmi mérnökként dolgozott. Kolozsváron a Gazdasági Akadémia 1900-ban Műszaki Tanszéket szervezett, amelyre Göllner sikerrel pályázott és állami szolgálatba lépett. Kolozsvárott élt, 1920-ig ott dolgozott. A kolozsvári évei alatt a tangazdaság majorjának tervezését végezte, illetve a vetőmagvizsgáló építési munkálatait ellenőrizte. Kolozsvárott meteorológiai állomást is vezetett. ^[1]

¹ N.N., Göllner János (mérnök) (Wikipédia, 2025)

[https://hu.wikipedia.org/wiki/G%C3%B6llner_J%C3%A1nos_\(m%C3%A9rn%C3%B6k\)](https://hu.wikipedia.org/wiki/G%C3%B6llner_J%C3%A1nos_(m%C3%A9rn%C3%B6k))

A Kis-Szamoson átívelő gyaloghíd (1902) tervezőjének személye ugyan bizonytalan, de egyes állítások szerint Göllner ebben is részt vállalt.²

1902-ben megnősült, felesége Dobay Olga.³ Gyermeük, az 1905-ben született Göllner János, aki 1944-ben változtatta nevét apai nagyanyja után Dohyra, és Dohy (Göllner) János néven vált növénypatológussá, a növénykórtan tanárává, először Debrecenben, majd 1954-től Magyaróváron, ahol karrierjét azonban az 1956-os forradalom utáni terror törte ketté. Göllner János a román mellett angol, német és francia nyelven is jól beszélt. Trianon tragédiáját követően a család Debrecenbe költözött.



A Pallagi Gazdasági Akadémia tanulmányi épülete, kb. az 1930-as években

Forrás: Vértesi Ferenc Képeslap másolata, <https://debrecenikepeslapok.blogspot.com/2016/03/a-magyar-kiralyi-gazdasagi-akademai.html>

A Debrecen-Pallagi Gazdasági Akadémián 1920. augusztustól mezőgazdasági gépészetet, földmérés-tan, rajzot, fizikát, valamint gazdasági építést tanított, ifj. Sporzon Pál (1867–1917)⁴ és Erdei János (1892–1990) mezőgazdász, gépészmérnök⁵ munkatársainak segítségével. Egy 1928. évi rendelet a gazdasági akadémiák számára a Műszaki Tanszékek felállítását kötelezővé tette, ahol építészeti és géptani ismereteket nyújtottak a hallgatóknak, *főtárgyként*. Az 1930-as évek elejétől a földmérés-tan és az éghajlattan. Ezen a Műszaki tanszék élén állt géptan oktatását Göllner átadta Erdei Jánosnak. A *melléktárgyak* sorába tartozott a fizika, a Göllner János csaknem másfél évtizedig.⁶

² N.N., Hajdú-Bihari Napló, 1985. augusztus 31. 17. évf. 204. sz. cit. SURÁNYI Béla, 2007.

³ BOZZAY Margit, Magyar asszonyok könyve. "Dobay Olga" (Budapest, 1931) 252–253. <https://mek.oszk.hu/14100/14181/>

⁴ N.N., "Sporzon Pál (tanár, 1867–1917)" (Wikipédia, 2016) [https://hu.wikipedia.org/wiki/Sporzon_P%C3%A1l_\(tan%C3%A1r,_1867%E2%80%931917\)](https://hu.wikipedia.org/wiki/Sporzon_P%C3%A1l_(tan%C3%A1r,_1867%E2%80%931917))

⁵ KENYERES Ágnes (szerk.), Magyar Életrajzi Lexikon 1000–1990. „Erdei János” <https://mek.oszk.hu/00300/00355/html/ABC03609/03814.htm>

⁶ SURÁNYI Béla, „Irodalomtól a mezőgazdaságig. Göllner János (1871–1942)” in *Ember, művek, események. Tallózás Debrecen agrármúltjában* (Debrecen: Debreceni Egyetem Kiadó, 2007), 75–78.

