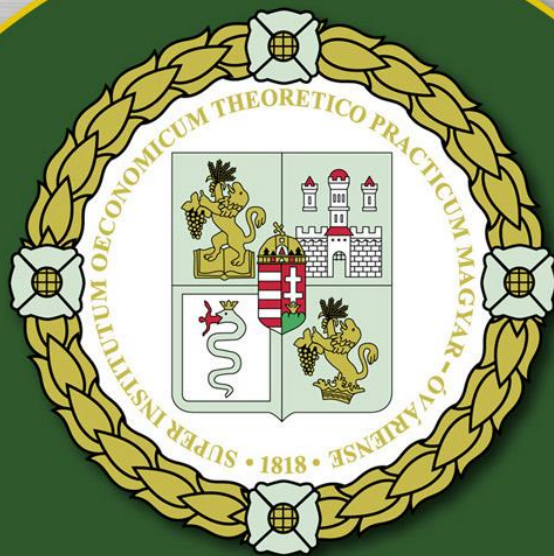


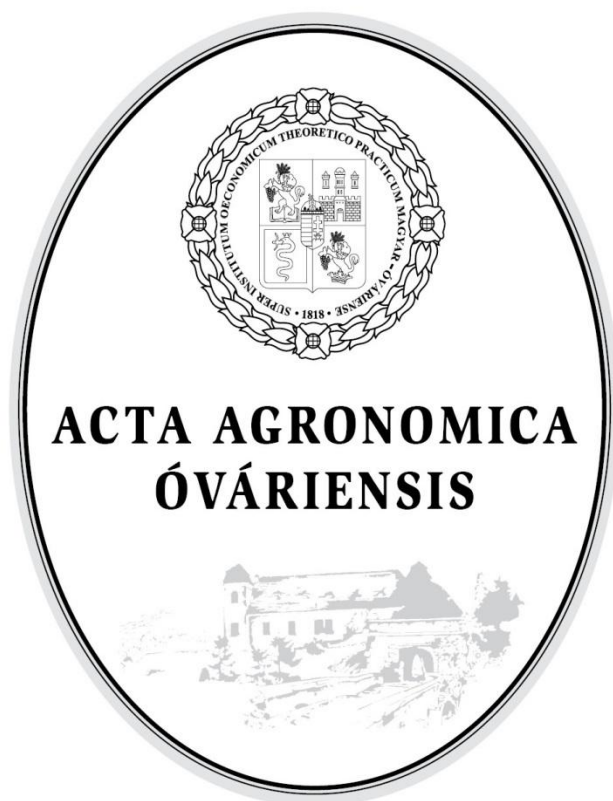


ACTA AGRONOMICA ÓVÁRIENSIS



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 1.

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	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	Varga Zoltán PhD
Mezei Katalin PhD	Amtmann Petra <i>Layout Editor</i>
Palkovics László Amand DSc	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>Sabina Fijan PhD</i> University of Maribor, Slovenia
<i>Eleonóra Marišová PhD</i> Slovak University of Agriculture in Nitra, Slovakia	<i>Marco Cullere PhD</i> University of Padova, Italy
<i>Zsuzsanna Csereklyei PhD</i> School of Economics, Finance and Marketing Royal Melbourne Institute of Technology, Australia	<i>Zoltan Machaty PhD</i> Purdue University United States of America
<i>Thomas Banhazi PhD</i> UPWr, Wrocław University of Environmental and Life Sciences Poland PLF Agritech Pty Ltd., Australia	<i>Wendy Stirk PhD</i> Research Centre for Plant Growth and Development School of Life Sciences, University of KwaZulu-Natal Republic of South Africa

Table of Contents/Tartalomjegyzék

INITIAL RESULTS OF HUNGARIAN BLONDE D'AQUITAINE BREEDING BULL CANDIDATES IN THE VYTELLE SYSTEM	5
https://doi.org/10.17108/ActAgrOvar.2025.66.1.5	
THE EFFECT OF DIETARY CRUDE FIBRE CONTENT ON EIMERIA OOCYST EXCRETION AND THE PRODUCTION OF FATTENING RABBITS	23
https://doi.org/10.17108/ActAgrOvar.2025.66.1.23	
POSSIBILITIES FOR INCREASING THE ANTIOXIDANT AND POLYPHENOL CONTENT OF STRAWBERRY NECTAR (FRAGARIA × ANANASSA) BY ADDING VARIOUS MEDICINAL HERBS	39
https://doi.org/10.17108/ActAgrOvar.2025.66.1.39	
A KAJSZI (PRUNUS ARMENIACA L.) TERMESZTÉSI KOCKÁZATAINAK FELTÁRÁSA SÁR-HEGYEN (HEVES VÁRMEGYE), A FAGYKÁROK VIZSGÁLATÁRA ALAPOZVA	54
https://doi.org/10.17108/ActAgrOvar.2025.66.1.54	
IPARI FERMENTÁCIÓS LEHETŐSÉGEK AZ ÉLELMISZEREK ÉS A SERTÉSTAKARMÁNYOK ELŐÁLLÍTÁSÁBAN: IRODALMI ÁTTEKINTÉS	69
https://doi.org/10.17108/ActAgrOvar.2025.66.1.69	
A NATÚR ÉS KEZELT REPCE MELLÉKTERMÉKEK TAKARMÁNYOZÁSI POTENCIÁLJA: LEHETŐSÉGEK ÉS KIHÍVÁSOK (IRODALMI ÁTTEKINTÉS)	89
https://doi.org/10.17108/ActAgrOvar.2025.66.1.89	
AZ ELEKTRONIKUS ORR FEJLŐDÉSE ÉS ALKALMAZÁSA: II. AZ ELEKTRONIKUS ORR SZEREPE AZ ÉLELMISZERIPARBAN ÉS A MEZŐGAZDASÁGBAN	111
https://doi.org/10.17108/ActAgrOvar.2025.66.1.111	
TOJÁSHÉJSZÍN, MINT MONITORING ESZKÖZ	135
https://doi.org/10.17108/ActAgrOvar.2025.66.1.135	
THE RELATIONSHIP BETWEEN DAYS DRY, DAYS OPEN, AND MILK YIELD IN EGYPTIAN BUFFALOES	154
https://doi.org/10.17108/ActAgrOvar.2025.66.1.154	
NEKROLÓG	162

©Copyright 2025 by the authors.

The journal is Open Access (Platinum). Creative Commons 4.0 standard licence type CC-BY-NC-ND-4.0 is applicable to its articles. The materials can be copied, distributed, presented freely, but can't be utilised for commercial purposes (NC), furthermore can't be altered, can't be a source for adaptation, revision or derivative work (ND). The name of the author and title of the original work must be indicated as required by the author or the right holder based on the license (BY).





Initial Results of Hungarian Blonde d'Aquitaine Breeding Bull Candidates in the Vytelle System

MÁRTON DEMÉNY^{1,5*}, TAMÁS PÁBLE², NATASA FAZEKAS³, MÁRTON RÉVÉSZ⁴, JÁNOS TŐZSÉR⁵

¹Association of Hungarian Limousin and Blonde d'Aquitaine Breeders, Budapest, Hungary

ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0006-0709-1357>

Email: demenymarton@gmail.com

²Te Mania Angus, 1830 Woolsthorpe-Hexham Rd Hexham VIC 3273, Victoria, Australia

³Hungarian University of Agriculture and Life Sciences, Szent István Campus

Institute of Animal Sciences, Gödöllő, Hungary

ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0004-1790-9234>

⁴Dörögdi Mező Ltd., Taliándörögd, Hungary

⁵Albert Kázmér Faculty of Agricultural and Food Sciences of Széchenyi István University

Department of Animal Science, Mosonmagyaróvár, Hungary

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

*Corresponding author/Levelező szerző

Received/Érkezett: 25.02.2025

Revised/Átdolgozva: 26.03.2025

Accepted/Elfogadva: 25.04.2025

Published/Megjelent: 27.06.2025

ABSTRACT

Nowadays, public opinion is determined by economic and environmental considerations, so when selecting beef cattle for breeding, the aim is to achieve the largest possible body size while reducing feed costs and methane emissions. Computer-controlled automatic feeding systems can measure the exact amount of feed consumed by animals, enabling the RFI value to be determined. This value expresses the difference between the amount of feed actually consumed by the animal and the amount expected based on its live weight and body weight gain.

In 2024, we studied 29 Blonde d'Aquitaine breeding bulls that were fed using the Vytelle system and housed in two pens in Taliándörögd. The animals were divided into four groups based on their RFI values and average daily weight gain, and their production data were analysed using a multivariate generalised linear model (GLM) method.

Based on our results, it was not necessary to take pen effect into account, as the husbandry technology was perfectly suited to the purpose. The four groups were sufficient for selection based on feed conversion and daily weight gain. Taking all the measured values into account, the young bulls in the group with favourable RFI and above-average daily weight gain are the most promising.

Keywords: *Vytelle system, comparative feed conversion, daily weight gain, Blonde d'Aquitaine, breeding bull candidates*



1. INTRODUCTION

Methods to select animals with lower feed intake and higher feed conversion ratio without compromising product quality are at the forefront of beef cattle breeding today. In addition to improving profitability - while feeding costs are increasing - the importance of this for methane emissions and thus for the climate is obvious (Bormann & Rolf, 2022).

Therefore, in recent decades, the focus of beef cattle selection has shifted from increased weight gain to improved feed efficiency without compromising other important traits. Animals that are feed efficient have lower production costs and a lower environmental impact, thereby reducing greenhouse gas emissions (Arthur & Herd, 2008; Bezzera et al., 2013).

While the cost of providing feed to grazing livestock is more difficult to quantify than in pig or poultry production, it still represents a significant production cost in extensive grazing systems. Consequently, enhancing the efficiency of feed utilisation is crucial for reducing production expenses. According to McKenna et al. (2018), feed accounts for up to 75 % of costs in beef production systems. Arthur and Herd (2008) stated that feed costs for maintenance are estimated to be at least 60-65 % of the total feed requirement for a cowherd, with considerable variation between individual animals regardless of body size. Recent advances in computing and electronics and the availability of reliable automatic feed intake recorders have made it easier to measure feed intake in cattle (Arthur & Herd, 2008).

Methane production is strongly positively related to dry matter intake, live weight, and average daily gain. Additionally, methane production exhibits low to moderate positive correlations with carcass composition traits, including rib fat, rump fat, intramuscular fat, and rib eye area (Lakamp et al., 2022). The performance of Blonde d'Aquitaine (BLO) bulls was analysed using the Vytelle system to determine the effect of pen environment and RFI-ADG performance level on the studied parameters.

2. LITERATURE REVIEW

The concept of residual feed intake (RFI) in cattle was first introduced by Koch (1963) and has since been referenced in numerous publications, including those by Sainz and Paulino (2004), Kerley (2010) and Bezzera (2013). However, its significance was not fully recognised until the 1990s. RFI is calculated as the difference between an animal's actual feed intake and the amount it is expected to consume based on its average live weight and weight gain rate (Alende et al., 2016; Bezzera et al., 2013). RFI represents the variation in feed intake remaining after maintenance and growth requirements have been met. Efficient animals have a negative or low RFI because they eat less than expected, while inefficient animals have a positive or high RFI because they eat more than expected (Basarab et al., 2006). Therefore, cattle with a lower RFI are considered more efficient (Arthur & Herd, 2008; Alende et al., 2016).

RFI is calculated by regressing the animals in a test group against their body weight and daily gain. The regression coefficients for body weight and daily gain are then used to calculate an expected feed intake for each animal. The difference between the actual feed intake and the expected feed intake is reported as the RFI. Gain was regressed on intake and body weight, and the resulting regression coefficients were used to calculate the expected gain for each animal based on the group's mean performance (Kerley, 2010). By definition, within a contemporary group, the mean RFI derived from linear regression should result in a value of 0.0. Variation above and below the group mean depends on the individual contemporary groups (Minton, 2010).



Thus, RFI is a measure of metabolic efficiency. It describes an animal's feed efficiency independently of its gain or growth performance (Kerley, 2010; Elolimy et al., 2018). Therefore, it allows individuals with lower feed intake at similar performance levels to be identified, i.e. those with high feed efficiency (Cantalapiedra-Hijar et al., 2024). Feed efficiency is associated with variation in feed intake, digestion and metabolism (including anabolism and catabolism, and variation in body composition), as well as activity and thermoregulation. According to Herd et al. (2004), the percentage contribution of these mechanisms to variation in residual feed intake is as follows: 9 % for differences in the thermal increment of feed, 14 % for differences in digestion, 5 % for differences in body composition, and 5 % for differences in activity. Together, these mechanisms may account for approximately one-third of the variation in RFI.

While most beef cattle systems worldwide are pasture-based, RFI evaluation and research are typically conducted under confinement conditions using automated feeding systems (Marín et al., 2024). Marín et al. (2024) used residual heat production to determine the energy efficiency of Hereford cattle under grazing conditions, i.e. without measuring actual feed intake, and to calculate breeding values in sires based on their daughters' performance.

The results obtained by selecting for RFI can, of course, be used to make beef production predominantly pasture-based (Kerley, 2010) because, unlike feed conversion, selection based on RFI appears to select for lower consumption rates and lower maintenance requirements for animals without altering their adult weight or weight gain (Bezzera et al., 2013).

RFI is an individual record obtained in long-term feeding trials (lasting at least 70-84 days), in which animals are housed either individually or in groups, and accurate measurements are taken of the feed offered and refused daily, as well as the average daily gain.

Newer techniques using electronic devices that identify each animal individually, open specific feed bunks, and measure the feed intake of individual animals in groups can also be employed (Sainz & Paulino, 2004).

The primary biological mechanisms driving RFI appear to be intrinsically linked to animal metabolism. Previous studies have suggested that branched-chain amino acids, which play a signalling role in key metabolic pathways such as protein and lipid synthesis, could serve as potential RFI biomarkers. However, the plasma concentration of branched-chain amino acids in ruminants is significantly influenced by feed protein intake and nutrient flow to the duodenum, as with other nutrients (Cantalapiedra-Hijar et al., 2024). In a study of young Charolais bulls, two metabolites — α -amino adipic acid and 5-aminovaleric acid — were found to be associated with RFI, independently of feed intake. Both metabolites belong to the same metabolic pathway: lysine catabolism.

Richardson and Herd (2004) measured different factors influencing the RFI phenotype: body protein and lipid difference (5 %), feeding behaviour (2 %), activity level (10 %), digestion (10 %), and metabolic functions (73 %).

McKenna et al. (2018) investigated gene expression in adipose tissue in relation to feed efficiency, given that adipose cell size is known to be involved in regulating feed intake.

Mitochondrial respiration and RFI differ in magnitude between efficient and inefficient animals (Golden et al., 2008).

Of the 34 genes analysed in the rumen epithelium, the most efficient cattle according to RFI exhibited a higher abundance of genes involved in absorption, metabolism, ketogenesis, and the immune and inflammatory responses (Elolimy et al., 2018).



According to Silva et al. (2023), nutrient utilisation, energy metabolism, protein metabolism, vitamin metabolism, gut development and hindgut bacterial populations may be involved in RFI divergence in pre-weaning dairy calf offspring.

Even within the same breed, there is a significant difference in feed efficiency between individual animals raised under identical conditions. Beef cattle intake will vary by +/- 20 % from the predicted amount. This 40 % range describes the maximum and minimum efficiencies within the population. Research by Kerley (2010) measured an RFI range of approximately 5.89 kg (-2.9 to +2.9). Arthur et al. (2001) observed differences in RFI values of 0.69 and 0.66 for dry matter intake and feed conversion in Charolais cattle, respectively. This demonstrates that genetic selection for low RFI may result in lower dry matter intake and feed conversion. In a Simmental study group, high RFI heifers and bulls consumed 10 % and 15 % more feed, respectively, than their low RFI counterparts. The heifers also exhibited higher expression of lipogenesis-related genes than genetically similar bulls (McKenna et al., 2018). Meyer et al. (2008) compared RFI groups of grazing beef cows after classification had become widespread. Low RFI cows had a numerically lower dry matter intake of 21 %, but this difference was not significant.

RFI is estimated to have moderate heritability (h^2 of around 0.4, as cited by Basarab et al., 2006), providing a basis for genetic selection. Furthermore, predicting variance in feed efficiency can inform precision feeding approaches, which can improve resource efficiency and reduce environmental impact (Kerley, 2010; Cantalapiedra-Hijar et al., 2024).

The high genetic correlation between RFI and post-weaning adult RFI ($r_g = 0.98$) suggests that RFI selection could be used to improve feed efficiency in both growing and adult animals simultaneously (Bezzera et al., 2013). Silva et al. (2023) also found that selecting high-efficiency calves during the pre-weaning period could accelerate genetic selection in dairy cattle.

According to Basarab et al. (2006), who compared the selection of bulls and cows based on RFI phenotype, 80-90 % of genetic improvement in a herd comes from sires. They concluded that efficient bulls pass on superior feed efficiency genetics to their progeny, resulting in feed savings for calves in the feedlot and replacement heifers in the cow herd.

Kerley (2010) demonstrated that, in dairy cattle, pitting the most efficient one-third of calves against the least efficient one-third can reduce feed costs by 20 % or more. Selecting heifers with negative RFI rather than positive RFI improved the feed conversion ratio of their progeny by 11 %. Selecting efficient sires over inefficient ones improved progeny feed conversion by 14 %. The most efficient cows consumed 20 % less feed during the non-lactating period and 12 % less during the milking period than the least efficient cows.

In a pilot study in North America led by Basarab et al. (2006), selection for low RFI reduced cow herd maintenance requirements by 9-10 %, reduced feed intake by 10-12 %, and had no effect on average daily gain or mature size. It also reduced manure nitrogen, phosphorus, and potassium production by 15-17%. However, lower methane emissions per unit of dry matter intake have not yet been demonstrated in cattle with a more favourable RFI (Alende et al., 2016).

According to the literature, the correlation between RFI and other production traits, especially those related to growth performance, is somewhat controversial, as is the question of whether it would be sufficient to select only for RFI or whether it would be better to combine it with other traits and include it in a selection index. Sainz and Paulino (2004) claimed that genetic selection to reduce RFI could result in progeny that consume less feed without compromising growth performance. Arthur and Herd (2008) also demonstrated that, under ad libitum feeding conditions, RFI is phenotypically independent of growth traits and that the genetic relationship between RFI and fatness is weak,

requiring further investigation. Elolimy et al. (2018) found no differences in initial or final body weight or average daily gain between the two RFI classes established in finishing Red Angus bulls. There were no significant RFI $\times$ sex effects on growth performance or carcass traits. In the study by Hafla et al. (2012), bulls with low RFI phenotypes consumed 20 % less dry matter and had 10 % less backfat; however, they had similar average daily gain, scrotal circumference, and semen quality traits to those of high RFI bulls. The authors concluded that RFI should be incorporated into selection indices as it enables the selection of feed efficiency with minimal impact on growth and other performance traits. However, Kerley (2010) warned that, although RFI is independent of growth, care should be taken when using RFI as a selection criterion in unbalanced or single-trait selection approaches, as this could result in the selection of feed-efficient cattle with poor growth potential. Although RFI is not a production trait, Alende et al. (2016) found that activity and feeding behaviour differ in cattle with contrasting RFI: more efficient cattle are less active and have fewer daily feeding events.

3. MATERIALS AND METHODS

3.1 Farm conditions

The experiment was carried out at a progressive Blonde d'Aquitaine stud farm in Taliándörögd, a picturesque village in western Hungary. The farm was founded in 1993, with the first Blonde d'Aquitaine cattle being purchased in 2001. This breed was chosen for its excellent carcass weight, meat yield, and feed efficiency. The farm has a feedlot with a capacity of 220 cows and 200 bulls. Next to the feedlot is a barn designed for the Vytelle Sense system, which identifies the most efficient animals and collects phenotypic data (see *Figures 1a* and *1b*, and *Figure 2*). The company began using the system in 2022 and has opened its doors to other breeders, creating a unique opportunity for the beef industry to produce beef efficiently.



Figure 1a, 1b: Stable and pen

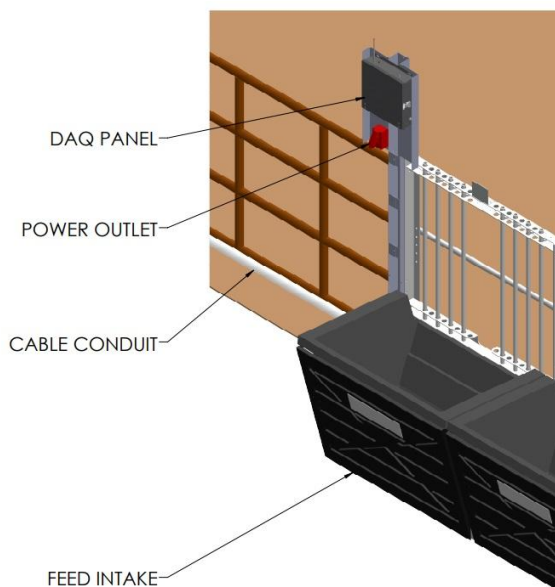


Figure 2: Parts of the feeding containers

The young bulls involved in the study were placed in two pens (pen 1, pen 2). Individuals were categorized into four groups, based on their RFI and ADG performances as shown in *Table 1*.

Table 1: Between-subjects factors

Subjects factor	Groups	Number of bulls
Pen	pen 1	14
	pen 2	15
RFI_ADG groups	Favorable RFI – Above Average ADG 1	8
	Unfavorable RFI – Above Average ADG 2	6
	Unfavorable RFI – Below Average ADG 3	9
	Favorable RFI – Below Average ADG 4	6

3.2 List of abbreviations and terms

The abbreviations used in this study are listed below.

DMI (Dry Matter Intake): The average daily dry matter intake of an animal during the test. DMI depends on the dry matter content of the feed provided during the trial period.

Start Wt.: Live weight at the start of the trial, on the start date.

End Wt.: Live weight at the end of the trial, with the end date.

ADG: Average Daily Gain.

Raw F:G: Feed to gain (F:G) ratio. Also referred to as feed conversion ratio (FCR). The F:G ratio refers to the amount of feed consumed per unit of weight gained on a dry matter basis. A lower ratio is considered more favourable. While selection for F:G (FCR) results in faster-growing animals, it is also associated with larger mature size.

Adj. F:G: Adjusted feed-to-gain ratio. It accounts for differences in animal age and size during the test. It is currently the standard for feed conversion efficiency used by the Beef Improvement Federation. The adjusted F:G ratio is calculated by multiplying the base F:G ratio by the trial group's



metabolic mid-weight, then dividing it by the individual's metabolic mid-weight. A lower adjusted F:G ratio is favourable.

Residual Feed Intake (RFI): RFI stands for residual feed intake. It is a measure of feed efficiency, calculated as the difference between an animal's actual and predicted feed intake at a given production level. When RFI is used as a genetic selection tool, the resulting progeny consumes less feed at the same production level. RFI is independent of growth, body size, and other performance traits. Selecting animals with low RFI leads to reduced feed intake and improved feed conversion efficiency without compromising body size, carcass quality or growth. Lower RFI values are favourable. Cattle with low RFI values are more efficient than those with high RFI values.

RADG (Residual Average Daily Gain) is the difference between an animal's actual weight gain and its predicted gain based on dry matter intake, body weight maintenance and fat cover. Although RADG and RFI appear similar in that they both contain the same or similar components, the two concepts work in very different ways. RADG puts each animal's feed intake on the same level and looks at differences in average daily gain, whereas RFI puts each animal's growth and body size on the same level and looks at differences in feed intake. When selecting for RADG, cattle with higher values are more desirable than those with lower values, meaning that they achieved a greater average daily gain for the same amount of feed. However, this measure is not independent of body size, so caution should be exercised if mature cow size is important to your herd.



3.3 Data of the pens

Table 2 shows the weight gain and RFI values of the young bulls included in the study per study group.

The average age of the bulls at the start and end of the trial was 318 days and 388 days, respectively. The age did not follow a normal distribution (Shapiro-Wilk test: 0.835, df: 29, $P \leq 0.001$), thus non-parametric tests were used (Mann-Whitney U-Test and Kruskal-Wallis Test).

Table 2: Data of ADG and RFI values according to the groups of RFI_ADG and groups of pens

Parameter	RFI_ADG group	Pen group	Mean	STD deviation	Number of bulls
ADG, kg/day	1	pen 1	1.72	0.148	5
		pen 2	1.63	0.085	3
		Total	1.69	0.131	8
	2	pen 1	1.64	0.090	4
		pen 2	1.64	0.141	2
		Total	1.64	0.094	6
	3	pen 1	1.40	0.104	3
		pen 2	1.46	0.066	6
		Total	1.44	0.079	9
	4	pen 1	1.28	0.085	2
		pen 2	1.37	0.083	4
		Total	1.34	0.088	6
	Total	pen 1	1.57	0.203	14
		pen 2	1.49	0.132	15
		Total	1.53	0.171	29
RFI, kg	1	pen 1	-0.73	0.395	5
		pen 2	-0.45	0.611	3
		Total	-0.63	0.467	8
	2	pen 1	0.85	0.511	4
		pen 2	0.78	0.028	2
		Total	0.83	0.397	6
	3	pen 1	0.75	0.799	3
		pen 2	0.74	0.745	6
		Total	0.74	0.712	9
	4	pen 1	-1.37	0.233	2
		pen 2	-0.97	0.297	4
		Total	-1.10	0.324	6
	Total	pen 1	-0.05	1.026	14
		pen 2	0.05	0.948	15
		Total	0.00	0.970	29



Table 3 shows that the individuals in pen 1 were 21 days older than those in pen 2 (MW: 29, $P \leq 0.001$).

Table 3: Age at the start and at the end of test, according to the pen code (pen 1: $n = 14$, pen 2: $n = 15$)

Parameter	Pen group	Mean	Std. Error of Mean
Start Age, day	1	328	4.306
	2	307	4.215
End Age, day	1	398	4.306
	2	377	4.215

Table 4 summarizes the ages at the beginning of the study and at the end of the study according to the RFI_ADG codes. The Kruskal-Wallis Test confirmed that the average age of the bulls in each group did not differ at the beginning or at the end of the study (KW: 1.980, df: 3, $P = 0.577$).

Table 4: Age at the start and at the end of experience according to the RFI_ADG_pen code (1: $n = 8$, 2: $n = 6$, 3: $n = 9$, 4: $n = 6$)

Parameter	RFI_ADG_group	Mean	Std. Error
Start Age, day	1	319	5.597
	2	312	6.483
	3	315	5.326
	4	323	6.483
End Age, day	1	389	5.597
	2	382	6.483
	3	385	5.326
	4	393	6.483

3.4 Statistical analysis

We used the SPSS (version 24) program packages in our study.

We checked the normal distribution of the examined data using the Shapiro-Wilk test (see Table 5). The results show that all our data met the conditions for a normal distribution. Therefore, variance analysis can be used in the study. Multivariate GLM (generalised linear model) is an extension of GLM that deals with more than one dependent variable and one or more independent variables. The structure of the multivariate GLM was as follows: intercept + pen code (1.2) + RFI_ADG groups (1-4). The dependent variables (y) were: Start Wt., End Wt., Avg. DMI, RADG, Raw F and Adj F. In this study, the independent variables were pen group (1.2) and the RFI_ADG groups (1-4). The model generated the main averages and determined the estimated average values according to the independent variables. The Bonferroni method ($\alpha = 0.05$) was used to calculate differences between the average values of the groups.



Table 5: Results of the test of normality (Shapiro-wilk) (n = 29)

Parameter	Statistic	df	Sig.
Start Wt., kg	0.983	29	0.898
End Wt., kg	0.986	29	0.956
Avg DMI, kg	0.952	29	0.209
RADG, kg/day	0.956	29	0.268
Raw F:G	0.971	29	0.597
Adj F:G	0.943	29	0.121

4. RESULTS AND DISCUSSION

Table 6 shows the main average values for the examined parameters.

The initial live weight of the examined individuals was 422.6 kg in average. At the end of the test, the live weight of the bulls was 106.7 kg more. In the case of both data, the relative deviation value was medium at 11-13 %. Regarding the Avg. DMI, the relative deviation value was similar (16 %) to the previous ones.

Table 6: Grand means on all parameters (n = 29)

Dependent Variable	Mean	Std. Error of Mean
Start Wt., kg	422.6	5.641
End Wt., kg	529.4	6.279
Avg DMI, kg	7.629	0.122
RADG, kg/day	-0.005	0.018
Raw F:G	5.046	0.107
Adj F:G	5.056	0.115

Table 7: Results of multivariate tests (n = 29)

Effect		Value	F	Hypothesis df	Error df	Sig.
Intercept	Pillai's Trace	1.000	32273.5	6.0	19.0	0.0001
Pen code	Pillai's Trace	0.407	2.2	6.0	19.0	0.0910
RFI_ADG_code	Pillai's Trace	1.783	5.1	18.0	63.0	0.0001

The relative deviation values for the raw F:G and Adj F:G results are 21 % and 23 % respectively, which can represent a suitable variance for selecting excellent bulls.

The results of the multivariate tests are summarized in *Table 7*. Among the two factors studied, the effect of the pen was not significant ($P > 0.05$), while the RFI_ADG group effect was significant ($P \leq 0.0001$).



The Levene's test showed that the error variances of the dependent variables were homogeneous ($P > 0.05$) for all parameters (Table 8).

Table 8: Levene's test for equality of error variances ($n = 29$)

Parameter	F	df1	df2	Sig.
Start Wt., kg	0.556	7	21	0.782
End Wt., kg	0.722	7	21	0.655
Avg DMI, kg	0.856	7	21	0.556
RADG, kg/day	1.585	7	21	0.195
Raw F:G	2.278	7	21	0.068
Adj F:G	1.689	7	21	0.166

Table 9 shows the different sources of variance in the adjusted model, regarding the constants, as well as regarding the two influencing factors. It can be seen, that in the case of the pen code, the empirical significance level (P) for all traits was greater than 0.05, so statistically verifiable differences were not detectable at this level of error. Accordingly, the average values of each group must be considered to be the same.

Table 9: Tests for between-subjects effects on all parameters ($n = 29$)

Source	Dependent Variable	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Pen group	Start Wt.	3728.186	1	3728.186	4.171	0.052
	End Wt.	3526.286	1	3526.286	3.185	0.087
	Avg DMI	0.150	1	0.150	0.358	0.555
	RADG	0.039	1	0.039	4.146	0.053
	Raw F:G	0.284	1	0.284	0.877	0.358
	Adj F:G	0.001	1	0.001	0.002	0.962
RFI_ADG_group	Start Wt.	1539.062	3	513.021	0.574	0.638
	End Wt.	7723.619	3	2574.540	2.325	0.100
	Avg DMI	20.000	3	6.667	15.910	0.000
	RADG	0.309	3	0.103	10.973	0.000
	Raw F:G	10.889	3	3.630	11.208	0.000
	Adj F:G	12.994	3	4.331	11.645	0.000

On the other hand, the RFI_ADG groups showed statistically guaranteed differences in all other parameters ($P \leq 0.0001$), with the exception of the initial and final weight data.



Table 10 shows the estimated means and standard deviations, grouped by the two pens. As the results in Table 11 show, there is no difference in performance between the two pens for any of the parameters ($P > 0.05$), so we can disregard the effect of the pens on performance.

Table 10: Estimated values of the dependent variables according to the pens (pen 1: $n = 14$, pen 2: $n = 15$)

Dependent Variable	Pen group	Mean	Std. Error of Mean
Start Wt., kg	Pen 1	434.5	8.210
	Pen 2	410.7	8.035
End Wt., kg	Pen 1	540.9	9.138
	Pen 2	517.7	8.943
Avg DMI, kg	Pen 1	7.705	0.178
	Pen 2	7.554	0.174
RADG, kg/day	Pen 1	-0.043	0.027
	Pen 2	0.034	0.026
Raw F:G	Pen 1	5.150	0.156
	Pen 2	4.942	0.153
Adj F:G	Pen 1	5.062	0.167
	Pen 2	5.050	0.164

Table 11: Results of the pairwise comparisons on dependent variables (pen 1 = 14, pen 2 = 15)

Dependent Variable	Pen group (i)	Pen group (j)	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.
Start Wt., kg	Pen 1	Pen 2	23.873	11.689	0.052
End Wt., kg	Pen 1	Pen 2	23.217	13.009	0.087
Avg DMI, kg	Pen 1	Pen 2	0.152	0.253	0.555
RADG, kg/day	Pen 1	Pen 2	-0.077	0.038	0.053
Raw F:G	Pen 1	Pen 2	0.208	0.222	0.358
Adj F:G	Pen 1	Pen 2	0.011	0.238	0.962

The results of the four groups according to the RFI_ADG are Tables 12-13.

The average initial and final weights of the bulls are not different ($P > 0.05$) and are the same for the four groups. If better feed conversion or weight gain had been observed among the individuals studied, bulls with identical starting weights would have achieved these results.

The fact that the bulls in the second pen were 21 days younger yet performed similarly to those in the first pen suggests that the rearing conditions (housing and feeding) were favourable.



Table 12: Estimated values of the dependent variables according to the RFI_ADG codes (1: n = 8, 2: n = 6, 3: n = 9, 4: n = 6)

Dependent Variable	RFI_ADG_group	Mean	Std. Error of Mean
Start Wt., kg	1	428.141	10.670
	2	432.395	12.359
	3	414.732	10.154
	4	415.200	12.359
End Wt., kg	1	546.260	11.876
	2	547.187	13.756
	3	515.112	11.301
	4	508.891	13.756
Avg DMI, kg	1	7.105	0.231
	2	8.621	0.268
	3	8.306	0.220
	4	6.485	0.268
RADG, kg/day	1	0.117	0.035
	2	0.081	0.040
	3	-0.055	0.033
	4	-0.163	0.040
Raw F:G	1	4.233	0.203
	2	5.240	0.235
	3	5.834	0.193
	4	4.878	0.235
Adj F:G	1	4.164	0.218
	2	5.131	0.252
	3	5.949	0.207
	4	4.980	0.252

As shown in *Table 13*, the performance of Group 1 (Favourable RFI – Above Average ADG 1) was statistically more favourable than that of Groups 2 and 3 in AV_DMI (1 vs 2 Group: -1.517 kg, $P \leq 0.001$; 1 vs 3 Group: -1.202 kg, $P \leq 0.006$).

Regarding the RADG parameter, Group 1's average performance did not differ from Group 2's, but differed significantly from Groups 3 and 4's results, favouring Group 1 (Group 1 vs Group 3: 0.172 g/day, $P \leq 0.009$; Group 1 vs Group 4: 0.280 g/day, $P \leq 0.0001$).

The same situation applies to Raw F:G and Adj F:G: Group 1 showed statistically significant better performance compared to Groups 2 and 3 (Raw F:G: 1 vs 2 Group: -1.008, $P \leq 0.019$; 1 vs 3 Group: -1.601, $P \leq 0.0001$. For Adj F:G, the values were: 1 vs 2 Group: -0.968, $P \leq 0.043$; 1 vs 3 Group: -1.785, $P \leq 0.0001$).

The AV_DMI value of bulls belonging to Group 4 was more favourable than that of Groups 2 and 3 (Group 4 vs Group 2: -2.136 kg, $P \leq 0.0001$; Group 4 vs Group 3: -1.821 kg, $P \leq 0.0001$). Conversely, their RADG values were less favourable (Group 4 vs Group 1: -0.280 g/day, $P \leq 0.0001$; Group 4 vs



Group 2: -0.244 g/day, $P \leq 0.002$). Therefore, these individuals produced lower weight gains from smaller feed intakes than the bulls in Group 1 on average.

Table 13: Results of the pairwise comparisons on dependent variables (1: $n = 8$, 2: $n = 6$, 3: $n = 9$, 4: $n = 6$)

Dependent Variable	RFI_ADG_group (I)	RFI_ADG_group (J)	Mean Difference (I-J)	Std. Error of Mean	Sig.
Avg DMI, kg	1	2	-1.517*	0.350	0.001
		3	-1.202*	0.323	0.006
		4	0.620	0.357	0.574
	2	3	0.315	0.351	1.000
		4	2.136*	0.383	0.000
	3	4	1.821*	0.341	0.000
RADG kg/day	1	2	0.036	0.052	1.000
		3	0.172*	0.048	0.009
		4	0.280*	0.053	0.000
	2	3	0.136	0.053	0.096
		4	0.244*	0.057	0.002
	3	4	0.108	0.051	0.272
Raw F:G	1	2	-1.008*	0.307	0.019
		3	-1.601*	0.284	0.000
		4	-0.645	0.314	0.306
	2	3	-0.593	0.309	0.401
		4	0.362	0.337	1.000
	3	4	0.956*	0.300	0.024
Adj F:G	1	2	-0.968*	0.330	0.043
		3	-1.785*	0.304	0.000
		4	-0.817	0.337	0.139
	2	3	-0.817	0.331	0.127
		4	0.151	0.361	1.000
	3	4	0.968*	0.321	0.036

* The mean difference is significant at the 0.05 level.

According to our analysis, Group 1 was the most valuable, as these individuals – despite having the same starting weight – had better feed consumption, greater weight gain and higher feed efficiency than individuals in Groups 2 and 3.

Despite the favourable feed intake of Group 4, the data shows that this resulted in lower weight gain and feed sales compared to the other groups.

According to Kerley (2010), selection for RFI has not been associated with any other phenotypic traits. However, he points out that there is a consensus that selecting for RFI alone would be a mistake. In their experiment, they used calves in the top 10 % for efficiency and bottom 10 % for growth to calculate the benefits of selecting for feed efficiency in terms of feed cost and feed conversion ratio.



Bezzera et al. (2013) also concluded in their review that studies evaluating the genetic and phenotypic correlations between RFI and growth traits have shown that RFI variation is independent of body weight and weight gain, both phenotypically and genotypically.

Elolimy et al. (2018) found no differences in initial body weight, final body weight or average daily gain between the two RFI groups they defined in Red Angus cattle in the fattening phase.

5. CONCLUSION

- The domestic adaptation of the Vytelle system was successful. The performance of the bulls in the second pen, which were 21 days younger, matched that of the bulls in the first pen in the studied parameters. This indicates that the rearing conditions were favourable for the actual performance.
- It is an important finding that the "pen effect" does not influence performance, so no correction is needed in this direction (Sig.: 0.091, $P > 0.05$).
- The performance of Group 1 (Favourable RFI – Above Average ADG) in AV_DMI compared to Group 2 (Unfavourable RFI – Above Average ADG) and Group 3 (Unfavourable RFI – Below Average ADG) was statistically more favourable (1 vs 2 group: -1.517 kg, $P \leq 0.001$; 1 vs 3 group: -1.202 kg, $P \leq 0.006$). This suggests that there is a significant relationship between RFI and DMI, which is also confirmed by the studies of Holló et al. (2022).
- Regarding the RADG parameter, the average performance of group 1 (Favourable RFI – Above Average ADG) differed significantly from the results of Groups 3 and 4 both with values below average ADG (1 vs 3 group: 0.172 g/day, $P \leq 0.009$; 1 vs 4 group: 0.280 g/day, $P \leq 0.0001$). This may indicate that there is a close relationship between RADG and ADG values.
- The results suggest that categorizing young bulls into four groups based on RFI and ADG is sufficiently differentiated for selection purposes. Considering all the examined parameters, the average performance of the bulls in the first group was the most favourable.
- Selection to improve the F:G ratio (feed conversion ratio) could be important in Hungary to produce bulls with larger mature size, provided there is a market demand for such traits.



A magyar blonde d'Aquitaine tenyészbika jelöltek első eredményei a Vytelle rendszerben

DEMÉNY MÁRTON^{1,5*}, PÁBLE TAMÁS², FAZEKAS NATASA³, RÉVÉSZ MÁRTON⁴, TŐZSÉR JÁNOS⁵

¹ Limousin és Blonde d'Aquitaine Tenyésztők Egyesülete, Budapest

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0006-0709-1357>

Email: demenymarton@gmail.com

² Te Mania Angus, 1830 Woolsthorpe-Hexham Rd Hexham VIC 3273, Victoria, Ausztrália

³ Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Szent István Campus

Állattenyésztési Tudományok Intézet, Gödöllő

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0004-1790-9234>

⁴ Dörögdi Mező Kft., Taliándörögd

⁵ Széchenyi István Egyetem, Albert Kázmér Mosonmagyaróvári Kar

Állattudományi Tanszék, Mosonmagyaróvár

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

*Corresponding author/Levelező szerző

ÖSSZEFOGLALÁS

Napjainkban a gazdasági és környezettudatossági szempontok határozzák meg a közgondolkodást, így a húsmarhák tenyész kiválasztásában sem csak a minél nagyobb testméret elérésére törekszenek, hanem fontos szemponttá vált takarmányozási költségek és a metánkibocsátás csökkentése. A számítógép vezérelt automatikus takarmányozási rendszerek segítségével mérhető az állatok pontos takarmányfelvétele, így meghatározható az RFI értékmérő, ami azt az állat által valóban elfogyasztott és az élősúly, valamint a testtömeggyarapodásának mértéke által elvárt takarmányfelvétel különbségét fejezi ki.

A Vytelle rendszer alkalmazásával takarmányozott, két karámban elhelyezett 29 blonde d'Aquitaine tenyészbika jelöltet vizsgáltunk 2024-ben, Taliándörögdön. Az állatokat az RFI értékük és az átlagos napi testtömeggyarapodásuk alapján négy csoportba soroltuk és a termelési adataikat többváltozós GLM módszerrel elemeztük.

Karámhatással az eredményeink alapján nem kell számolni, a tartástechnológia elemei tökéletesen megfeleltek a célnak. A négy csoport meghatározása takarmányértékesítés és napi tömeggyarapodás alapján elégségesnek bizonyult a szelekcióhoz. Az összes vizsgált értékmérő alapján az előnyös RFI – átlagon felüli napi testtömeggyarapodás csoport növendék bikái értékelhetők a legkedvezőbbnek.

Kulcsszavak: Vytelle rendszer, összehasonlító takarmányértékesítés, napi testtömeggyarapodás, blonde d'Aquitaine, tenyészbika jelöltek



REFERENCES

- Alende, M., Lancaster, P. A., Spangler, M. L., Prodomingo, A. J., & Andrae, J. G. (2016). Residual feed intake in cattle: Physiological basis. *Revista Argentina de Produccion Animal* 36(2), 49-56.
- Arthur, P. F., Renand, G., & Krauss, D. (2001). Genetic parameters for growth and feed efficiency in weaner versus yearling Charolais bulls. *Australian Journal of Agricultural Research*, 52(4), 471-476. <https://doi.org/10.1071/AR00070>
- Arthur, P. F., & Herd, R. M. (2008). Residual feed intake in beef cattle. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37 (spe), 269-279. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982008001300031>
- Basarab, J., Crews, D., Moore, S. S., Ramsey, P., French, N., & McKinnon, S. (2006). Residual feed intake (net feed efficiency) in beef cattle. *Agri-Facts: Practical Information for Alberta's Agriculture Industry*, 420(11), 1-4.
- Bezzerá, L. R., Sarmiento, J. L. R., Neto, S. G., Oliveira de Paula, R. N., Oliveira, L. R., & Fontes do Rêgo, W. M. (2013). Residual feed intake: A nutritional tool for genetic improvement. *Tropical Animal Health and Production*, 45, 1649-1661. <https://doi.org/10.1007/s11250-013-0435-y>
- Bormann, M., & Rolf, M. M. (2022). Relationships between enteric methane production and economically important traits in beef cattle. *Livestock Science*, 265, 105102. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2022.105102>
- Cantalapiedra-Hijar, G., Nedelkov, K., Crosson, P., & McGee, M. (2024). Some plasma biomarkers of residual feed intake in beef cattle remain consistent regardless of intake level. *Scientific Reports*, 14, 8540. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-59253-7>
- Elolimy, A. A., Abdelmegeid, M. K., McCann, J. C., Shike, D. W., & Looor, J. J. (2018). Residual feed intake in beef cattle and its association with carcass traits, ruminal solid-fraction bacteria, and epithelium gene expression. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 9(67), <https://doi.org/10.1186/s40104-018-0283-8>
- Golden, J. W., Kerley, M. S., & Kolath, W. H. (2008). The relationship of feeding behavior to residual feed intake in crossbred Angus steers fed traditional and no-roughage diets. *Journal of Animal Science*, 86(1), 180-186. <https://doi.org/10.2527/jas.2005-569>
- Hafla, A., Lancaster, G., Carstens, D., Forrest, J., Fox, T., Forbes, M. D. R., Randel, J., & Holloway, J. (2012). Relationships between feed efficiency, scrotal circumference, and semen quality traits in yearling bulls. *Journal of Animal Science*, 90(11), 3937-3944. <https://doi.org/10.2527/jas.2011-4029>
- Herd, R. M., Oddy, V. H., & Richardson, E. C. (2004). Biological basis for variation in residual feed intake in beef cattle 1: Review of potential mechanisms. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 44(5), 423-430. <https://doi.org/10.1071/EA02220>
- Holló, G., Nagy-Kiszlinger, H., Tossenberger, J., Török, M., & Húth, B. (2022). Individual Feed Efficiency Monitoring of Charolaise Candidate Young Bulls in Relation to Feeding Behavior and Self-Performance Test Results. *Animals*, 12(1), 35. <https://doi.org/10.3390/ani12010035>
- Kerley, M. S. (2010). Impact of selection for residual feed intake on forage intake by beef cows and feed efficiency of progeny (pp. 39-49). University of Missouri, Division of Animal Sciences. <https://animal.ifas.ufl.edu/apps/dairymedia/rns/2010/4-Kerley.pdf>
- Lakamp, A. D., Weaver, L. R., Bormann, J. M., & Rolf, M. M. (2022). Relationships between enteric methane production and economically important traits in beef cattle. *Livestock Science*, 265, 105102. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2022.105102>



- Marín, M. F., Naya, H., Espasandin, A. C., Navajas, E., Devincenzi, T., & Carriquiry, M. (2024). Energy efficiency of grazing Hereford heifers classified by paternal residual feed intake. *Translational Animal Science*, 8, txae005. <https://doi.org/10.1093/tas/txae005>
- McKenna, C., Porter, R. K., Keogh, K. A., Waters, S. M., McGee, M., & Kenny, D. A. (2018). Residual feed intake phenotype and gender affect the expression of key genes of the lipogenesis pathway in subcutaneous adipose tissue of beef cattle. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 9(68). <https://doi.org/10.1186/s40104-018-0282-9>
- Meyer, A. M., Kerley, M. S., & Kallenbach, R. L. (2008). The effect of residual feed intake classification on forage intake by grazing beef cows. *Journal of Animal Science*, 86(10), 2670-2679. <https://doi.org/10.2527/jas.2007-0642>
- Minton, N. O. (2010). Improvement of feed efficiency in beef cattle through selection upon residual feed intake (RFI) [Master's thesis, University of Missouri–Columbia]. <https://doi.org/10.32469/10355/10520>
- Sainz, R. D., & Paulino, P. V. (2004). Residual feed intake. Sierra Foothill Research and Extension Center, UC Davis. <https://escholarship.org/uc/item/9w93f7ks>
- Silva, C. S. d., Leao, J. M., Lage, C. F. A., Coelho, S. G., & Campos, M. M. (2023). Residual feed intake as an efficiency metric for pre-weaning dairy calves: What do we know? *Life*, 13(8), 1727. <https://doi.org/10.3390/life13081727>
- Richardson, E. C., & Herd, R. M. (2004). Biological basis for variation in residual feed intake in beef cattle. Part 2: Synthesis of results following divergent selection. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 44(5), 431-440. <https://doi.org/10.1071/EA02221>

©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/).





The Effect of Dietary Crude Fibre Content on Eimeria Oocyst Excretion and the Production of Fattening Rabbits

CSONGOR DEMETER¹, ANETT DEMETER-JEREMIÁS², ZOLTÁN NÉMET³, MÁTÉ SÁNDOR⁴, ANDRÁS
MAYER⁵, ZSOLT GERENCSÉR⁵, ERIKA LENCSÉS-VARGA⁶, ZSOLT MATICS^{6*}

¹Cargill Hungary Ltd., Budapest, Hungary

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-1283-3504>

²S&K-LAP Ltd., Kartal, Hungary

³University of Veterinary Medicine, Department of Pathology, Üllő, Hungary

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-2044-1554>

⁴Tetrabbit Ltd., Baja, Hungary

⁵Hungarian University of Agriculture and Life Sciences, Kaposvár Campus

Institute of Animal Sciences, Kaposvár, Hungary

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-3724-1740>

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-0987-1588>

⁶Albert Kázmér Faculty of Agricultural and Food Sciences of Széchenyi István University

Department of Animal Science, Mosonmagyaróvár, Hungary

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-6922-8551>

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-6826-1176>

Email: matics.zsolt@sze.hu

*Corresponding author/Levelező szerző

Received/Érkezett: 13.12.2024

Revised/Átdolgozva: 10.01.2025

Accepted/Elfogadva: 15.02.2025

Published/Megjelent: 27.06.2025

ABSTRACT

The aim was to investigate the effect of dietary crude fibre (CF) content on Eimeria excretion and production in fattening rabbits. Weaned rabbits were divided into two groups: The control group (C) was fed a commercial pelleted diet (CF = 17%); the high-fibre group (HF) was fed a diet with a higher fibre content (CF = 24%). In Experiment 1, the production of 90 rabbits per group was compared and mortality data and faecal samples from 800 rabbits per group were analysed. In Experiment 2, the production of 90 growing rabbits and the faecal samples and mortality of 1050 animals per group were studied. Although feed consumption did not differ between groups, the HF group had lower weight gain than the C group ($P < 0.001$). The body weight of the HF group was lower at the end of fattening ($P < 0.001$). The HF group had a very unfavourable feed conversion ratio (4.07). Mortality was not different between the groups. In both groups, Eimeria oocysts were detected in faecal samples from 44-45 days of age until the end of fattening. A higher proportion of moderately pathogenic Eimeria species was detected in the C group compared to the HF group, and highly pathogenic oocysts were observed only in the C group.

Keywords: *Oryctolagus cuniculus*, fibrous diet, growth performance, oocysts, Eimeria



1. INTRODUCTION

Rabbit farmers face many challenges these days. Rising feed prices are putting farms in an increasingly difficult economic position. In addition, gastro-intestinal diseases in rabbits and the resulting mortality further aggravate the situation. The price of rabbit feed can be reduced somewhat by using by-products from the milling industry. Due to their high fibre content, they can have a beneficial effect on the digestive system of rabbits. While the impact of high dietary fibre on rabbit production has been studied, to our knowledge, no literature exists on the effect of high dietary fibre on *Eimeria* species, which parasitise the digestive tract of rabbits and cause coccidiosis.

2. LITERATURE REVIEW

Nowadays, several social, economic and geopolitical problems have significantly reduced the demand for rabbit meat and the profitability of rabbit meat production. The situation has been exacerbated by a trend towards increased demand from other livestock sectors for by-products that were previously used primarily as rabbit feed. As with most livestock species, the highest cost item in rabbit production is rabbit feed, which represents almost 45 % of the total cost of rabbit production in Spain, 55-60 % in France and 73-78 % in Hungary (Cartuche et al., 2014; Coutelet, 2015; Juráskó, 2017). Feeding of suckling rabbits accounts for about one third (31.3 %) of the total feed costs (Cartuche et al., 2014), while the remaining high proportion of feed costs occurs mainly in the last two thirds of the fattening period, due to deteriorating feed utilisation of the animals and frequent animal health problems.