A Debrecen-Pallagi Gazdasági Akadémia megalakulását (1868) követően, a 20. század elején az állami egyetem létesítéséért folyó erőfeszítések Debrecenben is megindultak, rendkívül szerteágazó érdekkülönbségek küzdelmei mellett. Ennek során az vált mértékadóvá, hogy ki mennyit hajlandó áldozni érte (a Tiszántúli Református Egyházkerület, Debrecen városa, illetve az állam költségvállalásai?!). A városi egyetemi bizottság előterjesztése alapján a közgyűlés 1908. március 26-án hozott határozatával kimondta, hogy a város a teljes, négykarú egyetem felállítására átadja a javaslatban megjelölt, vagy más alkalmas területet, a városi kórházat és a bábaiskolát.⁷ A Debreceni Egyetem jogelődjének, a *Debreceni Magyar Királyi Tisza István Tudományegyetem* központi épületének alapkövetelési ünnepségét 1927. június 3-án tartották, és 1932-ben avatták fel. Eredetileg – a *Kolozsvári Egyetem* mintájára – matematikai és természettudományi kart is terveztek, de ez akkor nem valósult meg. Felépítésében kulcsszerepet játszott gróf Klebelsberg Kunó kultuszminiszter. A természettudományi tárgyakat általában a bölcsészettudományi kar keretében oktatták, kivételt jelentett a fizika. A Bölcsészettudományi karon belül nem hoztak létre önálló fizikai intézetet, hanem csak az Orvostudományi karon.⁸ A kis létszámú matematika–fizika és kémia–fizika szakos évfolyamok hallgatói a medikusok kurzusaival összevonva hallgatták a fizikát a Pallagi Gazdasági Akadémia Műszaki Tanszékén.⁹

Göllner, mint műszaki szakember az ismeretek terjesztésében is szerepet játszott: a *Debreceni Szemlében* (1927-1944)¹⁰ Önálló rovatot vezet „Pipaszónál” címmel. Ebben a rovatban ütköztette a haladó és a maradi gazdák között fennálló szakmai kérdésekben az állásfoglalásait. Felhívta a figyelmet az őszi szántás, tarlóhántás fontosságára, az istállóépítésre, a trágyatelepek létesítésére, a zöldtrágyázás, takarmánykezelés kérdéseire, az erőgépek szerkezeti ismereteire. 1926-ban Debrecenben rendezték meg az első országos legelő-rétgazdálkodási és takarmánytermesztési kiállítást, ahol népszerű formában irányította a figyelmet a füves területek ápolására, a gyomirtásra, felülvetésre, a fásítás fontosságára, a szakaszos legeltetés előnyeire.

A kormányzó a földművelésügyi miniszter előterjesztésére Göllner János gazdasági akadémiai segédtanárt 1938-ban gazdasági akadémiai rendkívüli tanárrá nevezte ki.¹¹ Göllner János 1938-ban Pestre költözött, és ott hunyt el 1942. január 28-án, életének 72. évében. Hamvai azonban a debreceni Köztemetőben nyugszanak.¹²

⁷ MUDRÁK József, „Egyetemesalapítási tervek és a Debreceni Tudományegyetem megalakulása” in: A Debreceni Egyetem története 1912–2012. E-Book, szerk. OROSZ István és ifj. BARTA János (Debrecen, Debreceni Egyetem Kiadó, DU Press, 2012) 41–55.

⁸ KAPUSZ Nándor és ifj. BARTA János, „V. Az Orvostudományi Kar. A megalakulástól az egyetem szétdarabolásáig (1914–1949/1950)” in: A Debreceni Egyetem története 1912–2012. E-Book, szerk. OROSZ István és ifj. BARTA János (Debrecen, Debreceni Egyetem Kiadó, DU Press, 2012) 210.

⁹ SÓLYOM Jenő, (2023): „A két világháború közötti helyzet” in: Fizika Magyarországon 1945 és 1959 között. A fizikai kutatás és egyetemi oktatás újjászervezése. 2023.

https://interkonyv.hu/konyvek/solyom_jeno_fizika-magyarorszagon-1945-es-1959-kozott/

¹⁰ KOROMPAI Gáborné, „Ismertetés. Debreceni Szemle 1927-1944” in: Debreceni Szemle (1927-1944) <https://hdl.handle.net/2437/381>

¹¹ N.N., „Földművelésügyi kinevezések: ...Göllner János gazdasági segédtanárt gazdasági akadémiai rendkívüli tanárrá” in: Pesti Napló, 1938-07-12 / 132. szám 10.

https://adt.arcanum.com/hu/view/PestiNaplo_1938_07/?pg=243&layout=s

¹² N.N., „Az info@debrecenikoztemeto.hu 2025.03.12-én kelt válasz e-mail levele KÖVICS György részére: a fotója és a térképrajz szerint: A sírhely X tábla 4 Sor 112. sír, 2030.12.31 ig meg is van váltva. A fehér márvány kereszt fejtáblán fekete márványon Göllner János 1871-1943” Ugyanolyan, de különálló sírhely mellette balra: "Göllner Jánosné 1876-1937"

Szépirodalmi tevékenysége – **Galambos János** írói álnév alatt – *Vérszerződés* (dráma, 1915); az *Elemér köve* (1941), pompás székely nyelven írt, hosszabb novellája székely népmese tárgyú (Hargitaváralja könyvei XV.¹³); *Jancsi* (kisregény, 1941). Neve ugyan nem volt székely, de lelke, szíve, szeretete, munkája azzá tették. Emellett a szerénység és a lelki finomság ritka mintaképe volt.¹⁴ További szakmai és szépírói bibliográfiai adatai a Wikipédiában találhatók.¹⁵

DOHY (GÖLLNER) JÁNOS (1905-1990)

Göllner János (ifj.), a későbbi fitopatológus professzor Kolozsváron született 1905. október 19-én. Nevét 1944 tavaszán apai nagyanyja után Dohy-ra változtatta. Felesége Székely Lujza zongoratanár. Gyermekai: János, Mária és Attila. Közülük (ifj.) Dohy János az állattudományi területen végzett kiemelkedő munkát, akadémikusi rangban. Mária kertészmérnök, Attila geodéta lett.¹⁶

A háborút vesztésként befejező Magyarországot részekre szedte a rákényszerített Trianoni Békediktátum. A család Kolozsvárról Debrecenbe költözött. Az édesapa, (id.) Göllner János Debrecen-Pallagon a *Magyar Királyi Gazdasági Akadémián* kapott állást, ahol gépészeti területen a Műszaki Tanszék vezetője lett.

(ifj.) Göllner János középfokú tanulmányait Debrecenben a Piarista Főgimnáziumban folytatta 1920-1923-ban, és ott is érettségizett. Felsőfokú tanulmányait a fiatalabb Göllner János a Debrecen-Pallagi Magyar Királyi Gazdasági Akadémián 1923-1926 között végezte.¹⁷ Gyakornoki kinevezést 1927-ben kapott a Növényteni Tanszékre. Gyakornoki éveit kihasználva, speciális kurzusokat hallgatott Debrecenben a Tisza István Tudományegyetem Bölcsészettudományi Karán. Ezekben az években vált elkötelezett kutatójává a növénykórtannak. Egyetemi doktori munkáját Soó Rezső irányításával végezte. A nemzetközileg ismert tudósak ő volt az első doktorandusza. Doktori munkája a „dinnye antraknózisa” témakörben készült. Értekezését 1930-ban megvédte.

¹³ GALAMBOS János, „Elemér köve.” in: Cs[íkszentgyörgyi] JÓSA János, szerk. „Hargitaváralja” Tudományos, szépirodalmi és társadalmi hetilap. A szegedi Hargitaváralja jelképes székely község hivatalos közlönye (Szeged, 1936. augusztus – 1944. június) cit. HERMANN Gusztáv Mihály, „Székelység – A Székelység. Két lap, két szerkesztő, két világ” (História 2014 6.sz.) 69–74.