In addition to the problems affecting the rabbit industry, overcoming intestinal problems in rabbits is a daily challenge, and reducing these problems is essential for economic production. In rabbit production, gastrointestinal diseases are most common in the post-weaning period (Carabaño et al., 2008; Gidenne, 2015). Post-weaning diarrhoea can affect the entire flock and, without proper treatment, mortality can reach 30-80 %. The rabbit is an herbivore, and its digestive physiology is well adapted to the high intake of plant cell walls. The rabbit's fibre requirement is particularly high in the post-weaning period (Lebas et al., 1998). Increasing the fibre content of the diet while reducing the starch content may help to prevent digestive problems (Gidenne et al., 2004; Martínez Vallespin et al., 2011). However, some studies contradict these findings (Gutierrez et al., 2002).

According to Gidenne (2015), a minimum of 55 g lignin, 130 g cellulose and 120 g hemicellulose per kg feed is recommended for rabbits in the 2-3 weeks after weaning. The lignin/cellulose (> 0.40) and digestible fibre/acid detergent fibre (DgF/ADF; ≤ 1.3) ratios are also important.

In rabbit farms, epizootic rabbit enteric disease (ERE) causes the greatest losses worldwide, including Hungary. According to several researchers, there is an obvious synergy between ERE and coccidiosis (Licois & Coudert, 2001). Although the digestive system of poultry is different from that of rabbits, several studies have shown that a diet rich in fibre can reduce the risk of digestive disorders in broilers. Sadeghi et al. (2020) reported that supplementing the basal diet with rice hulls (40 g/kg) and soybean hulls (40 g/kg) could reduce the adverse effects of coccidiosis on duodenal villus height. Similarly, Shang et al. (2020) found that dietary supplementation with wheat bran (30 g/kg) increased villus height and the ratio of villus height to crypt depth.

Based on the above, the aim of this study was to investigate whether an extra high crude fibre diet (24 % crude fibre compared to 17 % crude fibre) affects *Eimeria* oocyst shedding, production performance and mortality in young rabbits. The study focused on the number of *Eimeria* oocysts

detected in faecal samples, as the relationship between oocyst numbers and dietary fibre content has not been previously studied.

3. MATERIALS AND METHODS

Rabbits were treated according to the principles of the European Directive 2010/63/EU and the Hungarian legislation (32/1999. /III. 31./ and 178/2009. /XII. 29./). The study was approved by the Institutional Animal Welfare Committee of the Hungarian University of Agricultural and Life Sciences, Kaposvár Campus, Hungary (MATE KC-MÁB/2024/9/2).

3.1 Animals, housing

Two experiments were conducted in two rabbit farms of Tetrabbit Ltd. in Hungary (Experiment 1: Vaskút; Experiment 2: Dabas) with Hycole weaned rabbits (*Figure 1*), originating from the same breeding farm of Tetrabbit integration in Fülöpháza (Vaskút is 118 km and Dabas is 46 km from the breeding farm Fülöpháza).

At both sites, the ambient temperature was 18-22 °C and the light schedule was 8L:16D. In Experiment 1 (Vaskút), individual body weights of 90 rabbits per group were measured and weight gain was assessed, and mortality data and faecal samples of 1600 rabbits (800 individuals per group) kept under the same conditions (in the same building and housing technology) were analysed. In the first study, the automatic feed dispenser system used at the farm did not allow accurate measurement of feed intake and evaluation of feed consumption and feed conversion. In Experiment 2, production data of 90 animals per group (individual body weight and weight gain, feed consumption per cage and feed conversion) and mortality and faecal samples of 1050 animals per group (kept under the same conditions) were analysed.

Experiment 1 was conducted between 37 and 72 days of age and Experiment 2 between 38 and 66 days of age.



Figure 1: Hycole growing rabbits

The rabbits were kept in wire mesh cages in both farms (*Figure 2*). Meneghin Pratica Rimonta cages were used at the Dabas farm and Pratica single tier cages at the Vaskút farm. During the growing period, 5-5 individuals were housed in each cage (cage size: 0.38 m x 0.87 m x 0.32 m; stocking density: 15 rabbits/m²). Within the buildings, the rabbits of each group were placed in equal proportions in each part of the building and in each row of cages.



Figure 2: Housing system

3.2 Feed and water

Weaned rabbits were divided into 2 groups based on the rabbit feed used in the study: rabbits in the control (C) group were fed a commercially available pelleted complete diet, whereas rabbits in the experimental group were fed a special high-fibre (also lower in energy and crude protein) commercial diet (high-fibre group; HF).

The composition and nutrient content of the diets are shown in *Table 1*.



Table 1: Ingredients and chemical composition of the diets

Items	Diet	
	Control	High Fibre
Ingredients, %		
Alfalfa, CP 16-18 %	33.0	36.0
Soy hulls, CF 32-36 %	1.00	12.0
Wheat bran	30.0	20.0
Sugar beet pulp, SUG < 10 %	3.00	2.00
Barley	5.00	6.10
Sunflower meal, CF 16-20 %	15.0	10.0
Oat	5.00	3.00
Molasses	3.00	2.00
Sunflower hulls	2.00	5.00
Arbocel	0.500	2.00
Sunflower oil	1.00	1.00
Calcium Carbonate	0.900	0.200
Salt	0.200	0.200
Rabbit Premix 0.3 %	0.300	0.300
L-Lysine HCL	0.050	0.100
DL-Methionine	0.020	0.020
Nutrient content		
DE rabbit, MJ	9.00	8.40
Crude protein, %	16.0	14.3
Crude fat, %	2.90	2.70
Crude fibre, %	17.5	24.0
NDF, %	38.0	43.6
ADF, %	22.0	28.3
ADL, %	5.70	6.40
Cellulose, %	17.2	22.3
Hemicellulose, %	15.3	15.1
Digestible fibre/ADF	1.03	0.80

The diets contained antibiotics and coccidiostats (Robenidine 66 ppm and Valnemulin 30 ppm).

Rabbits on both farms were allowed to drink ad libitum from nipple drinkers. The quality of the drinking water was tested for pH, total microbial count and enterobacteria using ATP (Ensure Touch) and DIP slide (Liofilchem Contact sile II). The parameters tested met the quality criteria for large livestock farms (Table 2).

Table 2: Water quality parameters at the two farms

Groups	pH	Total plate count, cfu/ml	Enterobacteria, cfu/ml	ATP
Experiment 1	7.4	10^1 - 10^2	0	28
Experiment 2	6.8	10^1	0	11



3.3 Production data

In both studies, the individual body weights of the rabbits were measured weekly ($n = 90$ rabbits/group), from which the average daily weight gain was calculated. In the second study, the amount of feed consumed per cage was also recorded ($n = 18$ cages/group), from which the feed conversion ratio was calculated. Mortality was recorded daily in both studies.

3.4 Parasitological investigations: faecal sampling and analysis

In all cases, pooled samples were collected from the droppings channel under the rabbit cages. Sampling was performed after daily manure removal. A minimum of 2-5 g of samples per row of cages was collected from the first, middle and last third of the row and pooled, i.e. the samples were not individual samples from each animal, but a pooled sample consisting of the same age group of rabbits in the barn ($n = 3$ samples per group per week). Flotation tests were carried out at the S&K-Lap Ltd. laboratory within 48 hours of collection. The solution used for surface enrichment was a mixture of 400 g magnesium sulphate (MgSO_4) and 1 litre of distilled water. Faecal samples were processed according to the McMaster method as recommended by the Royal Veterinary College and the FAO (RVC/FAO Guide to Veterinary Diagnostic Parasitology, n.d.). During the tests, the number of *Eimeria* oocysts was counted and expressed as OPG (oocysts per gram) based on Demeter et al. (2023).

Later, the samples from Experiment 2 were separated for further sporulation procedures to identify the *Eimeria* species. The same magnesium sulphate solution was used for sporulation of oocysts and the filtered liquid was stored in a plastic cup at room temperature (20-24 °C). After 4 days, the first 20 oocysts (maximum) were randomly identified from the positive samples tested. *Eimeria* species were identified using a size and morphological identification key (Eckert et al., 1995; Taylor et al., 2016) with a Nikon Optiphot-2 microscope and special software (Aenscope) that digitally displays the microscope image and allows digital measurement of width and length with a valid ruler. Magnifications of 100x and 200x were used during the tests.

3.5 Statistical analysis

The normal distribution of the data was checked using the Shapiro-Wilk method. The production traits studied showed a normal distribution. Production traits (body weight, weight gain, feed consumption and feed conversion ratio) were compared by independent samples t-test using R software (R Core Team, 2021). The chi-squared test was used to evaluate mortality (alpha value: 0.05).



4. RESULTS

In this chapter, the results of the two performed tests are discussed separately.

4.1 Experiment 1

4.1.1 Body weight and weight gain

Body weight of rabbits randomly divided into the two dietary groups did not differ at weaning (*Table 3*).

Table 3: Body weight and weight gain of rabbits depending on the diet in Experiment 1

Age, day	Diet		P-value
	Control	High Fibre	
Body Weight, g			
37	1108	1125	0.556
44	1308	1219	0.038
51	1592	1424	< 0.001
58	1691	1463	< 0.001
65	2112	1782	< 0.001
72	2383	2009	< 0.001
Weight gain, g/day			
37-44	28.7	13.1	0.027
44-51	40.4	29.2	0.124
51-58	14.1	5.52	0.199
58-65	60.2	45.6	0.109
65-72	38.8	32.4	0.443
37-72	36.4	25.3	< 0.001

During the first week of fattening, the weight gain of the rabbits on the high fibre diet was drastically lower than that of the rabbits on the control diet (-54.4 %; $P < 0.05$; *Table 3*), resulting in the body weight of the high-fibre group being lower than that of the control group at 44 days of age (-6.8 %; $P < 0.05$; *Table 3*). Although there was no difference in the weight gain of the two groups during the later weeks of fattening, the difference in body weight between the two diets remained significant throughout the growing period and even increased (-10.6 %, -13.5 % and -15.6 % at 51, 58 and 65 days of age, respectively; $P < 0.001$). At the end of the finishing period, the rabbits in the high-fibre group were 15.7 % smaller than those in the control group ($P < 0.001$). At 51-58 days of age, there was a significant decrease in weight gain in both groups, regardless of diet. Daily weight gain calculated for the entire fattening period (37-72 days of age) was 30.5 % lower in the high-fibre group than in the control group ($P < 0.001$; *Table 3*).

4.1.2 Mortality

Based on the data collected from the larger number of animals (800 rabbits/group), there was no difference in group mortality calculated over the entire fattening period (5.50 % vs. 5.75 % in the control and high-fibre groups, respectively; $P = 0.828$). The dead rabbits showed symptoms of ERE (Epizootic Rabbit Enteropathy).

In several cases, the mortality of both groups exceeded the daily mortality rate of 0.2 % considered critical in industrial practice (control group: 14 times; high-fibre group: 10 times; Figure 3). Mortality curves peaked between 53 and 60 days of age in both the control and high-fibre groups. In the High-fibre group, extremely high mortality was observed at 58 days of age, but no mortality was observed after 60 days of age, while in the control group, mortality was also observed in the last 2 weeks of fattening.

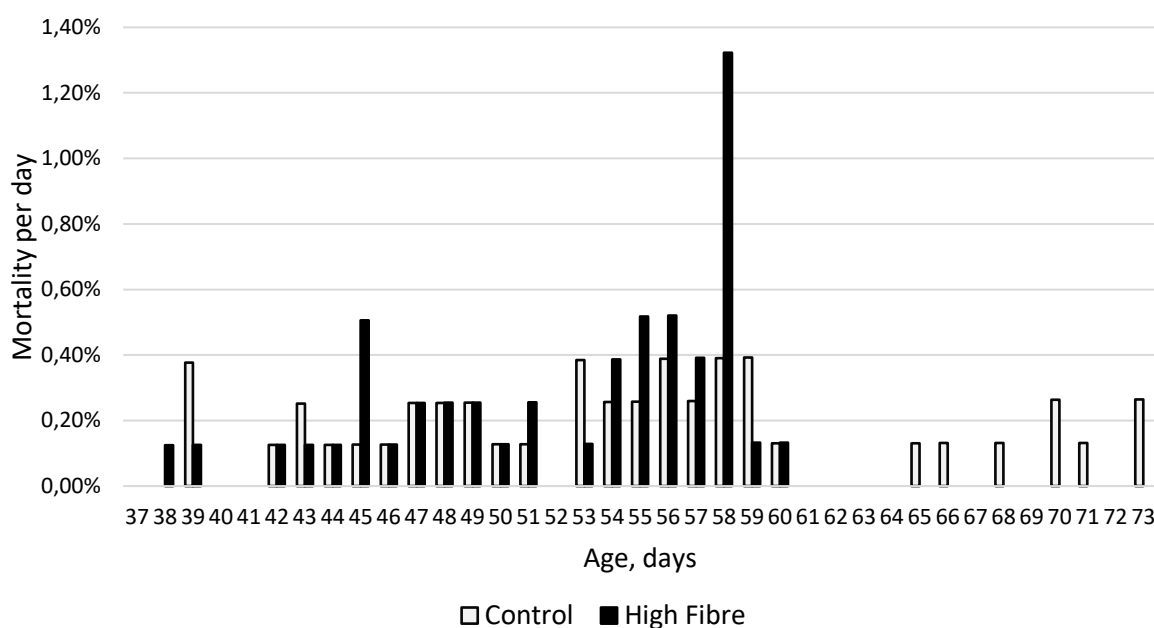


Figure 3: Daily mortality of the Control and High-fibre groups during the fattening period in Experiment 1

4.1.3 Parasitology

The parasitological results of the weekly samples show that the occurrence of oocysts was independent of the diet, but the number of oocysts per gram of faecal sample indicated partly different trends (Figure 4). At 56 and 64 days of age, the number of oocysts per gram of faecal sample appeared to be lower in the high-fibre group than in the control group.

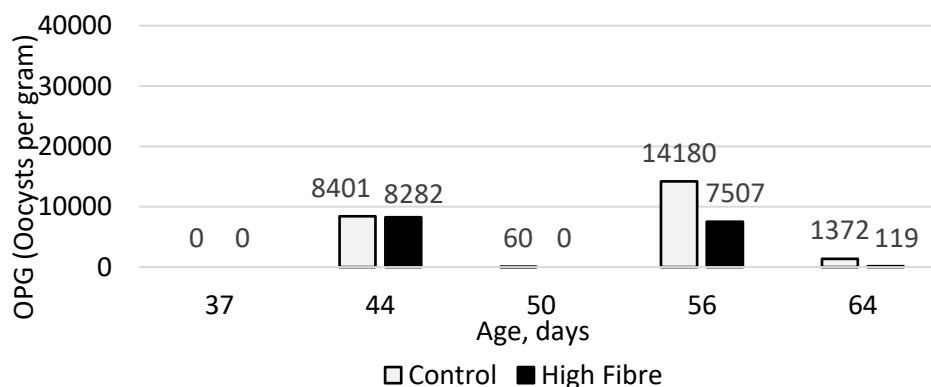


Figure 4: OPG (oocysts per gram) values in faecal samples of groups at different ages in Experiment 1



4.2 Experiment 2

4.2.1 Body weight and weight gain

At the beginning of fattening, the groups did not differ in body weight (*Table 4*). At 38-45, 52-59 and 59-66 days of age, the high-fibre group had 21.6 %, 44.7 % and 17.3 % lower body weights than the control group (*Table 4*). A significant difference was found between the weight gains of the groups when calculated for the entire fattening period (38-66 days of age; -22.1 %; $P < 0.001$). As a result of the above data, the body weight of the high-fibre group was lower than that of the control group throughout the fattening period and the difference increased with age (at 45 day: -4.43 %, $P < 0.01$; at 52 day: -5.24 %, $P < 0.05$; at 59 day: -11.05 %, $P < 0.001$; at 66 day: -11.95 %, $P < 0.001$).

Table 4: Body weight and weight gain of the rabbits depending on the diet in Experiment 2

Age, day	Diet		P-value
	Control	High Fibre	
Body Weight, g			
38	1156	1166	0.314
45	1513	1446	0.009
52	1735	1644	0.014
59	2073	1844	< 0.001
66	2377	2093	< 0.001
Weight gain, g/day			
38-45	51.0	40.0	0.002
45-52	31.5	27.2	0.293
52-59	49.2	27.2	< 0.001
59-66	43.4	35.9	0.002
38-66	43.6	34.0	< 0.001

4.2.2 Feed consumption and feed conversion ratio

The feed consumption of the groups differed significantly only in the first week of fattening, the high-fibre group consumed less feed (days 38-45: -9.75 %; $P < 0.05$; *Table 5*).

Although there were no differences in feed consumption between the groups during the later weeks of life and throughout the entire fattening period, due to the differences in weight gain, the feed conversion ratio of the high-fibre group was significantly worse than the feed conversion ratio of the control group (days 38-45: +16.4 %, $P < 0.05$; 52-59 days: +82.2 %, $P < 0.001$; 59-66 days: +20.0 %, $P < 0.05$; *Table 5*). During the fattening period, the feed conversion ratio of the high-fibre group was 28.8 % lower than that of the control group ($P < 0.001$).

4.2.3 Mortality

Over the entire fattening period, the difference in mortality between the two large groups studied (1050 rabbits/group) was not statistically significant (control group: 13.1 %, high-fibre group: 10.6 %; $P = 0.068$).

Mortality in both groups frequently exceeded the 0.2 % daily mortality rate considered critical in large-scale farming (23 times in the control group, 24 times in the high-fibre group; *Figure 5*), and the groups showed slightly different trends. The daily mortality rate of rabbits on the control diet was more than 0.4 % between 48 and 62 days of age.

In the high-fibre group, mortality exceeded this level in a shorter period, between 44 and 54 days of age and at 63 days of age.

Table 5: Feed consumption and feed conversion ratio of the rabbits depending on the diet in Experiment 2

Age, day	Diet		P-value
	Control	High Fibre	
Feed intake, g/day			
38-45	96.4	87.0	0.012
45-52	108	114	0.379
52-59	147	144	0.588
59-66	196	187	0.291
38-66	137	133	0.285
Feed conversion ratio			
38-45	1.95	2.27	0.025
45-52	2.91	4.67	0.058
52-59	3.20	5.83	< 0.001
59-66	4.50	5.40	0.024
38-66	3.16	4.07	< 0.001

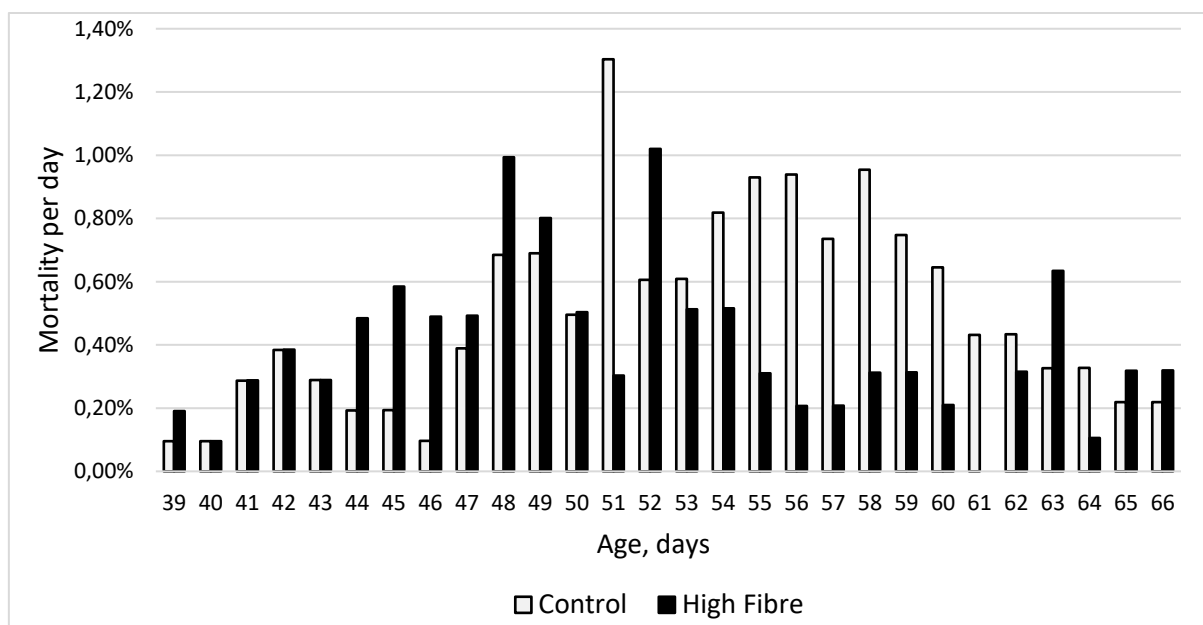


Figure 5: Daily mortality of the control and high-fibre groups during the fattening period in Experiment 2

4.2.4 Parasitology

Figure 6 shows the number of *Eimeria* oocysts detected in faecal samples collected weekly. Both groups gave negative results at 40 days of age, i.e. no oocysts were detected in the faecal samples of the rabbits.

Thereafter, the number of oocysts in the control group increased from 45 days to 59 days of age. In the high-fibre group, there was a sharp increase at 45 and 52 days of age, but later the number of oocysts detected in the samples decreased rapidly.

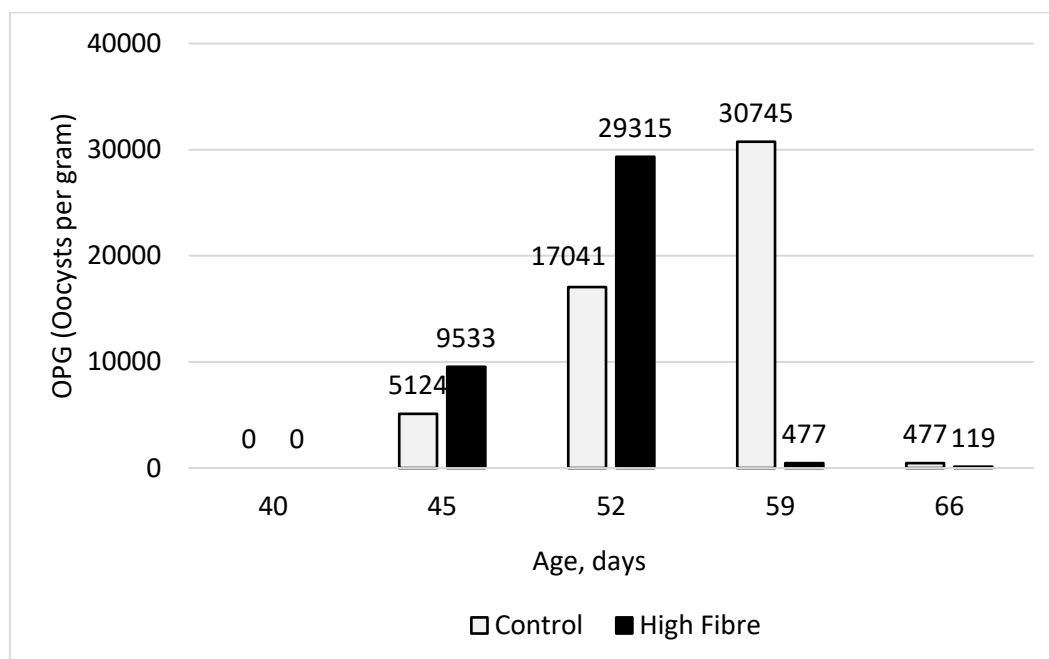


Figure 6: OPG (oocysts per gram) values in faecal samples of dietary groups at different ages in Experiment 2

The identification of *Eimeria* species found in the faecal samples collected in the second study at the ages of 52 and 59 days is shown in Table 7.

Table 7: Distribution of *Eimeria* species from faecal samples collected at 52 and 59 days of age (%)

Eimeria species	Localization in the digestive system	Pathogenicity	Control		High Fibre	
			52 days of age	59 days of age	52 days of age	59 days of age
<i>E. media</i>	small intestine	slightly pathogenic	15	0	53	0
<i>E. perforans</i>	small intestine	slightly pathogenic	0	0	13	50
<i>E. coecicola</i>	caecum	slightly pathogenic	31	32	13	50
<i>E. magna</i>	jejunum, ileum	moderately pathogenic	38	47	20	0
<i>E. irresidua</i>	small intestine	moderately pathogenic	8	11	0	0
<i>E. piriformis</i>	colon	moderately pathogenic	0	0	0	0
<i>E. flavescens</i>	caecum	highly pathogenic	8	11	0	0
<i>E. intestinalis</i>	ileum	highly pathogenic	0	0	0	0
<i>E. stiedai</i>	bile	variable pathogenic	0	0	0	0

Six *Eimeria* species were identified from the faecal samples (*E. media*, *E. perforans*, *E. coecicola*, *E. magna*, *E. irresidua*, *E. flavescens*), *E. piriformis*, *E. intestinalis* and *E. stiedai* oocysts were not detected.

The distribution of *Eimeria* species according to pathogenicity in the groups shows an interesting picture. In the control group, on the day 52, 46-46 % of the oocysts belonged to the slightly and moderately pathogenic classification, and the highly pathogenic *E. flavescens* appeared in 8 %. At the age of 59 days, some changes were observed in case of control group, as the proportion of slightly pathogenic *Eimeria* oocysts decreased to 11 %, and the proportion of moderately pathogenic and very pathogenic oocysts increased to 58 % and 11 %, respectively.



On the other hand, no highly pathogenic *Eimeria* species were detected in the high-fibre group. At 52 days, 80 % of the oocysts were classified as low pathogenic and 20 % as moderate pathogenic, and all oocysts identified at 59 days were from low pathogenic *Eimeria* species.

5. DISCUSSION

According to the scientific literature, rabbits consume more from a diet with higher crude fibre, NDF and ADF content (Wu et al., 2019). In our study, the rabbits' feed consumption did not differ when different diets were compared.

The different nutrient content of the diets affected the growth of the rabbits. In the first study, in the week after weaning, and in the second study, in three of the four weeks of the study, the weight gain of the rabbits consuming the high-fibre diet was lower than that of the control group, certainly as a consequence of the lower energy and crude protein content of the diet. Throughout the fattening period, the higher fibre and lower protein and energy content caused a drastic deterioration in weight gain. Hoover and Heitmann (1972) and Wu et al. (2019) also reported the negative effect of higher fibre content on weight gain, similar to our results.

In both experiments, the lower weight gain was also reflected in the weight of the finishing rabbits, as the body weight of the rabbits in the high-fibre group was lower one week after weaning and their deficiency continued to increase until the end of the finishing period. From a practical point of view, a not insignificant difference of about 0.3 kg was observed between the groups up to 65-66 days of age.

In industrial rabbit farming, diarrhoeal symptoms often appear in fattening rabbits in the weeks after weaning (Savietto & Gelain, 2017). Although diarrhoea was not evaluated in this study, an interesting trend can be observed in the weight gain of the rabbits in both experiments. Regardless of the diet, a significant decrease in weight gain was observed between 51-58 days of age in the first study and 45-52 days of age in the second experiment.

Despite almost identical feed consumption, the lower growth rate resulted in very unfavourable feed conversion ratios for the high-fibre group. These results are consistent with literature data (Wu et al., 2019), as feed utilisation was less favourable when rabbits were fed diets with higher fibre content.

In the second study, slightly higher mortality rates were observed in both groups than in the first study, but in both cases the differences between the groups could not be statistically proven. We observed peaks in mortality in both groups at almost the same time as the aforementioned deterioration in weight gain. Our results do not agree with those of Maître et al. (1990), who found a linear decrease in mortality from 14 % to 7 % for diets with ADF contents ranging from 15 % to 21 %. Gidenne et al. (2020) also concluded, based on data from 12 studies, that post-weaning mortality in rabbits decreased with increasing ADF concentration.

Irrespective of the diet, it was observed in both studies that *Eimeria* oocysts were not detectable in the samples in the days after weaning. Oocysts appeared in faecal samples from 44-45 days of age in both diet groups and their presence could be detected until the end of the finishing period. In Experiment 2, oocyst infection was higher in the high-fibre group on days 45 and 52, but OPG levels in the control group continued to rise until 59 days of age. In addition, six *Eimeria* species were identified in the samples taken at 52 and 59 days of age and there were differences in pathogenicity between the groups.



In the control group, the proportion of low and medium pathogenic *Eimeria* species was high at 52 days of age, and one week later the proportion of low pathogenic species decreased and that of medium pathogenic species increased. Unfortunately, oocysts of the highly pathogenic *E. flavescens* were also present in the faecal samples of the control group at both time points.

A more favourable picture was obtained in the rabbits fed the high-fibre diet, with a higher proportion of low pathogenic species and a lower proportion of medium pathogenic species identified at 52 days of age, whereas only low pathogenic species were detected in the samples at 59 days of age. Regarding the oocyst infection at each life stage and the species detected, our results only partially agree with the results of our previous parasitological survey on large-scale rabbit farms (Demeter et al., 2002).

There was no similar trend in mortality, i.e. a correlation between the pathogenicity of the *Eimeria* species and the mortality of the groups could not be demonstrated.

6. CONCLUSION

Consistent with literature data, feeding diets with higher crude fibre content and lower energy and crude protein content resulted in lower production levels.

The diets did not affect mortality but caused a slightly different trend in the number and type of oocysts. A higher proportion of moderately pathogenic *Eimeria* species and highly pathogenic *E. flavescens* oocysts were detected in the control group. In the high fibre diet, the presence of low pathogenic species was typical and high pathogenic species were not detected.

The correlation between diet composition and the presence of *Eimeria* species with different pathogenicity should be investigated in further studies.



A takarmány rosttartalmának hatása a hízónyulak parazitológiai terheltségére és termelésére

DEMETER CSONGOR¹, DEMETER-JEREMIÁS ANETT², NÉMET ZOLTÁN³, SÁNDOR MÁTÉ⁴, MAYER
ANDRÁS⁵, GERENCSÉR ZSOLT⁵, LENCSES-VARGA ERIKA⁶, MATICS ZSOLT^{6*}

¹Cargill Magyarország Zrt., Budapest

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-1283-3504>

²S&K-LAP Kft., Kartal

³Állatorvostudományi Egyetem, Patológiai Tanszék, Üllő

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-2044-1554>

⁴Tetrabbit Kft., Baja, Hungary

⁵Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Kaposvári Campus

Állattenyésztési Tudományok Intézet, Kaposvár

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-3724-1740>

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-0987-1588>

⁶Széchenyi István Egyetem, Albert Kázmér Mosonmagyaróvári Kar

Állattudományi Tanszék, Mosonmagyaróvár

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-6922-8551>

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-6826-1176>

Email: matics.zsolt@sze.hu

*Corresponding author/Levelező szerző

ÖSSZEFOGLALÁS

A kísérlet célja a takarmány nyersrost (CF) tartalmának a hízónyulak *Eimeria* oociszta fertőzőitására és termelésére gyakorolt hatásának vizsgálata volt. A választott nyulakat két csoportra osztottuk: a Kontrol csoport (C) kereskedelmi forgalomban kapható, granulált takarmányt kapott (CF = 17 %); a Magas Rost csoport (HF) megemelt rosttartalmú takarmányt ehetett (CF = 24 %). Az 1. vizsgálatban 90 nyúl termelési eredményeit és 800 nyúl elhullását és bélsármintáit vizsgáltuk csoportonként. A 2. vizsgálatban csoportonként 90 nyúl termelését és 1050 nyúl elhullását és bélsár mintáit értékeltük. Habár a csoportok takarmányfogyasztása nem különbözött, a HF nyulak súlygyarapodása elmaradt a Kontrol csoporttól ($P < 0,001$) és a hízalás végi testsúlyuk is kisebb volt ($P < 0,001$). A HF nyulaknál nagyon kedvezőtlen takarmányértékesítést tapasztaltunk (4,07). A csoportok elhullása nem különbözött. Mindkét csoport bélsármintáiban megfigyelhetők voltak *Eimeria* oociszták 44-45 napos kortól egészen a hízalás végéig. A C csoportban nagyobb arányban mutattunk ki mérsékeltlen patogén *Eimeria* fajokat, mint a Kontrol csoportban, továbbá erősen patogén faj oocisztái csak a Kontrol csoport bélsármintáiban fordultak elő.

Kulcsszavak: *Oryctolagus cuniculus*, rostkiegészítés, hízalás, oociszta, *Eimeria*



REFERENCES

- Carabaño, R., Badiola, I., Chamorro, S., Garcia, J., Garcia-Ruiz, A. I., Garcia-Rebollar, P., Gomez-Conde, M. S., Gutierrez, I., Nicodemus, N., Villamide, M. J., & de Blas, J. C. (2008). New trends in rabbit feeding: influence of nutrition on intestinal health. *Span. J. Agric. Res.*, 6, 15-25. <https://doi.org/10.5424/sjar/200806s1-5346>
- Cartuche, L., Pascual, M., Gómez, E. A., & Blasco, A. (2014). Economic weights in rabbit meat production. *World Rabbit Sci.*, 22, 165-177. <https://doi.org/10.4995/wrs.2014.1747>
- Coutelet, G. (2015, November 24-25). *Résultats technico-économiques des éleveurs de lapins de chair en France en 2014* [Conference session]. 16èmes Journées de la Recherche Cunicole, Le Mans, France.
- Demeter, Cs., Matics, Zs., Demeter-Jeremiás, A., Sándor, M., Végh, Á. Z., Gerencsér, Zs., & Németh, Z. (2023). *Eimeria* spp. infections in Hungarian industrial rabbit farms (in Hung.). *Magyar Állatorvosok Lapja*, 145(12), 759-767. <https://doi.org/10.56385/magyallorv.2023.12.759-767>
- Eckert, J., Taylor, M., Catchpole, J., Licois, D., Coudert, P., & Bucklar, H. (1995). Identification of *Eimeria* and *Isospora* species and strains. Morphological characteristics of oocysts. In Eckert, J., Braun, R., Shirley, M. W., & Coudert, P., (Eds.) *Guidelines on techniques in coccidiosis research. COST 89/820: Biotechnology* (pp. 103-119). European Commission, Luxembourg.
- Gidenne, T., García, J., Lebas, F., & Licois, D. (2020). Nutrition and feeding strategy: interactions with pathology. In De Blas, C., & Wiseman, J., (Eds.) *Nutrition of the Rabbit* (pp. 193-221) (3rd ed.). Wallingford (UK): CAB International.
- Gidenne, T., Mirabito, L., Jehl, N., Perez, J. M., Arveux, P., Bourdillon, A., Briens, C., Duperray, J., & Corrent, E. (2004). Impact of replacing starch by digestible fibre, at two levels of lignocellulose, on digestion, growth and digestive health of the rabbit. *Anim. Sci.*, 78, 389-398.
- Gidenne, T. (2015). Dietary fibres in the nutrition of the growing rabbit and recommendations to preserve digestive health: a review. *Animal*, 9, 227-242. <https://doi.org/10.1017/S1751731114002729>
- Gutierrez, I., Espinosa, A., Garcia, J., Carabano, R., & De Blas, J. C. (2002). Effect of levels of starch, fiber, and lactose on digestion and growth performance of early-weaned rabbits. *J. Anim. Sci.*, 80, 1029-1037.
- Hoover, W. H., & Heitmann, R. N. (1972). Effects of dietary fiber levels on weight gain, cecal volume and volatile fatty acid production in rabbits. *The J. of Nutr.*, 102(3), 375-379.
- Juráskó, R. (2017, May 31). *A magyar nyúltenyésztés helyzete 2016-ban* [Conference session]. 29. Nyúltenyésztési Tudományos Nap, Kaposvár, Hungary.
- Lebas, F., Gidenne, T., Perez, J. M., & Licois, D. (1998). Nutrition and pathology. In De Blas, C., & Wiseman, J. (Eds.), *The nutrition of the rabbit*. CABI publishing. <https://hal.inrae.fr/hal-02836290v1>
- Licois, D., & Coudert, P. (2001, November 28-29). *Entéropathie Epizootique du lapin: reproduction expérimentale, symptômes et lésions observés* [Conference session]. 9èmes Journées de la Recherche Cunicole, Paris, France.
- Maître, I., Lebas, F., Arveux, P., Bourdillon, A., Duperray, J., & Saint Cast, Y. (1990, December 12-13). *Taux de lignocellulose (ADF de Van-Soest) et performances de croissance du lapin de chair* [Conference session]. 5ème Journées de la Recherche Cunicole, Paris, France.



- Martínez-Vallespin, B., Martínez-Paredes, E., Rodenas, L., Cervera, C., Pascual, J. J., & Blas, E. (2011). Combined feeding of rabbit female and young: partial replacement of starch with acid detergent fibre or/and neutral detergent soluble fibre at two protein levels. *Liv. Sci.*, 141(2-3), 155-165. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2011.05.014>
- R Core Team (2021). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org>
- RVC/FAO Guide to Veterinary Diagnostic Parasitology. (n.d.). *McMaster egg counting technique: Principle*. Retrieved April 27, 2025, from <https://www.rvc.ac.uk/static/review/parasitology/EggCount/Principle.htm>
- Sadeghi, A., Toghyani, M., Tabeidian, S. A., Foroozandeh, A. D., & Ghalamkari, G. (2020). Efficacy of dietary supplemental insoluble fibrous materials in ameliorating adverse effects of coccidial challenge in broiler chickens. *Arch. Anim. Nutr.*, 74(5), 362-379. <https://doi.org/10.1080/1745039X.2020.1764811>
- Savietto, D., & Gelain, M. (2017). Rabbit dams' influence in the offspring, mortality. *Agronomy*, hal-03355259. <https://hal.inrae.fr/hal-03355259>
- Shang, Q., Wu, D., Liu, H., Mahfuz, S., & Piao, X. (2020). The impact of wheat bran on the morphology and physiology of the gastrointestinal tract in broiler chickens. *Animals*, 10(10), 1831. <https://doi.org/10.3390/ani10101831>
- Taylor, M. A., Coop, R. L., & Wall, R. L. (2016). *Veterinary Parasitology* (4th ed.). John Wiley and Sons.
- Wu, Z., Zhou, H., Li, F., Zhang, N., & Zhu, Y. (2019). Effect of dietary fiber levels on bacterial composition with age in the cecum of meat rabbits. *Microbiology Open*, 8(5), e00708. <https://doi.org/10.1002/mbo3.708>

©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/).





Possibilities for Increasing the Antioxidant and Polyphenol Content of Strawberry Nectar (*Fragaria × ananassa*) by Adding Various Medicinal Herbs

VIKTÓRIA KAPCSÁNDI^{1*}, ERIKA LAKATOS¹, LAURA VARGA², RITA SZÉKELYHIDI¹

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

Department of Food Science, Mosonmagyaróvár, Hungary

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

Email: kapcsandi.viktoria@sze.hu

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

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-0119-9870>

²HIPP Ltd., Hanságliget, Hungary

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-9373-6337>

*Corresponding author/Levelező szerző

Received/Érkezett: 06.02.2025

Revised/Átdolgozva: 14.03.2025

Accepted/Elfogadva: 05.04.2025

Published/Megjelent: 27.06.2025

ABSTRACT

The objective of the present study was to determine the antioxidant and polyphenol content of strawberry nectars (*Fragaria × ananassa*) prepared with different herbs, and whether these contents remained constant or decreased over time. After strawberry processing, the prepared herbs were incorporated into the samples at concentrations of 1.0 and 2.0 m/m %. The results showed that the incorporation of 1 % lemon balm increased the antioxidant levels in the products by more than twofold (2.93 to 9.19 mg AAE mg/mL), while the addition of 2 % lemon balm led to a more than sixfold increase (2.93 to 17.16 mg AAE mg/mL) in the antioxidant content on the first day of measurement compared to the control samples. However, this level decreased by the end of the shelf life (Lg-1.0 to 3.06 mg AAE/mL; Lg-2.0 to 11.22 mg AAE/mL). Peppermint also increased antioxidant levels to 9.99 mg AAE/mL in the best case. However, antioxidant levels were found to decrease in response to ginger supplementation, with levels dropping to 1.90 mg AAE/mL. The sensory tests showed that in addition to the control product, the samples with 1 and 2 m/m % ginger (Gi) were the most popular among tasters.

Keywords: *strawberry, peppermint, lemon balm, ginger, FRAP, Folin-Ciocalteu*

1. INTRODUCTION

In recent years, the global prevalence of non-communicable diseases (NCDs) has become a significant public health concern. This is largely due to contemporary lifestyles characterised by high levels of processed food consumption, exposure to various chemical compounds and sedentary lifestyles (Budreviciute et al., 2020). Such lifestyles play an important role in triggering oxidative



stress in humans (Sharifi-Rad et al., 2020). Enriching foods with phenolic compounds is becoming increasingly popular due to their beneficial physiological effects (Ziauddeen et al., 2019). However, analysing polyphenols in functional food matrices is difficult due to the matrices' complexity (Sik et al., 2022). While dietary polyphenols are not essential for humans, a growing body of research suggests that consuming polyphenol-rich foods and beverages, such as fruits, vegetables, cereals, tea, coffee, and wine, can have positive health benefits (Chew et al., 2019).

The strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) belongs to the Rosaceae family and the *Fragaria* genus. Regarded as one of the most popular and widely cultivated berry fruits on the planet, it is often referred to as the 'queen of fruits' (Qin et al., 2008). Strawberry phytochemicals are mainly represented by a large class of phenolic compounds that perform many non-essential functions in plants and exhibit significant biological potential in humans (Häkkinen & Törrönen, 2000). The phenolic compounds found in strawberries include anthocyanins, which are responsible for the berries' bright red colour (Mustafa et al., 2022). Notably, strawberries also contain other valuable groups of phenolic compounds, including hydrolysable tannins (i.e., ellagitannins). Smaller concentrations of phenolic compounds are also present, including flavonols, hydroxycinnamic acid esters (especially p-coumaric acid esters) and ellagic acid glycosides (Buendía et al., 2010).

In recent years, much emphasis has been placed on identifying the functional constituents of lemon balm (*Melissa x officinalis*). Studies have shown that lemon balm has a high concentration of phenolic compounds, including phenolic acids, flavonoids, and condensed tannins. Mono- and polymeric flavonoids such as luteolin and apigenin glycosides, as well as proanthocyanidins, have been shown to contribute significantly to the antioxidant and anti-inflammatory properties of lemon balm essential oil-free extract (Francisco et al., 2013). Flavonoids such as luteolin, which are abundant in lemon balm, exhibit a variety of biological activities, including antioxidant, antimicrobial, anticancer, antiallergic, and anti-inflammatory properties (López-Lázaro, 2009).

Peppermint (*Mentha x piperita*), which originates from Europe, is another example of such a cross, most likely occurring in ancient times. Today, it is established worldwide (Simmonds et al., 2017). Similar to lemon balm, peppermint contains high concentrations of phenolic compounds (Székelyhidi et al., 2022). Peppermint's polyphenol composition involves around 40 compounds, 53 % of which are flavonoids, followed by phenolic acids (42 %), lignans (2.5 %), and stilbenes (2.5 %). Mint leaves are commonly used in cooking, and consuming them can contribute to the redox balance of human cells as they contain phytochemicals such as vitamins, phenolic compounds, and terpene antioxidants (Brown et al., 2019).

Like the previous two herbs, common ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) contains high concentrations of bioactive components that help bind free radicals and reactive oxygen. The main active components of fresh ginger are zingerone, gingerol, shogaol, and paradol (Mohammad et al., 2021). Ginger has been shown to treat and inhibit many conditions, including inflammation, platelet aggregation, nausea, vomiting, high blood pressure, cardiovascular disease, oxidative damage, diabetes, colds, asthma, allergies, migraines, and some cancers (Faddaddeen, 2022; Mao et al., 2019). The idea for this research came from the widespread consumption of commercially available nectars, produced from various fruits. These nectars are often made from red fruits, which are recognised for their high antioxidant content. However, the variability of their quantity within the products remains to be elucidated. This study aimed to investigate whether the amount of antioxidants and polyphenols in our product remains constant or decreases over time.



2. MATERIALS AND METHODS

The 7 kg of raw material (*Fragaria* × *ananassa*) used in the experiment was sourced from a fully ripe batch grown by a Hungarian organic gardening unit (Five Farm, Rajka). The fruit was harvested on 5 July 2021. The degree of maturity was determined using a density meter (Rudolph DDM 2910), which indicated a sugar content of 9° Brix (a relatively low sugar content). Commercially purchased dried herbs were used for the experiments. Contamination of the self-grown herbs would have been critical to our experiments, so materials were sourced from a distributor (Herbária Ltd.) that operates under ISO, GMP and HACCP quality management systems (Hungary). Any plant parts that were not fit for consumption and any unripe fruits were discarded immediately upon arrival of the materials, after which preparation began. The strawberry to be tested was crushed using a hand blender (Bosch). Weight measurement was performed using an APX-3202 precision storage scale (Denver Instrument) and a TE214S analytical balance (Sartorius). During the testing period, the product was pasteurised using an electric hotplate, and the strawberry nectar was stored in an air-conditioned cabinet. Centrifugation was performed using a Hermle Z206A centrifuge, and measurements were taken using a Pharo 100 spectrophotometer (Merck). The following reagents were used for the experiments: Folin-Ciocalteu reagent (Merck), anhydrous sodium carbonate (Riedel de Haën), gallic acid (Sigma-Aldrich), sodium acetate (Merck), TPTZ (Sigma-Aldrich), anhydrous ferric chloride (Merck), ascorbic acid (Sigma-Aldrich), acetic acid (Reanal), and high-purity water. The analytical laboratory produces high-purity water for tests and other additional operations with Zeneer Power 1 type water purification equipment (Human Corporations).

2.1 Technology process

The strawberries were processed by having their stems removed, being washed thoroughly with tap water, and being chopped using a hand blender. The fresh ginger used as an additive was peeled and grated by hand, while the dried lemon balm and peppermint were sorted and the stem pieces removed. After chopping the strawberries, 500 mL of purée was measured in a beaker using scales and diluted with 500 mL of water. To create a pleasant taste and extend the shelf life, 1.5 g of sodium benzoate and 45 g of sucrose were added to the mixture. Peppermint, lemon balm and ground ginger were then added to the prepared nectars at concentrations of 1 % and 2 % (m/m). The strawberry nectar was then heat-treated at 85 °C for 25 minutes using an electric hotplate. The nectar was then transferred to previously sterilised brown bottles, which were sealed with lids. Heat treatment was necessary to ensure the nectar's shelf life. Although other research has shown that heat treatment reduces the amount of bioactive compounds in the product (Alim et al., 2023), microbial infection would cause greater damage during storage. The nectars were then cooled to 35 °C in a cold-water bath (25 °C). The seven different strawberry nectar compositions were stored at 22 °C for six weeks in an air-conditioned cabinet, protected from light. The fruit nectars were sampled every two weeks (on days 1, 11, 28 and 42). Approximately 40 mL of strawberry nectar was measured into a 50 mL sterile centrifuge tube and stored in an ultra-deep freezer (CHEST ULT -86 °C, Fisher Scientific) at -55 °C until further analysis.

The nectars were then supplemented with ground peppermint, lemon balm, and ginger at concentrations of 1 % and 2 % by weight (m/m), as follows:

- *C [Control sample]*: 500 g fruit puree + 500 g water + 1.5 g sodium benzoate + 45 g sucrose
- *Pm-1.0 [Peppermint 1 %]*: 471.75 g fruit puree + 471.75 g water + 10 g peppermint + 1.5 g sodium benzoate + 45 g sucrose



- *Pm-2.0 [Peppermint 2 %]*: 466.75 g fruit puree + 466.75 g water + 20 g peppermint + 1.5 g sodium benzoate + 45 g sucrose
- *Lg-1.0 [Lemon balm 1 %]*: 471.75 g fruit puree + 471.75 g water + 10 g lemon balm + 1.5 g sodium benzoate + 45 g sucrose
- *Lg-2.0 [Lemon balm 2 %]*: 466.75 g fruit puree + 466.75 g water + 20 g lemon balm + 1.5 g sodium benzoate + 45 g sucrose
- *Gg-1.0 [Ginger 1 %]*: 471.75 g fruit puree + 471.75 g water + 10 g ginger + 1.5 g sodium benzoate + 45 g sucrose
- *Gg-2.0 [Ginger 2 %]*: 466.75 g fruit puree + 466.75 g water + 20 g ginger + 1.5 g sodium benzoate + 45 g sucrose

The 1 % and 2 % aqueous solutions of medicinal lemon balm, peppermint and ordinary ginger that were used in the experiment were also tested. Samples of each herbal aqueous extract were taken on the first and last days of the shelf-life test (days 1 and 42).

2.2 Determination of total polyphenol content

The total polyphenol content (TPC) of the extracts was measured using the Folin-Ciocalteu method (Barba et al., 2013; Singleton et al., 1999), with slight modifications. After preparing the stock solutions, the strawberry nectar samples and aqueous solutions were centrifuged at 6000 rpm for 20 minutes. Then, 1.5 mL of high-purity water was pipetted into 50 μ L of the supernatant in the centrifuged samples, followed by the reagents (2.5 mL Folin reagent and 2 mL Na_2CO_3). The absorbance was measured at 725 nm versus the blank after 90 minutes of incubation at room temperature. TPCs were expressed as milligrams of gallic acid equivalents per gram of dry plant material (mg GAE/g). After 90 minutes of incubation, the absorbance of the samples at a wavelength of 750 nm was measured.

2.3 Determination of total antioxidant content

The antioxidant content of the samples was measured using the FRAP method, which is based on electron transitions. Absorbance can be measured at 593 nm after five minutes using a spectrophotometer (Benzie & Strain, 1996). L-ascorbic acid was used in the test, so the antioxidant capacity of the samples was expressed in relation to ascorbic acid (mg of ascorbic acid equivalents/mL). First, the stock solutions required for the tests (FRAP solution, acetate buffer, TPTZ solution, and iron chloride solution) were prepared. The samples were then centrifuged at 6000 rpm for 20 minutes to determine the total polyphenol content. Then, 3 mL of FRAP solution and 100 μ L of distilled water were added to the 50 μ L of supernatant extracted from the strawberry nectar and aqueous solutions. The absorbance was detected after five minutes at a wavelength of 593 nm.

2.4 Sensory evaluation

The organoleptic evaluation of the fortified and control nectars was conducted by the Department of Food Science at Széchenyi István University immediately following production. The testers were 15 individuals aged between 19 and 55. Participants were asked to rate key aspects of the nectars (colour, smell, taste, flavour and overall acceptability) on a 9-point hedonic scale, where 1 signified strong disapproval and 9 strong approval (Wichchukit & O'Mahony, 2015). The nectars were served in white cups and distinguished by alphabetical markers.