¹⁴ N.N., „Göllner János halálára” Hargitaváralja. Az erdélyiek tudományos, szépirodalmi és társadalmi folyóirata (Szeged, Hargitaváralja Jelképes Székely Község kiadása, 1942) https://misc.bibl.u-szeged.hu/46408/1/hargitavaralja_1942_004.pdf

¹⁵ N.N., Göllner János (mérnök) (Wikipédia, 2025)

[https://hu.wikipedia.org/wiki/G%C3%B6llner_J%C3%A1nos_\(m%C3%A9rn%C3%B6k\)](https://hu.wikipedia.org/wiki/G%C3%B6llner_J%C3%A1nos_(m%C3%A9rn%C3%B6k))

¹⁶ KÖVICS György, SZARUKÁN István, DÁVID István, RADÓCZ László és TARCALI Gábor, „A Tiszántúli Növényvédelmi Fórum (TNF) negyed százada (1996 – 2021) és a kilenc Nemzetközi Növényvédelmi Szimpózium a Debreceni Egyetemen (9 International Plant Protection Symposium, IPPS at UD)” in: Növényorvos képzés Debrecenben. TARCALI Gábor, KÖVICS György, RADÓCZ László, szerk. (Debrecen, DE MÉK - Printart-Press Kft., 2021) 128–176. <http://real.mtak.hu/138352/>

¹⁷ A mai egyetem jogelődje a Magyar Királyi Felsőbb Gazdasági Tanintézet 1868-ban nyílt meg a Debrecenhez tartozó Pallagpusztán. 1906-ban akadémiai rangra emelték, s Magyar Királyi Gazdasági Akadémia néven működött tovább, kezdetben a keszthelyi és óvári akadémiákkal együtt három, 1942-től négy tanéves gazdasági akadémiaként. 1945-1949 között a Magyar Agrártudományi Egyetem, Mezőgazdaságtudományi Kar Debreceni Osztálya megnevezéssel folytatta tevékenységét. Majd 1953-ban Debreceni Mezőgazdasági Akadémia néven önálló felsőfokú képzés indult újra.

Három évet (1929-1932) a Magyaróvári Magyar Királyi Gazdasági Akadémia Növényteni és Állattani Tanszékén, dr. Gróf Béla tanszékvezető mellett töltött.¹⁸

1933-ban Göllner életében ismét debrecen-pallagi időszak következett, 1940-ig. Oktató és kutató munkáját elismerve 1937-ben segédtanárrá, majd 1938-ban rendkívüli tanárrá nevezték ki. Ezzel egy időben 1934-38 időszakban növényegészségügyi körzetvezető helyettes, 1939-40 között pedig körzetvezető volt.

A 2. világháború elején az első és második Bécsi döntés eredményeként az 1920-ban elcsatolt területek egy részét Magyarország visszakapta. Észak-Erdély annektálását követően 1940-ben Göllner Jánost a Kolozsvári Mezőgazdasági Akadémia Növénytan és Növényegészségügyi Tanszékére helyezték tanszékvezetőnek. Ott a Gazdasági Akadémián 1941-ben rendes tanárrá nevezték ki, 1943-ban egyidejűleg az Állattani és Növényteni Tanszék vezetését is rábízta.

1944-ben történt a születési nevének megváltoztatása: apai nagyanyja nevét vette fel és így, Dohy János néven vált a növénykórtan professzorává. Kolozsvárról 1944 őszén a Keszthelyi Gazdasági Akadémiára menekültek, ahol a Növényélettani és Növénykórtani Tanszéken alkalmazták. Főiskolai nyilvános rendkívüli tanárrá 1945-ben nevezték ki.

Dohy János elsőként fogalmazta meg (1945-1946) a *növényorvos képzés indokoltságát, a célkitűzéseket, a feladat- és munkaköröket*, azonban a második háborút követő időszakban ez nem valósulhatott meg, a 25 oldalas dokumentum csak kéziratban maradt fenn.¹⁹

Az agrárképzés háborút követő meggondolatlan átszervezésével az „egyetlen” Agrártudományi Egyetem Mezőgazdaságtudományi Kar Debreceni Osztályának Növényteni Tanszékére került tanszékvezetői beosztásba. Az egyetem vidéki osztályait – érdemi megokolás nélkül – 1949-ben felszámolták. Ekkor Dohy (Göllner) Jánost – vallásos meggyőződése miatt – a Kisvárdai Növénynevelő Telepre helyezték, rendelkezési állományba, majd tudományos kutatónak.