2.5 Data analysis, statistical methods

The results obtained using the Microsoft Office Excel (2016) programme were evaluated during the experiment. The data were expressed as the mean ($n = 3$) $\pm$ relative standard deviation (RSD). One-way analysis of variance (ANOVA) was used to identify significant differences in the data. Values were considered significant at $P \leq 0.05$. Significant differences in individual figures marked with the letters 'a-b-c-d' were identified.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1 Antioxidant

Table 1 shows the antioxidant results for the raw material and the diluted nectar, both before and after heat treatment. It also shows the data for the aqueous solution of sodium benzoate and sugar. The antioxidant content of the raw strawberries prior to dilution (RM) was 3.95 mg AAE/mL. The amount of valuable compounds in the fruit diluted with water at a ratio of 1:1 (DN-BH) was 2.51 mg AAE/mL, increasing to 5.72 mg AAE/mL as a result of heat treatment (DN-AH). Previous research has confirmed that the amount of phenolic compounds in many plants is increased by heat treatment (Bodor et al., 2021; Chumyam et al., 2013; Kim et al., 2006). The heat treatment process for plant raw materials (mainly boiling the nectar) and the cracks in the cell walls caused by the heat can also affect the extractability of (poly)phenols (Harris et al., 2015; Palermo et al., 2014). Applying heat during the technological process increased the concentration of these compounds. This phenomenon can be attributed to the exposure of fruit cells during heat treatment, which leads to the release of compounds from these cells (Jeong et al., 2004; Kim et al., 2006; Y. Li et al., 2022). It is important to emphasise that an aqueous solution of sodium benzoate and sugar was also tested, and the total antioxidant content was found to be 0 mg AAE/mL. Therefore, it can be concluded that these compounds did not interfere with the measurements. However, it is also important to emphasise that high doses of sodium benzoate can lead to oxidative stress. Some research has shown that it increases oxidative damage in the human body and affects sodium and potassium levels (Khan et al., 2022; Olofinnade et al., 2021).

Table 1: Results of the TA content of samples (RM – raw material; DN-BH – Diluted nectar before heat treatment; DN-AH – Diluted nectar after heat treatment; SB-S – Sodium-Benzoate + Sugar)

Sample	TA content mg AAE/mL*
RM	3.95 $\pm$ 0.05
DN-BH	2.51 $\pm$ 0.05
DN-AH	5.72 $\pm$ 0.01
SB-S	0.00

* Values are means $\pm$ SE ($n = 3$).

Figure 1 shows the results measured during the 42-day storage of the prepared control and herbal products. For the control samples (C), the total antioxidant concentration was highest on the first sampling day at 2.93 mg AAE/mL. However, this decreased significantly to 2.12 mg AAE/mL by the 14th day (C14) (see Figure 1). The amount of these compounds in the control samples did not appreciably change during the tested shelf life. Based on these results, it can be concluded that adding peppermint and lemon balm significantly increased the amount of antioxidant compounds at both dosing concentrations ($P \leq 0.05$). This significant difference was evident throughout the

storage period (42 days). However, in contrast to samples supplemented with lemon balm and mint, the amount of beneficial compounds in the ginger samples decreased. This tendency was also observed in comparison to the control samples. This can be attributed to the pro-oxidant effect of ginger compounds, which has been confirmed by previous research under certain conditions (Annamalai et al., 2016). Previous studies have reported that the α,β -unsaturated carbonyl group present in [6]-shogaol exhibits growth-inhibitory and cytotoxic properties. Thus, the pro-oxidant effect of [6]-shogaol can induce the formation of free radicals (Fulda, 2010; Gan et al., 2011). Statistical analysis shows that there is no significant difference between the control samples and the Pm-1.0 (P-value = 0.13) and Pm-2.0 (P-value = 0.20) samples. However, the C samples and the Lg-2.0 samples show a significant difference (P-value = 0.0003).

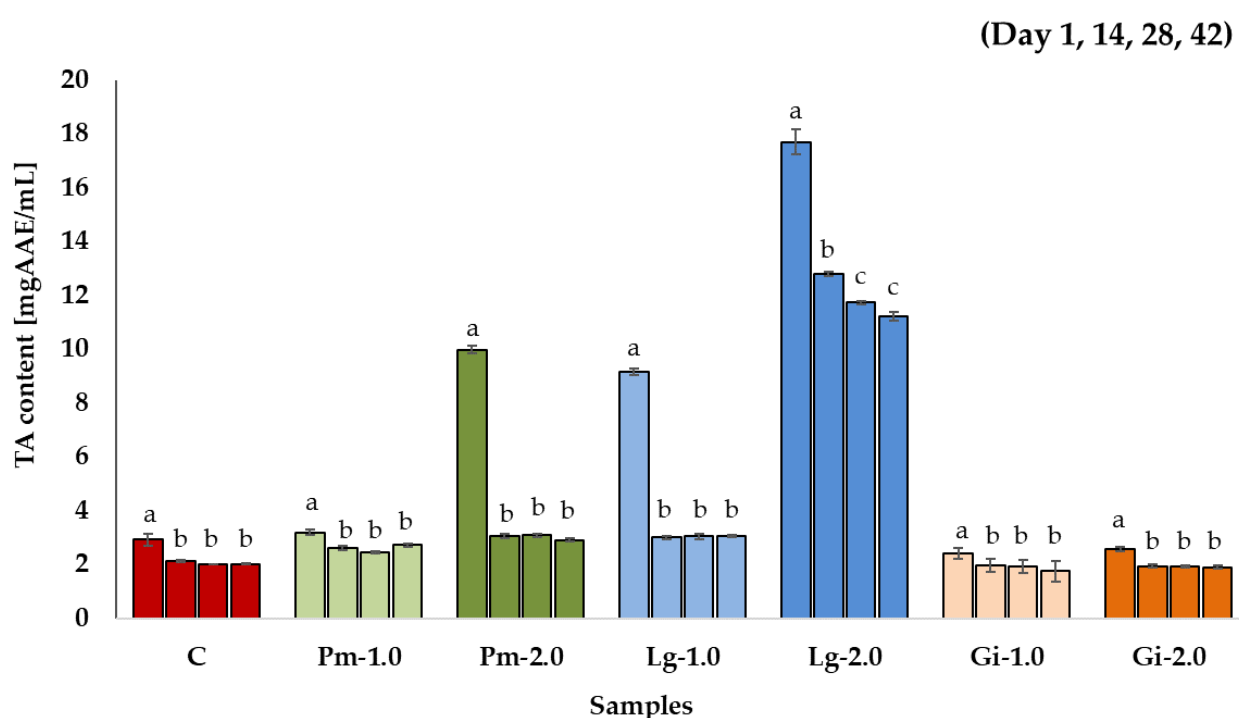


Figure 1: Results of the TA content of samples during storage period (C - Control sample; Pm-1.0 - Sample with added 1.0 % (m/m) peppermint; Lg-1.0 - Sample with added 1.0 % (m/m) lemon balm; Gi-1.0 - Sample with added 1.0 % (m/m) ginger; Pm-2.0 - Sample with added 2.0 % (m/m) peppermint; Lg-2.0 - Sample with added 2.0 % (m/m) lemon balm; Gi-2.0 - Sample with added 2.0 % (m/m) ginger)

The 1 % and 2 % herbal aqueous solutions were also tested, with the results presented in Table 2. No significant changes occurred in the extracts containing 1 % medicinal herbs until the end of the shelf life (see Table 2). The quantity of antioxidants in the ginger samples was negligible at both concentrations. Conversely, the samples containing 2 % medicinal herbs exhibited substantially higher levels of antioxidant compounds. However, these beneficial components decreased significantly by the end of the storage period. The aqueous extracts containing 2 % lemon balm exhibited the greatest increase in valuable compounds, reaching concentrations of 2.35 mg AAE/mL and 1.87 mg AAE/mL respectively. A similar trend was observed in the 2 % mint solution, with elevated antioxidant levels detected on the initial sampling day for this herb.



Table 2: Results of the TA content of water based samples at the beginning and end of the storage period (C - Control sample; Pm-1.0 - Sample with added 1.0 % (m/m) peppermint; Lg-1.0 - Sample with added 1.0 % (m/m) lemon balm; Gi-1.0 - Sample with added 1.0 % (m/m) ginger; Pm-2.0 - Sample with added 2.0 % (m/m) peppermint; Lg-2.0 - Sample with added 2.0 % (m/m) lemon balm; Gi-2.0 - Sample with added 2.0 % (m/m) ginger)

Sample	TA content mg AAE/ mL*	
	Day 1	Day 42
Pm-W 1 %	0.56 ± 0.08 ^a	0.51 ± 0.04 ^a
Pm-W 2 %	1.42 ± 0.11 ^a	1.10 ± 0.03 ^b
Lg-W 1 %	1.01 ± 0.10 ^a	0.95 ± 0.02 ^a
Lg-W 2 %	2.35 ± 0.10 ^a	1.87 ± 0.04 ^b
Gi-W 1 %	0.05 ± 0.01 ^a	0.03 ± 0.00 ^b
Gi-W 2 %	0.08 ± 0.00 ^a	0.06 ± 0.01 ^b

* Values are means ± SE (n = 3). Within each line, values with different letters are significantly different (P < 0.05).

3.2 Polyphenol

Table 3 shows the total phenolic content (TP) results for the raw material, the diluted nectar before and after heat treatment, and the aqueous solution of sodium benzoate and sugar. The polyphenol content of the prepared raw strawberry (RM) was 0.95 mg GAE/mL; after dilution with water (DN-BH), it was 0.87 mg GAE/mL (see Table 3). Other studies have shown that strawberries contain between 1.47 and 2.87 mg GAE/g of such compounds (Koyama et al., 2022). However, other studies have found this value to be between 0.99 and 1.58 mg GAE/g (Ürün et al., 2021). The antioxidant and polyphenol content of fruits depends on their state of maturity and time of harvest (Jaakola & Hohtola, 2010; Palmieri et al., 2017). However, it has also been proven that the amount of these compounds is influenced by post-harvest treatments such as storage temperature and duration (Koyama et al., 2022). By way of comparison, the polyphenol content of the diluted nectar (DN-AH) was 1.25 mg GAE/mL after heat treatment (Table 3). Previous research has shown that the polyphenol concentration of strawberry products can increase as a result of heat treatment (Holzwarth et al., 2012). It is important to note that an aqueous solution of sodium benzoate and sugar (SB-S) was also tested, with the total polyphenol content being determined to be 0 mg GAE/mL.

Table 3: Results of the TP content of samples during fermentation process (RM – raw material; DN-BH – Diluted nectar before heat treatment; DN-AH – Diluted nectar after heat treatment; SB-S – Sodium-Benzoate + Sugar)

Sample	TP content mg GAE/ mL*
RM	0.95 ± 0.04
DN-BH	0.87 ± 0.05
DN-AH	1.25 ± 0.03
SB-S	0.00

* Values are means ± SE (n = 3).

Figure 2 shows the TA results measured during the 42-day storage of the prepared control and herbal products. Previous studies have investigated the phenolic compounds of lemon balm (Aboagye et al., 2021; Elchaghaby et al., 2022), peppermint (Mahdavikia et al., 2017) and ginger (Özcan, 2022). For the control samples devoid of medicinal plants, the polyphenol content was 1.15 mg GAE/mL on the first sampling day (C1) (see Figure 2). As the shelf life progressed, a decrease in the amount of valuable compounds was observed; however, no significant difference was detected between the first and last sampling days. The total polyphenol content (C42) decreased to 0.96 mg GAE/mL. Juices containing 2 % lemon balm exhibited the highest total polyphenol content, with a reading of 1.95 mg GAE/mL recorded on the initial sampling day (Lg-1.0). However, a significant decrease in polyphenol content was observed on the 14th sampling day, with a 16 % decrease in content by the end of the tested shelf life. In the case of strawberry nectars containing 1 % peppermint (Pm-1.0), a significant decrease was observed between the first and second/third samples. A substantial 19 % decrease in polyphenol content was observed at the end of the shelf-life study compared to the initial reading. Conversely, no significant changes were observed in samples containing 1 % common ginger (Gi-1.0) during the shelf-life test. The highest concentrations of valuable compounds were observed in nectars containing 2 % lemon balm (Lg-2.0). On the first sampling day (C1), the polyphenol content was 1.95 mg GAE/mL, significantly decreasing to 1.77 mg GAE/mL by the 14th day. On the 28th day, the components were present in similar amounts (1.76 mg GAE/mL), but by the end of the storage period, the total polyphenol content had decreased significantly to 1.63 mg GAE/mL. For the sample containing 2 % peppermint (Pm-2.0), the change in polyphenol concentration was similar, resulting in the highest total antioxidant content on the first sampling day (1.52 mg GAE/mL). Subsequently, a significant decrease occurred at the end of the storage period. For the common ginger sample (Gi-2.0), the polyphenol content at this concentration was lower than that of the control samples (C). This finding is consistent with previous studies reporting a decline in phenolic compounds over time (Oliveira et al., 2014).

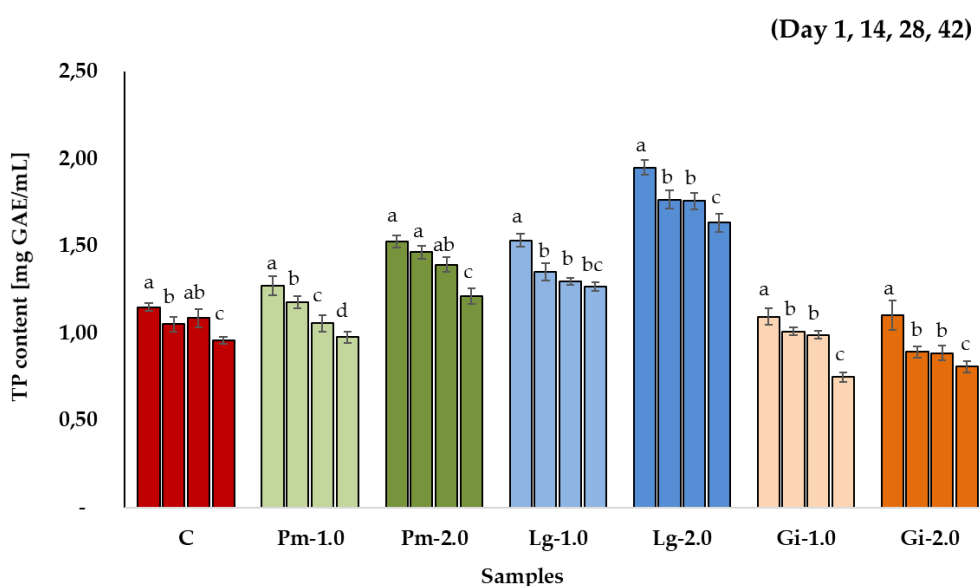


Figure 2: Results of the TP content of samples during storage period (C - Control sample; Pm-1.0 - Sample with added 1.0 % (m/m) peppermint; Lg-1.0 - Sample with added 1.0 % (m/m) lemon balm; Gi-1.0 - Sample with added 1.0 % (m/m) ginger; Pm-2.0 - Sample with added 2.0 % (m/m) peppermint; Lg-2.0 - Sample with added 2.0 % (m/m) lemon balm; Gi-2.0 - Sample with added 2.0 % (m/m) ginger)



Table 4 shows that the concentration of valuable compounds in the 1 % herbal extracts is lower than in their 2 % counterparts, with the exception of ginger extract. In the case of this medicinal plant, neither the 1 % nor the 2 % sample increased the total polyphenol concentration.

Table 4: Results of the TP content of water based samples at the beginning and end of the storage period (Pm-W 1 % - Sample with added 1.0 % (m/m) peppermint; Lg-W 1 % - Sample with added 1.0 % (m/m) lemon balm; Gi-W 1 % - Sample with added 1.0 % (m/m) ginger; Pm-W 2 % - Sample with added 2.0 % (m/m) peppermint; Lg-W 2 % - Sample with added 2.0 % (m/m) lemon balm; Gi-W 2 % - Sample with added 2.0 % (m/m) ginger)

Sample	TP content mg GAE/ mL*	
	Day 1	Day 42
Pm-W 1%	0.56 ± 0.08 ^a	0.51 ± 0.04 ^a
Pm-W 2%	1.42 ± 0.11 ^a	1.10 ± 0.03 ^b
Lg-W 1%	1.01 ± 0.10 ^a	0.95 ± 0.02 ^a
Lg-W 2%	2.35 ± 0.10 ^a	1.87 ± 0.04 ^b
Gi-W 1%	0.05 ± 0.01 ^a	0.03 ± 0.00 ^b
Gi-W 2%	0.08 ± 0.00 ^a	0.06 ± 0.01 ^b

* Values are given as means ± SE (n = 3). Within each line, values with different letters are significantly different (P < 0.05).

Among the aqueous extracts, the concentration of total polyphenols was highest on the first sampling day, including in the 2 % mint solution at 0.74 mg GAE/mL. However, by the end of the shelf life, the concentration of valuable compounds had decreased significantly to 0.38 mg GAE/mL. No significant differences emerged for the other herbs during the tested shelf life.

The results prove that the strawberries used to make the product contain significant amounts of beneficial antioxidants and polyphenols. The amount of these compounds increased as a result of the heat treatment applied during the production process. This can probably be explained by the exposure of the fruit's cells during the heat treatment and the effect of the compounds released from them.

3.3 Organoleptic Evaluation

As shown in Figure 3, the results of the sensory tests indicate that the samples containing 1 m/m % and 2 m/m % ginger (Gi) were the most popular with the tasters, in addition to the control product. This is probably due to ginger's long-standing popularity in medicine and gastronomy and its pleasant taste (Spence, 2023).

The addition of lemon balm to fruit nectars was considered the least attractive. Even a sample containing 2 % lemon balm (Lg) showed a significant difference (P-value = 0.0003) compared to the control sample.

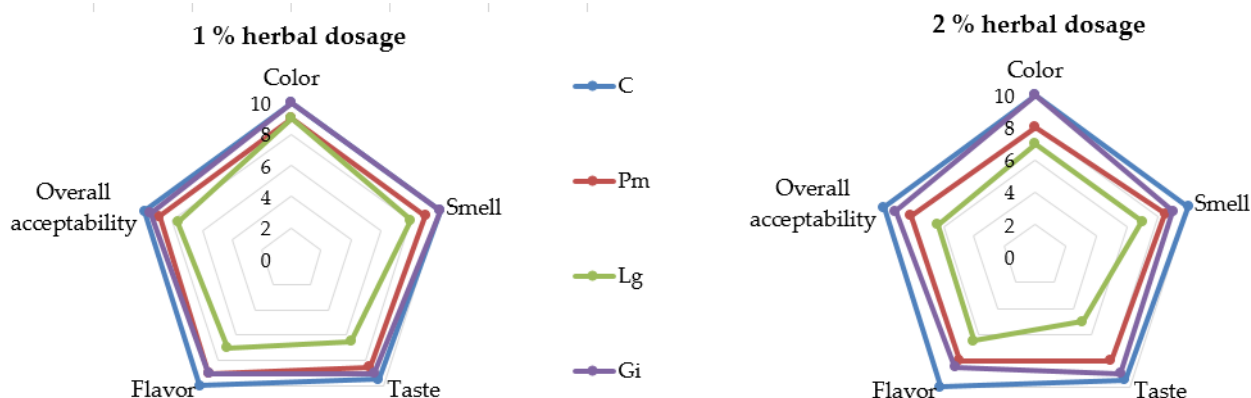


Figure 3: Results of the sensory properties of samples after the manufacturing process

4. CONCLUSIONS

The results prove that the strawberries used to make the product contain significant amounts of beneficial antioxidants and polyphenols. The amount of these compounds increased as a result of the heat treatment applied during the production process. This can be explained by the exposure of the fruit cells during the treatment and the effect of the released compounds. The research provides a comprehensive overview of the antioxidant and polyphenol content of all herbal strawberry nectars. Therefore, it can also be concluded that peppermint and lemon balm contain these beneficial compounds, and that the dosage concentration affects their appearance in the product. Based on shelf-life tests conducted over 42 days, it can be concluded that the levels of antioxidants and polyphenols are highest on the first day of testing, after which they decrease over time. The measurement results obtained demonstrate that the ginger plant decreases the amount of these valuable compounds rather than increasing it. Consequently, it was determined that ginger does not possess an antioxidant effect within the specified food matrix; thus, its incorporation into nectars is not advised. Overall, a 1 % dosage of lemon balm and peppermint has a beneficial effect on the antioxidant and polyphenol content of the product, meaning that consuming the prepared products can have a positive impact on health.



Szamócanektár (*Fragaria* × *ananassa*) antioxidáns és polifenoltartalom növelésének lehetőségei különböző gyógynövények hozzáadásával

KAPCSÁNDI VIKTÓRIA^{1*}, LAKATOS ERIKA¹, VARGA LAURA², SZÉKELYHIDI RITA¹

¹Széchenyi István Egyetem, Albert Kázmér Mosonmagyaróvári Kar

Élelmiszertudományi Tanszék, Mosonmagyaróvár

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

Email: kapcsandi.viktoria@sze.hu

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

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0119-9870>

² HIPP Kft., Hanságliget

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9373-6337>

*Corresponding author/Levelező szerző

ÖSSZEFOGLALÁS

A kutatás célja annak vizsgálata volt, hogy a különböző gyógy- és fűszernövényekkel (borsmenta, citromfű, gyömbér) adalékolt szamócanektárok (*Fragaria* × *ananassa*) antioxidáns- és polifenoltartalma állandó vagy csökkenő tendenciát mutat az eltarthatósági idő előrehaladtával. Az eper feldolgozása után az előkészített fűszernövényeket 1,0 és 2,0 m/m %-os koncentrációban adtuk a mintákhoz. A kísérletek során a citromfű 1 %-os adagolása több mint kétszeresére (2.93-9.19 mg AAE mg/mL), 2 %-os hozzáadott mennyisége pedig több mint hatszorosára növelte a termékekben lévő antioxidánsok mennyiségét (2.93-17.16 mg AAE mg/mL) a mérés első napján a kontroll mintákkal összehasonlítva. A jótékony hatású vegyületek koncentrációja azonban az eltarthatósági idő végére (42. nap) csökkent. A borsmenta adagolása a legjobb esetben 9.99 mg AAE/mL-re növelte az antioxidánsok mennyiségét is. A gyömbér hozzáadása azonban nem növelte, hanem inkább mérsékelte a hasznos vegyületek koncentrációját az általunk vizsgált mintamátrixban (1.90 mg AAE/mL). Az érzékszervi vizsgálatok pedig azt mutatják, hogy a kontrollterméken kívül az 1 és 2 m/m %-os gyömbérrel kiegészített minták nyerték el leginkább a kóstolók tetszését.

Kulcsszavak: szamóca, borsmenta, citromfű, gyömbér, FRAP, Folin-Ciocalteu



REFERENCES

- Aboagye, G., Tuah, B., Bansah, E., Tettey, C., & Hunkpe, G. (2021). Comparative evaluation of antioxidant properties of lemongrass and other tea brands. *Scientific African*, 11, e00718. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2021.e00718>
- Alim, Md. A., Karim, A., Shohan, Md. A. R., Sarker, S. C., Khan, T., Mondal, S., Esrafil, Md., Linkon, K. Md. M. R., Rahman, Md. N., Akther, F., & Begum, R. (2023). Study on stability of antioxidant activity of fresh, pasteurized, and commercial fruit juice during refrigerated storage. *Food and Humanity*, 1, 1117-1124. <https://doi.org/10.1016/j.foohum.2023.09.008>
- Annamalai, G., Kathiresan, S., & Kannappan, N. (2016). [6]-Shogaol, a dietary phenolic compound, induces oxidative stress mediated mitochondrial dependant apoptosis through activation of proapoptotic factors in Hep-2 cells. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 82, 226-236. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2016.04.044>
- Barba, F. J., Esteve, M. J., Tedeschi, P., Brandolini, V., & Frígola, A. (2013). A Comparative Study of the Analysis of Antioxidant Activities of Liquid Foods Employing Spectrophotometric, Fluorometric, and Chemiluminescent Methods. *Food Analytical Methods*, 6(1), 317-327. <https://doi.org/10.1007/s12161-012-9441-3>
- Benzie, I. F. F., & Strain, J. J. (1996). The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a Measure of "Antioxidant Power": The FRAP Assay. *Analytical Biochemistry*, 239(1), 70-76. <https://doi.org/10.1006/abio.1996.0292>
- Bodor, Z., Pergel, B., & Benedek, C. (2021). Impact of heat treatment and flavorings on the antioxidant capacity of black and green tea. *Progress in Agricultural Engineering Sciences*, 16(S2), 55-63. <https://doi.org/10.1556/446.2020.20007>
- Brown, N., John, J. A., & Shahidi, F. (2019). Polyphenol composition and antioxidant potential of mint leaves. *Food Production, Processing and Nutrition*, 1(1). <https://doi.org/10.1186/s43014-019-0001-8>
- Budreviciute, A., Damiani, S., Sabir, D. K., Onder, K., Schuller-Goetzburg, P., Plakys, G., Katileviciute, A., Khoja, S., & Kodzius, R. (2020). Management and Prevention Strategies for Non-communicable Diseases (NCDs) and Their Risk Factors. *Frontiers in Public Health*, 8. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpubh.2020.574111>
- Buendía, B., Gil, M. I., Tudela, J. A., Gady, A. L., Medina, J. J., Soria, C., López, J. M., & Tomás-Barberán, F. A. (2010). HPLC-MS analysis of proanthocyanidin oligomers and other phenolics in 15 strawberry cultivars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58(7), 3916-3926. <https://doi.org/10.1021/jf9030597>
- Chew, B., Mathison, B., Kimble, L., McKay, D., Kaspar, K., Khoo, C., Chen, C.-Y. O., & Blumberg, J. (2019). Chronic consumption of a low calorie, high polyphenol cranberry beverage attenuates inflammation and improves glucoregulation and HDL cholesterol in healthy overweight humans: A randomized controlled trial. *European Journal of Nutrition*, 58(3), 1223-1235. <https://doi.org/10.1007/s00394-018-1643-z>
- Chumyarn, A., Whangchai, K., Jungklang, J., Faiyue, B., & Saengnil, K. (2013). Effects of heat treatments on antioxidant capacity and total phenolic content of four cultivars of purple skin eggplants. *ScienceAsia*, 39(3), 246-251. <https://doi.org/10.2306/scienceasia1513-1874.2013.39.246>



- Elchaghaby, M. A., Abd El-Kader, S. F., & Aly, M. M. (2022). Bioactive composition and antibacterial activity of three herbal extracts (lemongrass, sage, and guava leaf) against oral bacteria: An in vitro study. *Journal of Oral Biosciences*, 64(1), 114-119. <https://doi.org/10.1016/j.job.2022.01.005>
- Faddladdeen, K. A. Jalil. (2022). The possible protective and therapeutic effects of ginger and cinnamon on the testis and coda epididymis of streptozotocin-induced-diabetic rats: Histological and biochemical studies. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29(12), 103452. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2022.103452>
- Francisco, V., Costa, G., Figueirinha, A., Marques, C., Pereira, P., Miguel Neves, B., Celeste Lopes, M., García-Rodríguez, C., Teresa Cruz, M., & Teresa Batista, M. (2013). Anti-inflammatory activity of *Cymbopogon citratus* leaves infusion via proteasome and nuclear factor- κ B pathway inhibition: Contribution of chlorogenic acid. *Journal of Ethnopharmacology*, 148(1), 126-134. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2013.03.077>
- Fulda, S. (2010). Exploiting mitochondrial apoptosis for the treatment of cancer. *Mitochondria, Apoptosis and Cancer*, 10(6), 598-603. <https://doi.org/10.1016/j.mito.2010.05.001>
- Gan, F.-F., Nagle, A. A., Ang, X., Ho, O. H., Tan, S.-H., Yang, H., Chui, W.-K., & Chew, E.-H. (2011). Shogaols at proapoptotic concentrations induce G2/M arrest and aberrant mitotic cell death associated with tubulin aggregation. *Apoptosis*, 16(8), 856-867. <https://doi.org/10.1007/s10495-011-0611-3>
- Häkkinen, S. H., & Törrönen, A. R. (2000). Content of flavonols and selected phenolic acids in strawberries and *Vaccinium* species: Influence of cultivar, cultivation site and technique. *Food Research International*, 33(6), 517-524. [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(00\)00086-7](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(00)00086-7)
- Harris, S., Brunton, N., Tiwari, U., & Cummins, E. (2015). Human exposure modelling of quercetin in onions (*Allium cepa* L.) following thermal processing. *Food Chemistry*, 187, 135-139. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.04.035>
- Holzwarth, M., Korhummel, S., Kammerer, D. R., & Carle, R. (2012). Thermal inactivation of strawberry polyphenoloxidase and its impact on anthocyanin and color retention in strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) purées. *European Food Research and Technology*, 235(6), 1171-1180. <https://doi.org/10.1007/s00217-012-1852-2>
- Jaakola, L., & Hohtola, A. (2010). Effect of latitude on flavonoid biosynthesis in plants. *Plant, Cell & Environment*, 33(8), 1239-1247. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2010.02154.x>
- Khan, I. S., Dar, K. B., Ganie, S. A., & Ali, Md. N. (2022). Toxicological impact of sodium benzoate on inflammatory cytokines, oxidative stress and biochemical markers in male Wistar rats. *Drug and Chemical Toxicology*, 45(3), 1345-1354. <https://doi.org/10.1080/01480545.2020.1825472>
- Kim, S.-Y., Jeong, S.-M., Kim, S.-J., Jeon, K.-I., Park, E., Park, H.-R., & Lee, S.-C. (2006). Effect of Heat Treatment on the Antioxidative and Antigenotoxic Activity of Extracts from Persimmon (*Diospyros kaki* L.) Peel. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 70(4), 999-1002. <https://doi.org/10.1271/bbb.70.999>
- Koyama, R., Ishibashi, M., Fukuda, I., Okino, A., Osawa, R., & Uno, Y. (2022). Pre- and Post-Harvest Conditions Affect Polyphenol Content in Strawberry (*Fragaria x ananassa*). *Plants*, 11(17), 2220. <https://doi.org/10.3390/plants11172220>
- López-Lázaro, M. (2009). Distribution and biological activities of the flavonoid luteolin. *Mini Reviews in Medicinal Chemistry*, 9(1), 31-59. <https://doi.org/10.2174/138955709787001712>



- Mahdavikia, F., Saharkhiz, M. J., & Karami, A. (2017). Defensive response of radish seedlings to the oxidative stress arising from phenolic compounds in the extract of peppermint (*Mentha × piperita* L.). *Scientia Horticulturae*, 214, 133-140. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.11.029>
- Mao, Q.-Q., Xu, X.-Y., Cao, S.-Y., Gan, R.-Y., Corke, H., Beta, T., & Li, H.-B. (2019). Bioactive Compounds and Bioactivities of Ginger (*Zingiber officinale* Roscoe). *Foods*, 8(6), 185. <https://doi.org/10.3390/foods8060185>
- Mohammad, A., Falahi, E., Mohd Yusof, B.-N., Hanipah, Z. N., Sabran, M. R., Mohamad Yusof, L., & Gheitasvand, M. (2021). The effects of the ginger supplements on inflammatory parameters in type 2 diabetes patients: A systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. *Clinical Nutrition ESPEN*, 46, 66-72. <https://doi.org/10.1016/j.clnesp.2021.10.013>
- Mustafa, A. M., Angeloni, S., Abouelenein, D., Acquaticci, L., Xiao, J., Sagratini, G., Maggi, F., Vittori, S., & Caprioli, G. (2022). A new HPLC-MS/MS method for the simultaneous determination of 36 polyphenols in blueberry, strawberry and their commercial products and determination of antioxidant activity. *Food Chemistry*, 367, 130743. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130743>
- Oliveira, A., Almeida, D. P. F., & Pintado, M. (2014). Changes in Phenolic Compounds During Storage of Pasteurized Strawberry. *Food and Bioprocess Technology*, 7(6), 1840-1846. <https://doi.org/10.1007/s11947-013-1239-9>
- Olofinnade, A. T., Onaolapo, A. Y., Onaolapo, O. J., & Olowe, O. A. (2021). The potential toxicity of food-added sodium benzoate in mice is concentration-dependent. *Toxicology Research*, 10(3), 561-569. <https://doi.org/10.1093/toxres/tfab024>
- Özcan, M. M. (2022). The effect of ginger (*Zingiber officinale*) powders at different concentrations on bioactive compounds, antioxidant activity, phenolic constituents, nutrients and sensory characteristics of wheat bread. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 28, 100532. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2022.100532>
- Palermo, M., Pellegrini, N., & Fogliano, V. (2014). The effect of cooking on the phytochemical content of vegetables. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94(6), 1057-1070. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6478>
- Palmieri, L., Masuero, D., Martinatti, P., Baratto, G., Martens, S., & Vrhovsek, U. (2017). Genotype-by-environment effect on bioactive compounds in strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(12), 4180-4189. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8290>
- Qin, Y., Teixeira da Silva, J. A., Zhang, L., & Zhang, S. (2008). Transgenic strawberry: State of the art for improved traits. *Biotechnology Advances*, 26(3), 219-232. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2007.12.004>
- Sharifi-Rad, M., Anil Kumar, N. V., Zucca, P., Varoni, E. M., Dini, L., Panzarini, E., Rajkovic, J., Tsouh Fokou, P. V., Azzini, E., Peluso, I., Prakash Mishra, A., Nigam, M., El Rayess, Y., Beyrouthy, M. E., Polito, L., Iriti, M., Martins, N., Martorell, M., Docea, A. O., Setzer, W. N., Calina, D., Cho, W. C. & Sharifi-Rad, J. (2020). Lifestyle, Oxidative Stress, and Antioxidants: Back and Forth in the Pathophysiology of Chronic Diseases. *Frontiers in Physiology*, 11. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00694>
- Sik, B., Székelyhidi, R., Lakatos, E., Kapcsándi, V., & Ajtony, Zs. (2022). Analytical procedures for determination of phenolics active herbal ingredients in fortified functional foods: An overview. *European Food Research and Technology*, 248(2), 329-344. <https://doi.org/10.1007/s00217-021-03908-6>



- Simmonds, M. S. J., Howes, M.-J., Irving, J. (2017). *The Gardener's Companion to Medicinal Plants*. Frances Lincoln in association with Kew Publishing. ISBN 9780711238107.
- Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventós, R. M. (1999). [14] Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*, 299, 1999, 152-178. [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99017-1](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1)
- Spence, C. (2023). Ginger: The pungent spice. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 33, 100793. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2023.100793>
- Székelyhidi, R., Lakatos, E., Sik, B., Nagy, Á., Varga, L., Molnár, Z., & Kapcsándi, V. (2022). The beneficial effect of peppermint (*Mentha X Piperita* L.) and lemongrass (*Melissa officinalis* L.) dosage on total antioxidant and polyphenol content during alcoholic fermentation. *Food Chemistry: X*, 13, 100226. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100226>
- Urün, I., Attar, S. H., Sönmez, D. A., Gündeşli, M. A., Ercişli, S., Kafkas, N. E., Bandić, L. M., & Duralija, B. (2021). Comparison of Polyphenol, Sugar, Organic Acid, Volatile Compounds, and Antioxidant Capacity of Commercially Grown Strawberry Cultivars in Turkey. *Plants* 10(8). <https://doi.org/10.3390/plants10081654>
- Wang, H., Chen, G., Guo, X., Abbasi, A. M., & Liu, R. H. (2016). Influence of the stage of ripeness on the phytochemical profiles, antioxidant and antiproliferative activities in different parts of *Citrus reticulata* Blanco cv. Chachiensis. *LWT – Food Science and Technology*, 69, 67-75. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.01.021>
- Wichchukit, S., & O'Mahony, M. (2015). The 9-point hedonic scale and hedonic ranking in food science: Some reappraisals and alternatives. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(11), 2167-2178. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6993>
- Ziauddeen, N., Rosi, A., Del Rio, D., Amoutzopoulos, B., Nicholson, S., Page, P., Scazzina, F., Brighenti, F., Ray, S., & Mena, P. (2019). Dietary intake of (poly)phenols in children and adults: Cross-sectional analysis of UK National Diet and Nutrition Survey Rolling Programme (2008–2014). *European Journal of Nutrition*, 58(8), 3183-198. <https://doi.org/10.1007/s00394-018-1862-3>

©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 kajszi (*Prunus armeniaca* L.) termesztési kockázatainak feltárása Sár-hegyen (Heves vármegye), a fagykárok vizsgálatára alapozva

FÜZI TAMÁS^{1*}, BOGDÁN PÉTER²

¹Széchenyi István Egyetem, Albert Kázmér Mosonmagyaróvári Kar

Alkalmazott Fenntarthatóság Tanszék, Győr

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0007-6754-2911>

E-mail: fuzi.tamas@sze.hu

²Széchenyi István Egyetem, Audi Hungaria Járműmérnöki Kar, Győr

*Corresponding author/Levelező szerző

Received/Érkezett: 2024.11.18.

Revised/Átdolgozva: 2025.01.06.

Accepted/Elfogadva: 2025.03.15.

Published/Megjelent: 2025.06.27.

ÖSSZEFOGLALÁS

Az éghajlatváltozás napjainkra egészen különféle formában és módokon nyilvánul meg, mely jelenségek nem egyszer időjárási szélsőségek, extrémítások és kiszámíthatatlan hirtelenséggel bekövetkező események formájában mutatkoznak meg. A klimatikus rendszer megváltozásának sokféle jele van, és ezek előfordulásai térben és időben is eltérő módokon fejeződhetnek ki. Éppen ezért fontos feladat az éghajlatváltozás nyomait helyi és regionális szinten minél részletesebb formában vizsgálni. Ez alól a heves vármegyei Sár-hegy sem kivétel. Sajátos természetföldrajzi és mikroklimatikus adottságai kiváltképp kedveznek a kajszi (*Prunus armeniaca* L.) termesztéséhez, mely egyúttal azt is jelenti, hogy a klímaváltozásból fakadó, akár csekély mértékű, kedvezőtlen légköri átalakulások is képesek lehetnek a több évtizedes múltra visszavezethető kajszitermesztés sikerességére kifejteni hatásukat, mely változások többek között a nemzetgazdaság egészére nézve is előnytelen következményekkel bírhat. Arra való tekintettel, hogy a kajszi prosperáló termeszthetőségét leginkább a virágzáskori fagyok kialakulása, azok visszatérése és újbóli (tavaszi) megjelenése, illetve a tavaszi fagyok erőssége befolyásolja, ezért ezen jelenségek és körülmények kialakulásának – elmúlt két évtizedre (2002–2024) vonatkozó – vizsgálatát és azokból származó eredmények bemutatását és részletes feltárását célozza e tanulmány. Eredményeinkből kiderül, hogy az enyhe ($T_{min} \leq -1,5\text{ °C}$) és közepesen erős ($T_{min} \leq -4,0\text{ °C}$) tavaszi fagyok megjelenésére a tapasztalható általános felmelegedő tendencia ellenére rendszeresen, a virágzás teljes fenológiai fázisában (február 20. – április 10.) számítani lehetett, míg az erős fagyok ($T_{min} \leq -6,5\text{ °C}$) előfordulása megritkulni látszik február 3. és március 1. dekádjában, ám visszatérésükre időszakosan március 2. és 3. dekádjában is lehetett számítani. Az év utolsó tavaszi fagyos napjának egyre későbbi (április 2. és 3. dekádja) és egyre alacsonyabb hőmérsékleti érték formájában történő visszatérése volt jellemző a 2002–2024 közötti időszámban, mely az esetek többségében kritikus erősségű ($T_{min} \leq -1,0\text{ °C}$) fagy formájában jelent meg. Mindezen változások arra engednek következtetni, hogy az ország északi területein a fagyvédelmi készséget és a fagyvédelmi eljárások alkalmazásának lehetőségét a kajszi ültetvényekben április végéig szükséges megőrizni. Mindezek mellett eredményeink az intenzív tavaszi felmelegedések és lehűlések éven belüli együttes megjelenésére



is felhívják a figyelmet, mely erőteljes hőingások (pl. 2018. év) szintén összefüggésbe hozhatók a rendkívüli mértékű termésveszteséggel.

Kulcsszavak: éghajlatváltozás, tavaszi fagy, kajsz (Prunus armeniaca L.), Sár-hegy (Heves vármegye), intenzív tavaszi felmelegedés

1. BEVEZETÉS

A globális éghajlatváltozásból fakadó szélsőséges jelenségek, rekordokat megdöntő időjárási események és kedvezőtlen hatásokkal járó szélsőségek (extrémítások) a Föld különböző pontjain eltérő formában jelenhetnek meg. Hazánkban évről évre rendkívüli hőmérsékleti- és csapadékviszonyok jeleit tapasztaljuk, melyek sok esetben kiszámíthatatlan, bizonytalan és változékony formában nyilvánulnak meg. Az elmúlt években megnövekedett a magas hőmérsékleti értékek előfordulása (Lakatos, 2021; Bokros és Lakatos, 2022), ahogy felfigyelhettünk az egyre hosszabban elnyúló csapadékszegény időszakok – aszályok – kialakulására (Lakatos et al., 2021), valamint az ezt követő intenzív csapadékhullások megjelenésére is (Lakatos et al., 2021). Továbbá „világszerte számos szélsőséges eseményt, hőhullámokat, árvizeket, aszályokat és erdőtüzeket észleltek. Hosszan tartó intenzív hőhullámok sújtottak több európai országot (Franciaország, Spanyolország, Olaszország), Görögországban pedig nagy területen pusztított erdőtűz” (HungaroMet, 2024). Látható tehát, hogy a klimatikus rendszerben változások – ha úgy tetszik valamiféle rendellenességek – mutatkoznak, mely változásokhoz az emberiségnek alkalmazkodnia, vagy bizonyos esetekben ezen változások ellen védekeznie kell.

Ebben a tekintetben kivételes helyzetben van a mezőgazdaság, hiszen az agrárszektor – különösen a gyümölcsstermesztés – a leginkább kiszolgáltatott ágazat a légköri viszonyoknak. Ennek oka, hogy a szabad ég alatt történő mezőgazdasági művelést közvetlenül érinti a szélsőséges időjárásból fakadó számos légköri jelenség. Az elhúzódó szárazsággal együtt járó hőhullámok (Wang et al., 2023), vagy éppen az intenzív, özvényszerű esőzések (Khattak et al., 2024), ugyancsak gyors ütemű párolgással társulva (La Fuente et al., 2024; Tamás, 2016), valamint az éghajlatváltozás – még inkább a globális felmelegedés – következményeként megjelenő invazív kártevő fajok elterjedése (Peace et al., 2020; Tonnang et al., 2017) új, eddig ismeretlen kihívásokat jelent az agrárium számára. A szélsőséges időjárási jelenségekből fakadó kedvezőtlen körülmények befolyásolják a mezőgazdasági termesztés sikerességét, mely leginkább termésveszteség, minőségromlás és növekvő gazdasági ráfordítás formájában nyilvánulhat meg (Rey et al., 2016).

A nyugalmi-, illetve vegetációs időszak bármely fázisában (rügyfakadás, virágzás, termésképződés, érés, stb.) a kedvező hőmérsékleti- és csapadékviszonyok megléte az optimális, mely során bizonyos fenológiai folyamatok eredményesen képesek végbe menni. Ebből is látszik, hogy indokolt a klimatikus változások kistáji, lokális szintű és rövid éven belüli időszakokban meghatározott részletes vizsgálata. Annál is inkább, mivel az éghajlati rendszer megváltozásából eredő transzformációk mind ökológiai, mind növénykórtani szempontból kihívásokat jelentenek, ahogyan nehézségek elé állítja a kajszitermesztő gazdákat a főként tavaszi fagy hatására kialakuló fagykárból adódó termésingadozás is (Mendelné és Mendel 2021a). Ugyanis a sikeres kajszitermesztés a virágzáshoz szükséges időjárási feltételek fennállásával kezdődik. A legnagyobb kockázatot a virágzás fenológiai fázisában kialakuló tavaszi fagyok (Surányi és Molnár, 2011; Szalay et al., 2021), valamint a visszatérő – tavaszi felmelegedést követő, a terméskezdeményeket érő – tavaszi fagyok jelentik (Szabó és Nyéki, 1988). A Központi Statisztikai Hivatal (KSH) és a Fruitweb adatai szerint a tavaszi fagy hazánkban – érintve gyakorlatilag az ország összes termőterületét – a 2023. évben több mint 10 000



tonna termésveszteséget okozott. Az ehhez hasonló termés kieséseket tapasztalva (2. ábra), az elmúlt évtizedek kiemelkedő fontosságú feladatává vált a különböző kajszfajták fagytűrésének, téli, illetve tavaszi faggyal szembeni ellenállóképességének vizsgálata. Ebben a munkában Magyarországon élen járnak Dr. Szalay László és munkatársai, akik az elmúlt években végzett kutatási eredményeikkel kimutatták, hogy a hazai – magyar – nemesítésű kajszfajták jobb fagytűrésűek, mint a spanyol vagy olasz fajták (Szalay et al., 2016), mely megállapításokat Glišić et al., (2019) is alátámasztják tanulmányukban, miszerint a mediterrán változatoknál a kontinentális éghajlaton szelektált fajták a faggyal szemben ellenállóbbak. Szalay et al. (2021) által végzett szabadföldi fagykárvizsgálatok eredményei azt mutatják, hogy a magyar fajták közül kiváló fagytűrésű a 'Rózsakajsi C.1406' a 'Budapest', továbbá jó fagytűrésű a 'Ceglédi arany' és a 'Mandulakajsi', míg a külföldi fajták közül a 'Bergeron' és a Kanadában nemesített fajták tekinthetők a leginkább fagytűrőnek.

Ám nem elegendő a kajszi fajták fagytűrésének kutatása, hanem a szabadföldi vizsgálatok mellett szükség van a meteorológiai jelenségek és változások széleskörű, valamint hosszú időtávú megfigyelésére is, melyből következtethetünk a káresemények előfordulásának ütemére, gyakoriságára és súlyosságára. Ezért volt célunk e tanulmány megírásával feltárni azt, hogy az elmúlt két évtized (2002-2024) során a heves vármegyei Gyöngyös térségében található Sár-hegyen milyen ütemben és irányban változott meg a tavaszi fagyok virágzáskori előfordulása, valamint újbóli visszatérése, illetve bemutatni a virágzáskori hőmérsékleti körülmények kiszámíthatatlanságát, bizonytalanságát, így segítve a kajszi termesztők fagykár elleni küzdelmeit.

2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

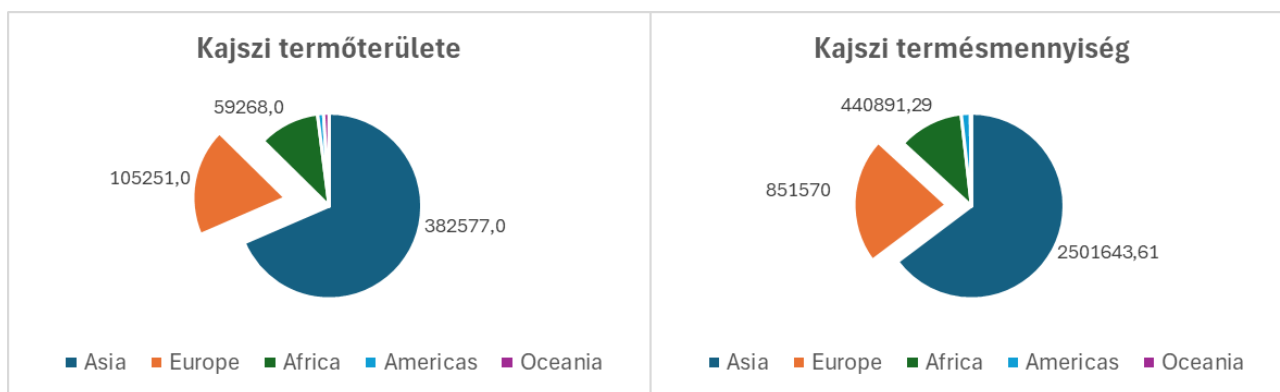
A kajszi a Rosaceae család, azon belül pedig a *Prunus* L. nemzetségbe tartozik. Származását tekintve Vavilov (1951) Kína északi területeit jelölte meg. A legtöbb termesztett kajszifajta a *Prunus armeniaca* L. faj alá tartozik, mely fajták négy különböző földrajzi csoportba sorolhatók: ázsiai, kaukázusi, európai és a dzsungár-altái (Kosztina, 1970). Az Európában, Észak-Amerikában, Dél-Afrikában és Ausztráliában termesztett fajták túlnyomó része egyaránt az európai csoportba sorolható, mely a legfiatalabbnak és a legkevésbé változatosnak tekinthető.

A kajszi az egész világon, így hazánkban is rendkívül kedvelt, gazdag illat- és aromaanyaggal bíró gyümölcs, mely frissen fogyasztva, illetve feldolgozva is népszerű. A kajszi közkedveltségét igazolják a FAOSTAT (az ENSZ Élelmezésügyi és Mezőgazdasági Szervezetének (FAO) élelmezési és mezőgazdasági adatbázisa) által rögzített termesztési adatok is, miszerint a 2022. évben a világon több mint 550 ezer hektáron folyt kajszi termesztés, megközelítőleg 3,9 millió tonna betakarított termésmennyiséggel. Ahogyan az 1. ábrán jól látható, hogy Ázsiában történik a legnagyobb területen – megközelítőleg 383 ezer hektáron – és a legnagyobb betakarított termésmennyiséggel – megközelítőleg 2,5 millió tonna – kajszi termesztés. A második legjelentősebb kajszitermesztő régió Európában található. Itt több mint 100 ezer hektáron folyik a kajszi termesztése.

Európában Olaszország (230 ezer tonna), Franciaország (128 ezer tonna) és Görögország (112 ezer tonna) adta 2022. évben a legnagyobb mennyiségű kajszitermést, ám e tekintetben hazánk is jól teljesített, hiszen az európai ranglistán a 8. helyen végzett Magyarország, a több mint 24 ezer tonna/év betakarított termésmennyiséggel (FAOSTAT).

Az FAOSTAT adataiból is látható, hogy a kajszi jellemzően – lévén, hogy fény- és melegigényes gyümölcsfaj – a mérsékelt égövi, kontinentális klímájú területeken érzi jól magát, ahol az évi középhőmérséklet 10-13 °C között van, a júliusi középhőmérséklet nem haladja meg a 18 °C-ot és a

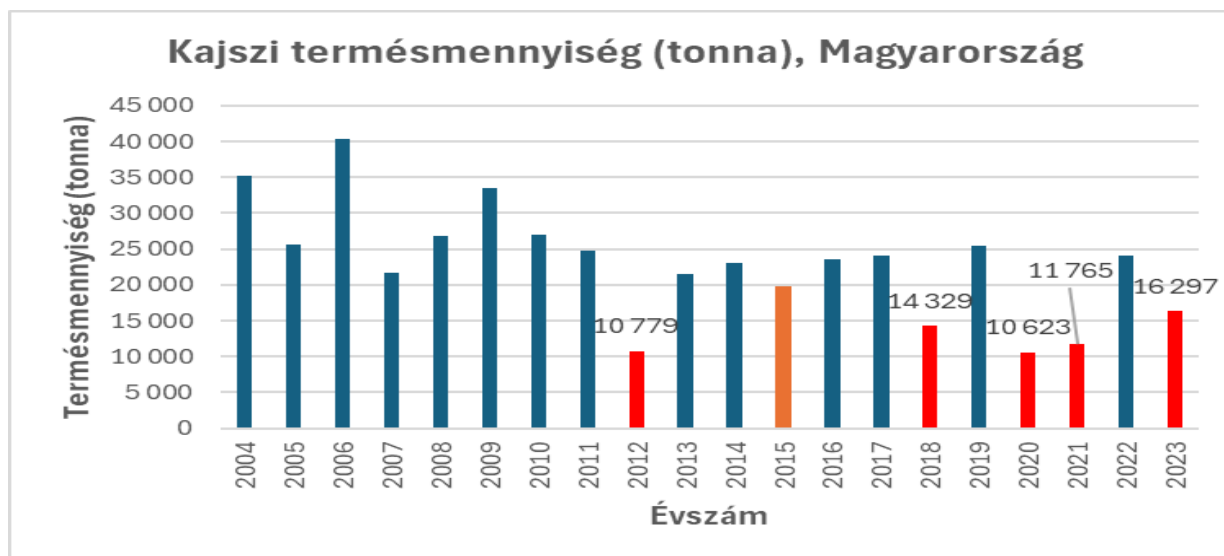
tenyészdíszak során a hőmérsékleti összeg eléri a 3000 °C-ot (Nyujtó és Surányi, 1981). Mindezek tekintetében, tehát a kajszi termesztése mindkét féltekén (északi és déli egyaránt) a 30. és 48. szélességi fokok között terjedt el (Hitka, 2011). Ebből fakadóan az is megállapítható, hogy hazánk a kajszi termesztés északi határvonalán található, melynek oka, hogy észak felé haladva növekszik a fagyvesztés kockázata, így a kajszi sikeres termesztetősége megkérdőjelezett (Nyujtó és Surányi, 1981; Péntes és Szalay, 2003). Magyarország esetében is – kimondottan, a fő veszélyforrásnak számító tavaszi fagyoknak hatására – megközelítőleg 3-4 évente lehet teljes értékű termésbetakarítással számolni (Mendelné és Mendel, 2021b).



1. ábra: Kajszi termőterülete (ha) és betakarított termés mennyisége (tonna), 2022

Forrás: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>

A KSH adataiból is látszik (2. ábra), hogy a Magyarországon betakarított kajszi termés mennyisége az elmúlt két évtized során (2004-2023) – mely megközelítőleg lefedi a mi általunk kijelölt vizsgálati időintervallumot (2002-2024) is – meglehetősen változó volt. Kimondottan igaz ez a megállapítás a 2010. év utáni időszakra, amikor rekordalacsony termést takarítottak be. A helyzet súlyosságát és nemzetgazdasági jelentőségét az Agrárgazdasági Kutató Intézet 2024. évben kiadott – 2023. évre vonatkozó – tanulmánya is jelzi, miszerint a 2023. évben a legjelentősebb káreseménynek a tavaszi fagy volt tekinthető, mely hatására legnagyobb mértékben a kajszi károsodott. Ennek hatására a kajszi barackra kifizetett kárenyhítő juttatás mértéke meghaladta a 375 millió forintot, ami a 2022. évének több mint ötszöröse volt. Ez az összeg az ültetvényekre kifizetett kárenyhítő juttatás több mint 32 százalékát tette ki (Áldorfai et al., 2024).



2. ábra: Kajsi betakarított termésmennyisége (tonna) Magyarországon, 2004-2023

Forrás: <https://www.ksh.hu/stadat?lang=hu&theme=mez>

Erdődiné és Kovács (2024) tanulmánya szerint előre jelezhetők a 2024. évre vonatkozóan is a tavaszi fagykarak, hiszen írásuk alapján ezen évben túl korán (február) megkezdődött a vegetációs időszak az átlagosnál melegebb időjárásnak köszönhetően, ami azt is jelenti, hogy a gyümölcsfák túl korán értek a virágzás fenológiai fázisába. Ezt követően, március 20-a után visszatértek a fagypont alatti hőmérsékleti értékek, valamint április közepén jelentős és gyors lehűlés volt tapasztalható, éjszakai fagyokkal.

A kajsi fagyérzékenysége számos (korai) tanulmány felhívta már a figyelmet (Kostina 1936; Szóts 1941; Mohácsy 1946), melyeket követően jelentős kutatások indultak meg a kajsi fagyútírását vizsgálva. Ezek alapján megállapítható, hogy a virágzás során kialakuló $-4,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ -nál erősebb fagyok már 80 %-ot meghaladó károsodást képesek okozni (Szabó és Nyéki 1988, 1991; Szabó et al., 1995). Zayan (1981) eredményei szerint teljes virágzáskor már a $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ is jelentős kártételt képes eredményezni, míg Szalay (2003) eredményei szerint a gyümölcskezdemények akár $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ alatt is nagymértékben károsodhatnak.

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

Kutatómunkánkat Gyöngyös térségére vonatkozóan végeztük, melyhez szükséges hőmérséklet adatokat az Országos Meteorológiai Szolgálat (HungaroMet Zrt.) Meteorológiai Adattárából igényeltük Kompolt (Gyöngyöshöz legközelebb található) állomásra vonatkozóan (ész.: 47,7397; kh.: 20,2358; tszfm.: 122,3), tekintettel arra, hogy a Gyöngyösön üzemelő meteorológiai állomásról nem álltak rendelkezésre egybefüggő hőmérsékleti adatsorok. A kompolti mérőállomásról származó adatsorok 2002. január 1-től napjainkig (2024. november) tartalmazznak napi bontású minimum-, maximum-, és középhőmérsékleti értékeket. Ez az adatmennyiség elegendő ahhoz, hogy az elmúlt 23 év során végbement, hőmérsékleti változásokat bemutató vizsgálatokat végrehajtsuk. A hőmérsékleti adatsort illetően fontos megjegyezni, hogy 2019. évben adathiányt tapasztaltunk, ami 2019. március 24-től május 7-ig állt fenn, érintve a minimum-, maximum-, és középhőmérsékleti adatsorokat egyaránt. Mivel ez az időszak átfedésben van a virágzás fenológiai fázisával, ezért a vizsgált tartományból (2002-2024) a 2019. évet kivettük.



Vizsgálatainkat a virágzás éven belüli időszakának, valamint a virágzást közvetlenül megelőző és azt követő – a virágzás folyamatára és a termésképződésre hatást gyakorló, rövid – pár hetes időszak meghatározásával kezdtük. A szakirodalmi források alapján ezt az éven belüli időszakot február 20. és április 10. közötti időszámban határoztuk meg. Az adatok elemzéséhez ezen időszábot dekádokra – 10 napi blokkokra – osztottuk és az egyes indikátorok változását ezen egységekben vizsgáltuk. Kutatómunkánk során az alábbi indikátorokat jelöltük ki.

Különböző erősségű fagyok előfordulása (gyakorisága):

- $T_{min} \leq -1,5\text{ °C}$; amikor a napi minimum hőmérséklet $-1,5\text{ °C}$, vagy annál alacsonyabb (nap);
- $T_{min} \leq -4,0\text{ °C}$, amikor a napi minimum hőmérséklet $-4,0\text{ °C}$, vagy annál alacsonyabb (nap);
- $T_{min} \leq -6,5\text{ °C}$, amikor a napi minimum hőmérséklet $-6,5\text{ °C}$, vagy annál alacsonyabb (nap).

Az utolsó tavaszi fagy előfordulása:

- Az utolsó tavaszi fagy előfordulásának napja (Julián nap = J_n);
- Az utolsó tavaszi fagy erőssége ($^{\circ}\text{C}$), $T_{min} < 0,0\text{ °C}$.

Tavaszi felmelegedés intenzitása:

- Napi maximum hőmérsékleti értékből számolt 10 napot felölő meredekség ($^{\circ}\text{C}$).

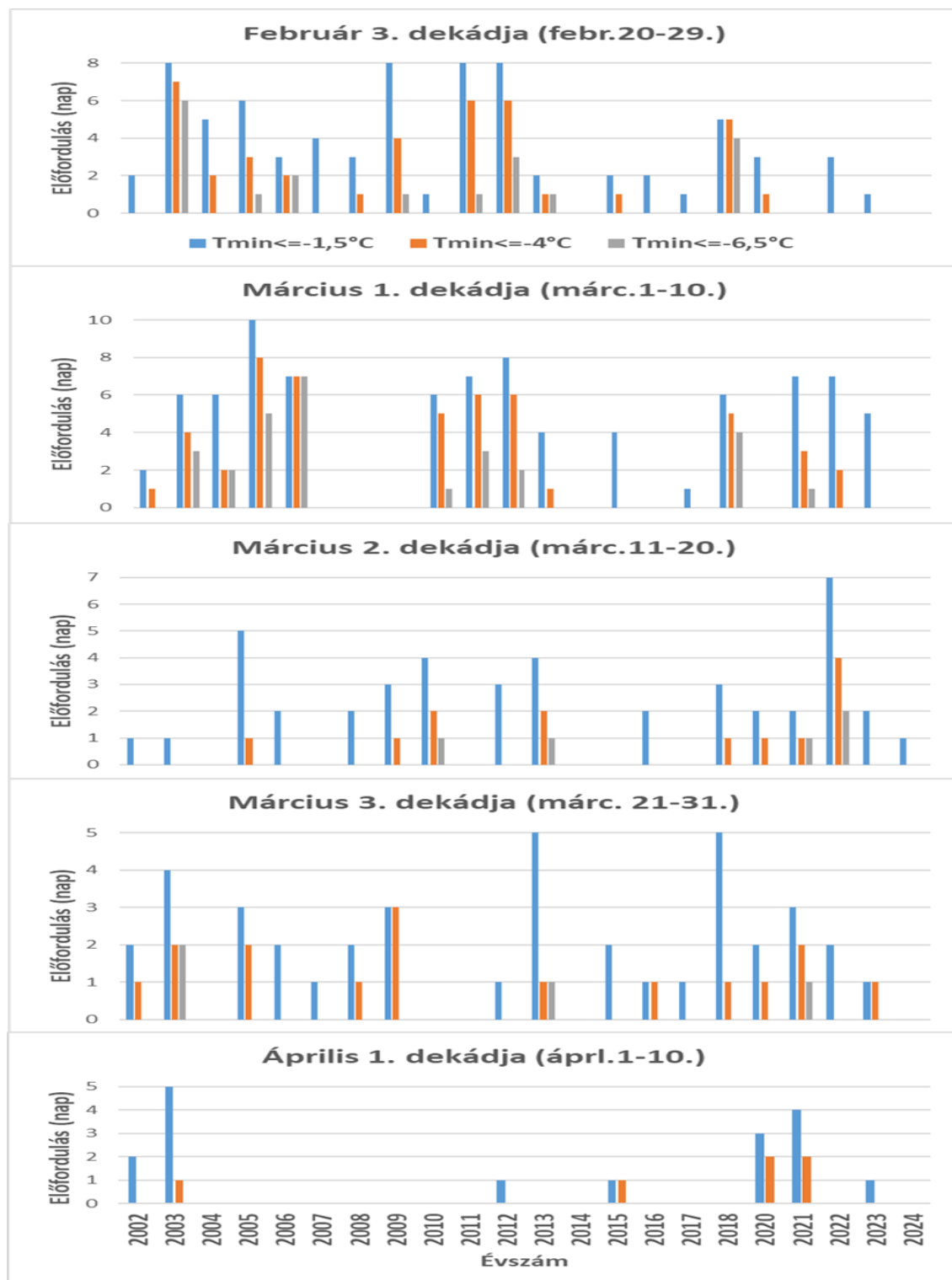
Az elmúlt 22 évre vonatkozóan vizsgáltuk a napi maximum hőmérsékleti értékek maximumának, a napi középhőmérsékleti értékek átlagának, valamint a napi minimum hőmérsékleti értékek minimumának változását a február 20. és április 10. közötti éven belüli időszakban.

Az adatok kezelését, elemzését és kiértékelését, úgy, mint gyakoriságvizsgálat, lineáris trendvizsgálat, valamint a Student-féle t-próba segítségével a meredekségre vonatkozó szignifikanciaérték-számítást – legalább $\alpha = 0,05$ szinten –, MS Excel segítségével végeztük, a kapott eredményeinket pedig diagramokon mutatjuk be.

4. EREDMÉNYEK

Az 3. ábrán látható a különböző erősségű fagyok ($T_{min} \leq -1,5\text{ °C}$ (enyhe); $T_{min} \leq -4,0\text{ °C}$ (közepesen erős); $T_{min} \leq -6,5\text{ °C}$ (erős)) előfordulásának megváltozása 2002-2024 között a virágzás fenológiai szakaszában (február 20. – április 10.). Az ábrán látott eredmények alapján arra következtethetünk, hogy az erős ($T_{min} \leq -6,5\text{ °C}$) fagyok, az általános felmelegedési trendeket követve – A Meteorológiai Világszervezet (WMO) jelentése szerint globálisan 2023. év volt a legmelegebb esztendő 1850 óta – megritkulni, sőt eltűnni látszik a február végi (február 3. dekád), március eleji (március 1. dekád) időszakokban. Ez összhangban lehet azzal a ténnyel, hogy hazánkban a 2023/2024-es tél, valamint 2024. év tavasza volt a legmelegebb 1901 óta (Szolnoki-Tótván, 2024), ami szintén a felmelegedés tagadhatatlan jelét mutatja.

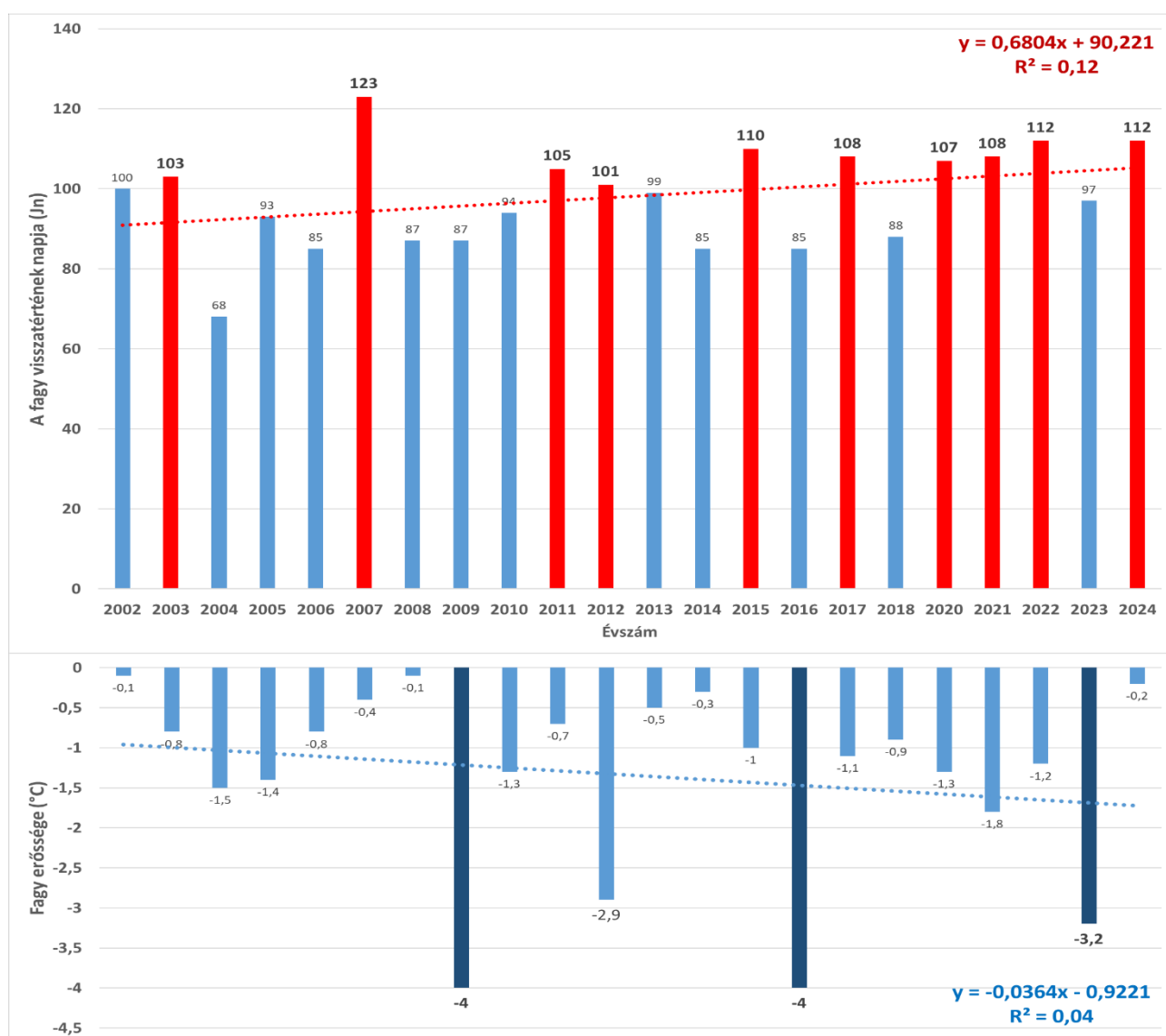
Az enyhe és közepesen erős fagyok előfordulása a virágzás teljes időszakára jellemző volt. A fagyok előfordulásának mérséklése április 1. dekádjában következett be, ám különösen érdekes – és talán az éghajlatváltozásból fakadó kiszámíthatatlansággal a leginkább egybevágó – megfigyelés, hogy a 2020. évet követő időszakban előfordulásuk gyakoribbá vált. Tendenciaszerű változást megállapítani nem tudunk, ám az jól látszik, hogy a virágzáskori fagyok megjelenésére kisebb megszakítások mellett, rendszeresen számíthatunk, és különösen az április eleji – a tavaszi felmelegedést követő – enyhe és közepesen erős fagyok visszatérésre szükségszerű felkészülni.



3. ábra: A virágzás fenológiai fázisában kialakuló különböző erősségű fagyok ($T_{min} \leq -1,5^{\circ}\text{C}$; $T_{min} \leq -4,0^{\circ}\text{C}$; $T_{min} \leq -6,5^{\circ}\text{C}$) gyakoriságának megváltozása Gyöngyös térségében (2002-2024)



A 4. ábrán látható az utolsó tavaszi fagy visszatérésének napja (J_n) és az ezen a napon kialakuló fagy erőssége ($^{\circ}\text{C}$), vagyis a napi minimum hőmérsékleti értéke. Az itt látható eredményekből következtethetünk arra, hogy az elmúlt megközelítőleg két évtized (2002-2024) során az utolsó tavaszi fagyos napok az év egyre későbbi napján, vagyis jellemzően április 2., illetve 3. dekádjában térnek vissza, alakulnak ki. Ez látható a 4. ábra felső diagramjára illesztett trendvonalból, és annak egyenletéből is. Habár az általunk végzett trendvizsgálat nem mutat szignifikáns változást ($P = 0,11$), az egyenlet b_1 értéke ($b_1 = +0,680$) emelkedő tendenciát igazol, mely megállapítás azt jelenti, hogy a vizsgált 22 év során évtizedenként megközelítőleg egy héttel (6,8 nap) tolódott ki az utolsó tavaszi fagyok megjelenése.



4. ábra: A tavaszi utolsó fagy visszatérésnek napja (J_n) és erőssége ($^{\circ}\text{C}$) Gyöngyös térségében (2002-2024)

Az általunk tapasztalt változások bizonyos mértékben összecsengenek a KSH termésadataival (2. ábra) és megmagyarázzák a 2012., 2020., 2021. és 2023. éveken betakarított rendkívül alacsony termésmennyiséget. Ugyanis, ha a 4. ábra alsós diagramjára tekintünk, láthatjuk, hogy ezekben az



években nem csak későn (április 1-3. dekádjában), hanem kritikusan alacsony – $-1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ot meghaladó erősségű – fagy formájában tértek vissza a tavaszi fagyok.

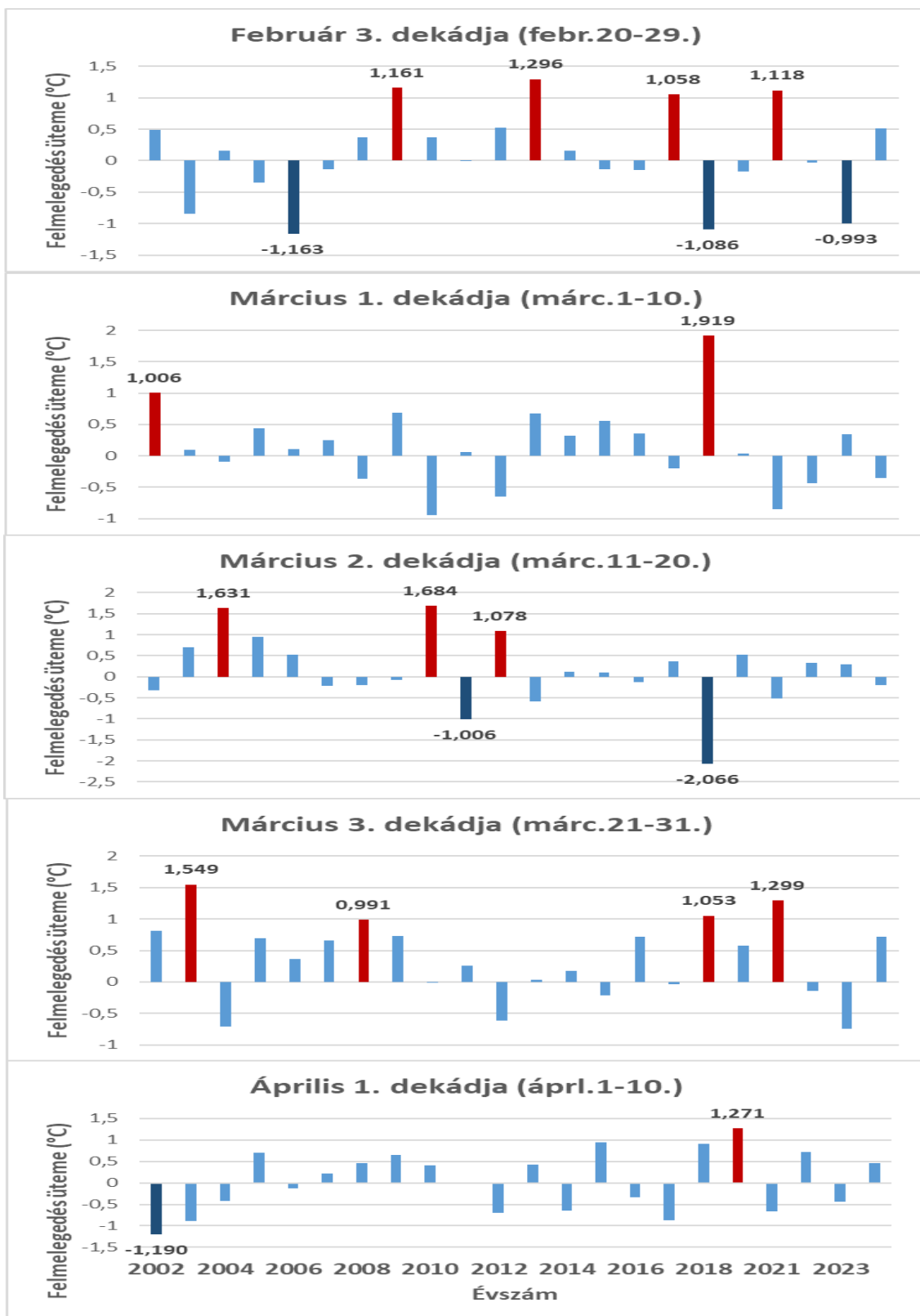
A 4. ábra alsó oszlopdiagramján az is látható, hogy – míg az utolsó tavaszi fagyok megjelenése egyre inkább kitolódni látszik – a tavaszi utolsó fagyos nap egyre alacsonyabb hőmérsékleti érték formájában jelent meg. Ez a diagramra illesztett trendvonalból és annak egyenletéből is kitűnik. Habár az utolsó tavaszi fagyos nap hőmérsékleti értékére vonatkozó trendvizsgálat eredménye nem mutat szignifikáns változást ($P = 0,37$), az egyenlet b_1 értéke ($b_1 = -0,036$) igazolja, hogy az elmúlt 22 év során a visszatérő utolsó tavaszi fagy egyre alacsonyabb – megközelítőleg évtizedenként $-0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ – hőmérsékleti értékkel alakult ki.

Összességben megállapítható, hogy a kajszi sikeres termesztését nehezítheti az utolsó tavaszi fagyok egyre későbbi időpontban és egyre erősebb fagy képében történő visszatérése. Erre főképp a 2010. év utáni időszakban kialakuló jelenségekből következtethetünk, miszerint a 2011-2024 közötti időintervallumban (13 év) 8 olyan esztendő fordult elő – tehát az esetek több mint 60 %-ában –, amikor az utolsó tavaszi fagy április 2. dekádjában, vagy az után következett be, és szintén 8 olyan esztendő fordult elő, amikor az utolsó tavaszi fagy erőssége elérte, illetve meghaladta a kritikusan tekinthető $-1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ot.

Az 5. ábrán bemutatott eredményeink a virágzáskori hirtelen bekövetkező, intenzív lehűlés, és intenzív felmelegedés előfordulását, valamint dekádonként bekövetkező váltakozását tartalmazzák. Intenzívnek – gyors üteműnek – tekintjük a 10 nap alatt (dekád) $1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os hőmérsékletemelkedést elérő, illetve azt meghaladó felmelegedést (piros szín), valamint a $-1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os hőmérsékletcsökkenést elérő, illetve azt meghaladó lehűlést (kék szín).

Az eredményeink a 2. ábrán – a KSH által rögzített adatok alapján – bemutatott, a 2018., 2020. és 2021. években tapasztalt gyenge termés hozamokra lehet magyarázat, miszerint a 2018. év tavaszára – vagyis a virágzás fenológiai fázisára, (február 20. – április 10.) – az intenzív, gyors ütemű lehűlések és felmelegedések váltakozásai lehettek kedvezőtlen hatással (5. ábra), míg a 2020. és 2021. évekre a március végi intenzív felmelegedések, melyeket követően erőteljes ($-1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ot meghaladó) és későn (április 2. dekádjában) visszatérő fagyok alakultak ki (4. ábra).

Az 5. ábrán bemutatott eredményeinkből arra következtethetünk, hogy a virágzáskori egyenletlen, intenzív felmelegedésekkel vagy gyors ütemű lehűlésekkel jellemezhető időjárás kedvezőtlen hatással bírhat a termés hozamra kiváltképp abban az esetben, ha az intenzív felmelegedés március 3. dekádjában és/vagy április 1. dekádjában jelenik meg és azt követően visszatér az erőteljes fagy. A termésvesztésen túl, a késő téli és kora tavaszi felmelegedés hatással van a nedvkeringés beindulásának folyamatára, mivel képes annak ütemét felgyorsítani, melynek következtében a kora tavaszi, illetve késő tavaszi fagyok komoly károkat képesek okozni (Tamássy, 1981). A kajszi esetében ennek az a legfőbb oka, hogy a téli mélynyugalom utáni néhány $^{\circ}\text{C}$ -os hőmérsékletemelkedés hatására a rügyduzzadás folyamata megindul, és ezáltal a rügyek fagyállósága is jelentősen lecsökken (Molnár és Vágó, 1999). Csihon (2022) megállapításai arra is kiterjednek, hogy a felmelegedés és lehűlés egymást követő váltakozása már a növényi szövetekben, jelentős mértékű hőmérsékletingadozás pedig a törzsben is képes elváltozásokat, károkat okozni.

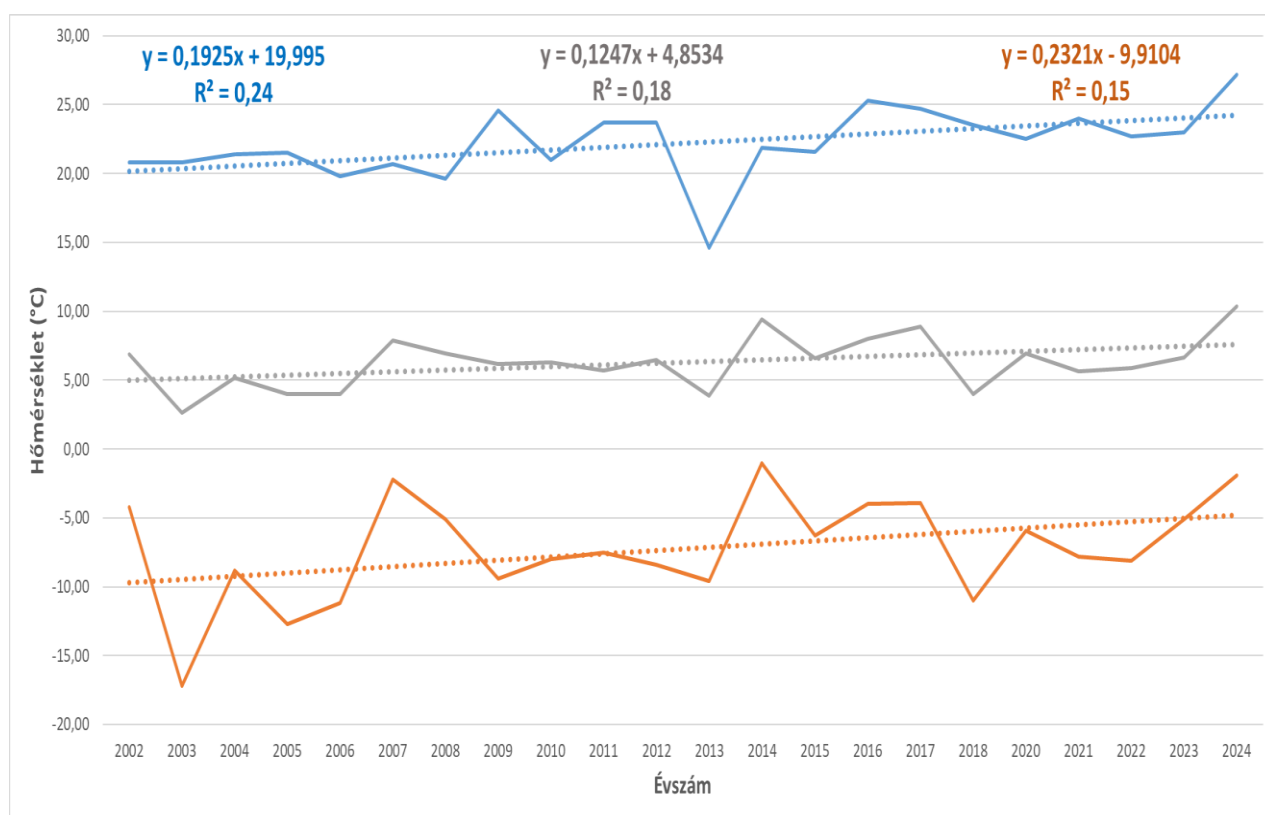


5. ábra: A felmelegedés intenzitásának vizsgálata a virágzás fenológiai fázisában Gyöngyös térségében (2002-2024)

A 6. ábra az elmúlt bő két évtizedre (2002-2024) jellemző általános felmelegedési tendenciát mutatja be, mely azt hivatott igazolni és alátámasztani, hogy a klímaváltozással azonosított globális felmelegedés, mely hazánkban, sőt egészen pontosan a heves vármegyei Sár-hegyen is tapasztalható, magával hordozza a minimum-, közép-, és maximum hőmérsékleti értékek emelkedését egyaránt, továbbá igazolja, hogy a felmelegedés jeleit nem elegendő éves viszonylatban vizsgálni. Az általunk bemutatott változások azt a megállapítást támasztják alá, miszerint szükséges a rövid éven belüli időszavok részletes analízise, mint például az általunk kijelölt, a kajszi virágzásának éven belüli időszakával egybeeső időszak.

A vonaldiagramokra illesztett trendvonalak és azok egyenletei jól mutatják, hogy az elmúlt 23 évben (2002-2024) a felmelegedés jelei a tavaszi – a kajszi virágzáskori (február 20. – április 10.) időszakában – egyértelműen tapasztalhatók voltak.

Az általunk végzett trendvizsgálat a maximum hőmérsékleti értékek esetében szignifikáns ($P = 0,02$) változást mutat. A növekvő irányú változást az egyenlet b_1 értéke ($b_1 = 0,192$) igazolja, miszerint az elmúlt 22 év során évtizedenként megközelítőleg 2°C -al emelkedtek a maximum hőmérsékleti értékek. Növekvő irányú ($b_1 = 0,232$) változást tapasztaltunk – $P = 0,07$ szignifikanciaszinten – a minimum hőmérsékleti értékek esetében, ami az elmúlt 22 évre vonatkozóan évtizedenként megközelítőleg $2,3^\circ\text{C}$ -os hőmérsékletemelkedést mutat. A középhőmérsékleti értékek esetében az elmúlt 22 évre vonatkozóan $P = 0,05$ szignifikanciaszinten tapasztaltunk szignifikáns növekvő irányú változást, mely évtizedenként megközelítőleg $1,2^\circ\text{C}$ hőmérsékletváltozást ($b_1 = 0,124$) jelent.



5. ábra: A maximum (kék)-, közép (szürke)- és minimum (narancs) hőmérsékleti értékek változása Gyöngyös térségében február 20. és április 10. között (2002-2024)



Ezen túlmenően a 6. ábrán bemutatott változások arra is felhívják a figyelmet – egyúttal utalva a 3-5. ábrákon bemutatott eredményeinkre is – hogy az általános felmelegedés nem jár együtt a fagyok, valamint az azokkal együtt járó veszélyek és káresemények eltűnésével és megszűnésével. Tehát a minimum-, közép- és maximum hőmérsékleti értékek emelkedése mellett szükségszerű a fagyok kialakulásának és visszatérésének veszélyével számolni.

5. KÖVETKEZTETÉSEK

A különböző erősségű tavaszi fagyok előfordulásának megváltozását, a visszatérő tavaszi fagyok idejét és erősségét, valamint a tavaszi felmelegedés ütemének változását a kajszi virágzásának éven belüli időszakához kötve végeztük a heves vármegyei Sár-hegyre vonatkozóan az elmúlt több mint két évtized (2002-2024) távlatában.

Eredményeinkből kitűnik, hogy a kajszi virágzásának fenológiai szakaszában (február 20. – április 10.) az elmúlt 23 év során a tavaszi fagyok megjelenésével, az általános felmelegedő tendencia ellenére is számolni kellett, ahogy az utolsó tavaszi fagyok egyre későbbi (április 2. és 3. dekádja) és egyre erőteljesebb ($T_{min} \leq -1,0^{\circ}\text{C}$) visszatérésével is. A különböző erősségű tavaszi fagyok virágzáskori megjelenése, valamint a késői (április végi) és erőteljes fagyok visszatérése összhangban van a KSH által rögzített termésmennyiség adatokkal, vagyis azon évek (2012., 2018., 2020., 2021. és 2023.), melyekben rendkívül alacsony volt a betakarított termésmennyiség (mennyiség < 17.000 tonna/év), megegyeznek azokkal az évekkel, melyekben a különböző erősségű fagyok nagy számban alakultak ki, a visszatérő fagyok április 2. illetve 3. dekádjában, valamint $-1,0^{\circ}\text{C}$ alatti hőmérsékleti érték formájában jelentek meg.

Mindezek mellett a tavaszi intenzív felmelegedések kialakulása is jellemző volt ezekre az évekre (2018, 2020, 2021), melyek a visszatérő fagyok káros hatásait fokozni képesek.

Általánosságban megállapítható tehát, hogy az általános felmelegedés ellenére a tavaszi fagyok megjelenésével és visszatérésével, valamint az ebből fakadó kedvezőtlen hatásokkal és következményekkel az elmúlt 23 év során számolni kellett, ami arra enged következtetni, hogy a kajszi termesztő gazdák számára a fagyvédelmi munkálatok elvégzése április 3. dekádjáig elengedhetetlen, melyre a kora tavasszal kialakuló intenzív felmelegedő hullámok ellenére évről évre szükség van.

Mindezek mellett megállapítható, hogy a növénynemesítés feladata immáron nem csak a kajszi tavaszi faggyal szembeni ellenállóságának fokozása, hanem az intenzív lehűléssel és felmelegedéssel – vagyis az éven belüli, kora tavaszi erőteljes hőingással – szembeni ellenállóság fejlesztése is.



**Case Study, Exploration of the Risk in the Cultivation of Apricots
(*Prunus armeniaca* L.) in Sár-Hegy (Heves County),
based on the examination of frost damage**

TAMÁS FÜZI¹, PÉTER BOGDÁN²

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

Department of Applied Sustainability, Győr, Hungary

ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0007-6754-2911>

E-mail: fuzi.tamas@sze.hu

²Széchenyi István University, Audi Hungaria Vehicle Engineering, Győr, Hungary

*Corresponding author/Levelező szerző

ABSTRACT

Nowadays, climate change manifests itself in many ways, often in the form of weather extremes and events of unpredictable suddenness. There are many different signs of change in the climate system, and their manifestations vary in space and time. It is therefore important to study the signs of climate change at the local and regional level in as much detail as possible. The Sár-hegy in Heves County is no exception. Its specific natural geographical and microclimatic conditions are particularly favourable for the cultivation of apricots (*Prunus armeniaca* L.), which also means that even small, unfavourable atmospheric changes due to climate change can affect the success of apricot cultivation, which has a history of several decades, and which changes can have negative consequences, among others, for the national economy. Since the prosperous cultivability of apricots is mainly influenced by the onset of frosts during efflorescence, the return and reappearance (in spring) of frosts and the severity of spring frost. Therefore, the aim of this study is – for the last two decades (2002-2024) – to investigate the evolution of these phenomena and circumstances and to present and explore in detail the results obtained. Our results show, that, despite the general warming trend, the occurrence of mild ($T_{min} \leq -1.5^{\circ}\text{C}$) and moderately hard ($T_{min} \leq -4.0^{\circ}\text{C}$) spring frosts could be expected regularly throughout the phenological flowering phase (20 February – 10 April). Meanwhile, the occurrence of hard frosts ($T_{min} \leq -6.5^{\circ}\text{C}$) seemed to become less frequent in the 3rd decade of February and 1st decade of March, but their return could be expected periodically in the 2nd and 3rd decade of March. The return of the last spring frost day of the year occurred increasingly later (2nd and 3rd decade of April) and in the form of lower and lower temperatures in the period 2002-2024, in most cases in the form of a critical frost ($T_{min} \leq -1.0^{\circ}\text{C}$). All these changes suggest that in the northern parts of the country it is necessary to maintain frost protection preparedness and the possibility of applying frost protection procedures in apricot plantations until the end of April. In addition to this, our results draw attention to the combined occurrence of intense spring warming and cooling within a year, which severe heat fluctuations (e.g. 2018) are also associated with exceptional yield losses.

Keywords: *climate change, spring frost, apricot (*Prunus armeniaca* L.), Sár-hegy (Heves County), intensive spring warming*



IRODALOMJEGYZÉK

- Áldorfai, G., Hámori, J., Keszthelyi, S., Kocsis, Á., Kovač, A. R., Péter, K., & Szili, V. (2024). A mezőgazdasági kockázatkezelési rendszer működésének értékelése 2023. Agrárközgazdasági Intézet. <https://doi.org/10.7896/ai2404>
- Bokros, K. & Lakatos, M. (2022). Hőségperiódusok vizsgálata Magyarországon a XX. század elejétől napjainkig. *Léggör*, 67(3), 130-140. <https://doi.org/10.56474/legkor.2022.3.2>
- Csuhon, Á. (2022). *Fajtahasználát a gyümölcstermesztésben*. Debreceni Egyetem Kiadó, Debrecen.
- Erdődiné, M. Zs. & Kovács A. V. (2024). A 2024-es tavasz időjárása agrometeorológiai szempontból. *Léggör*, 69(3), 59-60. <https://doi.org/10.56474/legkor.2024.3.1>
- Glišić, I., Milošević, T., Ilić, R., Paunović, G., Jovančić, N. & Vujisić, M. (2019). *Freezing flower buds of apricot (Prunus armeniaca L.) during winter dormancy* [Conference session]. XXIV savetovanje o Biotehnologiji 2020. pp. 523-530.
- Hitka, G. (2011). *Kajszi szabályozott légterű tárolástechnológiájának fejlesztése* [Doktori (PhD) Értekezés, Budapesti Corvinus Egyetem].
- Khattak, W. A., Abbas, A., Hameed, R., Balooch, S., Jalal, A., Zaman, F., Shafiq M., & Sun, J. (2024). Climate change induced environmental adversities and their impact on agricultural productivity. In *Challenges and Solutions of Climate Impact on Agriculture* (pp. 1-28). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-23707-2.00001-5>
- Kostina, K. F. (1936). *Abrikosz*. Izd. Vseszozjuz. Akad. Sz. Nauka. Leningrad.
- La Fuente, S., Jennings, E., Lenters, J. D., Verburg, P., Kirillin, G., Shatwell, T., Couture, R-M., Côté, M., Vinnå, C. L. R., & Woolway, R. I. (2024). Increasing warm-season evaporation rates across European lakes under climate change. *Climatic Change*, 177(12), 1-18. <https://doi.org/10.1007/s10584-024-03830-2>
- Lakatos, M. (2021). Kiterjedt, gyors és egyre intenzívebb az éghajlatváltozás az IPCC 6. értékelő jelentése szerint. *Léggör*, 66(3), 29.
- Lakatos, M., Bihari, Z., Izsák, B., Marton, A., & Szentés, O. (2021). Megfigyelt éghajlati változások Magyarországon. *Léggör*, 66(3), 5-11.
- Mendelné, P. E. & Mendel Á. (2021a). Ceglédi kajszi fajták fagyűrésének vizsgálata szabadföldi felvételezések alapján. *Acta Agronomica Óváriensis*, 62(2), 4-15.
- Mendelné, P. E. & Mendel, Á. (2021b). Ceglédi bájos: a new apricot cultivar of Hungary. *Horticultural Science*, 56, 10.
- Mohácsy M. (1946). *A gyümölcstermesztés kézikönyve*. Pátria Kiadó, Budapest.
- Molnár, L., & Vágó E. (1999). *Kajszi termesztés képekben*. Magyar Gyümölcs-szövetség Délalföldi Tagozata, Kecskemét.
- Nyujtó, F. & Surányi, D. (1981). *Kajszi barack*. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- Peace, N. (2020). Impact of climate change on insects, pest, diseases and animal biodiversity. *Int. J. Environ. Sci. Nat. Resour*, 23(5), 151-153. <https://doi.org/10.19080/IJESNR.2020.23.556123>
- Rey, D., Holman, I. P., Daccache, A., Morris, J., Weatherhead, E. K., & Knox, J. W. (2016). Modelling and mapping the economic value of supplemental irrigation in a humid climate. *Agricultural Water Management*, 173, 13-22. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.04.017>
- Surányi, D., & Molnár, L. (2011). A fajták téli és tavaszi fagyűrése. In Surányi, D. (Szerk.): *A sárgabarack*. Szent István Egyetemi Kiadó, Gödöllő.
- Szabó, Z. & Nyéki, J. (1988). Kajszi-, cseresznye- és meggyfajták fagykárosodás. *Gyümölcs-Inform* 10(1), 15-19.



- Szabó, Z. & Nyéki, J. (1991). Csonthéjas gyümölcsfajok fagykárosodása. *Kertgazdaság*, 23(2), 9-19.
- Szabó, Z., Soltész, M., Bubán, T. & Nyéki, J. (1995). Low winter temperature injury to apricot flower bud in Hungary. *Acta Hort.* 384, 273-276. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1995.384.41>
- Szalay, L. (2003). A virágrügyek kialakulása és fejlődése. In Péntes, B., Szalay, L. (Szerk.), *Kajszi* (pp. 162-167). Mezőgazda Kiadó, Budapest.
- Szalay, L., Ladányi, M., Hajnal, V., Pedryc, A. & Tóth, M. (2016). Changing of the flower bud frost hardiness in three Hungarian apricot cultivars. *Horticultural Science (Prague)*, 43(3), 134-141. <https://doi.org/10.17221/161/2015-HORTSCI>
- Szalay, L., Bakos, J., Tósaki, Á., & Froemel-Hajnal, V. (2021). Kajszfajták virágrügyeinek és virágainak fagyűrése a természetes fagykárak felmérése alapján. *Kertgazdaság*, 53(2), 3-15.
- Szolnoki-T, B. (2024). 2023/2024 telének időjárása. *Léghő*, 69(2), 60. <https://doi.org/10.56474/legkor.2024.2.1>
- Szőts S. (1941). *Kajsziaracktermesztés*. Magyar Gyümölcs, Budapest.
- Tamás, A. (2016). The effect of rising concentration of atmospheric carbone dioxide on crop production. *Acta Agraria Debreceniensis*, 67, 81-84.
- Tamássy, I. (1981). *A kertészeti rezisztencia nemesítés és lehetőségei*. Agrártudományi közlemények: A Magyar Tudományos Akadémia Agrártudományok Osztályának Közleményei, 0(1), 119-135.
- Tonnang, H. E., Hervé, B. D., Biber-Freudenberger, L., Salifu, D., Subramanian, S., Ngowi, V. B., & Borgemeister, C. (2017). Advances in crop insect modelling methods – Towards a whole system approach. *Ecological Modelling*, 354, 88-103. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2017.03.015>
- Vavilov, N. I. (1951). Phytogeographic basis of plant breeding. *Chron. Bot.* 13-54.
- Wang, C., Li, Z., Chen, Y., Ouyang, L., Li, Y., Sun, F., Liu, Y., & Zhu, J. (2023). Drought-heatwave compound events are stronger in drylands. *Weather and Climate Extremes*, 42, 100632. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2023.100632>
- Zayan, A. Z. (1981). *Különböző kajsziarack fajták hidegtűrésének alakulása szénhidrát, fehérje és az aminosavtartalom függvényében* [Kandidátusi értekezés, Magyar Tudományos Akadémia], Budapest.
- HungaroMet. (2024, December). Elmúlt évek időjárása. *HungaroMet*. https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/eghajlati_visszatekinto/elmult_evek_idoj_arasa

©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/).





Ipari fermentációs lehetőségek az élelmiszerek és a sertéstakarmányok előállításában: Irodalmi áttekintés

HATVAN ZOLTÁN¹, KATU JIM KIOKO¹, PINTÉR GEORGINA², VARGA LÁSZLÓ², ÁSVÁNYI BALÁZS^{2*}

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

Multidiszciplináris Doktori Iskola, Mosonmagyaróvár

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-3885-4904>

ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0006-0722-9555>

²Széchenyi István Egyetem, Albert Kázmér Mosonmagyaróvári Kar

Élelmiszertudományi Tanszék, Mosonmagyaróvár

ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0005-2724-3648>

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-7431-852X>

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-4066-6248>

Email: asvanyi.balazs@sze.hu

*Corresponding author/Levelező szerző

Received/Érkezett: 2025.03.24.

Revised/Átdolgozva: 2025.04.29.

Accepted/Elfogadva: 2025.05.16.

Published/Megjelent: 2025.06.27.

ÖSSZEFOGLALÁS

A tanulmány átfogó képet nyújt a fermentáció biológiai és technológiai háttéréről, valamint annak élelmiszer- és takarmányipari alkalmazási lehetőségeiről. Részletesen bemutatja a fermentáció történetét, típusait és azokat a mikrobiológiai, kémiai, illetve környezeti tényezőket, amelyek befolyásolják a folyamat sikerességét. Kiemelt figyelmet fordít a szilárd fázisú (SSF) és a folyékony fázisú fermentáció (LSF) összehasonlítására, különös tekintettel az ipari alkalmazhatóságra, költséghatékonyságra, valamint a fermentált termékek minőségére és egészségügyi hatásaira. Az LSF-technológia kifejezetten ígéretes a sertés- és baromfitakarmányozásban, ahol probiotikus és antimikrobiális hatása révén csökkentheti az antibiotikum-használatot és javíthatja az állatok emésztését, immunrendszerét, ill. teljesítményét. A fermentációs eljárások elősegítik a környezeti fenntarthatóságot is azáltal, hogy melléktermékeket és hulladékokat értékes takarmánnyá vagy bioüzemanyaggá alakítanak. Az új technológiák – mint az automatizálás, a mesterséges intelligencia vagy a genomikai eszközök – lehetővé teszik a fermentáció még pontosabb szabályozását és ipari optimalizálását. A fermentáció így kulcsszerepet kap a modern biotechnológiai fejlesztésekben és az egészségtudatos, fenntartható táplálkozási rendszerek kialakításában.

Kulcsszavak: takarmányozás, élelmiszeripar, szilárd fázisú fermentáció, folyékony fázisú fermentáció



1. A FERMENTÁLT ÉLELMISZEREK KIALAKULÁSA, ELTERJEDÉSE

A fermentálás szó a latin „fervere” igéből ered, amelynek jelentése „felforralni”. Ez a természetes folyamat évezredek óta alkalmazott módszer, amely mára fejlett biotechnológiai eljárássá alakult, szorosan követve az emberiség fejlődését (Marsh et al., 2014). Régészeti leletek bizonyítják, hogy a Közel-Keleten már 13 ezer évvel ezelőtt különféle tej- és gabonaféléket erjesztettek (Liu et al., 2018). Babilonban és az ókori Egyiptomban a fermentált italok, például a bor és a sör, valamint a kenyér alapvető élelmiszereknek számítottak (El-Gendy, 1983). Kínában mintegy 9 ezer évvel ezelőtt ismert volt a fermentált gyümölcs-, rizs- és mézalapú keverékek gyógyászati felhasználása (McGovern et al., 2004). A Kaukázus térségében elsősorban a fermentált tejtermékek, például a joghurt és a kefir terjedtek el (Vuppala et al., 2015).

A világ számos pontján egyedi fermentált élelmiszerek alakultak ki. Kelet-Ázsiában a szójaszós, a Koreában népszerű kimchi (erjesztett kínai kel) és Japánban a natto (*Bacillus subtilis* var. *natto* baktériummal fermentált szójabab) váltak meghatározóvá. Európában, hasonlóan a Kaukázushoz, a fermentált tejtermékek, különösen a joghurt terjedtek el leginkább (Wang és Fung, 1996; Tamang et al., 2020).

A kezdeti időkben a fermentációt a spontán előforduló mikrobák és a környezeti körülmények alakították, lehetővé téve, hogy az egyes földrajzi régiók autochton mikrobiótája meghatározó szerepet játsszon. Ez különböző országokban és térségekben egyedi, helyspecifikus fermentációs jellemzők kialakulásához vezetett (Mannaa et al., 2021).

A fermentált élelmiszerek és italok csoportosítása leginkább a felhasznált szubsztrátok alapján történik. A leggyakoribb alapanyagok közé tartozik a tej, a gabonafélék, a hüvelyesek, a zöldségek, a gyümölcsök, a húsok, a halak, valamint egyes gyógynövények (Rezac et al., 2018; Xiang et al., 2019). A fermentáció során a mikroorganizmusok különféle kombinációi változatos végtermékeket hoznak létre, amelyek eltérő tulajdonságokkal rendelkeznek. Ez magyarázza, hogy világszerte rendkívül nagyszámú fermentált élelmiszert állítanak elő (Das és Deka, 2012; Mannaa et al., 2021).

2. A FERMENTÁCIÓ FOLYAMATA ÉS ELŐNYEI

A fermentálás története során számos alapanyag esett át ezen az eljáráson, beleértve a húst, halat, tejet, zöldségeket, szójababot, hüvelyeseket, gabonaféléket és gyümölcsöket is (Dimidi et al., 2019). A fermentáció térnyerése nem véletlen, hiszen két alapvető tényező tette népszerűvé már a kezdetektől. Az egyik, hogy javítja a késztermék érzékszervi tulajdonságait, ezáltal finomabb ízt és könnyebb emészthetőséget biztosít. A másik fontos szempont pedig az, hogy megnöveli az eltarthatósági időt. Ez utóbbi különösen fontos a romlandó élelmiszerek esetében (Jeyaram et al., 2009). Ezek a hozzáadott értékek garantálták a fermentáció széleskörű elterjedését, amely idővel ipari méreteket öltött.