A szakemberigény kielégítése végett 1954-ben újra megnyitották a mezőgazdasági akadémiákat. Ekkor került a Mosonmagyaróvári Mezőgazdasági Akadémia Növényteni és Növényélettani Tanszékére tanszékvezetői beosztásba, amivel egyidejűleg az intézmény igazgatóhelyettesi feladatkörét is ellátta.

1956. október 26-án Dudás István százados, mosonmagyaróvári határőrlaktanya parancsnok a kora reggeli órákban a körlet védelmét a laktanyán kívül alakította ki. A laktanya déli, északi és nyugati oldalán géppuskafészeket telepítettek. A laktanya elé érkező fegyvertelen emberek, akadémiai hallgatók, általános iskolások tanáraikkal, gyerekes kisgyermek, vidékiek, a Mezőgépgyár és a MOFÉM gyár munkásai is ott voltak, nemzeti színű zászlókat lengettek, egyesek a Himnusz, mások a Szózatot, a Kossuth-nótát énekelve haladtak, az élen állók követelték a vörös csillag leszedését a laktanyáról, és a néphez való csatlakozásra hívták a bentlévőket. Létszámukat 1000-1200 főre becsülték. A tüntetőkre két vagy három géppuska sorozatot adtak le, amelynek számos halálos, súlyosabb (pl. Kuroli Géza későbbi professzor, akkor 20 éves gazdász hallgató) és könnyebb áldozata volt. A borzalmas sortűz helyén ma Rieger Tibor szobrász Golgota című szobra (1991) áll, ahol még 50 kopjafa emlékezik a hivatalosan több mint 50, a szemtanúk és hozzátartozók szerint 107 halottra. A sortűz helye a Gyász tér nevet viseli.

¹⁸ TENK Antal, SURÁNYI Béla és NEMESSÁLYI Zsolt, „Közös emlékek Debrecen és Magyaróvár agrárfelsőoktatásának nagy tanáregyéniségeiről” *Gerundium*, 11(3-4), 229-243. <https://doi.org/10.29116/gerundium/2020/3-4/12>

¹⁹ Dr. KAJATI István szóbeli közlése.

Dohy János ktatói és szakmai pályafutását az 1956. évi októberi forradalom és szabadságharcot követő koncepciós perek törték derékba.Varga Ernő büntetőperének tárgyalásán, Győrben tanúként hallgatták ki, ennek folyamányaként helyben letartóztatták. A tárgyalás során az államügyész először halálbüntetés kiszabását kezdeményezte. Az utolsó szó jogán elmondott megrendítő hatású beszédének is köszönhetően büntetését 10 év szabadságvesztésben határozták meg, amelyből 5 évet (1957. május 28 - 1962. április 3.) letöltött. Rabtársai között több tudós, író és művész volt, közöttük Kosáry Domonkos, Déry Tibor, Darvas Iván.



Dohy (Göllner) János fitopatológus 72 éves korában (Forrás: Kövics et al., Növényorvos képzés Debrecenben, 2021, 130. o.

1962 tavaszán egyéni kegyelemmel szabadult, a börtönévek utáni elhelyezkedését Horn Artúr és Barabás Zoltán akadémikusok, valamint Belák Sándor rektor úr is segítették. Dohy Jánost 1963-ban ügyintézői beosztásba sorolták, 1966-ban témafelelős lett a Növényvédelmi Kutató Intézet Keszthelyi Burgonyabogár Laboratóriumában. Ebben a kissé "felszabadult" helyzetben előadásokat tartott, sorra jelentek meg publikációi, tudományos munkássága ismételten kiteljesedhetett. Munkaviszonya 1969. december 31-i nyugdíjazásáig tartott. 1957. február 28-án *honoris causa* (tisztyletbeli) kandidátusi fokozatot kapott, amit 1959-ben az akadémia (MTA) megvont tőle. Az említett akadémikusok közbenjárására 1973-ban visszakapta kandidátusi fokozatát, és így jogaiba visszaállították. Szakmai munkássága kapcsán tagsága volt a Magyar Agrártudományi Egyesületben, az Országos Erdészeti Egyesület Mikológia Szakosztályában, a Magyar Tudományos Akadémia Növényvédelmi Főbizottságában, a Növényvédelmi Kutatóintézet Tudományos Tanácsában. Kuroli Géza (1936-2016) óvári entomológus professzor, egykori diákja adhatta át Dohy Jánosnak, a kiváló pedagógusnak, az elismert szaktekintélynek, a sorscsapásokat is mindvégig türelemmel viselt „Embernek” az Agrártudományi Egyetem Keszthelyi Tanácsa által adományozott „Georgikon Emlékérmet” 1985-ben.

Dohy János professzort élete végén, 1990-ben rehabilitálták és kárpótlással enyhítették elszenvedett sérelmeit. Neki ítélték oda elsőként a Széchenyi-díjat, amiről tudott, de átvételében betegsége, és a március 6-án bekövetkezett halála már megakadályozta. A díjat

nevében fia, ifj. Dohy János későbbi akadémikus vette át. Hamvait az Óvári temetőben helyezték örök nyugalomra.^{20,21}

Dohy János kórtanos professzor rögzös életútjáról ugyancsak megemlékeztek az első Nemzetközi Növényvédelmi Szimpózium (1st IPPS = 2. TNF) ülésén,²² illetve születésének 100. évfordulóján az 51. Növényvédelmi Tudományos Napokon, Budapesten is.²³

2015. májusában Prof. Kuroli Géza Óváron az emléktábla elhelyezésekor így beszélt: “Dohy János professzor úr életútjára születésének 110., halálának 25 éves évfordulóján akkor emlékezünk méltósággal, ha emléktáblán örökítjük meg tanári és tudományos teljesítményét, valamint emberi magatartását.”²⁴

Mosonmagyaróváron ma utcanév is őrzi Dohy professzor úr tisztes személyiségét, áldozatát.²⁵



Dohy János növénykórtan professzor emléktáblát helyeztek el
az Óvári Gazdasági Akadémia falán 2015-ben

Forrás: A Szerző saját felvétele

²⁰ Gyula CZIMBER, „János Dohy (Göllner) 1905-1990” *Acta Botanica Hungarica* 36 1990/91 1-4.sz. 3–6.

²¹ VINCZEFFY Imre, „Dohy János (1905-1990)” *Debreceni Szemle* (1993) 6. 1998. 1.sz. 107–114.

²² BOGNÁR Sándor és KOPPÁNYI Tibor, “Debrecen és a magyar növényvédelem kapcsolata” in: *1st International Plant Protection Symposium at DAU – Első Nemzetközi Növényvédelmi Konferencia (2. Tiszántúli Növényvédelmi Fórum). Abstracts – Összefoglalók (Debrecen 1997. augusztus 18-19)* 14–18. <http://real.mtak.hu/11368/1/1233274.pdf>

²³ BOGNÁR Sándor, „Kellenek a példaképek. Emlékezzünk kiváló elődeinkre. 100 éve született: Dohy (ifj. Göllner) János (1905-1990)” in: *51. Növényvédelmi Tudományos Napok 2005.* szerk. HORVÁTH József, HALTRICH Attila és Molnár János (Budapest 2005. február 22-23) 22. <https://adoc.pub/nvenyvedelmi-tudomanyos-napok2005.html>

²⁴ KUROLI Géza, „Prof. Dr. Dohy János CSc életútja 1905-1990 Emléktábla avató beszéd” 2015. http://ovarigazdasz.hu/images/hirek/2015/20150530_Dohy_emlektabla-avatas/Kuroli_G_beszed_Dohy_20150530.pdf

²⁵ KIMLEI Péter, „Dohy János” (*Moson Megyei Életrajzi Lexikon*, 2022) <http://www.hgkmovar.hu/mmel/?o=szc&c=k112>

DOHY JÁNOS (IFJ.) (1934-2002)

A Göllner-Dohy család harmadik gazdasz-nemzedékének képviselője Dohy János agrármérnök, állattenyésztő. A hazai állatnemesítési és állattenyésztési kutatások nemzetközileg elismert szaktekinvélye.²⁶

Debrecen-Pallagpusztán született, elemi iskoláit már a kolozsvári líceumban (1940–1944) végezte, ahová édesapját, Göllner (1944-től: Dohy) Jánost áthelyezték a második Bécsi Döntés nyomán a visszacsatolt Kolozsvári Gazdasági Akadémiára, ahol a Növényteni és Növényegészségügyi Tanszékének szervezésével és vezetésével bízták meg.