A fermentáció további előnyei között szerepel, hogy csökkenti a káros komponensek mennyiségét az alapanyagokban. Erre példa a szójabab antinutritív anyagainak inaktiválása, például a tripszin inhibitorok lebomlása, valamint a tanninok, polifenolok és fitátok csökkentése (Sharma és Kapoor, 1996). Emellett a fermentáció fokozza bizonyos élelmiszerek és takarmányok tápértékét, mivel a mikroorganizmusok bontják a makrotápanyagokat. Kutatások igazolták, hogy a fermentált élelmiszerek nagyobb antioxidáns-tartalommal rendelkeznek, mint az alapanyagok (Melini et al., 2019; Sharma et al., 2020). Továbbá egyes vitaminok – például B₂ (riboflavin), B₉ (folsav), B₁₂ (kobalamin), K₁ és K₂ (fillokinon és menakinon) – mennyisége is növekedhet a fermentáció hatására (Şanlıer et al., 2019).



A fermentáció természetes, ugyanakkor kiemelkedően értékes biológiai folyamat. Jelentőségét napjainkban tovább növeli, hogy egyre több kutatás támasztja alá a humán bélmikrobiom és a különböző betegségek kialakulása közötti összefüggéseket. Ezek a vizsgálatok még inkább előtérbe helyezik a fermentált élelmiszerek mikrobiomot támogató funkcióját (Mannaa et al., 2021). A fermentációs eljárások nemcsak az élelmiszeriparban, hanem az állati takarmányozásban is fontos szerepet töltenek be. A fermentált takarmányok támogatják az állatok emésztőrendszerének egészségét, hozzájárulva az emésztési folyamatok optimalizálásához és az általános egészségi állapot javításához. Ezek az előnyös tulajdonságok összhangban állnak az Európai Unió azon célkitűzésével, amely az antibiotikum-használat csökkentésére és a fenntartható állattartás előmozdítására irányul (Hatvan et al., 2024).

A fermentáció olyan folyamat, melynek során az abban résztvevő mikroorganizmusok – baktériumok vagy élesztőgombák – enzimei átalakítják az alapanyagok különböző összetevőit (Dimidi et al., 2019). Az enzimek katalizálják a szerves anyagok lebontását, amelynek eredményeként egyszerűbb tápanyagok és bioaktív vegyületek, például bakteriocinek keletkeznek (Campbell-Platt, 1994). A fermentáció során az egyik legfontosabb biokémiai reakció, hogy a mikroorganizmusok cukrokat és összetett szénhidrátokat alakítanak át szerves savakká (Vuppala et al., 2015).

A sikeres fermentáció kulcsa a megfelelő mikrobák kiválasztása és optimális környezeti feltételek biztosítása, amelyek támogatják azok elszaporodását és anyagcsere-tevékenységét. Ezért a fermentáció biológiai tartósítási eljárásként is felfogható. A fermentált élelmiszerek és takarmányok fogyasztásának egészségügyi előnyei közé tartozik:

- a probiotikus hatás: a bélmikrobiótát támogató baktériumok elszaporodása,
- az antinutritív anyagok lebomlása,
- a szerves savak és egyéb hasznos metabolitok termelődése, továbbá
- a makrotápanyagok könnyebb emészthetősége.

Mindezek az előnyök együttesen hozzájárulnak az emésztési folyamatok javításához és a tápanyagok jobb hasznosulásához (Deák et al., 2006; Tibbetts et al., 2017). Egy tanulmányukban Balasubramanian et al. (2024) kiemelik a fermentáció során alkalmazott baktériumok jótékony tulajdonságaiból fakadó pozitív élettani hatásokat, különös tekintettel a bél-agy tengely működésére. E mechanizmusok hozzájárulnak az idegrendszer normál működéséhez és a mentális jóllét fenntartásához. A szerzők hangsúlyozzák, hogy a fermentált élelmiszerek kulcsszerepet játszanak a mikrobióta-alapú, mentális egészséget célzó terápiák új generációjában.

3. A FERMENTÁCIÓT BEFOLYÁSOLÓ TÉNYEZŐK

A fermentációs folyamatot számos tényező befolyásolja, amelyek meghatározzák a végtermék minőségét és biztonságosságát. Ezek közé tartoznak a higiéniai szempontok is, hiszen a patogén mikroorganizmusok jelenléte veszélyeztetheti a fogyasztásra való alkalmasságot. E tényezők tudatos és összehangolt szabályozása kulcsfontosságú, hiszen az optimális körülmények biztosítása nélkül a fermentáció kiszámíthatatlanná válhat.

A fermentációs folyamat sikeressége nagymértékben függ a megfelelő mikroorganizmusok, vagy azok kombinációjának kiválasztásától. Az összetett anyagok lebontása különböző anyagcsere-utakon valósulhat meg, ezért kulcsfontosságú meghatározni, hogy mi a kívánt végtermék, és ennek megfelelően milyen mikrobákat alkalmazzunk. A fermentálások során leggyakrabban előforduló baktériumok közé tartoznak a tejsavbaktériumok (*Lactobacillus*, *Streptococcus*, *Leuconostoc* és *Pediococcus* fajok), a bifidobaktériumok, az ecetsavbaktériumok (*Acetobacter* spp.) és a



propionsavbaktériumok (*Propionibacterium* spp.). A legelterjedtebbek a tejsavbaktériumok (LAB) melyek a gram-pozitív fermentatív baktériumok széles csoportját alkotják, nem spóráznak és nem mozgékonyak. A tejsavtermelés LAB segítségével a biofinomítással kapcsolatos kutatások fontos fókuszpontja volt (és napjainkban is az). A LAB-k magas savtoleranciájuk és széles optimális növekedési hőmérsékleti tartományuknak köszönhetően ipari felhasználásra alkalmasak (Tanaka és Kondo, 2015). Az élesztőgombák, különösen a *Saccharomyces* fajok, meghatározó szerepet töltenek be az alkoholos erjedésben (Feng et al., 2018). Ezenkívül a *Bacillus* nemzetség is kiemelendő, mivel ammónia és zsírsavak termelésében játszik szerepet (Marco et al., 2017).

A fermentáció egyik legfontosabb abiotikus szabályozó tényezője a hőmérséklet, amely meghatározza a mikroorganizmusok szaporodási sebességét és anyagcsere-aktivitását (Khan et al., 2018). A legtöbb tejsavbaktérium mezofil, vagy termofil jellegű. Előbbiek 25-30°C között szaporodnak optimálisan, és főként sajtok, fermentált zöldségek, ill. húsok előállításában használatosak. Ezzel szemben a termofilek 37-42°C-on szaporodnak leggyorsabban, és főként a joghurt-, valamint sajt készítésben van szerepük (Deák et al., 2006; Moonga et al., 2021). A hőmérséklet növekedésével a fermentáció időigénye csökken, azonban a túl nagy hőmérséklet gátolja a sejtszaporodást, és módosíthatja a sejtekben lévő vegyületek transzportfolyamatait. A kis hőmérséklet viszont csökkenti a fajlagos szaporodási sebességet, ami lassabb fermentációhoz vezet (Auesukaree, 2017).

A fermentáció hőmérséklete mellett annak időtartama is befolyásolja a végtermék összetételét és minőségét. Túl rövid fermentáció alatt nem alakulnak ki a kívánt íz-, aroma- és textúrajellemzők, míg a túl hosszú fermentáció nemkívánatos melléktermékek képződését eredményezheti, amelyek rontják a minőséget.

A fermentáció során az optimális kémhatás biztosítása is elengedhetetlen, mivel az befolyásolja a mikroorganizmusok aktivitását és stabilitását. Az anaerob körülmények között lezajló fermentáció eredményeként tejsav keletkezik, amely csökkenti a pH-t (általában 4,5-es érték alá). A tejsavbaktériumok jól tűrik a kis pH-értékeket, míg a patogén baktériumok többsége nem képes túlélni ilyen savas környezetben. A savas kémhatás mikrobagátló hatása annak köszönhető, hogy denaturálja az enzimeket és a sejtfunkciókat szabályozó fehérjéket, ezáltal akadályozva a kórokozó baktériumok szaporodását. Ezen kívül a fermentáció során képződő egyéb gyenge savak (pl. ecetsav, propionsav) disszociálatlan állapotban toxikus hatást fejthetnek ki a káros mikroorganizmusokra (Szekér, 2007; Ásványi-Molnár, 2009).

A kémhatás szabályozásában szerepet játszik a pufferkapacitás, amely az adott közeg ellenállását jelenti a pH-változásokkal szemben. Különböző alapanyagok eltérő pufferkapacitással rendelkeznek, amelyet figyelembe kell venni a fermentációs folyamat tervezésekor (Bujňák et al., 2011).

A fermentáció oxigénigénye attól függ, hogy a folyamat anaerob vagy aerob körülmények között zajlik-e. A fermentor levegőztetése hozzájárul az optimális oxigénszint fenntartásához, illetve segíti a nem kívánt gázok eltávolítását (Mengesha et al., 2022). Az ecetsavat termelő baktériumok (pl. az *Acetobacter* fajok) oxigént igényelnek az anyagcseréjükhöz. Hasonlóképpen, az élesztőgombák is aerob környezetben tevékenykednek optimálisan sejtömeg (pl. egysejtfehérje /SCP – single-cell protein/) termelésük során. Ellenben az anaerob mikroorganizmusok számára az oxigén jelenléte nem szükséges, ezért az oxigénellátás biztosítása esetükben nem releváns (Henriques et al., 2018). Az elmondottakon túl még a keverés játszik fontos szerepet a fermentáció során, mert biztosítja az inokulum és a szubsztrát egyenletes eloszlását a reaktorban, segíti a gázok (pl. az oxigén) beoldódását és fenntartja az egyenletes hőmérsékletet a fermentációs közegben. A keverőlapátok típusának megválasztása a bioreaktor méretétől és kialakításától függ. Nem megfelelő keverés esetén oxigénhiány és tápanyag-eloszlási problémák léphetnek fel, amelyek csökkenthetik a fermentáció hatékonyságát.



4. A FERMENTÁCIÓ TÍPUSAI

A fermentálás hagyományosan kétféle módon történhet. Az egyik lehetőség a spontán fermentáció, amely természetes úton megy végbe. Ebben az esetben a mikroorganizmusok eredendően jelen vannak az alapanyagokban vagy a környezetben, ahonnan a termékbe kerülhetnek. A kontrollálatlan fermentáció azonban hátrányos lehet, mivel negatívan befolyásolhatja a végtermék ízét (például ecetes mellékíz eredményezhet) és növelheti a biogén aminok koncentrációját, amelyek élelmiszer-biztonsági szempontból aggályosak (Alpár et al., 2021). Ezért a spontán fermentáció hatékonysága messze elmarad az irányított fermentációtól (Dimidi et al., 2019). Az említett hátrányos tényezőkön túl (kellemetlen íz és illat, biogén aminok) a termékek stabilitása is lecsökken. Emiatt napjainkban élelmiszerek gyártása során már nem alkalmazható ez a módszer, mert nem felel meg az iparágban felmerülő kritériumoknak (Jin et al., 2024).

A modern élelmiszer- és takarmányiparban a növekvő termékkereslet és az élelmiszer-biztonsági követelmények miatt a starterkultúrák használata vált elsődlegessé (Hansen, 2002). Ezáltal a fermentáció jobban kontrollálható és biztosítható, hogy kizárólag az előre meghatározott mikroorganizmusok vegyenek részt a folyamatban. Az úgynevezett DVS (direct vat set) kultúrák lehetővé teszik, hogy a mikroorganizmusokat közvetlenül az alapanyaghoz adják, legtöbbször fagyasztva szárított (líofilezett) formában (Szakály, 2001). Ez nagymértékben elősegíti a fermentációs folyamatok szabályozhatóságát és az ipari fermentációs protokollok kialakítását (Galimberti et al., 2021). A fermentált élelmiszerek előállításában résztvevő mikroorganizmusok, valamint az általuk megvalósított anyagcsere-útvonalak és a keletkező végtermékek alapján a fermentációs folyamatok tipizálhatók (1. táblázat).

1. táblázat: Az élelmiszer-fermentálás főbb típusai a résztvevő mikroorganizmusok jellemző anyagcsere-termékei alapján

Fermentáció típusa	Mikroorganizmusok	Fő anyagcsere-termékek
Lúgos (alkalikus)	<i>Bacillus</i> és <i>Staphylococcus</i> fajok	Aminosavak, peptidek és ammónia
Etanolos	Élesztőgombák	Etanol és szén-dioxid
Ecetsavas	<i>Acetobacter</i> fajok	Ecetsav
Tejsavas	Tejsavbaktériumok	Tejsav

Forrás: Manna et al., 2021

Lúgos (alkalikus) fermentáció során a fehérjék hidrolizálnak, vagyis aminosavakra és peptidekre bomlanak, miközben ammónia szabadul fel, amely megemeli a pH-értéket (pH 8-9). A lúgos környezet gátolja a romlást okozó baktériumokat, így az ilyen fermentációval készült termékek hosszabb eltarthatóságúak. A folyamatot olyan mikroorganizmusok végzik, mint a *Bacillus* spp. (például a Japánban népszerű, szója alapú, natto nevű élelmiszer előállításánál) és bizonyos *Staphylococcus* fajok, amelyek extracelluláris proteinázokat termelnek, segítve a fehérjék bontását (Wang és Fung, 1996).

Az alkoholos fermentáció során a cukrok etanollá és szén-dioxiddá alakulnak, az élesztők (elsősorban a *Saccharomyces cerevisiae*) anyagcseréje révén. Az etanolos erjedés alapvető szerepet játszik a sör-, bor- és szeszesital-gyártásban, valamint a kenyérfőzés során, ahol a felszabaduló szén-dioxid elősegíti a tészta térfogatának növekedését (Marco et al., 2017).

Az ecetsavas fermentáció során az *Acetobacter* fajok a szerves vegyületekből (pl. alkoholok, cukrok) ecetsavat állítanak elő. Ez a folyamat alapvető szerepet játszik például az ételecet gyártásában (De Roos és De Vuyst, 2018).



Tejsavas erjedésnél a tejsavbaktériumok a cukrokat anaerob körülmények között tejsavvá alakítják. Ez az eljárás kritikus jelentőségű az élelmiszer- és takarmányiparban, mivel növeli a termék eltarthatóságát, a savas kémhatás révén gátolja a kórokozó baktériumokat és hozzájárul a kívánt ízkarakter kialakulásához. A tejsavas fermentáció két típusba sorolható: A homofermentatív tejsavas erjedés esetén a glikolízis során keletkező piroszőlősav teljes mértékben tejsavvá redukálódik. A heterofermentatív tejsavas erjedés során pedig a tejsav mellett szén-dioxid, etanol, kis mennyiségben ecetsav és glicerín is keletkezik (Deák et al., 2006).

Megemlítendő továbbá a *Propionibacterium* fajok által előidézett propionsavas erjedés, melynek során a tejsav sója (laktát) propionsavvá alakul és fontos szerepet játszik egyes sajtok, például az emmentáli sajt érlelésében, jellegzetes lyukazottságának kialakításában (Valentino et al., 2024). A kevertsavas fermentáció során pedig változatos végtermékek, például ecetsav, hangyasav, tejsav, borostyánkősav és etanol képződnek, miközben gázok (szén-dioxid és hidrogén) szabadulnak fel. Az *Enterobacteriaceae* család számos tagja vesz részt ez utóbbi folyamatban (Deák et al., 2006).

5. FERMENTÁLÁSI MÓDSZEREK

A fermentálás technikai kivitelezésére többféle módszer létezik, amelyek különböző tudományos (kutatási) és gyakorlati (ipari) célokat szolgálnak. Az alkalmazott fermentációs technológia befolyásolja a termelékenységet, a folyamat szabályozhatóságát és a végtermék minőségét.

A szakaszos (batch) fermentáció zárt rendszerben zajló folyamat, melynek során a mikrobákat a fermentáció elején meghatározott mennyiségű szubsztrát és tápanyagforrás mellé adagolják. A fermentálás alatt nem történik további betáplálás vagy végtermék-eltávolítás, a folyamat végén pedig a teljes fermentumot egyszerre távolítják el. Ez a módszer különösen kutatási célokra előnyös, mivel lehetőséget biztosít a mikroorganizmusok viselkedésének, a szubsztrát átalakulásának, a termékhozamnak és az oxigénigénynek a megfigyelésére. Ezen kívül optimalizációs kísérletekhez is alkalmazható, hiszen a hőmérséklet, a pH és egyéb beállítások módosításával meghatározhatók az ideális működési feltételek. Hátránya viszont, hogy kis termelékenységgű, mert a folyamat mindig újraindul, ami idővesztést jelent. Emellett a bioreaktorok minden egyes ciklust követő tisztítása és sterilizése időigényes és költséges (Rahman, 2013; Bolmanis et al., 2023).

Ezzel ellentétben, folytonos (continuous) fermentáció során a szubsztrát adagolása folyamatosan történik, miközben a végtermékből azonos mennyiséget távolítanak el. Ezáltal a rendszerben állandósult állapot alakul ki, ahol a be- és kiáramlás térfogata egyenlő, de ellentétes irányú. A módszer fő előnye, hogy nagyobb termelékenységet biztosít, mert a fermentáció megszakítás nélkül zajlik. Ugyanakkor hátránya, hogy nagyobb a befertőződés kockázata, mivel a rendszer folyamatosan nyitott állapotban van, így a környezetből könnyebben bekerülhetnek szennyeződések (Li et al., 2014). A szakaszos és a folytonos fermentáció közötti legnagyobb különbség, hogy míg előbbinél a szubsztrátot egyszer adagolják, addig utóbbinál a szubsztrát részletekben kerül a rendszerbe, az eltávolított végtermék arányában.

A rátáplálásos (fed-batch) fermentáció a szakaszos és a folytonos változat kombinációja. Ebben az eljárásban a tápoldat vagy a szubsztrát fokozatosan adagolható a fermentáció során, a végtermék eltávolítása viszont csak a folyamat végén történik, hasonlóan a szakaszos fermentációhoz. Ez a módszer széles körben alkalmazott, mert lehetővé teszi a mikroorganizmusok optimális tápanyag-ellátását, miközben csökkenti a szennyeződés kockázatát (Yamané és Shimizu, 1984). A rátáplálásos fermentáció kiemelten fontos az ipari biotechnológiában, mivel nagyobb termelékenységet biztosít, miközben a folyamat jól kontrollálható marad.



6. A FERMENTÁCIÓ IPARI ALKALMAZÁSAINAK FŐBB TERÜLETEI

A fermentáció ipari alkalmazása egyre szélesebb körű, elsősorban előnyös gazdasági és környezeti hatásai miatt. Az alábbiakban áttekintjük az ipari fermentáció legfontosabb területeit, különös tekintettel az élelmiszeriparra, a takarmányiparra, a gyógyszeriparra és a hulladékhasznosításra.

A fermentáció jelentős szerepet játszik a gyógyszeriparban, különösen az antibiotikumok, enzimek, aminosavak és más bioaktív vegyületek előállításában. 1929-ben Sir Alexander Fleming felfedezte a penicillint, amely megalapozta a mikroorganizmusok gyógyszeripari hasznosítását. Az ipari fermentációval előállított antibiotikumok azóta alapvető szerepet töltenek be az orvoslásban (Rahman, 2013). A fermentáció képes módosítani és felerősíteni a növényi hatóanyagokat is, ezzel növelve azok gyógyászati potenciálját (Luo et al., 2024). Ennek köszönhetően az ipari fermentáció egyaránt szorosan kapcsolódik a hagyományos és a modern orvosláshoz (Lu et al., 2020).

Az ipari fermentáció egyik legfontosabb terméke a bioetanol, amely fenntartható üzemanyag-alternatívaként szolgál. A bioetanol előállítása növényi alapanyagok fermentációjával, élesztőgombák segítségével történik. Ez a folyamat csökkenti a fosszilis energiahordozók használatából eredő környezeti terhelést (Waghmare et al., 2018). A bioetanol mellett a fermentáció hozzájárul a biodízel előállításához is. Például a *Trichosporon coremiiforme* élesztőgomba képes szennyvízből butanolos fermentációval biodízel-alapanyagot előállítani, amely költséghatékony és környezetbarát megoldás (Li et al., 2018). A biomassza fermentációja nemcsak üzemanyag, hanem biogáz előállítására is alkalmas. A biogáz-előállítás során a fermentációs közeg gyakran tartalmaz állattartásból származó trágyát, amely így hozzájárulhat az agráriumban keletkező hulladékok fenntartható újrahasznosításához (Liu és Liu, 2017).

A fermentáció az élelmiszeripar egyik kulcsfontosságú eljárása, mivel természetes módon, kémiai tartósítószer nélkül növeli az élelmiszerek eltarthatóságát (Giraffa, 2004), egyben javítja azok ízét, állagát, tápértékét és mikrobiológiai biztonságát (Laveffe et al., 2019). A fermentáció során különböző szerves savak (tejsav, ecetsav), etanol, hidrogén-peroxid és mikrobaellenes hatású peptidek képződnek, amelyek hozzájárulnak az élelmiszerek stabilitásához és biztonságához (McFeeters, 2004). A fermentált élelmiszerek fontos összetevői a tejsavbaktériumok, amelyek biztosítják a kívánt érzékszervi és mikrobiológiai tulajdonságokat (Voidarou et al., 2021). Emellett a fermentáció során bakteriocinek (pl. nizin, pediocin, plantaricin) is keletkeznek, amelyek immunmoduláló és antimikrobiális hatással bírnak, így hozzájárulhatnak az emberi egészség megőrzéséhez (Tamang et al., 2016). A modern technológiai módszerek, mint például a real-time PCR, a gélelektroforézis és a 16S rDNS szekvenálás lehetővé teszik a baktériumtörzsek pontos azonosítását és optimalizálását. Ezáltal biztosítható az élelmiszeripari fermentációs folyamatok hatékonysága, valamint biztonsága (Moraes et al., 2013; Hussain, 2018; El Sheikha és Hu, 2020).

A fermentáció a takarmány-előállításban is egyre fontosabb szerepet tölt be. A fermentált takarmányok javítják az állatok tápanyag-felvételét, csökkentik az antinutritív anyagok mennyiségét és növelik az emészthetőséget (Xu et al., 2012). Kérődző állatok etetésére már régóta alkalmaznak fermentált tömegtakarmányokat, ugyanis a tejsavas erjesztett kukorica, lucerna és fűfélék kiváló emészthetőségi tulajdonságokkal rendelkeznek. A sikeres fermentációhoz megfelelő növényt, mikroorganizmusokat és betakarítási technológiát kell alkalmazni. Napjainkban egyre nagyobb szerepet kapnak a mezőgazdasági melléktermékek (pl. búzakorpa, DDGS), amelyek könnyen beépíthetők a keveréktakarmányokba, így költséghatékony megoldást nyújtanak a takarmányipari fermentációhoz (de Castro et al., 2015; Daâssi et al., 2016; Liu et al., 2016). Emellett az élelmiszeripari melléktermékek, például a tejsavó, CGF (Corn Gluten Feed), melasz, répaszelet és



olajpogácsa is kiválóan alkalmazhatók fermentációs szubsztrátként. A tejsavó például laktóz-, fehérje-, lipid-, ásványianyag- és vitaminforrás, amelyet számos fermentációs eljárás során felhasználnak (Schingoethe, 1976; Ásványi et al., 2006).

7. IPARI FERMENTÁCIÓS ELJÁRÁSOK

A szilárd fázisú (solid-state fermentation, SSF) és a folyékony fázisú fermentáció (liquid-state fermentation, LSF) új lehetőségeket teremtett az élelmiszeripari melléktermékek takarmányokban való hasznosítására. Az elmúlt két évtizedben ezek az eljárások nemcsak kutatási szempontból váltak kiemelkedővé, hanem egyre nagyobb gyakorlati jelentőséget is kaptak. A berendezések és a technológiák gyors fejlődésének köszönhetően e módszerek egyre szélesebb körben elterjedtek (Subramaniyam és Vimala, 2012). A fermentáció során keletkező szerves savak és egyéb anyagcsere-termékek révén a takarmányban lévő, romlást vagy fertőzést okozó patogén mikroorganizmusok hatékonyan gátolhatók, ami egyben növeli az eltarthatóságot is (Alpár et al., 2021).

A fermentált takarmányok elterjedését az Európai Unió vonatkozó szabályozásai is ösztönözték, amelyek célja az antibiotikumok hozamfokozóként való alkalmazásának csökkentése. Ennek eredményeként a fermentált és probiotikus takarmányok ígéretes alternatívát kínálhatnak. Az Európai Tanács ajánlást tett innovatív takarmány-adalékanyagok fejlesztésének és használatának előmozdítására (Council of the European Union, 2023).

A szilárd fázisú fermentáció során a szubsztrátok – például növényi alapanyagok és élelmiszeripari melléktermékek – feldolgozása víz hozzáadása nélkül zajlik (Couto és Sanromán, 2006; Hashemi et al., 2011). A szilárd mátrix egyszerre szolgál tápanyagforrásként és mikrobiális tenyészfelületként, amely bizonyos mennyiségű szabad víztartalommal rendelkezik (Singhania et al., 2009). A fermentációs folyamatokban elsősorban gombák (pl. *Aspergillus*, *Fusarium*, *Monilia*, *Mucor* és *Rhizopus* fajok) vesznek részt, de baktériumok (pl. *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Streptococcus* és *Lactobacillus* fajok) is alkalmazhatók (Soccol et al., 2017). A mikroorganizmusok enzimeket termelve fokozatosan bontják le a szubsztrátokat, amelyek révén értékes vegyületeket állítanak elő (Hashemi et al., 2010; Martins et al., 2011). Az SSF egyik nagy előnye a költséghatékonysága, amely lehetővé teszi melléktermékek és hulladékok fenntartható hasznosítását. Az eljárás révén a szilárd szerves hulladékok biotermékekké, például felületaktív anyagokká vagy bioetanollá alakíthatók, így a takarmányiparon túlmenően is jelentős szereppel bír (Nasrabadi és Razavi, 2010; Yazid et al., 2017). A módszer további előnyeit és hátrányait a 2. táblázat foglalja össze.



2. táblázat: A szilárd fázisú fermentálás előnyei és hátrányai

Szilárd fázisú fermentálás	
Előnyök	Hátrányok
Egyszerű felépítésű bioreaktorok és tenyésztőrendszerek	A kis nedvességtartalom limitálja a felhasználható mikrobák körét
Csekély beruházási és üzemeltetési költségek	A befertőződés kockázata jelentős
Nagy biomassa-, ill. termékhozam	A fermentációs paraméterek (pl. hőmérséklet, kémhatás) kevésbé szabályozhatók
A kis nedvességtartalom gátolja a patogén mikrobák szaporodását	A termékek kinyerése és tisztítása bonyolult
Kis hulladéktermelés és elenyésző károsanyag-kibocsátás	Nehézkes a léptéknövelés
Természetes környezetet biztosít a beoltott mikroorganizmusok számára	A szubsztrátok előkezelése többletköltséggel jár
Nagy termékstabilitás	A keverés hiánya miatt nehéz megvalósítani a szubsztrát és a mikrobatenyészet kellő homogenitását
Kis vízigény	Hosszabb fermentációs idő a gombaspórák csírázási igénye miatt

Forrás: Katu et al., 2025

Folyékony fázisú fermentáció során a szubsztrátokat oldott formában, folyadékban lebegve dolgozzák fel, így a bioaktív vegyületek a fermentáléba oldódnak ki. Az LSF előnye, hogy a szubsztrátokat gyorsan felhasználja a rendszer és pontosan szabályozható fermentációs paramétereket biztosít (Subramaniam és Vimala, 2012). A módszer különösen alkalmas olyan baktériumok alkalmazására, amelyek nagy vízaktivitású környezetben képesek hatékonyan szaporodni. Az LSF leginkább másodlagos anyagcseretermékek előállítására szolgál, amelyek folyékony formában könnyen felhasználhatók. A számos biotechnológiai cég által alkalmazott eljárás előnyeit és hátrányait a 3. táblázat összegzi.

Sun et al. (2024) szerint az LSF technológiával előállított fermentált takarmányok kulcsszerepet játszanak majd az iparág jövőjében. Ezt erősíti Chen et al. (2025) kutatása is, amely a bakteriális és enzimes folyamatok szinergiáját hangsúlyozza. Megállapításuk szerint a paraméterek optimalizálásával az eljárás még szélesebb körben terjedhet el. Előrejelzésük szerint a hagyományostól eltérő fermentált fehérjetakarmányok – például lenmag-, gyapotmag- és földimogyoró-alapú termékek – stratégiai szerepet kapnak, különösen az antibiotikum-használat visszaszorításában és a szójaimport-függőség csökkentésében.



3. táblázat: A folyékony fázisú fermentálás előnyei és hátrányai

Folyékony fázisú fermentálás	
Előnyök	Hátrányok
Könnyen adaptálható az ipari méretű termeléshez	A magas technológiai színvonalú bioreaktorok és tenyésztőrendszerek beruházási költségigénye nagy
A fermentációs paraméterek (pl. hőmérséklet, kémhatás) pontosan szabályozhatók	Jelentős üzemeltetési költségek
A termékek kinyerése egyszerű	A nagy nedvességtartalom elősegíti a patogén mikrobák elszaporodását
Keveréssel biztosítható a szubsztrát és a mikrobatenyészet megfelelő homogenitása	A folyékony fermentált takarmányok etetése gyakorlati nehézségekkel jár
A fermentáció során keletkező szerves savak gátolják a kórokozó mikrobák szaporodását	A termékek stabilitása és eltarthatósága erősen korlátozott
Lehetővé teszi a mikroorganizmusok széles körének alkalmazását	A folyékony termékek tárolása problematikus

Forrás: Katu et al., 2025

8. FOLYÉKONY FÁZISÚ FERMENTÁCIVAL ELŐÁLLÍTOTT TAKARMÁNYOK JÓTÉKONY HATÁSAI

A 2000-es évek eleje óta egyre több hazai és nemzetközi kutatás foglalkozik a fermentált takarmányok sertéstakarmányozásban betöltött szerepével és előnyeivel. Brooks (2008) állítása szerint az LSF technológiával előállított takarmányok jótékony hatást gyakorolnak az állatok bélrendszerére, valamint javítják a tápanyagok hasznosulását. Fontos azonban kiemelni, hogy a megfelelő hatásfok csak irányított fermentációval érhető el. A tejsavbaktériumok konzerváló és probiotikus tulajdonságai egyaránt érvényesülnek, emellett az LSF hatékony eszköz lehet az antinutritív anyagok és a mikotoxinok koncentrációjának csökkentésére is. Eredményessége miatt ez a technológia egyre népszerűbb, mivel javítja a sertések teljesítményét és csökkenti a takarmányozás környezetterhelését.

Jha és Berrocoso (2016) kutatása kiemeli a fermentált élelmi rostok és fehérjék kedvező hatásait a sertések bélrendszerére és a környezetre. Eredményeik szerint a fermentált rostokkal etetett állatok bélmikrobiótája nagyobb mennyiségű nitrogént képes visszatartani, amely hozzájárul a baktériumok fehérjetömegének növekedéséhez. Ez javítja annak esélyét, hogy a bélrendszerben olyan baktériumok telepedjenek meg és szaporodjanak el, amelyek pozitív élettani hatást fejtenek ki.

Missotten et al. (2010) rámutattak, hogy az antibiotikumok növekedés-serkentőként való alkalmazásának 2006. évi betiltását követően az LSF-módszerre egyre nagyobb figyelem irányult. Egyik legfőbb előnye, hogy a takarmány és a víz egyidejű jelenlétét biztosítja, ami megkönnyíti a választott malacok számára a kocatejről a szilárd takarmányra való átállást. Emellett a savas kémhatású fermentált takarmány támogatja a gyomor védekezőképességét a kórokozókkal szemben. Chen et al. (2023) megfigyelték, hogy bamei sertések fermentált takarmányozása során a gyulladásos citokinek mennyisége csökkent, ami az immunválasz erősödésére utalt. A takarmány kukoricából, búzakorpából, szójadarából és lucernaszilázsából állt, amelyet *Lactiplantibacillus plantarum* és *Bacillus subtilis* baktériumokkal oltottak be. Xu et al. (2020) meta-analízise szerint a fermentált takarmányok – jobb emészthetőségüknek köszönhetően – növelik a hízósertések napi súlygyarapodását. Alpár et al. (2021) is megerősítik, hogy fermentációval gátolhatók a káros



mikroorganizmusok, ami nemcsak az állatok egészségének megőrzését segíti elő, hanem növeli a takarmány eltarthatóságát is. Kutatásaik szerint az LSF takarmányok csökkenthetik a *Salmonella* és kóliiform fajok által okozott hasmenéses megbetegedések előfordulását, emellett immunmodulátorként is szerepet játszhatnak. Hasonló eredményekről számoltak be Zhang et al. (2024): a búzaalapú fermentált takarmányokkal etetett növendékmalacok jobb növekedési mutatókat produkáltak, miközben a bélrendszerükben nőtt a jótékony baktériumok száma, míg a káros *Escherichia coli* szintje csökkent.

Niba et al. (2009) szerint az LSF takarmányok etetése csökkenti a klórtetraciklin-rezisztens *Escherichia coli* jelenlétét a választott malacok bélrendszerében. Ezen kívül csirkék esetében a fermentált takarmányok szerves sav tartalma javítja a bél gát funkcióját a patogén baktériumokkal szemben, mert a savas kémhatás kedvezőtlen környezetet teremt a kórokozók számára. A fermentált takarmányok tejsavbaktérium-számának el kell érnie a 10^9 tke/ml (telepképző egység/ml) nagyságrendet annak érdekében, hogy a kívánt élettani hatásokat ki tudják fejteni.

Heres (2004) kutatási eredményeinek tanúsága szerint a fermentált takarmányok jelentősen csökkentik a brojlerek *Salmonella*- és *Campylobacter*-fertőzöttségét a standard csirketáppal takarmányozott állatokhoz képest. A pozitív hatás itt is a fermentáció során keletkező szerves savak jelenlétére vezethető vissza, amelyek hozzájárulnak a bél mikrobióta stabilizálásához. Naji et al. (2015) és Jazi et al. (2017) kutatásai szintén alátámasztották az LSF takarmányok etetésének előnyeit. Az előbbi kutatócsoport megállapította, hogy a fermentált takarmányok javítják a brojlerek bélrendszerének baktérium-összetételét és csökkentik az *Enterobacteriaceae* család tagjainak jelenlétét a gyomor–bél traktusban. Jazi et al. (2017) hasonló megfigyeléseket tettek a fermentált gyapotmagliszt brojlercsirkék takarmányozásában történő alkalmazása során.

Lee et al. (2023) takarmány-koncentrátumot (kukoricapehely, búzakorpa, kukorica-glutén takarmány, búza, szójadara, pámaliszt, szójahéj, csillagfürtpehely, takarmánymész, só, nátrium-bikarbonát és vitamin komplex) fermentáltak, majd ennek húsmarhákra gyakorolt hatását vizsgálták. A fermentáció során megnőtt az alkalmazott mikroorganizmusok (*Bacillus subtilis*, *Enterococcus faecium*, *Saccharomyces cerevisiae*) száma, amely nagyobb szerves sav-tartalmat és kisebb pH-értéket eredményezett. Ennek hatására javult a bendőben zajló emésztési folyamatok hatékonysága, azonban a fermentált takarmány nem befolyásolta jelentősen az állatok súlygyarapodását. A fermentált koncentrátum elősegíti a hasznos mikroorganizmusok elszaporodását a bendőben, amely kedvező hatást gyakorolhat az állatok egészségére és a takarmány emészthetőségére. Guan és munkatársainak (2023) vizsgálatai megerősítették, hogy bizonyos baktériumokkal – különösen a *Lactiplantibacillus plantarum* és a *Limosilactobacillus salivarius* tejsavbaktérium-fajok törzseivel – csökkenteni lehet a fermentált takarmányok mikrobiális és mikotoxin (pl. DON és aflatoxin) eredetű szennyeződéseit. A szerzők hangsúlyozzák, hogy ezeknek a hatásoknak és a mikotoxinokkal kapcsolatos lebontási mechanizmusoknak a részletesebb feltárása további kutatásokat igényel. Ez nemcsak az állategészségügy szempontjából kiemelten fontos, hanem humánélettani vonatkozásban is jelentőséggel bírhat, alapot teremtve jövőbeli tudományos vizsgálatokhoz.

9. KÖVETKEZTETÉSEK

Megállapítható, hogy az SSF és az LSF módszer alkalmazása egyaránt jelentős előnyökkel járhat, a felhasználási célok és körülmények függvényében. Az SSF különösen hasznos megoldás nehezen oldódó vagy kis nedvességtartalmú alapanyagok esetén. Elsősorban enzimek előállítására, illetve



mezőgazdasági melléktermékek hatékony hasznosítására alkalmas. Ezzel szemben az LSF előnyösebb választás lehet fermentált takarmányok ipari méretű előállításánál, mivel ez a módszer könnyebben szabályozható és nagy volumenben is kivitelezhető. Mindazonáltal az LSF soktényezős, összetett folyamat, amelynek hatékonysága leginkább az alkalmazott mikroorganizmusoktól és a fermentáció körülményeitől függ. A fermentált takarmányok számos előnyös tulajdonsággal rendelkeznek, többek között javítják az állatok bélmikrobiom-összetételét, fokozzák a tápanyagok hasznosulását, csökkentik a kórokozó mikroorganizmusok számát és hozzájárulnak az állatok általános egészségi állapotának javításához. A gazdasági szempontokat figyelembe véve is jelentős innovációnak számítanak, hiszen az antibiotikumok használatának csökkentésével fenntarthatóbb állattartási rendszerek kialakítását teszik lehetővé. A modern fermentációs technológiák nemcsak a takarmányiparban, hanem az élelmiszer- és gyógyszeriparban is meghatározó szerepet játszanak. A biotechnológiai fejlesztések és a fenntarthatóság előtérbe helyezése tovább ösztönzi az új fermentációs technikák kutatását és ipari alkalmazását. Az automatizálás és a mesterséges intelligencia integrálása új lehetőségeket teremthet az ipari fermentáció optimalizálására. Az anyagcsere-mechanizmusok pontosabb megértése pedig hozzájárulhat az állati és emberi egészség megőrzéséhez, valamint a betegségek megelőzésének és kezelésének hatékonyabbá tételéhez.



Potential of Industrial Fermentation in Food and Swine Feed Production: A Literature Review

ZOLTÁN HATVAN¹, KATU JIM KIOKO¹, GEORGINA PINTÉR², LÁSZLÓ VARGA², BALÁZS ÁSVÁNYI^{2*}

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

Multidisciplinary Doctoral School, Mosonmagyaróvár, Hungary

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-3885-4904>

ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0006-0722-9555>

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

Department of Food Science, Mosonmagyaróvár, Hungary

ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0005-2724-3648>

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-7431-852X>

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-4066-6248>

Email: asvanyi.balazs@sze.hu

*Corresponding author/Levelező szerző

ABSTRACT

This review offers a comprehensive analysis of fermentation as a key biotechnological process in the production of food and feed. It presents the historical evolution and classification of fermentation, highlights the major microbial groups involved, and outlines the main influencing factors such as pH, temperature, oxygen levels, and nutrient availability. The article focuses on the most common applications in the food and feed industries, particularly emphasizing the benefits of using starter cultures and controlled fermentation conditions. A significant portion is dedicated to comparing solid-state fermentation (SSF) and liquid-state fermentation (LSF), discussing their industrial feasibility, economic advantages, and effectiveness in preserving product quality and safety. LSF emerges as a particularly promising method in livestock feeding, offering probiotic and antimicrobial effects, improving nutrient absorption, and reducing the need for antibiotics. The review summarizes findings from recent studies that confirm the benefits of fermented feeds in pigs and poultry, including improved gut health and growth performance. Furthermore, it discusses how fermentation technologies contribute to sustainability by utilizing agricultural by-products and waste materials. With the integration of automation, artificial intelligence, and genomic tools, industrial fermentation processes can be optimized for greater efficiency and a broader impact on sustainable agriculture and food systems.

Keywords: animal nutrition, food industry, solid-state fermentation, liquid-state fermentation

Köszönetnyilvánítás

A közlemény elkészítését a „Fertőző állatbetegségek, antimikrobiális rezisztencia, állatorvosi közegészségügy és élelmiszerlánc-biztonság nemzeti laboratóriuma” című, RRF-2.3.1-21-2022-00001 azonosító számú projekt támogatta.



IRODALOMJEGYZÉK

- Alpár, B., Tóth, T., Ásványi, B., Lakatos, E., Zsédely, E., Berczi, E., Molnár, J. & Varga, L. (2021). Fermentált takarmányok alkalmazási lehetőségei a monogasztrikus állatok takarmányozásában. *Agro Napló*, 25(5), 51-52.
- Ásványi, B., Reichart, O., Szigeti, J. & Varga, L. (2006). Screening and selection of *Kluyveromyces* strains for use in batch production of single-cell protein from cheese whey. *Milchwissenschaft*, 61(4), 378-381.
- Ásványi-Molnár, N. (2009). *Funkcionális hatású tejtermék előállítása spirulina (Arthrospira platensis) felhasználásával* [Doktori (PhD) értekezés, Nyugat-magyarországi Egyetem]. Mosonmagyaróvár.
- Auesukaree, C. (2017). Molecular mechanisms of the yeast adaptive response and tolerance to stresses encountered during ethanol fermentation. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 124(2), 133-142. <https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2017.03.009>
- Balasubramanian, R., Schneider, E., Gunnigle, E., Cotter, P. D., Cryan, J. F., (2024). Fermented foods: Harnessing their potential to modulate the microbiota-gut-brain axis for mental health. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 158, 105562. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2024.105562>
- Bolmanis, E., Dubencovs, K., Suleiko, A. & Vanags, J. (2023). Model predictive control – A stand out among competitors for fed-batch fermentation improvement. *Fermentation*, 9(3), 206. <https://doi.org/10.3390/fermentation9030206>
- Brooks, P. H. (2008). Fermented liquid feed for pigs. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources*, 3, 073. <https://doi.org/10.1079/PAVSNNR20083073>
- Bujňák, L., Maskalová, I. & Vajda, V. (2011). Determination of buffering capacity of selected fermented feedstuffs and the effect of dietary acid-base status on ruminal fluid pH. *Acta Veterinaria Brno*, 80(3), 269-273. <https://doi.org/10.2754/avb201180030269>
- Campbell-Platt, G. (1994). Fermented foods – A world perspective. *Food Research International*, 27(3), 253-257. [https://doi.org/10.1016/0963-9969\(94\)90093-0](https://doi.org/10.1016/0963-9969(94)90093-0)
- Chen, J., Wu, G. F., Pang, H. L., Hua, J. Y., Guan, Y. F., Zhang, M., Duan, Y. K., Qin, G. Y., Wang, L., Cai, Y. M., & Tan, Z. F. (2023). Effect of mixed *Lactiplantibacillus plantarum*- and *Bacillus subtilis*-fermented feed on growth, immunity, and intestinal health of weaner pigs. *Fermentation*, 9(12), 1005. <https://doi.org/10.3390/fermentation9121005>
- Chen, B. L., Liu, J. C., Liu, M. J., Zhang, H. L., Li, X. Y., Tian, C. C., & Chen, Y. (2025). Synergistic effect of microorganisms and enzymes on nutritional value of corn stover and wheat straw. *Fermentation*, 11(4), 210. <https://doi.org/10.3390/fermentation11040210>
- Council of the European Union (2023). Council recommendation on stepping up EU actions to combat antimicrobial resistance in a One Health approach. *Official Journal of the European Union*, C220, 1-20.
- Couto, S. R. & Sanromán, M. Á. (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>
- Daâssi, D., Zouari-Mechichi, H., Frikha, F., Rodríguez-Couto, S., Nasri, M. & Mechichi, T. (2016). Sawdust waste as a low-cost support-substrate for laccases production and adsorbent for azo dyes decolorization. *Journal of Environmental Health Science & Engineering*, 14, 1. <https://doi.org/10.1186/s40201-016-0244-0>



- Das, A. J. & Deka, S. C. (2012). Fermented foods and beverages of the North-East India. *International Food Research Journal*, 19(2), 377-392.
- de Castro, R. J. S., Ohara, A., Nishide, T. G., Bagagli, M. P., Dias, F. F. G. & Sato, H. H. (2015). A versatile system based on substrate formulation using agroindustrial wastes for protease production by *Aspergillus niger* under solid state fermentation. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 4(4), 678-684. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2015.08.010>
- De Roos, J. & De Vuyst, L. (2018). Acetic acid bacteria in fermented foods and beverages. *Current Opinion in Biotechnology*, 49, 115-119. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2017.08.007>
- Deák, T., Kiskó, G., Maráz, A. & Mohácsiné Farkas, Cs. (2006). *Élelmiszer-mikrobiológia*. Mezőgazda Kiadó, Budapest.
- Dimidi, E., Cox, S. R., Rossi, M. & Whelan, K. (2019). Fermented foods: Definitions and characteristics, impact on the gut microbiota and effects on gastrointestinal health and disease. *Nutrients*, 11(8), 1806. <https://doi.org/10.3390/nu11081806>
- El Sheikha, A. F. & Hu, D. M. (2020). Molecular techniques reveal more secrets of fermented foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(1), 11-32. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1506906>
- El-Gendy, S. M. (1983). Fermented foods of Egypt and the Middle East. *Journal of Food Protection*, 46(4), 358-367. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-46.4.358>
- Feng, R., Chen, L. & Chen, K. P. (2018). Fermentation trip: Amazing microbes, amazing metabolisms. *Annals of Microbiology*, 68(11), 717-729. <https://doi.org/10.1007/s13213-018-1384-5>
- Galimberti, A., Bruno, A., Agostinetto, G., Casiraghi, M., Guzzetti, L. & Labra, M. (2021). Fermented food products in the era of globalization: Tradition meets biotechnology innovations. *Current Opinion in Biotechnology*, 70, 36-41. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2020.10.006>
- Giraffa, G. (2004). Studying the dynamics of microbial populations during food fermentation. *FEMS Microbiology Reviews*, 28(2), 251-260. <https://doi.org/10.1016/j.femsre.2003.10.005>
- Guan, Y. F., Lv, H. X., Wu, G. F., Chen, J., Wang, M., Zhang, M., Pang, H. L., Duan, Y. K., Wang, L., & Tan, Z. F. (2023). Effects of lactic acid bacteria reducing the content of harmful fungi and mycotoxins on the quality of mixed fermented feed. *Toxins*, 15(3), 226. <https://doi.org/10.3390/toxins15030226>
- Hansen, E. B. (2002). Commercial bacterial starter cultures for fermented foods of the future. *International Journal of Food Microbiology*, 78(1-2), 119-131. [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(02\)00238-6](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(02)00238-6)
- Hashemi, M., Mousavi, S. M., Razavi, S. H. & Shojaosadati, S. A. (2011). Mathematical modeling of biomass and α -amylase production kinetics by *Bacillus* sp. in solid-state fermentation based on solid dry weight variation. *Biochemical Engineering Journal*, 53(2), 159-164. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2010.09.017>
- Hashemi, M., Razavi, S. H., Shojaosadati, S. A., Mousavi, S. M., Khajeh, K. & Safari, M. (2010). Development of a solid-state fermentation process for production of an alpha amylase with potentially interesting properties. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 110(3), 333-337. <https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2010.03.005>
- Hatvan, Z., Varga, L., Székelyhidi, R. & Ásványi, B. (2024). The fermentability of agricultural raw materials by probiotic bacterial strains. *BIO Web of Conferences*, 125, 03006. <https://doi.org/10.1051/bioconf/202412503006>



- Henriques, T. M., Pereira, S. R., Serafim, L. S. & Xavier, A. M. R. B. (2018). Two-stage aeration fermentation strategy to improve bioethanol production by *Scheffersomyces stipitis*. *Fermentation*, 4(4), 97. <https://doi.org/10.3390/fermentation4040097>
- Heres, L. (2004). *Campylobacter* and *Salmonella* control in chickens and the role of fermented food. *Tijdschrift voor Diergeneeskunde*, 129(10), 332-335.
- Hussain, M. A. (2018). Molecular techniques for the identification of LAB in fermented cereal and meat products. In El Sheikha, A. F., Levin, R. E. & Xu, J. P. (Eds.), *Molecular Techniques in Food Biology: Safety, Biotechnology, Authenticity and Traceability* (pp. 261-283). John Wiley & Sons, Chichester, UK. <https://doi.org/10.1002/9781119374633.ch11>
- Jazi, V., Boldaji, F., Dastar, B., Hashemi, S. R. & Ashayerizadeh, A. (2017). Effects of fermented cottonseed meal on the growth performance, gastrointestinal microflora population and small intestinal morphology in broiler chickens. *British Poultry Science*, 58(4), 402-408. <https://doi.org/10.1080/00071668.2017.1315051>
- Jeyaram, K., Singh, T. A., Romi, W., Devi, A. R., Singh, W. M., Dayanidhi, H., Singh, N. R. & Tamang, J. P. (2009). Traditional fermented foods of Manipur. *Indian Journal of Traditional Knowledge*, 8(1), 115-121.
- Jha, R. & Berrocoso, J. F. D. (2016). Dietary fiber and protein fermentation in the intestine of swine and their interactive effects on gut health and on the environment: A review. *Animal Feed Science and Technology*, 212, 18-26. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.12.002>
- Jin, R. T., Song, J., Liu, C., Lin, R., Liang, D., Aweya, J. J., Weng, W. Y., Zhu, L. J., Shang, J. Q., Yang, S. (2024). Synthetic microbial communities: Novel strategies to enhance the quality of traditional fermented foods. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 23(4), e13388. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.13388>
- 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>
- Khan, M. I., Shin, J. H. & Kim J. D. (2018). The promising future of microalgae: Current status, challenges, and optimization of a sustainable and renewable industry for biofuels, feed, and other products. *Microbial Cell Factories*, 17(1), 36. <https://doi.org/10.1186/s12934-018-0879-x>
- Laveffe, L., Marasini, D. & Carbonero, F. (2019). Microbial ecology of fermented vegetables and non-alcoholic drinks and current knowledge on their impact on human health. *Advances in Food and Nutrition Research*, 87, 147-185. <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2018.09.001>
- 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>
- Li, T., Chen, X. B., Chen, J. C., Wu, Q. & Chen, G. Q. (2014). Open and continuous fermentation: Products, conditions and bioprocess economy. *Biotechnology Journal*, 9(12), 1503-1511. <https://doi.org/10.1002/biot.201400084>
- Li, X. M., Song, C. H., Xiong, L., Chen, X. F., Huang, C., Lin, X. Q., Chen, X. D. & Ma, L. L. (2018). Microbial conversion of wastewater from butanol fermentation to microbial oil and biomass by oleaginous yeasts. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 37(3), 1220-1226. <https://doi.org/10.1002/ep.12780>
- Liu, H. J., Chen, D. D., Zhang, R. F., Hang, X. N., Li, R. & Shen, Q. R. (2016). Amino acids hydrolyzed from animal carcasses are a good additive for the production of bio-organic fertilizer. *Frontiers in Microbiology*, 7, 1290. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01290>