Dohy János (ifj.) állattenyésztő

Forrás: Horn P. Megemlékezés. Dohy János (1934-2002). Magyar Tudomány, 2003/2. 270-273. o.

A család élethelyzetének mozgalmasságát követve az ifjabb Dohy János középiskolai tanulmányait a keszthelyi premontrei, a debreceni piarista és a kisvárdai Bessenyei György Gimnáziumban (1944–1952) végezte. Mindenütt kiváló pedagógusok, szuggesztív egyéniségű, a magyar nemzet iránt elkötelezett tanárok oktatták és nevelték, akiknek nagy része volt abban, hogy tanulmányi eredményei alapján 1952-ben – felvételi nélkül – csupán „elbeszélgetés” után vették fel a budapesti Agrártudományi Egyetem Állattenyésztési Karára, majd a kar Gödöllőre helyezése után ott fejezte be 1957-ben a felsőfokú tanulmányait. Az Agrártudományi Egyetem Állattenyésztési Karára, majd a kar Gödöllőre helyezése után ott fejezte be 1957-ben a felsőfokú tanulmányait.²⁷ Horn Artúr (1911-2003) professzor mellett az állattenyésztési tanszéken tudományos diákköri munkát végzett, és készítette el diplomadolgozatát is. Kutatási eredményei alapján diplomamunkájának megvédése (1957. április 1.) után Horn Artúr tudományos gyakornoknak hívta meg tanszékére.

²⁶ N.N., „Dohy János (agrármérnök)

[https://hu.wikipedia.org/wiki/Dohy_J%C3%A1nos_\(agr%C3%A1rm%C3%A9rn%C3%B6k\)](https://hu.wikipedia.org/wiki/Dohy_J%C3%A1nos_(agr%C3%A1rm%C3%A9rn%C3%B6k))

²⁷ HORN Péter, „Megemlékezés: Dohy János” Magyar Tudomány 2003, 2.sz. 270–273. <https://real-j.mtak.hu/1885/2/2003-02.pdf>

Még abban az évben az Állattenyésztési Kutatóintézetbe került, ahol aktív részese volt a tejelő magyar barna és a tejelő magyar tarka szarvasmarhafajták kialakításának. Egyetemi doktori értekezését 1963-ban védte meg „*A tehén néhány értékmérő tulajdonságának számszerű kifejezése és vizsgálata a magyar tarka fajtában*” címmel. Ez évtől munkásságát a budapesti Állatorvostudományi Egyetemen folytatta, ahol Horn Artúr tanszékén dolgozott egyetemi adjunktusként, majd docensként. Tíz év aktív oktató- és kutatómunka eredményeképpen 1968-ban a mezőgazdaság-tudomány kandidátusa fokozatot szerzte meg.

1974-től a herceghalmi Állattenyésztési Kutatóintézet tudományos főigazgató-helyettesének nevezték ki.

1976-tól a Kaposvári Mezőgazdasági Főiskola tudományos főigazgató-helyettesi megbízását nyerte el. 1976-ban öt hónapos tanulmányúton is járt az USA-ban. Horn Artúr professzor nyugállományba vonulásakor, 1980-ban ő vette át a budapesti Állatorvostudományi Egyetem állattenyésztési tanszékének vezetését. A szarvasmarha nemesítésében és tenyésztésében kifejtett tudományos munkássága alapján 1984-ben megszerezte a mezőgazdaság-tudomány doktora fokozatot.

A Gödöllői Agrártudományi Egyetem állattenyésztési tanszékét 1986-tól vezette, s 1990-re intézetté fejlesztette. Egy ciklusban (1987–1990) tudományos és nemzetközi rektorhelyettese volt az agrártudományi egyetemnek, majd dékánként a doktori képzés irányítója lett. 1995 és 1999 között az alkalmazott állatgenetikai és -nemesítési tanszék vezetője volt. Az aktív egyetemi tevékenységtől 2000-ben visszavonult, de a doktori képzésnek ezt követően is aktív részese maradt, és irányította az általa szervezett állatnemesítési kutatócsoportot, amely számos fiatal kutatónak adott lehetőséget tudományos munkásságának folytatására.