- Liu, E. H. & Liu, S. Y. (2017). Process optimization and study of biogas fermentation with a mixture of duck manure and straw. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 72, 439-444. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.01.045>
- Liu, L., Wang, J. J., Rosenberg, D., Zhao, H., Lengyel, G. & Nadel, D. (2018). Fermented beverage and food storage in 13,000 y-old stone mortars at Raqefet Cave, Israel: Investigating Natufian ritual feasting. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 21, 783-793. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2018.08.008>
- Lu, C. C., Liu, M., Shang, W. R., Yuan, Y., Li, M. X., Deng, X. X., Li, H. J. & Yang, K. H. (2020). Knowledge mapping of *Angelica sinensis* (Oliv.) Diels (Danggui) research: A scientometric study. *Frontiers in Pharmacology*, 11, 294. <https://doi.org/10.3389/fphar.2020.00294>
- Luo, X. X., Dong, M. S., Liu, J. T., Guo, N. F., Li, J., Shi, Y. & Yang, Y. F. (2024). Fermentation: Improvement of pharmacological effects and applications of botanical drugs. *Frontiers in Pharmacology*, 15, 1430238. <https://doi.org/10.3389/fphar.2024.1430238>
- Mannaa, M., Han, G., Seo, Y. S. & Park, I. (2021). Evolution of food fermentation processes and the use of multi-omics in deciphering the roles of the microbiota. *Foods*, 10(11), 2861. <https://doi.org/10.3390/foods10112861>
- Marco, M. L., Heeney, D., Binda, S., Cifelli, C. J., Cotter, P. D., Foligné, B., Gänzle, M., Kort, R., Pasin, G., Pihlanto, A., Smid, E. J. & Hutkins, R. (2017). Health benefits of fermented foods: Microbiota and beyond. *Current Opinion in Biotechnology*, 44, 94-102. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2016.11.010>
- Marsh, A. J., Hill, C., Ross, R. P. & Cotter, P. D. (2014). Fermented beverages with health-promoting potential: Past and future perspectives. *Trends in Food Science & Technology*, 38(2), 113-124. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2014.05.002>
- Martins, S., Mussatto, S. I., Martínez-Avila, G., Montañez-Saenz, J., Aguilar, C. N. & Teixeira, J. A. (2011). Bioactive phenolic compounds: Production and extraction by solid-state fermentation. A review. *Biotechnology Advances*, 29(3), 365-373. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2011.01.008>
- McFeeters, R. F. (2004). Fermentation microorganisms and flavor changes in fermented foods. *Journal of Food Science*, 69(1), FMS35-FMS37. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2004.tb17876.x>
- McGovern, P. E., Zhang, J. Z., Tang, J. G., Zhang, Z. Q., Hall, G. R., Moreau, R. A., Nuñez, A., Butrym, E. D., Richards, M. P., Wang, C. S., Cheng, G. S., Zhao, Z. J. & Wang, C. S. (2004). Fermented beverages of pre- and proto-historic China. *PNAS*, 101(51), 17593-17598. <https://doi.org/10.1073/pnas.0407921102>
- Melini, F., Melini, V., Luziatelli, F., Ficca, A. G. & Ruzzi, M. (2019). Health-promoting components in fermented foods: An up-to-date systematic review. *Nutrients*, 11(5), 1189. <https://doi.org/10.3390/nu11051189>
- Mengesha, Y., Tebeje, A. & Tilahun, B. (2022). A review on factors influencing the fermentation process of teff (*Eragrostis teff*) and other cereal-based Ethiopian injera. *International Journal of Food Science*, 2022, 4419955. <https://doi.org/10.1155/2022/4419955>
- Missotten, J. A. M., Michiels, J., Ovin, A., De Smet, S. & Dierick, N. A. (2010). Fermented liquid feed for pigs. *Archives of Animal Nutrition*, 64(6), 437-466. <https://doi.org/10.1080/1745039X.2010.512725>



- Moonga, H. B., Schoustra, S. E., Linnemann, A. R., van den Heuvel, J., Shindano, J. & Smid, E. J. (2021). Influence of fermentation temperature on microbial community composition and physicochemical properties of mabisi, a traditionally fermented milk. *LWT*, 136(Part 2), 110350. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110350>
- Moraes, P. M., Perin, L. M., Silva Jr., A., Nero, L. A. (2013). Comparison of phenotypic and molecular tests to identify lactic acid bacteria. *Brazilian Journal of Microbiology*, 44(1), 109-112. <https://doi.org/10.1590/S1517-83822013000100015>
- Naji, S. A. H., Al-Gharawi, J. K. M. & Al-Zamili, I. F. B. (2015). The effect of starting age of feeding wetting fermented feed on the intestinal flora, humoral and cellular immunity of broiler chicks. *International Journal of Advanced Research*, 3(1), 41-49.
- Nasrabadi, M. R. N. & Razavi, S. H. (2010). High levels lycopene accumulation by *Dietzia natronolimnaea* HS-1 using lycopene cyclase inhibitors in a fed-batch process. *Food Science and Biotechnology*, 19(4), 899-906. <https://doi.org/10.1007/s10068-010-0127-6>
- Niba, A. T., Beal, J. D., Kudi, A. C. & Brooks, P. H. (2009). Potential of bacterial fermentation as a biosafe method of improving feeds for pigs and poultry. *African Journal of Biotechnology*, 8(9), 1758-1767.
- Rahman, M. (2013). Medical applications of fermentation technology. *Advanced Materials Research*, 810, 127-157. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.810.127>
- Rezac, S., Kok, C. R., Heermann, M. & Hutkins, R. W. (2018). Fermented foods as a dietary source of live organisms. *Frontiers in Microbiology*, 9, 1785. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.01785>
- Şanlıer, N., Gökçen, B. B. & Sezgin, A. C. (2019). Health benefits of fermented foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(3), 506-527. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1383355>
- Schingoethe, D. J. (1976). Whey utilization in animal feeding: A summary and evaluation. *Journal of Dairy Science*, 59(3), 556-570. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(76\)84240-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(76)84240-3)
- Sharma, R., Garg, P., Kumar, P., Bhatia, S. K. & Kulshrestha, S. (2020). Microbial fermentation and its role in quality improvement of fermented foods. *Fermentation*, 6(4), 106. <https://doi.org/10.3390/fermentation6040106>
- Sharma, A. & Kapoor, A. C. (1996). Levels of antinutritional factors in pearl millet as affected by processing treatments and various types of fermentation. *Plant Foods for Human Nutrition*, 49(3), 241-252. <https://doi.org/10.1007/BF01093221>
- Singhania, R. R., Patel, A. K., Soccol, C. R. & Pandey, A. (2009). Recent advances in solid-state fermentation. *Biochemical Engineering Journal*, 44(1), 13-18. <https://doi.org/10.1016/j.bej.2008.10.019>
- Soccol, C. R., da Costa, E. S. F., Letti, L. A. J., Karp, S. G., Woiciechowski, A. L. & Vandenberghe, L. P. S. (2017). Recent developments and innovations in solid state fermentation. *Biotechnology Research and Innovation*, 1(1), 52-71. <https://doi.org/10.1016/j.biori.2017.01.002>
- Subramaniam, R. & Vimala, R. (2012). Solid state and submerged fermentation for the production of bioactive substances: A comparative study. *International Journal of Science and Nature*, 3(3), 480-486.
- Sun, H. X., Kang, X. Y., Tan, H. Z., Cai, H. Y., Chen, D. (2023). Progress in fermented unconventional feed application in monogastric animal production in China. *Fermentation*, 9(11), 947. <https://doi.org/10.3390/fermentation9110947>
- Sun, H. X., Jiang, Z. P., Chen, Z. M., Liu, G. H., Liu, Z. X. (2024). Effects of fermented unconventional protein feed on pig production in China. *Frontiers in Veterinary Science*, 11, 1446233. <https://doi.org/10.3389/fvets.2024.1446233>



- Szakály, S. (2001). *Tejgazdaságtan*. Dinasztia Kiadó, Budapest.
- Szekér, K. (2007). *Tejsavbaktériumok és élelmiszer-eredetű romlás- és kórokozó baktériumok versengő kölcsönhatásának vizsgálata* [Doktori (PhD) értekezés, Budapesti Corvinus Egyetem]. Budapest.
- Tamang, J. P., Cotter, P. D., Endo, A., Han, N. S., Kort, R., Liu, S. Q., Mayo, B., Westerik, N. & Hutkins, R. (2020). Fermented foods in a global age: East meets West. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(1), 184-217. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12520>
- Tamang, J. P., Shin, D. H., Jung S. J. & Chae, S. W. (2016). Functional properties of microorganisms in fermented foods. *Frontiers in Microbiology*, 7, 578. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00578>
- Tanaka, T. & Kondo, A. (2015). Cell surface engineering of industrial microorganisms for biorefining applications. *Biotechnology Advances* 33(7), 1407. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biotechadv.2015.06.002>
- Tibbetts, S. M., Mann, J. & Dumas, A. (2017). Apparent digestibility of nutrients, energy, essential amino acids and fatty acids of juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) diets containing whole-cell or cell-ruptured *Chlorella vulgaris* meals at five dietary inclusion levels. *Aquaculture*, 481, 25-39. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.08.018>
- Valentino, V., Magliulo, R., Farsi, D., Cotter, P. D., O'Sullivan, O., Ercolini, D. & De Filippis, F. (2024). Fermented foods, their microbiome and its potential in boosting human health. *Microbial Biotechnology*, 17(2), e14428. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.14428>
- Voidarou, C., Antoniadou, M., Rozos, G., Tzora, A., Skoufos, I., Varzakas, T., Lagiou, A. & Bezirtzoglou, E. (2021). Fermentative foods: Microbiology, biochemistry, potential human health benefits and public health issues. *Foods*, 10(1), 69. <https://doi.org/10.3390/foods10010069>
- Vuppala, G., Krishna R. & Murthy K. (2015). Fermentation in food processing. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 4(1), 1-9.
- Waghmare, P. R., Khandare, R. V., Jeon, B. H. & Govindwar, S. P. (2018). Enzymatic hydrolysis of biologically pretreated sorghum husk for bioethanol production. *Biofuel Research Journal*, 5(3), 846-853. <https://doi.org/10.18331/BRJ2018.5.3.4>
- Wang, J. & Fung, D. Y. C. (1996). Alkaline-fermented foods: A review with emphasis on pidan fermentation. *Critical Reviews in Microbiology*, 22(2), 101-138. <https://doi.org/10.3109/10408419609106457>
- Xiang, H., Sun-Waterhouse, D. X., Waterhouse, G. I. N., Cui, C. & Ruan, Z. (2019). Fermentation-enabled wellness foods: A fresh perspective. *Food Science and Human Wellness*, 8(3), 203-243. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2019.08.003>
- Xu, B. C., Li, Z., Wang, C., Fu, J., Zhang, Y., Wang, Y. Z. & Lu, Z. Q. (2020). Effects of fermented feed supplementation on pig growth performance: A meta-analysis. *Animal Feed Science and Technology*, 259, 114315. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.114315>
- Xu, F. Z., Zeng, X. G. & Ding, X. L. (2012). Effects of replacing soybean meal with fermented rapeseed meal on performance, serum biochemical variables and intestinal morphology of broilers. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 25(12), 1734-1741. <https://doi.org/10.5713/ajas.2012.12249>
- Yamanè, T., Shimizu, S. (1984). Fed-batch techniques in microbial processes. In *Bioprocess Parameter Control. Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology*, 30. Springer, Berlin, Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/BFb0006382>



- Yazid, N. A., Barrena, R., Komilis, D. & Sánchez, A. (2017). Solid-state fermentation as a novel paradigm for organic waste valorization: A review. *Sustainability*, 9(2), 224. <https://doi.org/10.3390/su9020224>
- Zhang, A. R., Yang, Y. Y., Li, Y., Zheng, Y. F., Wang, H. M., Cui, H. X., Yin, W., Lv, M., Liang, Y. X., Chen, W. L. (2024). Effects of wheat-based fermented liquid feed on growth performance, nutrient digestibility, gut microbiota, intestinal morphology, and barrier function in grower-finisher pigs. *Journal of Animal Science*, 102, skae229. <https://doi.org/10.1093/jas/skae229>

©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 natúr és kezelt repce melléktermékek takarmányozási potenciálja: lehetőségek és kihívások (Irodalmi áttekintés)

HORVÁTH ÉVA RITA¹, TÓTH TAMÁS^{2*}, FÉBEL HEDVIG³

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

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-0646-1719>

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

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

Email: toth.tamas@sze.hu

³Állatorvostudományi Egyetem, Szülészeti Tanszék és Haszonállat-gyógyászati Klinika, Budapest

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-9867-0664>

*Corresponding author/Levelező szerző

Received/Érkezett: 2025.02.28.

Revised/Átdolgozva: 2025.05.03.

Accepted/Elfogadva: 2025.06.08.

Published/Megjelent: 2025.06.27.

ÖSSZEFOGLALÁS

A globális takarmányipar egyre nagyobb mennyiségű fehérjeforrást igényel, miközben a szójatermelés nem tud lépést tartani a növekvő kereslettel. Az alternatív fehérjeforrások közül a repceolaj-gyártás melléktermékei, különösen a repcepogácsa és az extrahált repcedara, ígéretes lehetőséget kínálnak a monogasztrikus állatok (sertés, baromfi) takarmányozásában. A repce melléktermékek jelentős fehérjetartalommal bírnak, azonban alkalmazásukat korlátozza a magas rosttartalom és az antinutritív vegyületek, például a glükozinolátok, a szinapin és a tanninok jelenléte.

Irodalmi áttekintésünk adatai alapján megállapítottuk, hogy a fizikai kezelések (például extrudálás) hatékonyan csökkenthetik az antinutritív anyagok mennyiségét, ezáltal javítva a táplálóanyagok emészthetőségét és az ízletességet. A kémiai eljárások, mint az extrahálás vagy az ammóniakezelés, tovább mérsékelhetik a glükozinolátok és a tanninok kedvezőtlen hatásait. A kombinált kezelések, például a hidrotermikus és kémiai módszerek együttes alkalmazása, hatékonyabb megoldást jelenthetnek a repce-alapú melléktermékek minőségének javítására. A jelenlegi nemesítési programok célja a glükozinolát- és rosttartalom további csökkentése, valamint a fehérje- és olajtartalom optimalizálása. A repce melléktermékeinek felhasználása a bioetanol- és a keményítőgyártás melléktermékeivel (például DDGS, CGF) kombinálva gazdaságos és fenntartható alternatívát jelenthet az extrahált szójadara részleges kiváltására. A megfelelő feldolgozási technológiák alkalmazásával a helyben megtermelt repce-alapú takarmányok hozzájárulhatnak az élelmiszerbiztonság növeléséhez és a környezeti fenntarthatósághoz.

Kulcsszavak: repce, glükozinolát, kezelések, fizikai módszerek, kémiai eljárások



1. BEVEZETÉS

A hús- és tojástermelés növeléséhez egyre nagyobb mennyiségű takarmányra, illetve vízre van szükség. A takarmánykeverékek iránti megugrott kereslet miatt fokozódik az igény a gyártáshoz szükséges fehérjeforrásokra is. A fehérjehordozó takarmánynövények megtermelése nehezen tud lépést tartani a kereslettel. A szántóterületek csökkenése, a globális klímaváltozás, az édesvíz hiánya, továbbá a magas patogenitású madárinfluenza, illetve afrikai sertéspestis terjedése mind megnehezíti a növekvő fehérjeigény kielégítését. Ebben az összefüggésben érdemes alternatív és fenntartható fehérjeforrásokat alkalmazni, amelyek hozzájárulhatnak a globális élelmezésbiztonsághoz (Slimen et al., 2023).

A monogasztrikus állatok takarmánykeverékeiben a fő fehérjehordozó alapanyag az extrahált szójadara. A hazai állatállomány takarmányához a szójaigény töredékét tudjuk megtermelni, importra szorulunk (Popp et al., 2018). Az extrahált szójadara takarmányokban való részleges helyettesítésének igényét különböző fehérjehordozókkal elsősorban a takarmányköltségek csökkentése hívta életre (Popp et al., 2015). Az alternatív fehérjehordozók alkalmazása olyan országok számára jelentős szempont, amelyek éghajlati adottságukat tekintve nem, vagy csak kis mennyiségben képesek szójatermesztésre (Chiang et al., 2010; Kralovánszky, 2012; Nega és Woldes, 2018). A repcemag olajipari feldolgozásakor a melléktermékként nagy mennyiségben keletkező hidegen sajtolt repcepogácsa lehetőséget nyújt egyrészt a környezeti fenntarthatóság és a környezetbarát koncepció előmozdításában, másrészt egy olcsóbb és értékes takarmány-alapanyag, amely csökkentheti a szójadarától való függőséget (Wengerska et al., 2022; Rakita et al., 2023).

Az olajnövények, ezen belül a repce, mint lehetséges fehérjehordozó előretörésében meghatározó szerepet játszott, hogy a repcemag az elmúlt 20 évben a biodízel előállítás elsődleges alapanyagát képezte az EU-ban (Carré és Pouzet, 2014; Tikász, 2014; Golebiewska et al., 2022). A biodízel-előállítás során a repcemagból az olajat préseléssel, hideg (50-70 °C-on) vagy meleg (100-150 °C-on) sajtolási eljárással nyerik ki. Így melléktermékként repcepogácsa keletkezik. Az olajpogácsában maradt olajat egy további művelettel, az extrakcióval vonják ki. A folyamat végén kapjuk meg az extrahált repcedarát (Baker et al., 2020).

A repcealapú melléktermékek táplálóanyag-tartalmát, valamint azok emészthetőségét nagymértékben befolyásolja a repcemag minősége és a feldolgozás módja (Drazbo et al., 2018; Olukomaiya et al., 2020). A repcében több antinutritív összetevő is előfordul. A goitrogén (golyvaképző) hatású glükozinolátok másodlagos jódhiányt okoznak a szervezetben (Tripathi és Mishra, 2007). A növénynevesítők előállítottak olyan úgynevezett dupla-, tripla- és tetranullás repcefajtákat, amelyekben jelentősen csökkentették az antinutritív anyagok mennyiségét. Az élelmiszeriparban, valamint takarmányozás céljára kizárólag olyan repce használható, amelyben az erukasavtartalom az összes olajtartalomnak kevesebb, mint 2 %-a, a glükozinolátok mennyisége pedig kevesebb mint 20 µmol/g (Radfar et al., 2017).

A repcepogácsa jelentős mennyiségű fehérjét tartalmaz, kéntartalmú aminosavakban gazdag. Nagyobb olajtartalmának köszönhetően jobb energiaforrás, mint az olaj extrakciója után visszamaradó extrahált repcedara (Hayder, 2018). Hátránya a szójával/szójadarával szemben, hogy lizinből kevesebbet tartalmaz. Ezt mindenképp figyelembe kell venni, mivel lizinkiegészítés hiányában romlanak a termelési mutatók (súlygyarapodás, takarmányértékesítés) (Swiatkiewicz et al., 2010). A duplanullás repce olaja nagy mennyiségben tartalmaz telítetlen zsírsavakat (olajsav C18:1, linolsav C18:2n-6, linolénsav C18:3n-3), a telített zsírsavak (palmitinsav C16:0, sztearinsav C18:0) aránya alacsony (Szydłowska-Czerniak et al., 2021). A többszörösen telítetlen zsírsavak



nagyobb részaránya rontja az oxidatív stabilitást (Heszky, 2007), ezáltal a végtermék eltarthatóságának ideje csökkenhet. A repcepogácsa alkalmazásakor erre tekintettel kell lenni.

A szójafehérje repcével való helyettesítésekor célszerű olyan repcekezelési eljárást választani, amely alternatívát szolgáltat ahhoz, hogy a repce és melléktermékeinek alkalmazásával a szója minél nagyobb mértékben kiváltható legyen.

A tanulmány célja, hogy átfogó irodalmi áttekintés keretében bemutassa a biodízel-előállítás során keletkező melléktermékek – elsősorban a repcedara és a repcepogácsa – takarmányozási potenciálját, feltérképezze alkalmazásuk előnyeit és korlátait a monogasztrikus állatok (sertés, baromfi) teljes értékű takarmánykeverékeiben, valamint elemezze azokat a fizikai, kémiai és kombinált feldolgozási eljárásokat, amelyek révén e melléktermékek energia- és táplálóanyagtartalma, valamint hasznosíthatósága javítható a fenntartható takarmányozás céljából. Jelen áttekintés nem tér ki a repcedara és -pogácsa konkrét alkalmazásának értékelésére sertések és baromfifajok esetében, mivel ezt korábbi munkánkban részletesen bemutattuk (Horváth et al., 2014).

2. A BIOÜZEMANYAG-ELŐÁLLÍTÁS MELLÉKTERMÉKEI

A bioüzemanyag-előállítás alapanyaga a bioetanol-gyártáshoz a nagy keményítő- és cukortartalmú növények (elsősorban kukorica és cukornád), míg a biodízel-gyártásban olajnövényeket alkalmaznak (elsősorban repcét és szóját) (Oláh és Popp, 2022).

A bioüzemanyag-előállítás egyik lehetséges terméke a bioetanol (Osman et al., 2021). A globális etanoltermelés mintegy 80 %-a bioüzemanyagként kerül felhasználásra, a fennmaradó részből szeszesital és ipari alkohol készül. Az üzemanyagcélú etanolgyártás alapanyagának közel 55 %-át kukorica, 34 %-át cukornád, 6 %-át melasz, 3,5 %-át búza és 1,5 %-át egyéb nyersanyag képezi (Popp et al., 2010).

Az üzemanyagcélú-bioetanol legnagyobb előállítója az Amerikai Egyesült Államok (USA) (51 milliárd liter) és Brazília (21 milliárd liter), vagyis a két ország együttesen a globális termelés 80 %-át teszi ki, míg az EU a harmadik legjelentősebb termelő 4,3 milliárd liter bioetanol-kibocsátással (Popp, 2013). Az etanolgyártás során az alkohol előállítása történhet cukor kivonásával és fermentációval, keményítő hidrolízisével és fermentációval vagy cellulóz hidrolízisével és fermentációval (Somogyi, 2012). A jelenleg alkalmazott legnépszerűbb eljárás a keményítő hidrolízisének és fermentációjának alapul, amelyen belül megkülönböztethető a száraz-őrléses és a nedves-őrléses etanolgyártás. A száraz őrléses bioetanolgyártás során minden 100 kg kukoricából 30-32 kg etanol, 30 kg CO₂ és 29 kg szárított gabonatorrköly (DDGS) keletkezik. Az eljárás során a desztilláció utáni cefremaradványt centrifugálással és/vagy bepárlással nyerik ki (Sakib és Haque, 2024). A nedves őrléses eljárással gyártott bioetanol technológiájának alkalmazásakor 100 kg kukoricából 29 kg etanol, 20 kg kukoricaglutén (CGF), 5 kg kukoricahéj, 3 kg kukoricacsíra nyerhető (Sipos, 2014).

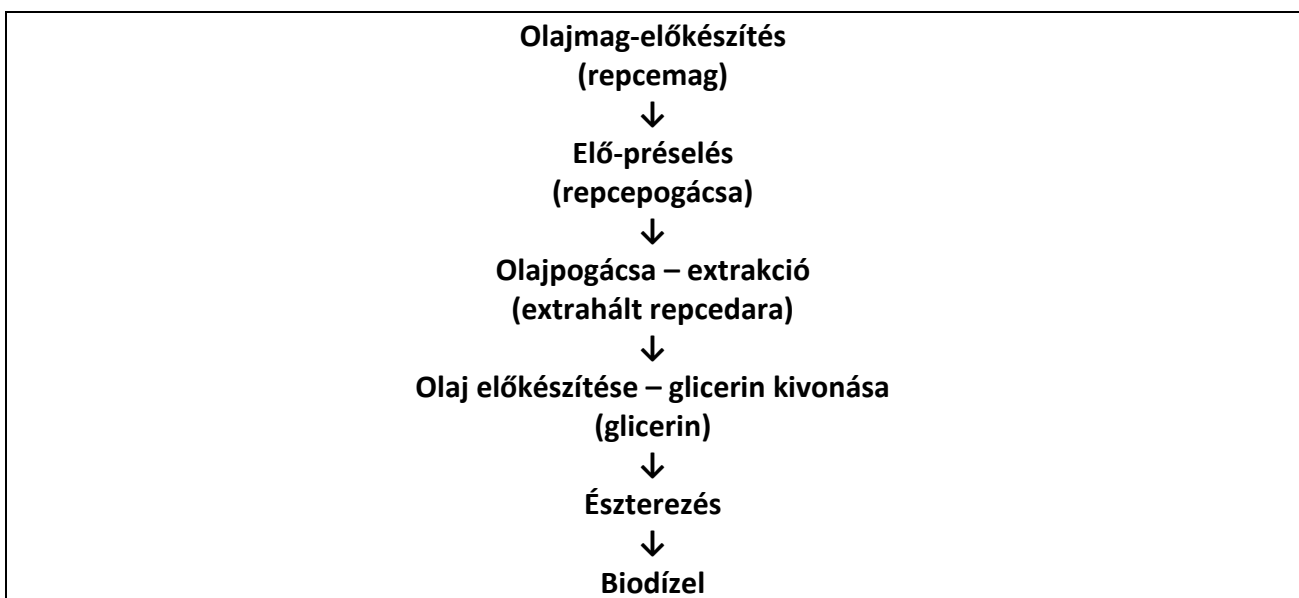
A DDGS táplálóanyag-tartalmát tekintve fehérjében, energiában és ásványianyagokban gazdag melléktermék (Böttger és Südekum, 2018). A szárítás során azonban a hőhatás jelentősen ronthat a termék nyersfehérje-tartalmának emészthetőségén. A CGF táplálóanyag-tartalmát leginkább a korpa és az áztatófolyadék aránya határozza meg (Mézes, 2018). A kukoricaglutén felhasználását korlátozó tényezők közül a nyersfehérje-tartalom és az aminosav-profil a leglényegesebbek (De Godoy et al., 2009). Mindkét melléktermék konzisztenciája, illetve minősége (táplálóanyag-tartalom) a takarmányban való felhasználás eredményességét közvetlenül befolyásolja (Révész, 2021). A DDGS és CGF ára alapvetően a kukoricához köthető, azonban figyelembe véve azt a tényt,



hogy a takarmányozáshoz használt DDGS és CGF a szója részleges helyettesítésére is használható, a DDGS és CGF árát a szójadara mindenkori árának alakulása is befolyásolja (Abudabos et al., 2021). A biodízel előállítása jellemzően két lépcsőre tagolódik: növényolaj-előállításra és átészterezésre (Musharavati et al., 2023). 1 tonna repcére vetítve a növényolaj-előállítás során 420 kg olaj és 540 kg dara keletkezik (43 % olajtartalommal számolva) (Jobbágy, 2013). A hidraulikus préselés eredménye az olajpogácsa, amelyből zsíroldószerrel végzett extrakciót követően extrahált dara nyerhető (Schmidt, 2003) (1. ábra).

Az olaj kinyerése hideg sajtolási eljárással egy horizontális csavarprés segítségével egy menetben, gőzhasználat nélkül történik, amely 50-70 %-os olajextrakciót eredményez (Kaldmae et al., 2010). A sajtolás során a hőmérséklet az 50-60 °C-ot éri el (Pál et al., 2011). A mechanikai olajkinyerés az ún. expeller-előállítás is. Ebben az esetben a préselést megelőzően az alapanyag hőmérsékletét gőz alkalmazásával 110-115 °C-ra emelik, majd egyszeri vagy többszöri préselést követően nyerik ki az olaj 75 %-át (Cakaloglu et al., 2018).

A száraz extrudálással összekapcsolt technológia során a pogácsát extrudálják 120-130 °C-on, 20 másodpercig, majd újból kipréselik (Agwa et al., 2023). A préselés során kb. 62-70 kg repcepogácsa keletkezik 100 kg repcemagból. Az olajpogácsából extrakcióval további olajkivonás lehetséges, amelyet követően extrahált repcedarát kapunk. A nyersolaj (30-38 kg) észterképzési folyamat során válik felhasználhatóvá (biodízel 28-36 kg). Egy molekula triglicerid (zsír vagy olaj) lép reakcióba metanollal katalizátor jelenlétében, amely folyamat eredményeként metilészter-keverék (az ún. biodízel) és glicerin (3-4 kg 100 kg repceből) keletkezik (Fébel, 2018; Zieniuk et al., 2020).



1. ábra: Biodízel-előállítás folyamatai és a takarmányozásban felhasználható melléktermékei

Forrás: Hajdú (2006)



Az 1. táblázatban a biodízel gyártása során képződött melléktermékek, az extrahált repcedara, repcepogácsa, valamint az etanolgyártás során keletkezett DDGS és főként a keményítőgyártásból származó CGF (De Corato és Viola, 2023) táplálóanyag-tartalma hasonlítható össze.

1. táblázat: A biodízel és a bioetanol előállítása során keletkező melléktermékek táplálóanyag-tartalma (g/kg takarmány)

Paraméterek	Szójadara	Repcedara	Repce-pogácsa	DDGS	CGF
Szárazanyag	900,0	888,7	913,2	927,6	895,4
Nyersfehérje	459,0	328,0	318,7	284,8	190,6
Nyerszsír	21,0	19,0	116,4	123,7	23,3
Nyersrost	50,0	131,5	110,6	60,5	72,2
Nyershamu	62,0	67,6	59,3	47,1	50,5

Forrás: Fébel (2018)

3. A REPCEALAPÚ MELLÉKTERMÉKEK TAKARMÁNYOZÁSI SZEMPONTBÓL FONTOS TÁPLÁLÓANYAGAI

A repcedara fontos fehérjehordozó alapanyag, mivel nyersfehérje-tartalma átlag 35-40 % (2. és 3. táblázat). A repcedara és -pogácsa nyersfehérje-tartalmát – többek között – a repce típusa, termesztési helye, rosttartalma befolyásolja (Theodoridou és Yu, 2013). Radfar et al. (2017) vizsgálatai szerint a sárga magvú *Brassica juncea*-ból előállított dara nyersfehérje-tartalma nagyobb, mint a fekete magvú *Brassica napus canola*-é. Slominski et al. (2012) negatív korrelációt írtak le a dara nyersfehérje- illetve rosttartalma között ($P < 0,05$).

A repcedara és -pogácsa nyersfehérje-tartalmának látszólagos emészthetősége a monogasztrikus állatoknál kisebb a szójadarával összehasonlítva (Nega és Woldes, 2018).

2. táblázat: Az extrahált szójadara, a repcedara és a repcepogácsa kémiai összetétele és energiatartalma

Paraméterek	Szójadara	Repcedara	Repcepogácsa
Nyersfehérje (g/kg)	450-485	380-400	290-320
Lizin (g/kg)	33	22	20
Metionin (g/kg)	7	7	7
Nyerszsír (g/kg)	10	30-40	100-150
Nyersrost (g/kg)	35-50	110-130	90-110
Lignin (g/kg)	10	80	80
Keményítő (g/kg)	160	140	110
DE (MJ/kg) ¹	16,4	13,3	15,0
AME _n (MJ/kg) ²	12,0	8,4	10,2

¹DE = emészthető energiatartalom; ²AME_n = zéró (0) N-visszatartásra korrigált, látszólagos metabolizálható energiatartalom

Forrás: Magyar Takarmánykódex (2004)



A repcedara, illetve –pogácsa kisebb nyersfehérje-tartalma következtében az aminosavak abszolút mennyisége, a metionin kivételével, nem éri el az extrahált szójadarában mért értékeket (3. táblázat).

3. táblázat: Az extrahált szójadara, a repcedara és a repcepogácsa esszenciális aminosavtartalma a nyersfehérje %-ában

Paraméterek	Szójadara	Repcedara	Repcepogácsa
Nyersfehérje (%)	43,8	38,60	35,70
Arginin	3,49	1,83	1,82
Hisztidin	1,21	0,86	0,83
Izoleucin	2,15	1,29	1,24
Leucin	3,66	2,34	2,26
Lizin	2,99	1,30	1,33
Metionin	0,60	0,63	0,60
Fenilalanin	2,35	1,45	1,35
Treonin	1,89	1,49	1,40
Triptofán	0,66	0,43	0,42
Valin	2,24	1,74	1,62

Forrás: Banaszkievicz (2011); Feng és Zuo (2007)

Amennyiben azonban 1 egység extrahált szójadarat 1,3-1,4 egység repcepogácsával helyettesítünk, úgy metioninben, cisztinben és treoninban gazdagabb keveréket kapunk (Kakuk és Schmidt, 1988; Rakita et al., 2023). A szójadara kiváltásakor, a repcedara aminosavainak kisebb ileális emészthetősége miatt, különösen fontos az összes aminosav helyett a különböző korú és hasznosítási irányú sertés, illetve baromfifélék takarmányreceptúra összeállításakor a standardizált ileálisan emészthető aminosav mennyiségét (SID, Standardized Ileal Digestibility) figyelembe venni (Fébel, 2018). A szója lizinben gazdag takarmány, amely a repcével együtt etetve nagyon jól kiegészítik egymás aminosav-garnitúráját (Salazar-Villanea et al., 2016; Cheng et al., 2022).

A repce típusa, a szennyezőanyag-tartalom, a feldolgozási technológia és egyéb tényezők (pl. talaj, éghajlat) egyaránt befolyásolhatják a repceből előállított melléktermék energia- és táplálóanyag-tartalmát (Adewole et al., 2016). A repcemag préselése után a repcepogácsában még jelentős mennyiségű olaj marad, amit a nyerszsírtartalom viszonylag nagy értéke (100–150 g/kg) mutat (2. táblázat). A hidegen préselt repce nyerszsírtartalma megközelítően 120-130 g/kg, míg a nagyobb hőmérsékleten és nyomással préselt repce esetén 100-150 g/kg (Orosz és Tóth, 2010). Theodoridou és Yu (2013) kutatásai szerint a barna magvú *Brassica napus*-ból készült repcepogácsa nyerszsírtartalma akár nagyobb is lehet, mint a sárga magvú *Brassica juncea*-é és *Brassica napus*-é, azonban a nyersfehérje jobb emészthetősége (vékonybéli) és a kisebb rosttartalom miatt a sárga magvú repce alkalmazása eredményezhet kedvezőbb minőségű alapanyagot a gazdasági haszonállatok takarmányozásában.

A duplanullás változatú repce olaja nagy mennyiségben tartalmaz telítetlen zsírsavakat (olajsav C18:1(9), linolsav C18:2 (9,12), linolénsav C18:3 (9,12,15), míg a telített zsírsavak (palmitinsav C16:0, sztearinsav C18:0) aránya kicsi. A többszörösen telítetlen zsírsavak viszonylag nagy aránya rontja az oxidatív stabilitást. Ennek megelőzésére az élelmiszeriparban a repceolajat hidrogénezéssel stabilizálják. A zsírsavak átalakítása előnytelen hatású transz-izomerek képződésével jár (Danthine et al., 2022). A transz-izomerek ugyanis növelik a vérben az LDL-koleszterin-szintet (Low Density Lipoprotein) és csökkentik a HDL-koleszterin-szintet (High Density Lipoprotein). A vérben lévő



nagyobb LDL-koleszterin-szint (2 mmol/l felett) és a kisebb HDL-koleszterintartalom (0,9 mmol/l > HDL < 5,2 mmol/l) növeli a szív- és érrendszeri megbetegedések (pl. érelmeszesedés) kialakulásának valószínűségét (Brouwer et al., 2010; Wang et al., 2024). A növénynemesítési eljárásokkal igyekeznek a repcemagban az olajsav-tartalmat tovább növelni, illetve kisebb linolsav és linolénsav arányt elérni. Ez ugyanis lehetővé tenné a hidrogénezési folyamat alkalmazásának csökkentését, illetve elhagyását (Heszky, 2007; Delgado és Kleber, 2019).

Az olajkinyerés során keletkező melléktermékek, az extrahált repcedara és a repcepogácsa mért zsírsavösszetételének adataiból (4. táblázat) kitűnik, hogy az extrahált repce olajsavtartalma (C18:1n-9c), linolsav-tartalma (C18:2n-6c), illetve α -linolénsav-tartalma (C18:3n-3) kisebb a repcepogácsával összehasonlítva, ami a technológia során a repcepogácsában visszamaradt nagyobb olajtartalom eredménye (Schmidt, 2003).

4. táblázat: Extrahált repcedara és repcepogácsa zsírsavösszetétele

Paraméterek	Extrahált repcedara		Hidegen sajtolt repcepogácsa	
Zsírsavak	mg/g	%	mg/g	%
C12:0 (Laurinsav)	0,01	0,05	-	-
C14:0 (Mirisztinsav)	0,07	0,34	0,14	0,14
C15:0 (Pentadekánsav)	0,04	0,19	0,07	0,07
C16:0 (Palmitinsav)	2,33	11,89	7,20	7,25
C16:1 (Palmitoleinsav)	0,34	1,73	0,69	0,70
C17:0 (Heptadekánsav)	0,03	0,17	0,09	0,09
C18:0 (Sztearinsav)	0,35	1,77	1,88	1,89
C18:1n-9c (Olajsav)	7,20	36,69	45,99	46,27
C18:2n-6c (Linolsav)	7,47	38,05	30,15	30,33
C18:3n-3 (α -Linolénsav)	1,58	8,04	11,34	11,40
C20:0 (Arachidsav)	0,09	0,46	0,61	0,62
C20:1n-9 (Eikozénsav)	0,09	0,48	1,13	1,14
C20:2n-6 (Eikozadiénsav)	0,01	0,05	0,07	0,07
C22:1 (Erukasav)	0,02	0,09	0,05	0,05
Összes zsírsav (mg/g)	19,62		99,41	
Nyerszsír (g/kg)	19,00		116,4	

Forrás: Fébel (2018)



A repcedara és -pogácsa viszonylag gazdag ásványi anyagokban (5. táblázat), beleértve a kalciumot, foszfort, káliumot, vasat és cinket (Beyzi et al., 2019; Kolláthová et al., 2019).

A szójadarához képest a repcedara kalcium- és foszfortartalma nagyobb, ami viszont a vitaminösszetételét tekintve a repce nagy mennyiségben tartalmaz B-vitamint, biotint, folsavat, niacint, riboflavint, tiamint, valamint E-vitamint (Szydlowska-Czerniak, 2013). Ezenkívül a repce gazdag fenolos és más bioaktív vegyületekben, mint pl. tokoferolokban és kolinban (Vuorela et al., 2004).

5. táblázat: A szója- és repcepogácsa makro- és mikroelem-tartalmának összehasonlítása

Paraméterek	Szójapogácsa	Repcepogácsa
Kalcium (g/kg szárazanyag)	3,49	6,63
Foszfor (g/kg szárazanyag)	6,08	12,23
Magnézium (g/kg szárazanyag)	2,09	4,08
Nátrium (g/kg szárazanyag)	0,23	0,18
Kálium (g/kg szárazanyag)	20,47	13,81
Réz (mg/kg szárazanyag)	14,68	8,90
Vas (mg/kg szárazanyag)	88,97	107,94
Mangán (mg/kg szárazanyag)	25,62	54,07
Cink (mg/kg szárazanyag)	44,77	52,38

Forrás: Kolláthová et al. (2019)

4. A REPCEALAPÚ MELLÉKTERMÉKEK FELHASZNÁLÁSÁT AKADÁLYOZÓ ANTINUTRITÍV VEGYÜLETEK

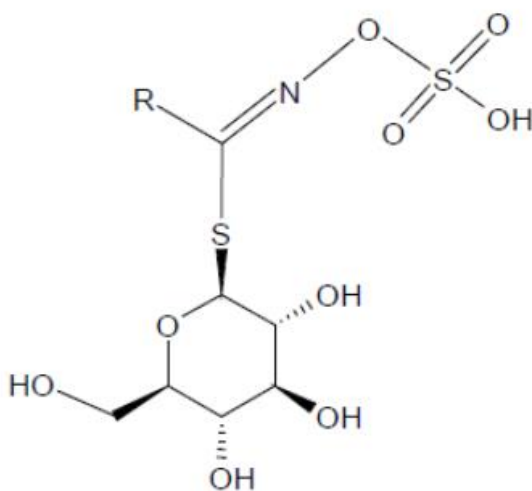
A repce felhasználhatóságát antinutritív hatású összetevői [erukasav, csersav (tannin), glükoszínolát (mustárolajglikozid), szinapin, fitát] korlátozzák (Mawson et al., 1994; Cheng et al., 2022).

Az erukasav, illetve trigliceridjei karcinogén hatásúak, károsítják a szívizmot, a májat és a mellékvesét (Rudas és Frenyó, 1995). A kis erukasav-tartalmú repcét Kanadában nemesítették, innen az elnevezése: CANOLA (CANadian-Oil-Low-Acid). A tannin a növényekben lévő polifenol-származékok gyűjtőneve, amely csökkenti a fehérje emészthetőséget, valamint a fehérjeburokkal körbezárt endospermium hasznosítását is monogasztrikus állatoknál (Schmidt, 2003; Das et al., 2020).

A repce szemtermése és vegetatív részei kéntartalmú, jellegzetes szagú mustárolaj-glikozidokat, összefoglaló néven glükoszínolátokat tartalmaznak (2. ábra). Nevüket onnan kapták, hogy hatóanyaguk béta-glikozid kötéssel kapcsolódik egy, vagy több monoszacharid molekulához. Ma már több mint ötven ismert glükoszínolátot tartanak számon (Yan és Chen, 2007; Vermeulen, 2009). Valamennyi glükoszínolátra jellemző, hogy gátolják a jódd beépülését a tiroxin pajzsmirigyhormonba (Pasko et al., 2018; Goyal et al., 2021), valamint károsítják a máj és vese működését (Kállai és Kralovánszky, 1978; Lee et al., 2020).

A repcemagban található glükoszínolátok és az azt bontó mirozináz (tioglükozid glükohidroláz EC 3.2.3.1) egymástól elkülönülve, külön sejtterekben helyezkednek el (Maskell és Smithard, 1994). Az előkészítő eljárásokkal (darálás, pépesítés, áztatás) a sejtfalak sérülnek, az enzim és a glükoszínolátok kölcsönhatásba léphetnek. Az enzimes hidrolízis hatására a pajzsmirigy működését károsan befolyásoló vegyületek (izotiocianát, goitrin, nitrilek, tiocianát) képződnek (Goyal et al., 2021). A repce feldolgozás során alkalmazott eljárások, mint a hőkezelés azonban a hőérzékeny mirozináz inaktiválását eredményezi (Schmidt et al., 2003). A glükoszínolátok takarmányban való előfordulásának minimalizálására azért van szükség, mert egészségkárosító metabolitjaik goitrogén,

mutagén, hepatoxikus és nefrotoxikus hatásúak az állat szervezetében (Tripathi és Mishra, 2007). Ugyanazt a kiindulási alapanyagot feltételezve, a kezelési technológia a repcepogácsában kisebb, az extrahált repcedarában viszont nagyobb glükozinoláttartalmat hoz létre (Rymer és Short, 2002). A duplanullás repceből készült repcepogácsában a glükozinolát koncentrációja 18,5 mmol/kg szárazanyag, míg az extrahált repcedarában mintegy 30 mmol/kg szárazanyag volt (Hill et al., 2003; Schöne et al., 1996).



2. ábra A glükozinolát általános szerkezete, R változó oldallánc

Forrás: Wittstock és Halkier (2002); Golebiewska et al. (2022)

A repce szinapintartalma is antinutritív hatású. A repcében kb. 1 % mennyiségben található szinapin lebontása során keletkező trimetilamin tehető felelőssé egyes barna héjú tojást termelő tyúkok tojásában megjelenő halszagért (Tripathi és Mishra, 2007).

A glükozinolátok és szinapin mellett számolni kell a fitáttartalommal. A fitinsav (mioinozitol-hexafoszforsav) a foszfor raktározott formája a gabonákban, hüvelyesekben, diófélékben és olajos magvakban (Jacela et al., 2010). A fitinsav fehérjékkel és számos ásványi anyaggal (Zn, Ca és Fe) oldhatatlan komplexeket képez. Ez a kölcsönhatás megváltoztathatja a fehérje szerkezetét és a fehérje oldhatóságát, ami az állat bélrendszerében gátolja a felszívódást (Nissar et al., 2017). A fitáz hatására felszabaduló fehérjék stimulálják azon bélbaktériumok aktivitását, amelyek aktivitásának eredményeként a glükozinolátok hidrolízise toxikus vegyületek felszabadulásához vezet (Smulikowska et al., 2010).

A repcepogácsa, illetve az extrahált repcedara felhasználhatóságát nyersrosttartalmuk is korlátozza, mindkettő kétszer-háromszor annyit tartalmaz, mint az extrahált szójadara (Hansen et al., 2017). A roston belüli lignintartalom nagyobb, mintegy nyolcszorosa a repcepogácsában és az extrahált repcedarában is, a szójadarához viszonyítva. A lignin nagymértékben rontja a cellulóz bakteriális lebonthatóságát. A nagyobb nyersrosttartalom, ezen belül a lignin, sertésben, illetve baromfifélékben megakadályozza a táplálóanyagok (szerves anyag, nyersfehérje, aminosavak, nitrogénmentes kivonható anyag) hozzáférhetőségét a bélcsatornában, így jelentősen csökkenti azok látszólagos emészthetőségét (Cheng et al., 2022).



Az antinutritív hatású anyagok összességében rontják a takarmány ízletességét, az emészthetőséget és nagyobb mennyiségben károsak a létfontosságú szervek állapotára is. Ebből következően a gazdasági állatok takarmányozásában a repceből készült melléktermékek felhasználásához, a termelési mutatók, valamint az anyagforgalmi paraméterek romlásának megelőzése érdekében elengedhetetlen azok kezelése (Nega és Woldes, 2018; Cheng et al., 2022; Golebiewska et al., 2022).

5. REPCEKEZELÉSI ELJÁRÁSOK

5.1 Növénynemesítés

A növénynemesítés során az első lépés az antinutritív hatású anyagok csökkentésére, a „0” (nullás) változatú repcemag kinemesítése volt. Az erukasav mennyisége az összes zsírsav %-ában kifejezve 50 %-ról 1 % alá csökkent, Kanadában és Nyugat-Európában gyorsan elterjedt használata (Shahidi, 1990). Ezt követően a „00” (duplanullás), vagy CANola repce nemesítésére került sor, ami a csökkentett erukasav-mennyiségen túl, glükoszínolát-tartalomban is kisebb volt, mint az addig alkalmazott repcefajták, hibridek. Glükoszínolát-tartalma 100 $\mu\text{mol/g}$ -ról 18 $\mu\text{mol/g}$ alá csökkent (Ewing, 1997). A duplanullás repcét a „000” (triplanullás, olaj erukasav-tartalom: < 0,5 %) és „0000” (tetranullás, erukasav-tartalom: nyomokban) változatok követték, amelyekben kisebb a nyersrosttartalom a korábbi köztermesztésű fajtákhoz viszonyítva (Mailer et al., 2008). A tripla-, és tetranullás változatok 20-30 %-kal kevesebb nyersrostot, illetve 50 %-kal kisebb mennyiségű lignint tartalmaznak (Slominski et al., 2012; Yahbi et al., 2024) (6. táblázat).

6. táblázat: Különböző nemesített repcefajták összehasonlítása

Nemesítés	Olaj erukasav-tartalom (%)	Mag olajtartalom (%)	Mag glükoszínolát-tartalom ($\mu\text{mol/g}$)
Nagy erukasav	48-52	45-47	90-140
Duplanullás	2 >	42-44	20-30
Triplanullás	0,5 >	42-44	20 >
Tetranullás	nyomokban	45 <	10 >

Forrás: Hoffmann (2011)

Jelenleg a hazai gyakorlatban alkalmazott duplanullás repcefajták olajminősége tekinthető a legkedvezőbbnek az itthon termesztett olajnövények közül, mind élelmiszer (étolaj), mind hajtóanyag célú (biodízel) felhasználáshoz (Tóth et al., 2014). A nemesítés spontán és indukált mutációval, mutánsok szelekciójával és mutációs nemesítéssel próbál olyan fajtákat előállítani, amelyekben az olaj zsírsav-összetétele megfelel a kívánalmaknak (Falusi et al., 2013). A nemesítés biotechnológiai úton transzgenikus fajták előállításával kívánja az élelmiszeripar, illetve a biodízel-előállítás követelményeit teljesíteni. Az élelmiszer célú módosítások elsődleges célja olyan olajrepce fajták előállítása, amelyekben a telített zsírsavak aránya 4 % alatt van (jelenleg a köztermesztésű fajtákban lévő telített zsírsavak aránya 7 % alatti) (Heszky, 2007). A nemesítés minőségi követelményei az olajtartalom növelése (jelenleg 42-47 %, cél 45-50 %, az erukasav-mentesség (0,1 %), mérsékelt glükoszínolát-tartalom (25 $\mu\text{mol/g}$ alatt), kicsi tannintartalom, illetve kedvezőbb zsírsavösszetétel elérése (Hoffmann, 2011).

Az USA-ban köztermesztésbe került a Monsanto (Calgene) két szabadalmaztatott génkonstrukciója (LauricalTMCanola névvel), amelyek laurinsav-tartalma elérte a 45 %-ot. Az új zsírsav megjelenése a repceolajban nem okozott negatív hatást a repce növekedésére, fejlődésére és termőképességére



(Ton et al., 2020). Az Európai Unióban a GM növények felhasználása jogilag szabályozott, Magyarország pedig moratóriumot hirdetett e növények termesztésére (Vértes, 2010). A magyar nemesítési munka az olajsavtartalom növelésére irányul, amely elsősorban a repceolaj hidrogénezésének csökkentését, ezáltal a transzszírsavak keletkezésének megakadályozását vonja maga után, másodsorban hasznos a biodízel célú felhasználásnál az üzemanyag cetánszáma, stabilitása, illetve a hőmérséklettel szembeni ellenállása szempontjából. A GK TRENDI HO nevű repcefajta 74 % olajsavat tartalmaz, 2011-ben kapott állami minősítést hazánkban (Falusi et al., 2013).

5.2 Fizikai kezelések

A hőkezelés csökkenti a repcedara glükoszínolát-tartalmát. Hidrotermikus eljárásnál gőzzel, vagy víz hozzáadásával történik a kezelés. A száraz termikus módszernél a hőn kívül nem alkalmaznak más segédanyagot. Előbbihez tartozik pl. a tősztolás, míg a száraz termikus eljárásoknál a mikronizálást, a mikrohullámú kezelést vagy a száraz extrudálást alkalmazzák (Paya et al., 2022). Összehasonlítva a két különböző típusú hőkezelést, a nedves közegben végzett változat hatékonyabb a glükoszínolát mennyiségének csökkentése szempontjából, mint a száraz, függően a kezelt repce fajtájától/hibridjétől a hevítési idő hosszától, illetve a hevítési hőmérséklettől. Hidrotermikus eljárással 630-950 $\mu\text{mol}/\text{mmol}$ a teljes glükoszínolát mennyiségének (63-95 %) bontása. 100 °C-on 30 másodpercig történő hőkezelés 50 %-kal csökkenti a glükoszínolát mennyiségét a fehérje minőségének befolyásolása nélkül (Wang et al., 2018). Alapvetően a magvak termikus (száraz) és hidrotermikus kezelése kedvező hatással van takarmányozási értékükre, ami egy összetett hatásmechanizmusra vezethető vissza. Abban ugyanis egyaránt szerepet játszanak a fizikai változások hatására létrejövő kémiai folyamatok, valamint az ezeket kísérő egyéb hatások (pl. a mikrobiológiai állapot javulása). Jeroch et al. (1999) kísérletében hidrotermikus úton kezelt repcedarát alkalmazott, amelynek szinapintartalma 6152 mg/kg-ról 50 mg/kg-ra csökkent az eljárásnak köszönhetően, míg glükoszínoláttartalma 13,8 mmol/kg-ról 1,4 mmol/kg-ra.

A repcedara héjtalánítását és zsírtalánítását követő 30 másodpercig tartó tősztolás (gőzös hőközlés 115-120 °C-on, 14-20 másodpercig) 17 %-kal csökkenti a darában lévő szinapin-tartalmat (Salazar-Villanea et al., 2017).

A mikronizálás módszerével infravörös generátorok közvetlenül hevítik az egyenletes hatás érdekében egyrétegben elterített magvakat, amelyekben a meginduló hőtermelő molekuláris rezgés hatására a víztartalom gőzzé válva felrobbantja a magot (Schmidt, 2003). Az eljárás (195 °C-on 90 másodpercig tartó mikronizálás) a repcedara teljes glükoszínoláttartalmát 370 $\mu\text{mol}/\text{mmol}$ mennyiségben képes csökkenteni (Fenwick et al., 1986).

A 2450 MHz-en történő, 2,5 másodpercig tartó mikrohullámú kezelés 70-254 $\mu\text{mol}/\text{mmol}$ glükoszínolát bomlást eredményez. A bomlás fokozható nagyobb nedvesség-tartalommal, a mikrohullámú sugárzás idejének növelésével és a hőmérséklet emelésével (Zhang et al., 2023).

A préselés vagy sajtolás a repcemag olajtartalmának kinyeréséhez alkalmazott fizikai kezelés, amely során a visszamaradó mellékterméket repcepogácsának nevezzük (Orosz és Tóth, 2010). Két különböző eljárást különböztetünk meg, az alacsony hőfokon történő hidegen préselés (50-70 °C) módszerét, illetve a nagyobb hőfokon (100-150 °C) történő meleg sajtolás (Baker et al., 2022).

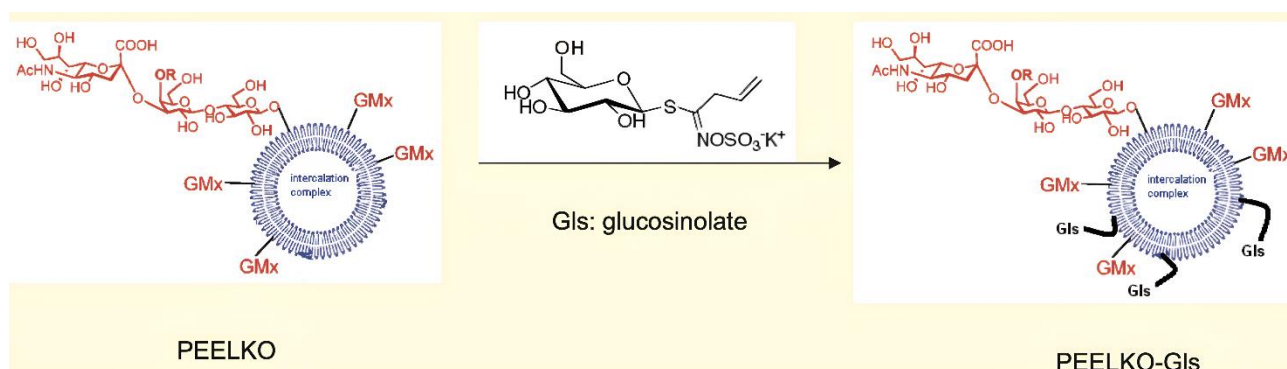
A száraz extrudálás mechanikus erőhatással, magas hőmérsékleten (110-140 °C-on) 110-120 bar nyomás mellett történik. A repcedara száraz extrudálása a teljes glükoszínolát-tartalom csökkenéséhez (193-428 $\mu\text{mol}/\text{mmol}$) vezet (Fenwick et al., 1986; Martin et al., 2021).

5.3 Kémiai kezelések

Az extrahálás a legismertebb olyan kémiai eljárás, ami a repcedara szinapintartalmát csökkenti jelentősen (Rymer és Short, 2003). A feldolgozás során alkalmazott oldószer többek között etanolt, karbinolt, acetont és vizet tartalmaz, amelyek csökkentik a glükoszínolát molekulatömegét (Feng és Zuo, 2007). A metanol-ammónia-víz/hexán extrakció módszerével a repcedara glükoszínolát-tartalma 1,6 $\mu\text{mol/g}$ -ra, fenoltartalma 5 mg/g -ra (Naczk et al., 1992; Von der Haar et al., 2014) csökkenthető.

Ammóniakezeléssel az olajdara fenolvegyületei mérsékelhetők, amely vagy gázosítással, vagy alkoholos megoldással történik (Naczk et al., 1998). McGregor et al. (1983) gáz-ammonizációval kezelték a kísérletünkben alkalmazott Brassica juncea darát, amelynél a kezelés hatására a szinapintartalom 74 %-át távolították el. Az etanolos ammónia-módszerrel (0,2 M) a „Candle” és „Tower” típusú canola repcedarákban lévő fenolvegyületek mennyisége 82, illetve 39 %-kal csökkent (Higgs et al., 1982).

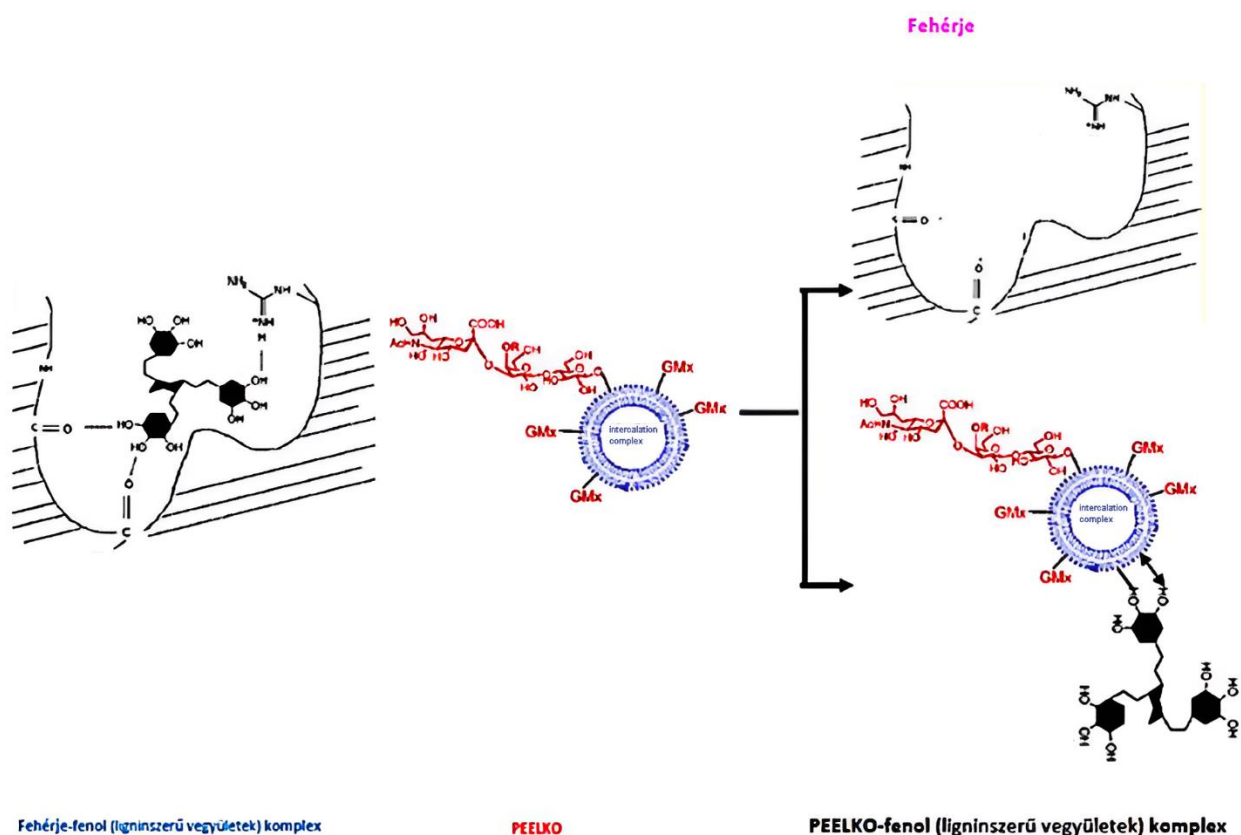
A „Peelko” takarmánykiegészítő a repcedara vagy repcepogácsa antinutritív anyagait (glükoszínolátokat, tanninokat) kémiai átalakítja (3. ábra), a képződött vegyület pedig kisebb mértékben szívódik fel. A kémiai előállítás lényege, hogy a hidegen vagy melegen préselt repcepogácsát, vagy extrahált repcedarát Al, Ca, vagy Mg elemek reaktív anionnal képzett sóját és polimerekkel alkotott vegyes sóját, ambivalens hőmérsékleten – célszerűen 15-30 °C-on reagáltatjuk (EP2520176; CA2774831) (Wallace et al., 2022).



3. ábra: „Peelko” kémiai kötése a glükoszínolátokkal

Forrás: M1101164 azonosítószámú védjegybejegyzés alapján (2011)

Az így módon előkészített takarmánykiegészítő („Peelko”) nemcsak a glükoszínolátokkal, de a fenolcsoportokat tartalmazó vegyületekkel is képes kémiai kötést létesíteni (4. ábra). Ez a módszer megakadályozza a glükoszínolátok kb. 95 %-nak felszívódását az emésztőcsatornából, másrészt csökkenti a vízben nem oldódó polimerek (pl. rostok) térfogatát (Lee et al., 2020; Cheng et al., 2022).



4. ábra: „Peelko”-fenol komplex keletkezésének folyamata

Forrás: M1101164 azonosítószerű védjegyjegyzés alapján (2011)

5.4 Kombinált kezelések

A fizikai típusú hidrotermikus módszer (expander) kémiai kezeléssel (10 % nátrium-bikarbonát, szóda-bikarbonát) történő kombinációja révén (Brettschneider, 2006; Jeroch et al., 2009) a repcemagban lévő glükoszínolát mennyisége hatékonyabban csökkenthető (91 % szárazanyag-tartalom mellett 13,8 $\mu\text{mol/g}$ -ról 1,5 $\mu\text{mol/g}$ -ra), mint a tósztolási technológia az olajdarabban (Kozłowski és Jeroch, 2014).

A savas és lúgos bomlás eredménye csökkent antinutritív hatás, ami elérhető H_2SO_4 (kénsav), NaOH (nátrium-hidroxid), KOH (kálium-hidroxid), Ca(OH)_2 (kalcium-hidroxid) alkalmazásával hőkezelés mellett. A kombinált kezelés kivitelezése azonban drága és környezetszennyező. A repcedara savval és lúggal való kezelésekor az alapanyag minősége és íze jelentősen romlik (Feng és Zuo, 2007).

6. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

A repcedara és a repcepogácsa kedvező táplálóanyag-összetétele – különösen a kéntartalmú aminosavak (metionin és cisztin), valamint a többszörösen telítetlen zsírsavak (PUFAs) szempontjából – ígéretes alternatívát jelent a monogasztrikus állatok takarmányozásában. Felhasználhatóságukat azonban jelentősen korlátozhatja a magas rosttartalom és az antinutritív vegyületek, például a glükoszínolátok és a szinapin jelenléte. A különböző feldolgozási technológiák alkalmazása kulcsfontosságú e hátrányok mérséklésében. A fizikai kezelések, mint az extrudálás és a különböző termikus és hidrotermikus kezelések, hatékonyan csökkenthetik az antinutritív anyagok



mennyiségét, ezáltal javítva az emészthetőséget és az ízletességet. A kémiai eljárások – például az extrahálás és az ammóniakezelés – tovább mérsékelhetik a glükozinolátok és a tanninok káros hatásait. A kombinált módszerek, különösen a hidrotermikus és kémiai kezelések együttes alkalmazása, ígéretes megoldást jelenthet a repce-alapú takarmányok beltartalmi értékeinek javítására. A repcemelléktermékek – elsősorban a repcepogácsa és az extrahált repcedara – fontos szerepet tölthetnek be a fenntartható takarmányozásban, mivel helyi, olcsóbb alternatívát kínálnak az import eredetű szójadarával szemben, ezzel csökkentve a globális ellátási láncoktól való függőséget. Amennyiben a bioüzemanyag-gyártás melléktermékeként keletkeznek, úgy az ipari melléktermékek újrahasznosításával erősítik a körkörös gazdaság elvét; továbbá kombinálva más ipari eredetű melléktermékekkel (pl. DDGS, CGF) gazdaságos, környezetbarát és kedvező táplálóanyag-tartalmú takarmánykeverékek állíthatók elő.

A jövőbeli kutatásoknak ki kell terjedniük az új fizikai, kémiai és kombinált eljárások fejlesztésére az antinutritív anyagok további csökkentése érdekében. Ígéretes megoldást jelenthet pl. a fermentáció, amely nemcsak az antinutritív vegyületek lebontását segítheti elő, hanem javíthatja a táplálóanyagok biológiai hasznosulását is, ezáltal pozitív hatást gyakorolva az állatok termelési mutatóira.

Összefoglalóan megállapítható, hogy a repce melléktermékei megfelelő feldolgozási eljárásokkal és kiegészítő takarmányozási stratégiák alkalmazásával alkalmasak lehetnek a szójadara részleges vagy akár teljes helyettesítésére.



Feeding Potential of Rapeseed By-Products: Opportunities and Challenges (Review)

ÉVA RITA HORVÁTH¹, TAMÁS TÓTH^{2*}, HEDVIG FÉBEL³

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

Department of Animal Science, Mosonmagyaróvár, Hungary

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-0646-1719>

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

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

Email: toth.tamas@sze.hu

³University of Veterinary Medicine

Department of Obstetrics and Food Animal Medicine Clinic, Budapest, Hungary

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-9867-0664>

*Corresponding author/Levelező szerző

ABSTRACT

The global feed industry requires an increasing amount of protein sources, which soybean production cannot sustainably supply in the long term. Among alternative protein sources, by-products of rapeseed oil production, particularly rapeseed cake and extracted rapeseed meal, offer a promising solution for feeding monogastric animals (pigs and poultry). Rapeseed by-products have a considerable protein content; however, their utilization is limited by high fiber levels and the presence of antinutritional compounds such as glucosinolates, sinapine, and tannins.

Based on our literature review, we found that physical treatments (e.g., extrusion) effectively reduce the concentration of antinutritional factors, thereby improving nutrients' digestibility and palatability. Chemical processing methods, such as solvent extraction or ammonia treatment, can further mitigate the adverse effects of glucosinolates and tannins. Combined approaches, integrating hydrothermal and chemical treatments, may provide a more effective strategy for enhancing feed quality. Current plant breeding programs aim to further decrease glucosinolate and fiber content while optimizing protein and oil levels.

The utilization of rapeseed by-products in combination with co-products from bioethanol and starch production (e.g., DDGS, CGF) could serve as an economically viable and sustainable alternative for the partial replacement of extracted soybean meal. By applying appropriate processing technologies, locally produced rapeseed-based feedstuffs can contribute to improved food security and environmental sustainability.

Keywords: rapeseed, glucosinolate, treatments, physical methods, chemical processes



IRODALOMJEGYZÉK

- Abudabos, A. M., Abdelrahman, M. M., Alatiyat, R. M., Aljumaah, M. R., Al Jassim, R., & Stanley, D. (2021). Effect of dietary inclusion of graded levels of distillers dried grains with solubles on the performance, blood profile and rumen microbiota of Najdi lambs. *Heliyon*, 7, e05683. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05683>
- Adewole, D. I., Rogiewicz, A., Dyck, B., & Slominski, B. A. (2016). Chemical and nutritive characteristics of canola meal from Canadian processing facilities. *Animal Feed Science and Technology*, 222, 17-30. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.09.012>
- Agwa, H. M. M., Saleh, H. M., Ayyat, M. S., & Abdel-Rahman, G. A. (2023). Effect of replacing cottonseed meal with canola meal on growth performance, blood meatbolites, thyroid function, and ruminal parameters of growing lambs. *Tropical Animal Health and Production*, 55, 122. <https://doi.org/10.1007/s11250-023-03528-0>
- Baker, P. W., & Charlton, A. (2020). A comparison in protein extraction from four major crop residues in Europe using chemical and enzymatic process- a review. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 59, 102239. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.102239>
- Baker, P. W., Visnjevec, A. M., Krienke, D., Preskett, D., Schwarzkopf, M., & Charlton, A. (2022). Pilot scale extraction of protein from cold and hot-pressed rapeseed cake: Preliminary studies on the effect of upstream mechanical processing. *Food and Bioproducts Processing*, 133, 132-139. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2022.03.007>
- Banaszkiewicz, T. (2011). The effect of high rape cake and phytase addition on nutritive value of diets for broiler chickens. *Journal Applied Animal Research*, 39, 346-352. <https://doi.org/10.1080/09712119.2011.620445>
- Beyzi, E., Gunes, A., Beyzi, A. B., & Konca, Y. (2019). Changes in fatty acid and mineral composition of rapeseed (*Brassica napus ssp. oleifera* L.) oil with seed sizes. *Industrial Crops and Products*, 129, 10-14. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.11.064>
- Böttger, C., & Südekum, K. (2018). Review: protein value of distillers dried grains with solubles (DDGS) in animal nutrition as affected by the ethanol production process. *Animal Feed Science and Technology*, 244, 11-17. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2018.07.018>
- Brettschneider, J. G. (2006). Influence of chemical and hydro thermal treated rapeseed on performance, egg quality and thyroid parameters of laying hens [Doctoral thesis]. Olsztyn, Poland.
- Brouwer, I. A., Wanders, A. J., & Katan, M. B. (2010). Effect of animal and industrial trans fatty acids on HDL and LDL cholesterol levels in humans – A quantitative review. *PLoS ONE*, 5, e9434. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0009434>
- Cakaloglu, B., Özyurt, V. H., & Ötles, S. (2018). Cold press in oil extraction. A review. *Food Technology*, 7, 640-654. <https://doi.org/10.24263/2304-974X-2018-7-4-9>
- Carré, P., & Pouzet, A. (2014): Rapeseed- Tremendous potential for added value generation? Rapeseed market, worldwide and in Europe. *OCL*, 21, D102. <https://doi.org/10.1051/ocl/2013054>
- Cheng, H., Liu, X., Xiao, Q., Zhang, F., Liu, N., Tang, L., Wang, J., Ma, X., Tan, B., Chen, J., & Jiang, X. (2022). Rapeseed meal and its application in pig diet: A review. *Agriculture*, 12, 849. <https://doi.org/10.3390/agriculture12060849>
- Chiang, G., Lu, W. Q., Piao, X. S., Hu, J. K., Gong, L. M., & Thacker, P. A. (2010). Effects of feeding solid-state fermented rapeseed meal on performance, nutrient digestibility, intestinal ecology and intestinal morphology of broiler chickens. *Asian-Australasian Journal of Animal Science*, 23(2), 263-271. <https://doi.org/10.5713/ajas.2010.90145>



- Danthine, S., Closset, S., Maes, J., Mascrez, S., Blecker, C., Purcaro, G., & Gibon, V. (2022). Enzymatic interesterification to produce zero-trans and dialkylketones-free fats from rapeseed oil. *OCL*, 29, 36. <https://doi.org/10.1051/ocl/2022029>
- Das, A. K., Islam, N., Faruk, O., Ashaduzzaman, & Dungani, R. (2020). Review on tannins: Extraction processes, applications and possibilities. *South African Journal of Botany*, 135, 58-70. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2020.08.008>
- De Corato, U., & Viola, E. (2023). Biofuel co-products for livestock feed. In *Agricultural Bioeconomy - Innovation and Foresight in the Post-Covid Era* (pp. 245-286). Academic Press, Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90569-5.00010-X>
- De Godoy, M. R. C., Bauer, L. L., Parsons, C. M., & Fahey, G. C. (2009). Select corn coproducts from the ethanol industry and their potential as ingredients in pet foods. *Journal of Animal Science*, 87, 189-199. <https://doi.org/10.2527/jas.2007-0596>
- Delgado, G. E., & Kleber, E. (2019). Trans fatty acids and mortality. In *The Molecular Nutrition of Fats* (pp. 335-345). Academic Press, Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811297-7.00026-3>
- Drazbo, A., Ognik, K., Zaworska, A., Ferenc, K., & Jankowski, J. (2018). The effect of raw and fermented rapeseed cake on the metabolic parameters, immune status, and intestinal morphology of turkeys. *Poultry Science*, 97, 3910-3920. <https://doi.org/10.3382/ps/pey250>
- Ewing, W. N. (1997). The feeds directory: commodity products guide. In W. N. Ewing (ed.) *Context Products Ltd., Pub. Div., Pack. UK*.
- Falusi, J., Falusi, J., & Sinka, A. (2013). *A repceolaj minőségének javítása, az olajsav tartalom növelése*. In Hoffmann, B., Kollaricsné, H. M. (szerk). XIX. Növénynevelési Tudományos Nap, Keszthely.
- Fébel, H. (2018). Ipari melléktermékek felhasználása gazdasági állataink fehérjeellátásának biztosítására. *Állattenyésztés és Takarmányozás*, 67, 254-272.
- Feng, D., & Zuo, J. (2007). Nutritional and anti-nutritional composition of rapeseed meal and its utilization as a feed ingredient for animal. Feed and industrial raw material: Feed [Conference session]. The 12th International Rapeseed Congress, Wuhan, China.
- Fenwick, G. R., Spinks, E. A., Wilkinson, A. P., Heaney, R. K., & Legoy, M. A. (1986). Effect of processing on the antinutrient content of rapeseed. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 37, 735-741. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740370805>
- Golebiewska, K., Fras, A., & Golebiewski, D. (2022). Rapeseed meal as a feed component in monogastric animal nutrition – A review. *Annals of Animal Science*, 22, 1163-1183. <https://doi.org/10.2478/aoas-2022-0020>
- Goyal, A., Tanwar, B., Sihag, M. K., Kumar, V., Sharma, V., & Soni, S. (2021). *Rapeseed/Canola (Brassica napus) seed. Oilseeds: Health Attributes and Food Applications*. Springer Nature Singapore Pte. 47-71. https://doi.org/10.1007/978-981-15-4194-0_2
- Hajdú, J. (2006). Bio-hajtóanyag előállítás és hasznosítás lehetőségei Magyarországon. Előadás, Szeged, 2006. május 24.
- Halle, I., & Schöne, F. (2013). Influence of rapeseed cake, linseed cake and hemp seed cake on laying intensity, egg composition and fatty acid composition of egg yolk in laying hens. *Journal für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit*, 8, 3. <https://doi.org/10.1007/s00003-013-0822-3>
- Hansen, J. O., Skrede, A., Mydland, L. T., & Overland, M. (2017). Fractionation of rapeseed meal by milling, sieving and air classification – Effect on crude protein, amino acids and fiber content and digestibility. *Animal Feed Science and Technology*, 230, 143-153. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.05.007>



- Hayder, G. (2018). The effect study of different levels of rapeseed meal on some productive and physiological characteristics in broiler chickens. *Al-Qadisiyah Journal of Agriculture Sciences*, 8, 83-87.
- Heszky, L. (2007). A repceolaj minőségének élelmiszer és biodízel célú módosítása. Útkeresés XI. Fórum a repcéről. *Agrofórum*, 18, 13-16.
- Higgs, D. A., McBride, J. R., Markert, J. R., Dosanjh, B. S., Plotnikoff, M. D., & Clarke, W. C. (1982). Evaluation of Tower and Candle rapeseed (canola) meal and Bronowski rapeseed protein concentrate as protein supplements in practical dry diets for juvenile chinook salmon (*Oncorhynchus tshawytscha*). *Aquaculture*, 29, 1-31. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(82\)90030-8](https://doi.org/10.1016/0044-8486(82)90030-8)
- Hill, J., Lethenborg, P., Li, P. W., Rahman, M. H., Sorensen, H., & Sorensen, J. C. (2003). Inheritance of progoitrin and total aliphatic glucosinolates in oilseed rape (*Brassica napus* L). *Euphytica*, 134, 179-187. <https://doi.org/10.1023/b:euph.00000003857.57573.2f>
- Hoffmann, S. (2011). *Ipari- és takarmánynövények termesztése. A repce integrált termesztése*. Digitális Tankönyvtár. Letöltve: 2025. 06. 16. https://dtk.tankonyvtar.hu/bitstream/handle/123456789/8736/0010_1A_Book_10_Ipari_es_takarmanynovenyek_termesztese.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Horváth, É. R., Tóth, T., & Fébel, H. (2014). A repcedara- és pogácsa felhasználási lehetőségei a monogasztrikus állatok takarmányozásában. *Állattenyésztés és Takarmányozás*, 63, 165-183.
- Jacela, J. Y., DeRouchey, J. M., Tokach, M. D., Goodband, R. D., Nelssen, J. L., Renter, D. G., & Dritz, S. S. (2010). Feed additives for swine: Fact sheets - high dietary levels of copper and zinc for young pigs, and phytase. *Journal of Swine Health and Production*, 18, 87-91. <https://doi.org/10.4148/2378-5977.7067>
- Jeroch, H., Brettschneider, J. G., Dänicke, S., Jankowski, J., Kozłowski, K., & Schöne, F. (2009). The effect of chemically and hydrothermally treated rapeseed on the performance and thyroid parameters of layers. *Polish Veterinary Science*, 124, 439-448.
- Jeroch, H., Dänicke, S., Brettschneider, G., & Schumann, W. (1999). Use of treated rapeseed in brown laying hens. *Die Bodenkultur*, 50, 45-55.
- Jobbágy, P. (2013). A hazai biodízel-ágazat komplex elemzése. [Doktori (PhD) értekezés, Debreceni Egyetem]. Ihrig Károly Gazdálkodás- és Szervezéstudományok Doktori Iskola, Debrecen. <https://dea.lib.unideb.hu/server/api/core/bitstreams/f8301aa7-2441-4851-84cf-f98e7cab8c50/content>
- Kakuk, T., & Schmidt, J. (1988). *Takarmányozástan. 12.7.1. Olajipari melléktermékek* (pp. 496-499). Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- Kaldmae, H., Leming, R., Kass, M., Lember, A., Tölp, S., & Kärt, O. (2010). Chemical composition and nutritional value of heat-treated and cold-pressed rapeseed cake. *Veterinarija ir Zootechnika*, 49, 55-60.
- Kállai, L., & Kralovánszky, U. P. (1978). *A takarmányozás biológiája*. Mg. Kiadó, Budapest.
- Kolláthová, R., Varga, B., Ivanisová, E., Bíró, D., Rolínek, M., Juráček, M., Simko, M., & Gálik, B. (2019). Mineral profile analysis of oilseeds and their by-products as feeding sources for animal nutrition. *Slovak Journal of Animal Science*, 52, 9-15.
- Kozłowski, K., & Jeroch, H. (2014). Enhancing the nutritional value of poultry feedstuffs using the example of rapeseed products – A review. *Annals of Animal Science*, 142, 245-256. <https://doi.org/10.2478/aoas-2014-0014>
- Kralovánszky, U. P. (2012). A hazai „fehérje-probléma” – fehérén, feketén. *Agrofórum*, 23, 14-18.
- Lee, J. W., Kim, I. H., & Woyengo, T. A. (2020). Toxicity of canola-derived glucosinolate degradation products in pigs- A review. *Animals*, 10, 2337. <https://doi.org/10.3390/ani10122337>



- Magyar Takarmánykódex (2004). *Vizsgálati módszerek, eljárások*. Országos Mezőgazdasági Minősítő Intézet, Budapest.
- Mailer, R. J., McFadden, A., Ayton, J., & Redden, B. (2008). Antinutritional components, fibre, sinapine and glucosinolate content in Australian Canola (*Brassica napus* L.) Meal. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 85, 937-944. <https://doi.org/10.1007/s11746-008-1268-0>
- Martin, A., Naumann, S., Osen, R., Karbstein, H. P., & Emin, M. A. (2021). Extrusion processing of rapeseed press cake-starch blends: Effect of starch type and treatment temperature on protein, fiber and starch solubility. *Foods*, 10, 1160. <https://doi.org/10.3390/foods10061160>
- Maskell, I., & Smithard, R. (1994). Degradation of glucosinolates during in vitro incubations of rapeseed meal with myrosinase (EC 3.2.3.1) and with pepsin (EC 3.4.23.1)-hydrochloric acid, and contents of porcine small intestine and caecum. *British Journal of Nutrition*, 72, 455-466. <https://doi.org/10.1079/BJN19940047>
- Mawson, R., Heaney, R. K., Zdunczyk, Z., & Kozłowska, H. (1994). Rapeseed meal – glucosinolates and their antinutritional effects. Part 4. Goitrogenicity and internal organs abnormalities in animals. *Nahrung*, 38, 178-91. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811297-7.00026-3>
- McGregor, D. I., Blake, J. A., & Pickard, M. D. (1983). Detoxification of Brassica juncea with ammonia. In *Proceeding of 6th International Rapeseed Conference*, II, 1426, Paris, France.
- Mézes, M. (2018). Alternative protein sources in the nutrition of farm animals. *Acta Agraria Debreceniensis*, 150, 1-31. <https://doi.org/10.34101/actaagrar/150/1699>
- Musharavati, F., Sajid, K., Anwer, I., Nizami, A-S., Javed M. H., Ahmad, A., & Naqvi, M. (2023). Advancing biodiesel production system from mixed vegetable oil waste: a life cycle assessment of environmental and economic outcomes. *Sustainability*, 15, 16550. <https://doi.org/10.3390/su152416550>
- Nacz, M., Amarowicz, R., & Shahidi, F. (1998). Role of phenolics in flavor of rapeseed protein products. *Developments in Food Science*, 40, 597-613. [https://doi.org/10.1016/S0167-4501\(98\)80080-0](https://doi.org/10.1016/S0167-4501(98)80080-0)
- Nacz, M., Shahidi, F., & Sullivan, A. (1992). Recovery of rapeseed tannins by various solvent systems. *Food Chemistry*, 45, 51-54. [https://doi.org/10.1016/0308-8146\(92\)90012-Q](https://doi.org/10.1016/0308-8146(92)90012-Q)
- Nega T., & Woldes, Y. (2018). Review on nutritional limitations and opportunities of using rapeseed meal and other rape seed by-products in animal feeding. *Journal of Nutritional Health & Food Engineering*, 8, 43-48. <https://doi.org/10.15406/jnhfe.2018.08.00254>
- Nissar, J., Ahad, T., Naik, H., R., & Hussain, Sz. (2017). A review phytic acid: As antinutrient or nutraceutical. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 6, 1554-1560.
- Oláh, J., & Popp, J. (2022). Fenntartható folyékony bioüzemanyagok kilátásai. *Journal of Central European Green Innovation*, 9, 13-29. <https://doi.org/10.33038/jcegi.2648>
- Olukomaiya, O. O., Fernando, W. C., Mereddy, R., Li, X., & Sultanbawa, Y. (2020). Solid-state fermentation of canola meal with *Aspergillus sojae*, *Aspergillus ficuum* and their co-cultures: Effects on physicochemical, microbiological and functional properties. *LWT*, 127, 109362. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109362>
- Orosz, Sz., & Tóth, T. (2010). A melegen préselt repce szerepe a szarvasmarha takarmányozásban. *Holstein Magazin*, 3, 49-52.
- Osman, A. I., Qasim, U., Jamil, F., Al-Muhtaseb, A. H., Jrai, A. A., Al-Riyami, M., Al-Maawali, S., Al-Haj, L., Al-Hinai, A., Al-Abri, M., Inayat, A., Waris, A., Farrell, C., Abdel Maksoud, M. I. A., & Rooney, D. W. (2021). Bioethanol and biodiesel: Bibliometric mapping, policies and future needs. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 152, 111677. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111677>



- Pál, L., Farkas, R., & Dublec, K. (2011). A takarmány repcepegácsa és kukorica DDGS kiegészítésének vizsgálata brojler hizlalási kísérletben. LIII. Georgikon Napok, Keszthely. 2011. szeptember 29-30.
- Pasko, P., Okon, K., Krosniak, M., Prochownik, E., Zmudzki, P., Kryczyk-Kozioł, J., & Zagrodzki, P. (2018). Interaction between iodine and glucosinolates in rutabaga sprouts and selected biomarkers of thyroid function in male rats. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 46, 110-116. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2017.12.002>
- Paya, H., Taghizadeh, A., Hosseinkhani, A., & Mohammadzadeh, H. (2022). Effects of different heat processing methods of rapeseed on ruminal and post-ruminal nutrient disappearance. *Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society*, 73, 4425-4432. <https://doi.org/10.12681/jhvms.27293>
- Popp, J. (2013). A bioenergia szerepe az energiaellátásban. *Gazdálkodás*, 57, 419-435.
- Popp, J., Fári, M., Harangi-Rákos, M., & Dudits, D. (2015). A takarmánypiac dilemmái I. rész - Az EU takarmánypiac a szójaimport szorításában I. *Agro Napló*, 19, 108-111. <http://agronaplo.hu/szakfolyoirat/2015/05/takarmanyozas/a-takarmanypiac-dilemmai-i-resz-az-eu-takarmanypiac-a-szojaimport-szoritasaban-i/>
- Popp, J., Harangi-Rákos, M., & Oláh, J. (2018). Fehérjetakarmány függőség az EU-ban: status quo? (The EU's dependency on protein-rich feed: status quo?). *Állattenyésztés és Takarmányozás*, 67, 209-224.
- Popp, J., Somogyi, A., & Bíró, T. (2010). Újabb feszültség a láthatáron az élelmiszer- és bioüzemanyag-ipar között? *Gazdálkodás*, 54, 592-603.
- Radfar, M., Rogiewicz, A., & Slominski, B. A. (2017). Chemical composition and nutritive value of canola-quality Brassica juncea meal for poultry and the effect of enzyme supplementation. *Animal Feed Science and Technology*, 225, 97-108. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.01.007>
- Rakita, S., Kokic, B., Manoni, M., Mazzoleni, S., Lin, P., Luciano, A., Ottoboni, M., Cheli, F., & Pinotti, L. (2023). Cold-pressed oilseed cakes as alternative and sustainable feed ingredients: a review. *Foods*, 12, 432. <https://doi.org/10.3390/foods12030432>
- Révész, N. (2021). *A DDGS alkalmazhatóságának vizsgálata a hazai akvakultúrában* [Doktori (PhD) értekezés, Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem]. Állatbiotechnológiai és Állattudományi Doktori Iskola, Gödöllő. https://uni-mate.hu/documents/20123/336900/Revesz_Norbert_tezis.pdf/b65d180a-a033-9dbe-5e1c-40cb70cb35c7?t=1643019217480
- Rudas, P., & Frenyó, L. (2015). *Az állatorvosi élettan alapjai*. Springer Hungarica Kiadó, Budapest.
- Rymer, C., & Short, F. (2003, March). *The nutritive value for livestock of UK oilseed rape and rapeseed meal* [Research Review]. No. OS14, HGCA. https://projectblue.blob.core.windows.net/media/Default/Research%20Papers/Cereals%20and%20Oilseed/rr_os14_-_complete_final_report.pdf
- Sakib, A. N., & Haque, M. (2024). Corn to ethanol: design, simulate and statistical optimization for sustainable biofuel production. *Advances in Bioengineering & Biomedical Science Research*, 7, 1-22. <https://doi.org/10.33140/ABBSR>
- Salazar-Villanea, S., Bruininx, E. M. A. M., Gruppen, H., Hendriks, W. H., Carré, P., Quinsac, A., & van der Poel, A. F. B. (2016). Physical and chemical changes of rapeseed meal proteins during toasting and their effects on in vitro digestibility. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 7, 62. <https://doi.org/10.1186/s40104-016-0120-x>
- Schmidt, J. (2003). *A takarmányozás alapjai*. Mezőgazda Kiadó, Budapest.
- Schöne, F., Kirchheim, U., Schumann, W., & Lüdke, H. (1996). Apparent digestibility of high-fat rapeseed press cake in growing pigs and effects on feed intake, growth and weight of thyroid and liver. *Animal Feed Science and Technology*, 62, 97-110. [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(96\)00993-5](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(96)00993-5)



- Shahidi, F. (1990). *Canola and Rapeseed*. Prod. Chem. Proc. Technol. 173-192, Van Nostrand Reinhold, New York.
- Sipos, Gy. (2014). A „Szarvasi-1” energiafű helye a megújuló energiatermelésben (Doktori (PhD) értekezés, Szent István Egyetem]. Gazdálkodás és Szervezéstudományok Doktori Iskola, Gödöllő. https://real-phd.mtak.hu/1282/2/SIPOS_GYULA_PHD_TEZIS.pdf
- Slimen, I. B., Yerou, H., Larbi, M. B., M’Hamdi, N., & Najar, T. (2023). Insects as an alternative protein source for poultry nutrition: a review. *Frontiers in Veterinary Science*, 10, 1200031. <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1200031>
- Slominski, B., Jia, W., Rogiewicz, A., Nyachoti, C. M., & Hickling, D. (2012). Low-fiber canola. Part 1. Chemical and nutritive composition of the meal. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 60, 12225-30. <https://doi.org/10.1021/jf302117x>
- Smulikowska, S., Czerwinski, J., & Mieczkowska, A. (2010). Effect of an organic acid blend and phytase added to a rapeseed cake – containing diet on performance, intestinal morphology, caecal microflora activity and thyroid status of broiler chickens. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 94, 15-23. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2008.00876.x>
- Somogyi, A. (2011). Az első generációs bioüzemanyag-piac komplex értékelése [Doktori (PhD) értekezés, Szent István Egyetem]. Gazdálkodás és Szervezéstudományok Doktori Iskola, Gödöllő.
- Swiatkiewicz, S., Koreleski, J., & Arczewska-Wlosek, A. (2010). Egg performance, egg quality, and nutrient utilization in laying hens fed diets with different levels of rapeseed expeller cake. *Agricultural and Food Science*, 19, 233-239. <https://doi.org/10.2137/145960610792912594>
- Szydlowska-Czerniak, A. (2013). Rapeseed and its products – sources of bioactive compounds: a review of their characteristics and analysis. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 53, 307-330. <https://doi.org/10.1080/10408398.2010.529959>
- Szydlowska-Czerniak, A., Polinski, S., & Momot, M. (2021). Optimization of ingredients for biscuits enriched with rapeseed press cake – changes in their antioxidant and sensory properties. *Applied Sciences*, 11, 1558. <https://doi.org/10.3390/app11041558>
- Theodoridou, K., & Yu, P. (2013). Effect of processing conditions on the nutritive value of canola meal and presscake. Comparison of the yellow and brown-seeded canola meal with the brown-seeded canola presscake. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93, 1986-1995. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6004>
- Tikász, I. E. (2014, July 10). Repcepiac és biodízelgyártás. *Agrárium*. <https://agrarium7.hu/cikkek/140-repcepiac-es-a-biodizelgyartas>
- Ton, L. B., Neik, T. X., & Batley, J. (2020). The use of genetic and gene technologies in shaping modern rapeseed cultivars (*Brassica napus* L.). *Genes*, 11, 1161. <https://doi.org/10.3390/genes11101161>
- Tóth, T., Horváth, É. R., & Fébel, H. (2014). A repcetermékek takarmányozási célú felhasználása a sertések és baromfifajok takarmányozásában. *Agro Napló*. <https://www.agronaplo.hu/agrofokusz/20140407/a-repcetermek-takarmanyozasi-celu-felhasznalasa-a-sertesek-es-baromfifajok-takarmanyozasaban-31543>
- Tripathi, M. K., & Mishra, A. S. (2007). Glucosinolates in animal nutrition: A review. *Animal Feed Science and Technology*, 132, 1-27. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2006.03.003>
- Vermeulen, M. (2009). *Isothiocyanates from cruciferous vegetables: kinetics, biomarkers and effects* [Doctoral thesis, Wageningen University]. VLAG, Wageningen, The Netherlands.
- Von Der Haar, D., Müller, K., Bader-Mittermaier, S., & Eisner, P. (2014). Rapeseed proteins – Production methods and possible application ranges. *OCL*, 21, D104. <https://doi.org/10.1051/ocl/2013038>



- Vuorela, S., Meyer, A. S., & Heinonen, M. (2004). Impact of isolation method on the antioxidant activity of rapeseed meal phenolics. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 52, 8202-8207. <https://doi.org/10.1021/jf0487046>
- Wallace, M., Holroyd, J., Kuraite, A., & Hussain, H. (2022). Does it bind? A method to determine the affinity of calcium and magnesium ions for polymers using ¹H NMR Spectroscopy. *Analytical Chemistry*, 94, 10976-10983. <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.2c01166>
- Wang, D., Li, D., Xu, Q., Lv, X., Chen, H., & Wei, F. (2024). Steam explosion pretreatment enhances free/combined phytosterol extraction and utilization in rapeseed (*Brassica napus* L.) and its processed products: Insights from SPE-GC approach. *Current Research in Food Science*, 27, 100869. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2024.100869>
- Wang, Z., Zhu, M-Q., Li, M-F., & Wei, Q. (2019). Effects of hydrothermal treatment on enhancing enzymatic hydrolysis of rapeseed straw. *Renewable Energy*, 134, 446-452. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.11.019>
- Wengerska, K., Czech, A., Knaga, S., Drabik, K.; Próchniak, T.; Bagrowski, R., Gryta, A., & Batkowska, J. (2022). The quality of eggs derived from Japanese quail fed with the fermented and non-fermented rapeseed meal. *Foods*, 11, 2492. <https://doi.org/10.3390/foods11162492>
- Wittstock, U., & Halkier, B. A. (2002). Glucosinolate research in the *Arabidopsis* era. *Trends in Plant Science*, 7, 263-270. [https://doi.org/10.1016/s1360-1385\(02\)02273-2](https://doi.org/10.1016/s1360-1385(02)02273-2)
- Yahbi, M., Keli, A., Alami, N. E., Nabloussi, A., Maataoui, A., & Daoui, K. (2024). Chemical composition and quality of rapeseed meal as affected by genotype and nitrogen fertilization. *OCL*, 31, 12. <https://doi.org/10.1051/ocl/2024004>
- Yan, X., & Chen, S. (2007). Regulation of plant glucosinolate metabolism. *Planta*, 226, 1343-1352. <https://doi.org/10.1007/s00425-007-0627-7>
- Zhang, W., Fu, Q., Jiang, H., Tang, H., Li, X., Xie, Y., Cao, X., Liu, Q., & Yuan, Y. (2023). Insight into the microwave pretreatment of rapeseeds on the flavor characteristics of rapeseed oils. *LWT*, 184, 115045. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.115045>
- Zieniuk, B., Woloszynowska, M., Bialecka-Florjanczyk, E., & Fabiszewska, A. (2020). Synthesis of industrially useful phenolic compounds esters by means of biocatalysts obtained along with waste fish oil utilization. *Sustainability*, 12, 5804. <https://doi.org/10.3390/su12145804>

©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 elektronikus orr fejlődése és alkalmazása:

II. Az elektronikus orr szerepe az élelmiszeriparban és a mezőgazdaságban

BANA BERNADETT*, ZSÉDELY ESZTER

Széchenyi István Egyetem, Albert Kázmér Mosonmagyaróvári Kar

Állattudományi Tanszék, Mosonmagyaróvár

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

Email: bana.bernadett@sze.hu

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

*Corresponding author/Levelező szerző

Received/Érkezett: 2024.01.27.

Revised/Átdolgozva: 2025.02.25.

Accepted/Elfogadva: 2025.03.20.

Published/Megjelent: 2025.06.27.

ÖSSZEFOGLALÁS

Az elektronikus orr technológia érzékeny szenzorai révén számos területen alkalmazható, különösen az élelmiszerek minőségének értékelésében. Képes érzékelni az illékony vegyületeket, amelyek befolyásolják az élelmiszerek aromáját, ízét és általános minőségét. Ezzel az eszközzel gyorsan és megbízhatóan mérhető az élelmiszerek minősége, eltarthatósága, frissessége és hitelessége, valamint kimutathatók a szennyeződések, allergének és káros anyagok. Az élelmiszeripar különböző ágazataiban, például a hús-, olaj-, alkohol- és teaiparban, széles körben alkalmazzák ezt a technológiát. Az elektronikus orr technológia segít a talajvizsgálatokban, növényi betegségek megállapításában, valamint az istálló levegőjének minőségi detektálásában is. A magas színvonalú takarmánygyártás és a jogszabályi megfelelés fokozott minőségellenőrzést igényel, amelyhez gyors, nem roncsoló és költséghatékony analitikai módszerek szükségesek. Az elektronikus orr technológia integrálható modern technológiákkal, mint például az IoT (a dolgok internete), Blockchain (blokklánc), AI (mesterséges intelligencia), Big Data (nagy adathalmaz), AR (kiterjesztett valóság) és VR (virtuális valóság), amelyek tovább bővítik az alkalmazási lehetőségeit és javítják a döntéshozatalt különböző iparágakban. Az elektronikus orr technológia növekvő szerepe segíthet a különböző iparágakban a minőségellenőrzési folyamatok optimalizálásában és a fenntarthatóság biztosításában.

Kulcsszavak: elektronikus orr, minőség ellenőrzés, fenntartható mezőgazdaság, jövő technológia

1. BEVEZETÉS

Sokan tévesen hiszik, hogy az emberi szaglás gyengébb, mint más emlősöké. Ez a felfogás nem empirikus kutatásokból származik, hanem egy 19. századi anatómus elméletéből, mely szerint az evolúció során csökkent az emberi agy szaglógumójának mérete. Az emberi szaglógumó abszolút mérete azonban nagy, és hasonló számú neuront tartalmaz, mint más emlősöké. Továbbá, az



emberek kivételes szaglási képességekkel rendelkeznek, és széles skálán képesek a szagokat észlelni és megkülönböztetni. Az ember bizonyos szagokra érzékenyebb, mint a rágcsálók és a kutyák, és képes szagnyomokat is követni. A szaglás befolyásolja az ember viselkedését és az érzelmi állapotát is (McGann, 2017). Az emberi szaglórendszer működése a légzéssel vagy az orrba szippantással kezdődik. A normál légzés és a szippantás közötti különbség az orr felső részébe áramló szagmolekulák mennyiségében rejlik (Omatu et al., 2015). Amikor a szaglóreceptorok érzékelnek egy szagot, kémiai reakciók zajlanak közöttük, amelyek elektromos jeleket generálnak. Ezek a jelek a glomerulusokon keresztül jutnak el a szaglógumóba, ahol mitrális sejtek és interneuronok találhatók. Az agy ezekből az elektromos jelekből különféle típusú információkat nyer ki. Felismeri a tárgyakat és élelmiszereket, azonosítja a környezeti veszélyeket, valamint értékeli a szociális és érzelmi információkat. Valószínűleg a szaglórendszeren belüli külön kérgi hálózatok adják ezt az információt, bár ezek pontos elrendezése még nem teljesen ismert (Zhou et al., 2019). Az emberi szaglás a mindennapi élet számos fontos funkcióját látja el, ami növekvő érdeklődést eredményezett az emberi orrot utánzó műszerek fejlesztése és alkalmazása iránt. Az érzékszervi elemzések pontatlanok és nehezen reprodukálhatók lehetnek, emellett időigényesek, képzett tesztelőket és minősített laboratóriumokat igényelnek, és nem minden környezetben alkalmazhatók. Emiatt egyre népszerűbbé válnak a roncsolásmentes eszközök, mint például a NIR spektroszkópia és az elektronikus orr (e-orr) alkalmazása, nemcsak laboratóriumi, hanem egyéb célokra is. Az olyan eszközök, mint az elektronikus orr, gyorsaságuk és egyszerű használatuk révén csökkenthetik az emberi hibákat, és a gyártás különböző szakaszaiban is alkalmazhatók, nem csupán a végső termék ellenőrzésénél (Ribéreau-Gayon et al., 2021).

2. AZ ELEKTRONIKUS ORR ALKALMAZÁSA AZ ÉLELMISZEREK MINŐSÉGÉBEN

Az élelmiszer alapvető fontosságú az emberek számára, és a velük szemben támasztott minőségi követelmények az életszínvonal javulásával egyre inkább növekednek. A termékek aromája, általában illékony szerves vegyületek kombinációjából áll, és olyan jellemző információkat tartalmaz, amelyek szorosan összefüggenek a termékek érettségével, öregedésével és romlásával (Wen et al., 2019). Az aroma nemcsak a termékek minőségének értékelésében játszik fontos szerepet, hanem jelentősen befolyásolja a fogyasztók vásárlási döntéseit is. Az élelmiszerek romlása mikroorganizmusok aktivitása, valamint enzimek és zsírok oxidációja miatt következik be. Az elektronikus orr képes az élelmiszerek minőségének, eltarthatóságának, romlásának, valamint a bennük lévő baktériumok és vegyszerek kimutatására (Jana et al., 2011). Az élelmiszeriparban az elektronikus orr használata egyértelműen hozzájárul ahhoz, hogy az élelmiszerek jó minőségűek maradjanak (Lu et al., 2015). Az elektronikus orr technológia egyre nagyobb jelentőséggel bír az élelmiszeripari termékek értékelése és minőségellenőrzése terén. Ezen technológia segítségével lehetőség nyílik érzékelni és elemezni az élelmiszerek illékony összetevőit, amelyek alapvetően meghatározzák azok aromáját, ízét és általános minőségét. Számos kutató (Tan és Xu, 2020; Ali et al., 2020; Al-Dayyeni et al., 2021; Roy és Yadav, 2022) kimutatta, hogy az elektronikus orr technológiák hatékonyan alkalmazhatók az élelmiszeripar különböző területein. Például a húsiparban (Wijaya et al., 2021; Feyzioglu és Taspinar, 2023), az olajiparban (Gila et al., 2020), az alkoholiparban (Pulluri és Kumar, 2021), valamint a teaiparban (Ruengdech és Siripatrawan, 2020) használják az elektronikus orrokat a gyártási folyamatok támogatására. Az elektronikus orr technológiát széles körben alkalmazzák különféle élelmiszeripari feladatok ellátására is. Az e-orrok segítségével meghatározható az élelmiszerek eltarthatósági ideje (Limbo et al., 2010; Pulluri és



Kumar, 2022), azonosíthatók a termékek (Haddi et al., 2011), felismerhetők a hamisítás jelei (Sarno et al., 2020), értékelhető az élelmiszerek minősége és frissessége (Pulluri és Kumar, 2021), valamint hitelesíthetők (Laga és Sarno, 2020) az élelmiszeripari termékek. Ezenkívül az e-orrokat a szennyeződések (Gu et al., 2020), allergének (Anzivino, 2022) és káros anyagok kimutatására (Ahmad et al., 2023) is használják. Ezek az eszközök lehetővé teszik az élelmiszertermékek érzékszervi minőségének meghatározását, objektív információt nyújtva az aromáról, ízről és állagról.