Tudományos tevékenységének elismeréseképpen 1993-ban az MTA levelező, majd 1998-ban rendes tagjává választotta.

1996-ban részt vett az édesapja tiszteletére „*in memoriam* Dohy (Göllner) János ülés és Növényvédelmi Szakmai Nap” eseményein, ahol kortársai, tisztelő barátai megemlékeztek²⁸ az oktatói pályájától elszakított, jeles kórtanos, (id.) Dohy János professzorról, édesapjáról.²⁹ Akadémikus társainak bizalmát élvezve 1999. júniusától az MTA Agrártudományok Osztályának elnökhelyettese, majd elnöke volt.

Számos szakmai és tudományos díj közül meg kell említenünk a Horn Péter akadémikussal megosztva elnyert Széchenyi-díjat (az első ilyen rangos, állami elismerést 1990-ben édesapja, Dohy /Göllner/ János kapta meg), a Debreceni Agrárfelsőoktatásért Emlékérmét (2002). *Honoris causa* doktori címet adományozott számára a Pannon Agrártudományi Egyetem (1994), a Debreceni Agrártudományi Egyetem (1997), a Nyugat-Magyarországi Egyetem (2001) és a Kaposvári Egyetem (2001).

Külföldi elismerései közül kiemelendő tiszteleti tagsága a Német Állattenyésztők Társaságában (Ehrenmitglied der Deutschen Gesellschaft für Züchtungskunde, 1997). Az Állattenyésztők Európai Szövetségének hat éven át (1982–1988) volt választott elnökségi tagja, az itt végzett munkájáért és a Magyarországon megrendezett három (1970, 1986, 2001) nemzetközi konferenciáért az állattenyésztők a Kiváló Szolgálatért Érdeméremmel tisztelték meg

²⁸ Lásd még a Gerundium ugyanezen lapszámában: KÖVICS György és TARCALI Gábor: 30 ÉVES A TISZÁNTÚLI NÖVÉNYVÉDELMI FÓRUM írását. Kövics, G., & Tarcali, G. (2025). 30 ÉVES A TISZÁNTÚLI NÖVÉNYVÉDELMI FÓRUM. *Gerundium*, 16(3-4), 213-226.

<https://doi.org/10.29116/gerundium/2025/3-4/14>

²⁹ KÖVICS György, szerk., Emlékezés és Növényvédelmi Szakmai Nap (1. Tiszántúli Növényvédelmi Fórum): Összefoglalók (Debrecen 1996. augusztus 19.) 1–51.

https://mek.unideb.hu/sites/default/files/upload_documents/abstracts_1996.pdf

(Distinguished Service Award, Európai Állattenyésztők Szövetsége, 1999)³⁰. A Firenzei Akadémián (Accademia dei Georgofili, Firenze 2001) levelező tagsággal tüntették ki.

A hazai tudományos lapok közül az Acta Agronomica Hungarica, a Hungarian Agricultural Research, az Állattenyésztés és Takarmányozás, valamint a Tejgazdaság szerkesztőbizottságának, a nemzetközi lapok közül, pedig a Livestock Production Science, az Egyptian Journal of Animal Science és az Animal Science Papers and Reports of Polish Academy of Sciences-nek volt tanácsadó testületi tagja.³¹

Az MTA emléküléssel búcsúzott 2002. december 10-én Dohy János akadémikustól. Hamvasztás utáni búcsúztatására – kívánsága szerint – legszűkebb családja körében került sor. Hamvait családja őrzi.

³⁰ GUNDEL János, Dohy János (1934–2002) A Magyar Tudományos Akadémia Agrártudományok Osztályának 2002. évi tájékoztatója. (Budapest: MTA, 2003) 114–117.

³¹ FEHÉR György, Biographia. Elhunyt tanáraink és előadóink életrajza 1787-2007: Dohy János (Budapest: SZIE Állatorvostudományi Egyetem, 2007) 83–86.
<https://huveta.hu/bitstream/handle/10832/617/DohyJanos.pdf?sequence=1>