2.1 Hús

A hús az ember számára az egyik legértékesebb táplálékforrás, mivel bőségesen tartalmaz fehérjét, kedvező az aminosavösszetétele és ízletessége miatt sokan fogyasztják (Rahmati et al., 2016). A hús tárolása során azonban illékony aminok, kellemetlen szagú gázok keletkeznek, mivel a mikroorganizmusok és enzimek hatására a fehérjék, zsírok és szénhidrátok lebomlanak (Jia et al., 2018). Az e-orr rendszerek képesek különböző állat- és baromfihús típusainak megkülönböztetésére is. Tian et al. (2012), a PEN2 (PEN, Portable Electronic Nose) elektronikus orrot használták birkahús és sertéshús keverékének kimutatására. Az elektronikus orr összegyűjtötte a minta szagadatait, majd egy BP (BP, Back Propagation) neurális hálózat segítségével elemezte azokat. Az eredmények azt mutatták, hogy az elektronikus orr nagyobb pontossággal rendelkezik, mint a hagyományos módszerek, például a pH-mérés és a színanalízis. Haddi et al. (2015) egy elektronikus orr rendszert alkalmaztak, amely hat fénoxid-érzékelőből állt, a marha-, kecske- és birkahús azonosítására. Az adatokat PCA (PCA, Principal Component Analysis) és SVM (SVM, Support Vector Machines) módszerekkel elemezték, és megállapították, hogy az elektronikus orr pontossága 96 % a kecskehús és 92 % a marha- és juhhús esetében. Azonban a húsiparban sajnos előfordulnak olyan etikátlan beszállítók, akik különböző praktikákkal próbálják meg növelni a nyereségüket. Egyik gyakori módszerük az, hogy a drágább húst olcsóbb hússal helyettesítik vagy keverik. Például előfordul, hogy a marhahúst sertéshússal egészítik ki, mivel a sertéshús általában olcsóbb, így a költségek csökkentésével magasabb profitot érhetnek el (Rohman, 2018). Egy másik példa erre az, amikor a marhahúst lóhússal keverik szintén az árkülönbségek miatt. Mivel a lóhús gyakran olcsóbb, mint a marhahús, a beszállítók így próbálnak költségeket megtakarítani és nyereséget növelni (Spoonier et al., 2020). Sarno et al. (2020) optimalizált e-orr rendszert (OENS, Optimized Electronic Nose System) javasolnak a marhahúsban, hamisítás céljából előforduló sertéshús kimutatására. A húsvizsgálati eredményeik 98,10 %-os pontosságot mutattak, ami azt jelzi, hogy az OENS kedvező teljesítményt nyújt a sertéshússal való hamisítás kimutatására marhahúsban. Darált birkahúsban sertéshús jelenlétét vizsgálták PEN 2 e-orr segítségével. A rendszer 80 másodpercen belül gyűjtött adatokat, és alacsony hibaarány (5,83 %) mellett megbízható eredményeket adott (Zhang et al., 2019). Kutatásokat végeztek a formalinnal szennyezett élelmiszerekben található formaldehid kimutatására OPD-t (OPD, O-phenylenediamine) és f-SWCNT-t (SWCNT, Single Walled Carbon Nanotube) használó nanokompozit gázérzékelőkkel. Ezek érzékenyen reagálnak a formaldehidre, és az e-orr felismeri a formalin jelenlétét csirke és garnéla tesztelés során. A tanulmány eredményei alátámasztották, hogy az e-orr használata hozzájárul az élelmiszerbiztonsághoz (Thazin et al., 2019). Feyzioglu és Taspınar (2023) tanulmányukban e-orr segítségével azonosították a különböző marhahúsdarabok frissességét és vizsgálatuk 98,6 % pontosságot adott. Wijaya et al. (2021) marhahúst osztályozták a frisstől a romlottig, és e-orr segítségével 99,8 % pontosságot állapítottak meg.

Az etikátlan gyakorlatok nemcsak félrevezetik a fogyasztókat, hanem súlyos egészségügyi és biztonsági veszélyeket is jelentenek. A húsiparban kiemelkedően fontos a termékek hitelessége és



minősége, és az ilyen csalások jelentős mértékben alááshatják a fogyasztók bizalmát. Ezért elengedhetetlen, hogy az élelmiszer-ellenőrző rendszerek és az elektronikus orr technológiák alkalmazása biztosítsa a húsok eredetének és minőségének hitelesítését. Az eredmények azt mutatják, hogy az e-orr ígéretes eszköz a húsok frissességének, romlásának, szennyeződésének és hamisításának felismeréséhez, hozzájárulva ezzel a húsiparban a minőségellenőrzés és az élelmiszerbiztonság javításához.

2.2 Tej

A tej alapvető szerepet tölt be az emberi táplálkozásban, mivel gazdag fehérjében, szénhidrátban, zsírokban, ásványi anyagokban és vitaminokban. Különösen fontos a gyermekek számára, hogy megfelelő mennyiségű és minőségű tejhez jussanak. Azonban a tejpiac növekedésével párhuzamosan egyre gyakoribbá válnak a különféle hamisítási módszerek, amelyek komoly egészségügyi kockázatokat jelenthetnek. Gyakori hamisítási gyakorlat például a víz hozzáadása a térfogat növelése érdekében, valamint a karbamid és vegyszerek használata. Ezek az eljárások nemcsak a tej minőségét rontják, hanem súlyos egészségügyi problémákat is okozhatnak (Chi et al., 2024). Egy kutatás során egy MOS gázérzékelőt és hőmérséklet-nedvesség érzékelőt tartalmazó e-orr 94,64 %-os, 92,85 %-os és 87,75 %-os pontossággal mutatta ki a formalin, a hidrogén-peroxid és a nátrium-hipoklorit jelenlétét a nyerstejben. Az eredmények azt mutatták, hogy az e-orr hatékonyan képes kimutatni ezeket a hamisító anyagokat a nyerstejben (Tohidi et al., 2018). Az aroma és az íz szintén fontos tényezők a tejtermékek minőségének megítélésében (Claeys et al., 2013; Braggins et al., 2020). Az éghajlat, a legelő és a takarmány mind befolyásolhatja a nyerstej ízét és illatát (Zheng et al., 2021; Feng et al., 2022). Emellett a tejelő állatok egészségi állapota, takarmányozása és azok szennyezettsége is változtathatja a nyerstej ízét és aromáját (Coppa et al., 2011; O'Callaghan et al., 2016). Az elektronikus orr képes különböző tejmintákat megkülönböztetni az illékony szerves vegyületek különbségei alapján, beleértve a feldolgozási körülményeket, a tárolási időt és a tejfajtát (Labreche et al., 2005; Wang et al., 2010). A mesterséges aromaérzékelés trendjei az elektronikus orr technológiák alkalmazásával nagy hatással lehetnek a tejtermelésre. Az e-orr rendszerek az illékony szerves vegyületek érzékelésére és elemzésére szolgálnak, amelyek fontos szerepet játszanak az élelmiszerek minőségének és frissességének meghatározásában. Az e-orr technológia felhasználása a tejtermelésben lehetővé teszi a tej és tejtermékek minőségének folyamatos ellenőrzését és javítását (Yakubu et al., 2022).

Összefoglalva, az elektronikus orr technológia alkalmazása a tejiparban segít megelőzni a hamisítást, biztosítja a tej minőségének folyamatos ellenőrzését és javítását, valamint hozzájárul a fogyasztói elégedettség növeléséhez.

2.3 Tojás

A tojás rendkívül gazdag vitaminokban, ásványi anyagokban, foszfolipidekben és kiváló minőségű fehérjében, amelyek hasznosulási aránya az emberi szervezetben 98 % (Narushin et al., 2021). A tojás tárolása során azonban gyorsan romolhat, ami jelentős gazdasági veszteségeket okozhat a baromfiiparnak (Caner, 2005; No et al., 2005). A romlás kémiai, táplálkozási, funkcionális és higiéniai változásokat eredményez, és ezek a tárolási körülményektől, például hőmérséklettől, páratartalomtól (Tabidi, 2011), gáznemű környezettől (Jo et al., 2011), valamint a tárolási időtől függenek (Akyurek és Okur, 2009; Chung és Lee, 2014). Mivel a tojások külseje hasonló, a vásárlóknak nincs megbízható tudományos módszerük a minőségük megkülönböztetésére. Néhány



kereskedő alacsony minőségű tojásokat kínál jó minőségüként, hogy megtévesse a fogyasztókat. Ezért szükség van olcsó, gyors és pontos elemzési technikákra a tojás minőségének meghatározására (Hua et al., 2021). A friss héjú tojásban nagyon alacsony a szerves illékony anyagok koncentrációja, de ez a koncentráció nő a tárolás során (Adamiec et al., 2002). Wang et al. (2014) kimutatták, hogy a tojássárgája illékony komponensei, mint az észterek, alkoholok, alkének és nitrogéntartalmú vegyületek, a tárolás során változnak. Az e-orr technológia az illékony anyagok észlelésére szolgál, és lehetővé teszi a tojások frissességének vizsgálatát a tárolás során (Dutta et al., 2003; Liu et al., 2010), valamint a tárolási idő és minőségi jellemzők monitorozását (Yongwei et al., 2009). Aguinaga Bósquez et al. (2021) kutatásának célja az volt, hogy értékeljék a szerves cinkkel dúsított ipari mellékterméket (ZP) különböző dózisokat tartalmazó takarmányok hatását a Lohmann Brown-Classic tyúkok tojásainak érzékszervi tulajdonságaira. Három csoportot vizsgáltak: kontroll (0 %), ZP 2,5 % és ZP 5,0 %. A tojásokat 30 és 60 napos etetés után gyűjtötték, majd kémiai, mikrobiológiai, humán érzékszervi, e-orr és e-nyelv elemzésnek vetették alá. A mikrobiológiai vizsgálatok nem mutattak szignifikáns különbséget a csoportok között, de a zsír- és fehérjetartalomban különbségeket találtak. Az emberi érzékszervi elemzés nem mutatott jelentős változást, de az e-nyelv és az e-orr technológia segítségével a tojások érzékszervi jellemzőit pontosan fel lehetett ismerni és előre jelezni. Az eredmények azt mutatták, hogy a ZP használata a takarmányban nem befolyásolta jelentősen a tojások minőségét, bár az analitikai módszerekkel kimutathatók voltak változások.

A kutatások azt mutatják, hogy az elektronikus orr hatékonyan alkalmazható a tojás minőségének ellenőrzésére és a táplálkozási tulajdonságok meghatározására. Az e-orr technológia alkalmazása a baromfiiparban hozzájárulhat a gazdasági veszteségek csökkentéséhez és a fogyasztói bizalom növeléséhez.

2.4 Halak és tenger gyümölcsei

A halak frissességének értékelése szempontjából a szag rendkívül fontos tényező. Az idő előrehaladtával a halban található illékony amingázok változnak, ami a tárolási idő és körülmények függvényében befolyásolja a hal minőségét. Az elektronikus orr technológiák képesek ezeknek a gázoknak a nagy teljesítményű elemzésére, lehetővé téve a halminták frissességének és minőségének pontos azonosítását. Például a halak tárolási idejének növekedésével olyan illékony vegyületek, mint a trimetilamin jelennek meg, amely a jellegzetes „halas” szagért felelős. Az elektronikus orr technológiák lehetővé teszik ezen vegyületek pontos detektálását és mennyiségi elemzését, ami alapvető a halak minőségének folyamatos ellenőrzéséhez és a fogyasztói bizalom fenntartásához. A halak kiváló fehérje- és tápanyagforrások, amelyek omega-3 zsírsavakkal erősítik az immunrendszert és számos egészségügyi előnnyel járnak. A hal minőségének felmérése fontos annak meghatározásában, hogy fogyasztása biztonságos-e. A növekvő minőségi és biztonsági követelmények arra ösztönözték a kutatókat, hogy új, gyors módszereket fejlesszenek ki a tengeri termékek frissességének ellenőrzésére. Az elmúlt években az elektronikus orr rendszerek ígéretes megoldásnak bizonyultak a tengeri ételek frissességének felmérésében, különösen a nagyméretű elosztási láncok esetében. Chi et al. (2024) szerint az e-orr hét különböző érzékelő segítségével osztályozta a hal frissességét hűtve tárolás során. A halminták fejteréből vett minták alapján értékelték a hal minőségi állapotát, azonosítva a különböző aromaparamétereket PCA (főkomponens-analízis) segítségével. Az e-orr a mintákat friss, félfriess és romlott kategóriákba sorolta, és nagy pontossággal (96,87 %) működött (Vajdi et al., 2019). Az e-orr rendszereket három tengeri termék – nyelvhal, vörös márna és tintahal – frissességének monitorozására is használták. A kutatók a tenger gyümölcsei frissességét vizsgálták, hanem a mintákat három frissességi osztályba



sorolták és mikrobiális vizsgálatokat is végeztek. Az eredmények megerősítették, hogy az e-orr nagy pontossággal dolgozik, így megerősítve alkalmazhatóságát a kereskedők számára (Grassi et al., 2022). Az e-orr technológia alkalmazása a tengeri termékek frissességének és minőségének ellenőrzésében jelentős előnyöket kínál. Az e-orr rendszerek gyorsak, pontosak és megbízhatók, így hatékony eszközként szolgálnak a tengeri ételek minőségellenőrzésében, hozzájárulva ezzel a fogyasztói bizalom növeléséhez és a biztonságos fogyasztás biztosításához.

2.5 Gyümölcsök

Az elmúlt években a gyümölcsipar piaci globalizációjának növekedésével párhuzamosan a fogyasztók egyre magasabb minőségi elvárásokat támasztanak a gyümölcsökkel szemben. A gyümölcsök minőségének és eredetének pontos meghatározása ezért kiemelt fontosságúvá vált. Az elektronikus orr technológiája rendkívül értékes eszköz lehet a gyümölcstermesztés különböző területein. Az elektronikus orrok alkalmazása lehetővé teszi a gyümölcsök károsodásának mértékének pontos meghatározását, amint azt Ren et al. (2018) is bemutatták. Emellett az e-orr technológia segít a gyümölcsök földrajzi eredetének meghatározásában, ahogyan Centonze et al. (2019) is bizonyították kutatásaikban. Továbbá, Ezhilan et al. (2018) szerint az e-orr hatékony eszköz a gyümölcsök minőségének kimutatásában is. PEN3 elektronikus orr alkalmazható a betakarított eper minőségi változásainak vizsgálatára mind szobahőmérsékleten, mind alacsony hőmérsékleten. Zhao et al. (2014) eredményei szerint a Fisher diszkrimináns regressziós függvény osztályozási pontossága eper esetében 97,5 % volt szobahőmérsékleten, míg alacsony hőmérsékleten 93,3 %. Sanaeifar et al. (2014) egy saját készítésű, fénoxid szagérzékelő tömbökkel ellátott elektronikus orrot használtak a banán érlelése során keletkező illékony gázok változásainak vizsgálatára. Eredményeik azt mutatták, hogy a banán illatának ujjlenyomat-azonosítási pontossága az érlelési időszakokban SVM modell alkalmazásával 98,66 %-ot ért el. Egyes kutatók kombinálták a moduláris szenzorrendszert (MOSES) a mesterséges méhkolóniák neurális hálózatának algoritmusával, hogy szamóca, citrom, cseresznye és görögdiinnye aromaanyagaihoz minőségi modelleket hozzanak létre. Ezzel 17,39 %-kal nagyobb pontosságot értek el, mint a hagyományos BP neurális hálózatok (Adak és Yumusak, 2016). Az elektronikus orrok alkalmazását vizsgálták gyümölcsosztályozásra, érettségi kimutatásra és minőségi osztályozásra is. Kezdetben 12 gyümölcs, köztük alma, sárgabarack és banán sajátos aromáinak illékony szerves vegyületeit azonosították. Később tanulmányozták a főbb illékony szerves vegyületeket különböző típusú gyümölcsökben, mint az alma, banán és szeder. Végül összefoglalták az elektronikus orrok különböző kereskedelmi célokra történő alkalmazási lehetőségeit a gyümölcs érettségének és minőségének meghatározására, megállapítva, hogy a bionikus szaglás jól alkalmazható a gyümölcsfelderítésben (Biondi et al., 2014).

Összességében, az elektronikus orr technológia alkalmazása a gyümölcsiparban lehetővé teszi a gyümölcsök minőségének javítását és a fogyasztói elvárásoknak való megfelelést a globális piacon.

2.6 Zöldségek

Az elektronikus orr technológia rendkívüli pontossággal használható különféle feladatokra, beleértve a minőségértékelést, a fajtaazonosítást, az eredet meghatározását és a zöldségfélék betegségeinek kimutatását. Feng et al. (2018) kimutatták, hogy az elektronikus orr megbízható eszköz a minőségértékelésben. Lee et al. (2017) bebizonyították, hogy az e-orr hatékony a különböző növényfajták és azok eredetének meghatározásában, valamint a zöldségfélék betegségeinek kimutatásában. Russo et al. (2013) az ISE Nose 2000 elektronikus orrot alkalmazták



lilahagyma fajtáinak osztályozására, és 97,5 %-os pontosságot értek el. Konduru et al. (2015) kilenc fémoxid-érzékelőből álló elektronikus orrot használtak a hagymaperonoszpóra kimutatására hagymában, és SVM modellel 85 %-os pontosságot értek el. Az elektronikus orrok szintén hatékonyak a burgonya, paradicsom, sütőtök és más növények esetében. Biondi et al. (2014) a PEN3 elektronikus orr segítségével burgonya betegségeit vizsgálták, és az LDA-modell (LDA, Linear Discriminant Analysis) segítségével 57,4-81,3 %-os pontosságot értek el. Cheng et al. (2013) a PEN2 elektronikus orrot alkalmazták paradicsompalánták fertőzésének azonosítására, az összes adat átlagértéke alapján. Xu et al. (2018) a PEN3 elektronikus orr használatával vizsgálták a paradicsom ízének változásait különböző kezelési módszerekkel, és jelentős aromaváltozásokat figyeltek meg. Feng et al. (2018) extrém tanulógéppel (ELM) kombinálva alkalmazták az elektronikus orr technológiát, hogy értékeljék a koktélpáradicsom minőségét hideg tárolás során. Ezenkívül az elektronikus orr technológiát a repce minőségének előrejelzésére és a burgonya lágy rothadásának korai kimutatására is használták, mindkét esetben 100 %-os pontossággal (Gancarz et al., 2017; Rutolo et al., 2018).

2.7 Tea

Az elektronikus orr technológiát a teaiparban is elterjedten használják, köszönhetően sokféle előnyös tulajdonságának. Ezek a rendszerek segíthetnek a fermentációs folyamatokban, a tea osztályozásában és minőségi különbségek meghatározásában, valamint a tea földrajzi eredetének azonosításában. Xu et al. (2019), valamint Giungato és Laiola (2017) kiemelik az e-orr technológia fontosságát a teagyártási folyamatokban. Luo et al. (2017) szerint az e-orr technológia hatékony eszköz a tea földrajzi eredetének meghatározásában is. A fermentációs folyamat különösen kritikus a teagyártás során, hiszen ez határozza meg a végső termék minőségét. Az alulfermentált tea nem éri el a kívánt íz- és aromaprofilját, míg a túlerjesztett tea minősége romolhat, ami negatívan befolyásolja a fogyasztói élményt. Bhattacharyya et al. (2007) szerint mind az alul-, mind a túlerjesztés a kész tea minőségének romlását okozhatja. Chen et al. (2013) egy olyan elektronikus orrot használtak, amely szagképzésképző tömbből állt, hogy osztályozzák a zöld teát, a sötét teát és az oolong teát azok fermentációs foka alapján. A teakategóriák osztályozásához többváltozós elemzést alkalmaztak, és az LDA módszer 100 %-os osztályozási arányt ért el, ami az elektronikus orrok nagyjelentős lehetőségét bizonyítja a teaosztályozásban. Zhu et al. (2017) szenzoros analízissel és elektronikus orral értékelték az illékony vegyületek szinergizmusát oolong tea infúzióban, megerősítve, hogy ezek a küszöb alatti vegyületek befolyásolhatják az oolong tea általános szagérzetét.

Elektronikus orr alapú módszerek használhatók a teaaromák erjedési folyamataiban történő nyomon követésére. A mai napig bebizonyosodott, hogy az erjedés során bekövetkező aromaváltozások megbízhatóan kimutathatók elektronikus orrokkal. Az e-orr technológia tehát nélkülözhetetlen eszközzé vált a teagyártásban, mivel lehetővé teszi a minőség folyamatos ellenőrzését és a folyamatok optimalizálását, hozzájárulva a végtermék kiváló minőségéhez.

2.8 Kávé

A kávé a víz után a világ második legnépszerűbb itala, egyedülálló íze, illata, valamint nyugtató vagy afrodiziákum hatása miatt. Ezt az egyedülálló aromát és ízt a kávébab pörkölésével érik el, amely egy összetett folyamat, amely mechanikai, termikus és kémiai változásokat okoz a kávébabban. A kávé végső minőségét és az árát nagyban befolyásolja a pörkölési folyamat (Garcia et al., 2018).

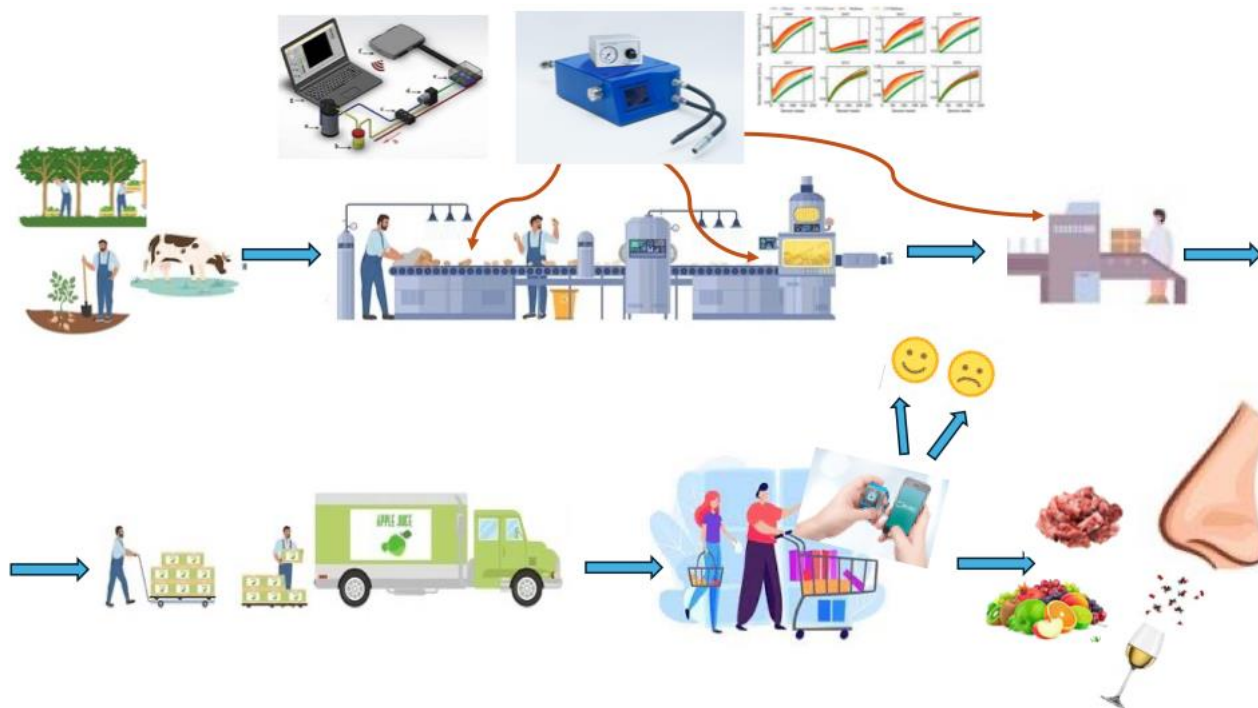


A pörkölési folyamat kritikus a kávé minősége szempontjából, különösen az aroma tekintetében. A kávébabokat különböző hőkezelési intenzitással pörkölték, és érzékszervi analízist, illékony vegyület profilozást és elektronikus orr analízist végeztek. Az elektronikus orr segítségével megkülönböztették a különböző hőkezeléseket. A legalacsonyabb hőkezelés mellett több alkoholt, aromás anyagot, észtert, ketont és furanont találtak. Az elektronikus orr, mint olcsó és roncsolásmentes eszköz, képes megkülönböztetni a kávé különböző minőségeit a feldolgozás során (Barea-Ramos et al., 2022). Az eszpresszó kávé kémiai tulajdonságainak és aromás profiljának változásait vizsgálták az extrakciós idő és az őrlési szint függvényében. Az elektronikus orr rendszer segítségével megállapították, hogy a legnagyobb mennyiségű szerves savat, szilárd anyagot és koffeint a perkoláció első 8 másodpercében vonták ki. Az őrlési fokozat jelentősen befolyásolta a kávé minőségét. Az elektronikus orr lehetővé tette a főzet frakcióinak megkülönböztetését az extrakciós idő és az őrlési fokozat alapján. A normál kávé (25 ml) aromás profilját jelentősen befolyásolta az őrlési szint és a perkolációs idő (Severini et al., 2015).

A különböző kávéfajták befolyásolják a kávé minőségét és árát, és a fogyasztók különleges minőségeket keresnek, ami növeli a hamisítás kockázatát. Ezért szükség van egy eszközre, amely gyorsan és alacsony költséggel képes azonosítani és osztályozni a kávéminőségeket anélkül, hogy károsítaná a terméket. Az elektronikus orr erre kiválóan alkalmas.

2.9 Bor

Az élelmiszerek közül talán a bor kapcsolódik leginkább az emberi érzékszervekhez. A bor minősége és élvezete szorosan összefügg aromás összetételével. Az emberi érzékszervekkel történő borértékelés hosszú múltra tekint vissza. A borászat világában a sommelier-k fontos szerepet játszanak, mivel nemcsak egyszerű kóstolást végeznek, hanem képesek felismerni a legfinomabb illatokat és aromákat, valamint a borhibákat is (Naranjo et al., 2021). Liu et al., (2018) négy gépi tanulási algoritmus segítségével különböző borokat hasonlítottak össze: XGBoost (XGBoost, Extrem Gradient Boosting), RF (RF, random forest), SVM (SVM, support vector machine) és BPNN (BPNN, Back Propagation Neural Network). A BPNN 94,0 %-os és 92,5 %-os pontossággal azonosította a termőterületeket és a fajtákat, míg az SVM 67,3 %-os és 60,5 %-os pontossággal ismerte fel az évjáratokat és az erjesztési folyamatokat. Gamboa et al., (2019) bemutattak egy e-orrot, amely hat fém-oxid gázérzékelővel elemezte 22 kereskedelmi borospalack mintáit. Az e-orrot egy mély MLP neurális hálózat vezérelte, amely a hagyományos Support Vector Machine-hez (SVM) képest 97 %-nál nagyobb pontosságot ért el 2,7 másodperc alatt, ez 63-szor gyorsabb válaszidőt jelent. Az e-orr különböző minőségű borokat azonosított, beleértve az alacsony (LQ), közepes (AQ) és magas minőségű (HQ) borokat. Penza és Cassano (2004) négy MOS szenzorrendszeren alapuló elektronikus orr segítségével értékelték az olasz borok hamisítását etanollal, metanollal vagy más azonos színű borral. A statikus fejtér módszerrel mintát vettek, és mesterséges neurális hálókra alapuló metanollal, etanollal vagy más borral hamisított borokat mintafelismerő rendszert alkalmaztak. Az e-orr 93,3 %, 70,0 % és 83,3 % pontossággal azonosította a metanollal, etanollal vagy más borral hamisított borokat.



1. ábra: Az e-orr élelmiszeripari folyamatokban való felhasználása

Forrás: Saját készítésű ábra

Az e-orr technológia élelmiszeripari szerepét az 1. ábra szemlélteti. Az élelmiszeriparban az elektronikus orr alkalmazása lehetővé teszi az érzékszervi elemzések automatizálását, csökkenti az emberi hibák lehetőségét és növeli a pontosságot. Ezen eszközök segítségével nemcsak a végső termékek minőségellenőrzése válik egyszerűbbé, hanem a gyártási folyamatok különböző szakaszaiban is alkalmazhatók, ezáltal biztosítva a folyamatos minőségellenőrzést (Sanchez et al., 2022). Az elektronikus orr technológia folyamatos fejlődése és integrálása a mesterséges intelligenciával tovább növeli annak érzékenységét, szelektivitását és elemzési képességeit. Ezáltal az elektronikus orr egyre inkább nélkülözhetetlen eszközzé válik az élelmiszeriparban, hozzájárulva a minőség, a biztonság és a fogyasztói elégedettség javításához (Gonzalez et al., 2020).

3. AZ ELEKTRONIKUS ORR ALKALMAZÁSA A MEZŐGAZDASÁGBAN

3.1 Talajállapot

A talaj, a víz és a levegő toxikus vegyi anyagokkal való szennyezése napjaink egyik legsúlyosabb környezeti problémája. Ezek a szennyező anyagok különböző forrásokból, például ipari tevékenységekből, mezőgazdasági műtrágyákból, növényvédő szerekből, közlekedési kibocsátásokból és háztartási hulladékból származnak. A szennyezés veszélyezteti az ökoszisztémákat, az emberi egészséget és a globális klímaváltozást. A fenantrén egy hidrofób, három kondenzált benzolgyűrűből álló policiklusos aromás szénhidrogén (PAH). A PAH-ok a szerves anyagok tökéletlen égésekor keletkeznek, például tüzek és fosszilis tüzelőanyagok égetése során. A szennyezett talajokban PAH-ok jelenlétét általában klasszikus extrakciós technikákkal, például Soxhlet extrakcióval mutatják ki (Cesare et al., 2008). A gázok és az illékony szerves vegyületek felszabadulása a talajban összefügg a mikrobiális aktivitással és befolyásolja a talajban élő



szervezetek életét. Az elektronikus orrok képesek mérni és figyelni ezeket az anyagokat. A kutatás γ -besugárzott sterilizált talajban történt *Pseudomonas fluorescens* baktériummal. Az inkubáció során mérték a mikrobiális növekedést és aktivitást, valamint a gázok és szerves vegyületek felszabadulását. Az elektronikus orr különbséget tett a beoltott és nem beoltott ökoszisztémák között és a mikrobiális aktivitás különböző fázisai között. Az elektronikus orr sikeresen kimutatta a talajmikrobiális aktivitást, annak ellenére, hogy a vizsgált katalitikus aktivitások közvetlenül nem termeltek szerves vegyületeket vagy gázt. Az elektronikus orr technológia képes holisztikus képet adni a mikrobiális aktivitásról (Cesare et al., 2011). Elektronikus orrot alkalmaztak a fenantrén lebomlásának vizsgálatára mesterségesen szennyezett talajban. Az elektronikus orr elemzés főkomponens-analízissel (PCA) kimutatta, hogy a szennyezett és nem szennyezett talajminták megkülönböztethetők, és a fenantrénnel kezelt talajok kémiai profilja késleltetett a kontrollokhoz képest. A részleges legkisebb négyzetes diszkriminancia analízis (PLS-DA) rámutatott a fenantrén lebontásában szerepet játszó lehetséges indikátorokra. Elektronikus orr használatával vizsgálták a talaj különböző nedvességtartalmának megkülönböztethetőségét. Tíz különböző szántóföld típus került elemzésre. A mérésekhez légszáraz (AD) talajokat használtak, amelyeket egy évig tároltak, majd szántóföldi vízkapacitásig nedvesítettek, végül 180 napon belül szárítottak. A szárítás során az illékony ujjlenyomatok változtak, és a szárítási ciklus végén az ujjlenyomatok hasonlítottak az eredeti AD talajokhoz. A főkomponens-analízis (PCA) és a mesterséges neurális hálózat (ANN) elemzése azt mutatta, hogy az elektromos orr eredmények alkalmasak a talajnedvesség megkülönböztetésére. Ezenkívül kimutatták, hogy az eltérő talajtípusok azonos nedvességtartalom mellett különböző elektromos orr jeleket produkálhatnak (Bieganowski et al., 2016). Kutatók az elektronikus orr technológiát tanulmányozták alacsony szintű talajszennyezés kőolajjal való kimutatásának érdekében. A kísérlet célja a benzin és a gázolaj okozta szennyezés megkülönböztetése, valamint a szennyezés bekövetkezése óta eltelt idő figyelembevétele volt. Tíz szántóföldet vizsgáltak, amelyek a Világ Referenciabázis (WRB) különböző talajcsoportjaiba tartoztak. A méréseket terepi kapacitásig megnedvesített, mindkét szénhidrogénnel szennyezett, majd 180 napig lassan száradni hagyott talajokon végezték. Az illékony ujjlenyomatok a kísérlet során változtak, és a végére a nem szennyezett talajokéhoz hasonlóvá váltak. A főkomponens-elemzés (PCA) és a mesterséges neurális hálózat (ANN) elemzése kimutatta, hogy az elektromos orr eredményei alkalmasak a talajszennyezés kimutatására, valamint a szennyező anyagok és a szennyezettségi szint megkülönböztetésére (Bieganowski et al., 2018).

3.2 Növénybetegségek

Az elektronikus orrot használják a paradicsomnövények egészségének figyelésére és betegségek, kártevők kimutatására. Két gyakori probléma az üvegházi paradicsomnövényeknél a lisztharmat és a takácsatka. Egy 13 érzékelős elektronikus orron alapuló kísérletet végeztek elszigetelt, ellenőrzött környezetben. A főkomponens-elemzés alapján az elektronikus orr képes megkülönböztetni az egészséges és fertőzött növényeket, vagyis képes a paradicsomnövény-betegségek és fertőzések nyomon követésére (Zhang et al., 2011). Elektronikus orrot használtak paradicsompalánták különböző típusú károsodásainak elemzésére, mint a korai rothadásos fertőzés, szürkepenész betegség, mechanikai sérülés és sértetlenség. Főkomponens-analízis (PCA), lineáris diszkriminációs elemzés (LDA), visszaterjedési neurális hálózat (BPNN) és támogató vektorgép (SVM) segítségével értékelték az elektronikus orr adatait. Az elektronikus orr sikeresen különböztette meg a károsodás típusait. Az elektronikus orr technológia hatékony a paradicsompalánták károsodásának megfigyelésére (Cheng et al., 2017). Egy érzékeny szenzorsorral felszerelt elektronikus orr rendszert



fejlesztettek ki az üvegházi paradicsomnövények korai levéltetű fertőzésének gyors diagnosztizálására. Az elektronikus orr és a gázkromatográfiás tömegspektrometria (GC-MS) segítségével kimutatták a paradicsomnövények által kibocsátott illékony szerves vegyületeket, mind levéltetvekkel, mind anélkül. Az érzékelő gyors válaszai és nagy érzékenysége alapján a főkomponens-analízis (PCA) pontosan diagnosztizálta a fertőzött növényeket az egészségesekkel szemben. Az eredmények új szerves vegyület biomarkereket mutattak ki, amelyek segítenek a fertőzöttség azonosításában. A tavaszi paradicsomnövények szerves vegyület profilja hasonló volt a téli növényekéhez, kivéve néhány intenzívebbet, amelyek tavasszal magasabb koncentrációban jelentkeztek (Cui et al., 2019). A magas szemnedvesség és -hőmérséklet kedvez a tárolt szemű rovarok szaporodásának és túlélésének, komoly veszélyt jelentve a melegebb vidékeken. A *Rhyzopertha dominica* rovar a tárolt búzaszemek minőségi és mennyiségi veszteségét okozza. Az elektronikus orr segítségével mesterségesen fertőzött búzaszemeket értékelték, és az illékony szerves vegyületek változásait figyelték. Az érzékelőválaszok optimálisan jelezték a fertőzést és a búza minőségi változásait. Az elektronikus orr elemzéssel hatékonyan lehetett megkülönböztetni a fertőzött és nem fertőzött mintákat, ami segít a tárolt búza minőségének meghatározásában (Mishra et al., 2018).

3.3 Takarmányok minőségértékelése

Az Európai Takarmánygyártók Szövetsége (FEFAC) által közzétett adatok szerint az Európai Unióban (EU-27) a takarmánykeverék előállítás mennyisége elérte a 147,3 millió tonnát, ebből 74,3 millió tonnát takarmánygabonával állítottak elő (FEFAC, 2023). A takarmánygyártás magas színvonala, a jelentős mennyiségű vizsgálati igény és a jogszabályi előírásoknak való megfelelés miatt egyre nagyobb szükség van a minőségellenőrzésre. A minőségellenőrzés érdekében olyan gyors és hatékony analitikai módszerekre van szükség, amelyek nem roncsolják a mintákat, és költséghatékonyak a mindennapi analitikai vizsgálatok során. Az ilyen módszerek alkalmazásával a gyártók biztosíthatják a takarmányok folyamatosan magas minőségét és a jogszabályi követelmények betartását, miközben minimalizálják a költségeket és növelik a termelési hatékonyságot. A gyors, nem roncsoló analitikai módszerek lehetővé teszik a takarmányok összetételének és minőségének folyamatos ellenőrzését, így a gyártók azonnal reagálhatnak a minőségbeli problémákra és biztosíthatják a takarmányok biztonságos és hatékony felhasználását. Ezen módszerek alkalmazása a modern takarmánygyártásban elengedhetetlen a versenyképesség és a fenntarthatóság érdekében.

A szilázsok alapvető táplálékforrások a kérődzők étrendjében, és illatuk jelentős szerepet játszik a minőségük megítélésében. Az elektronikus orr technológia gyors és objektív szagmérést tesz lehetővé, ami különféle szilázsok gyors szűrését teszi lehetővé. Gado et al. (2022) tanulmányukban lucerna- és rozsszilázsok aromaprofilját vizsgálták elektronikus orr segítségével, amely fénoxid félvezető érzékelőket használt. Az aromaprofilok pH és tejsav/ecetsav arány alapján történő felügyelt osztályozása során a validálásra kiválasztott minták 65-75%-a helyesen került azonosításra, jelezve a módszer megbízhatóságát. Az eredmények szerint a különböző feldolgozási módszerekkel (direkt vágott vagy fonnyadt) előállított lucerna alapú takarmányok pontosan azonosíthatók voltak, míg a rozsminták a betakarításkor eltérő fenológiai fázisok alapján különíthetők el. A módszertan ígéretesnek bizonyult a fermentált takarmányok minőségvizsgálata terén. Worku et al. (2021) vizsgálatának célja az volt, hogy értékeljék az őszi kalászosok (tritikálé, zab, árpa, búza) és az olasz perje szilázsok aromaprofilját, mikrobiális és kémiai minőségét elektronikus orr segítségével. Négy kereskedelmi keveréket (A, B, C, D) vizsgáltak. Mind az aromaprofil főkomponens-analízise (PCA), mind a lineáris diszkriminancia analízis (LDA) azt mutatta, hogy a D keverék eltér a többi szilázs



keveréktől, különösen a magas etanol- és LA-tartalom miatt. Az elektronikus orr technológia hatékonyan feltárta a szilázsok szagvegyületeit, és megállapította, hogy az olasz perje és az őszi kalászos keverékek (D keverék) jobb aromaprofillal rendelkeztek, mint az őszi kalászos keverékek (A és B keverék). Ugyanakkor a gabonakeverékek (A és B) jobb aromaminőségűek voltak, mint a C keverék. Az elektronikus orr technológia tehát alkalmasnak bizonyult a silózott takarmányok minőségének értékelésére. Jiang et al. (2014) az elektronikus orr alkalmazását vizsgálták a takarmányfehérje szilárd állapotú fermentációs (SSF) folyamatának különböző szakaszaiban. A kutatás eredményei alapján az elektronikus orr kemometrikus megközelítéssel kombinálva sikeresen használható az SSF folyamat monitorozásában. Mei et al. (2014) szintén ígéretes módszerként értékelték az elektronikus orr technológiát a fehérjetakarmányok SSF fermentációs állapotának meghatározására. Továbbá, Jiang és Chen (2014) a közeli infravörös spektroszkópiai (NIRS) technikákat integrálták az elektronikus orrhoz, hogy megfigyeljék a fehérjetakarmány SSF folyamatának kritikus pillanatait. Az eredmények azt mutatták, hogy az elektronikus orr és a NIRS technikák jól követik a fermentációs folyamatot, és fontos információkat szolgáltatnak a takarmányfehérje SSF folyamatának állapotáról.

3.4 Istálló levegőminősége

Az intenzív állattartó épületek komoly környezeti problémákat okoznak, mint például az ammónia, üvegházhatású gázok és kellemetlen szagú vegyületek kibocsátása. Ezek a kibocsátások rontják a levegő minőségét és egészségügyi kockázatokat jelentenek. Az ilyen problémák kezelése hatékony trágyakezelési rendszerekkel, szellőztetéssel és szagmonitorozással lehetséges (Philippe et al., 2011). A baromfitelepek kellemetlen szagkibocsátása komoly környezeti probléma. A kutatás célja volt, hogy egy laboratóriumi elektronikus orr rendszer segítségével monitorozta és elemezte a szagokat. Az elektronikus orr nyolc gázérzékelőből áll, és képes osztályozni a különböző szagokat és számszerűsíteni a szagszintet. A vizsgálatok során ammónia, hidrogén-szulfid és illékony szerves vegyületek mérésére gázdetektort is alkalmaztak. Az eredmények szerint az elektronikus orr hatékonyan azonosította a rossz szag forrását és figyelte a szagokat valós időben. Kiderült, hogy a baromfiólban talált ammóniagáz a legkellemetlenebb szagforrás (Aunsa-Ard et al., 2021a). Az állattartó telepek szagproblémáit az elektronikus orr segítségével valós időben lehet figyelni. Egy nyolc gázérzékelőből álló elektronikus orrot használtak. Öt baromfitelegen végzett vizsgálat kimutatta, hogy az elektronikus orr hatékonyan azonosította a szagforrásokat és figyelte a szagokat. Az elektronikus orr használata csökkentheti a panaszokat és az egészségügyi kockázatokat (Aunsa-Ard et al., 2021b). Egy kutatás a hordozható elektronikus orr fejlesztésére irányult környezetvédelmi kísérletek céljából. A rendszer hatékonyan osztályozza az istállóban keletkező különféle szagforrásokat. A nulla fokozatú levegő referenciagázként való alkalmazása és a mintavizsgálati mechanizmusok fejlesztése növeli a pontosságot és hatékonyságot, lerövidítve a környezeti tesztek időtartamát. Ezáltal az elektronikus orr alkalmas a kellemetlen szagok forrásának azonosítására, ami zavarhatja a környéken élőket (Pobkrut et al., 2018).

4. AZ E-ORR SZEREPE A MODERN TECHNOLÓGIÁKBAN

A legkülönbözőbb területeken az e-orr folyamatos fejlesztése lehetővé teszi a legújabb technológiákkal való integrációt. Mindezek a technológiák, a tárgyak interneten keresztül történő összekapcsolása (IoT, Internet of Things) (Asman et al., 2019, Farahiyah et al., 2021), a blokklánc (Blockchain) (Widayanti et al., 2021), a mesterséges intelligencia (AI, Artificial Intelligence), a nagy

adathalmaz (Big Data) (Purvono et al., 2021), a kiterjesztett valóság (AI, Augmented Reality) (Khan et al., 2021), és a virtulis valóság (VR, Virtual Reality) (Emmelkamp és Meyerbröker, 2021) hatalmas potenciállal járulnak hozzá az e-orr használatának kiterjesztéséhez.

Az IoT az interneten keresztül összekapcsolt fizikai eszközök hálózatát jelenti (Yudhana, 2023). Ezek az eszközök emberi beavatkozás nélkül, automatikusan tudnak kommunikálni és megosztani az adatokat. Az IoT-eszközök közé tartozhatnak érzékelők, elektronikus eszközök, járművek, háztartási készülékek és más típusú berendezések (Juliyanto et al., 2023). Az IoT célja, hogy széleskörű kapcsolatot teremtsen ezen eszközök között, lehetővé téve a zökkenőmentes adatcserét és együttműködést. Az IoT segítségével ezek az eszközök adatokat gyűjthetnek, információkat oszthatnak meg, és automatikusan intézkedhetnek az észlelt körülmények alapján (Liu et al., 2022). Az e-orr és az IoT integrációja lehetővé teszi, hogy az e-orr csatlakozzon az internethez és kommunikáljon más eszközökkel, ami valós idejű adatcserét, távirányítást és együttműködést tesz lehetővé. Az e-orr folyamatosan gyűjtheti az illatadatokat és elküldheti azokat egy felhőplatformra vagy központi szerverre, ahol jogosult felhasználók valós időben férhetnek hozzá és elemezhetik az adatokat okostelefonokon vagy számítógépeken keresztül. Ez korai észlelést és gyors döntéshozatalt tesz lehetővé a minőség-ellenőrzés, a veszélyes vegyi anyagok azonosítása és a gyártási folyamatok optimalizálása érdekében (Lin és Xiang, 2023). Az IoT-csatlakozású e-orr utasításokat is kaphat központi rendszertől az illatfigyelés elindításához vagy leállításához, értesítéseket küldhet bizonyos illatok észlelése esetén, és aktiválhat más rendszereket (Kumar et al., 2023). Az e-orr kapcsolatát az IoT-rendszerrel a 2. ábra szemlélteti.



2. ábra: Az e-orr integrálása az IoT-rendszerbe

Forrás: Saját készítésű ábra



Az e-orr más technológiákkal is együttműködhet. Az e-orr, amely az aromakomponenseket méri, együttműködve az e-szemmel (E-Eyes) (Wang et al., 2020), amely vizuális elemzést végez, átfogó információkat nyújt élelmiszerekről, italokról vagy vegyi anyagokról. Az e-fül (E-Ears) (Qu et al., 2023) további adatokat szolgáltat a hangokról és rezgésekről, míg az e-bőr (E-Skin) a textúráról és lágyságról nyújt információkat (Chen et al., 2021). Az e-nyelv (E-Tongue) pedig az ízprofilokat és kémiai összetevőket elemzi (Cho és Moazzem, 2022). Az összesített érzékelők kombinációja teljesebb és mélyebb érzékszervi megértést biztosít egy tárgyról vagy anyagról. Ez a rendszer számos területen alkalmazható, például élelmiszer-minőségértékelésben, biztonsági felügyeletben, kozmetikai termékfejlesztésben és kémiai minőségvizsgálatban. Az érzékelők integrációja lehetőséget nyújt komplexebb és pontosabb szenzoros rendszerek kifejlesztésére és a különböző ipari területeken történő jobb döntéshozatalra.

5. KÖVETKEZTETÉS

Az e-orr technológia integrációja különféle modern technológiákkal, mint például az IoT, a Blockchain, a mesterséges intelligencia, a Big Data, valamint a kiterjesztett és virtuális valóság, hatalmas lehetőségeket rejt magában az iparágak sokfélesége terén történő alkalmazásra. Az IoT integrációval az e-orr csatlakoztatható az internethez, ami lehetővé teszi a valós idejű adatcserét, a távoli felügyeletet és más eszközökkel való együttműködést. Ezáltal a technológia hozzájárul a megalapozott döntéshozatalhoz olyan területeken, mint a minőség-ellenőrzés, a veszélyes vegyi anyagok azonosítása és a termelés optimalizálása. A Blockchain technológia alkalmazása az e-orr adatainak biztonságát és nyomon követhetőségét növeli. Ez különösen jelentős az olyan iparágakban, amelyek az eredetiséget és a hitelességet helyezik előtérbe. Az e-orr és más szenzoros technológiák kombinációjával, mint az e-szem, e-fül, e-bőr és e-nyelv, egy átfogóbb érzékszervi elemzést eredményezhet és új lehetőségeket nyit meg a pontos és fejlett érzékelőrendszerek számára, amelyek számos ipari területen alkalmazhatóak. Az AR és VR technológiák lehetővé teszik az adatok vizuális megjelenítését, így a felhasználók könnyebben értelmezhetik és elemezhetik azokat.

Összességében az e-orr integrációja ezekkel a fejlett technológiákkal egy forradalmian új megközelítést kínál az érzékszervi elemzésben és az adatkezelésben, amely jelentős előnyökkel járhatnak a különböző ipari szektorokban. A valós idejű adatelemzés, a biztonságos adatkezelés és a pontos érzékszervi elemzés révén az e-orr technológia hozzájárulhat a hatékonyabb és fenntarthatóbb működéshez.



Evolution and applications of the electronic nose: II. The role of the electronic nose in food and agriculture

BERNADETT BANA*, ESZTER ZSÉDELY

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

Department of Animal Science, Mosonmagyaróvár, Hungary

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

Email: bana.bernadett@sze.hu

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

*Corresponding author/Levelező szerző

ABSTRACT

Electronic nose technology, with its sensitive sensors, can be used in many areas, especially in food quality assessment. It can detect volatile compounds that affect the aroma, taste and overall quality of food. It can be used to quickly and reliably measure the quality, shelf life, freshness and authenticity of food, as well as to detect contaminants, allergens and harmful substances. It is widely used in various sectors of the food industry, such as meat, oil, alcohol and tea. The electronic nose technology also helps in soil testing, plant disease detection and stable air quality detection. High quality feed production and regulatory compliance require increased quality control, which requires rapid, non-destructive and cost-effective analytical methods. Electronic Nose technology can be integrated with modern technologies such as IoT (Internet of Things), Blockchain, AI (Artificial Intelligence), Big Data, AR (Augmented Reality) and VR (Virtual Reality), which further expand its application potential and improve decision-making in various industries. The growing role of electronic nose technology can help various industries to optimise quality control processes and ensure sustainability.

Keywords: electronic nose, quality control, sustainable agriculture, future technology



IRODALOMJEGYZÉK

- Adak, M. F., & Yumusak, N. (2016). Classification of E-nose aroma data of four fruit types by ABC-based neural network. *Sensors*, 16(3), 304. <https://doi.org/10.3390/s16030304>
- Adamiec, J., Dolezal, M., Mikova, K., & Davidek, J. (2002). Changes in egg volatiles during storage. *Czech Journal of Food Sciences*, 20(2), 79-82. <https://doi.org/10.17221/3515-CJFS>
- Akyurek, H., & Okur, A. A. (2009). Effect of storage time, temperature and hen age on egg quality in free-range layer hens. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, 8(10), 1953-1958.
- Al-Dayyeni, W. S., Al-Yousif, S., Taher, M. M., Al-Faouri, A. W., Tahir, N. M., Jaber, M. M., & Saleh, A. H. (2021). A review on electronic nose: coherent taxonomy, classification, motivations, challenges, recommendations and datasets. *Ieee Access*, 9, 88535-88551. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3090165>
- Ali, M. M., Hashim, N., Abd Aziz, S., & Lasekan, O. (2020). Principles and recent advances in electronic nose for quality inspection of agricultural and food products. *Trends in Food Science & Technology*, 99, 1-10., <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.02.028>
- Aunsa-Ard, W., Pobkrut, T., Kerdcharoen, T., Prombaingoen, N., & Kijpreedaborisuthi, O. (2021a, January) *Electronic nose for monitoring of livestock farm odors (poultry farms)* [Conference session] (pp. 176-180). 13th International Conference on Knowledge and Smart Technology (KST). IEEE. <https://doi.org/10.1109/KST51265.2021.9415825>
- Aunsa-Ard, W., Pobkrut, T., Kerdcharoen, T., Siyang, S., & Prombaingoen, N. (2021b, April) *Development of intelligent electronic nose for livestock industries* [Conference session] (pp. 221-225). 7th International Conference on Engineering, Applied Sciences and Technology (ICEAST). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICEAST52143.2021.9426281>
- Anzivino, R., Sciancalepore, P. I., Dragonieri, S., Quaranta, V. N., Petrone, P., Petrone, D., & Carpagnano, G. E. (2022). The role of a polymer-based e-nose in the detection of head and neck cancer from exhaled breath. *Sensors*, 22(17), 6485. <https://doi.org/10.3390/s22176485>
- Asman, F. F., Permata, E., & Fatkhurrokhman, M. (2019). A prototype of smart lock based on internet of things (IoT) with ESP8266. *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro Komputer dan Informatika (JITEKI)*, 5(2), 101-111. <https://doi.org/10.26555/jiteki.v5i2.15317>
- Aguinaga Bósquez, J. P., Kovacs, Z., Gillay, Z., Bázár, G., Palkó, C., Hingyi, H., & Tóth, T. (2021). Evaluating the effect of a brewery by-product as feed supplementation on the quality of eggs by means of a human panel and E-Tongue and E-Nose analysis. *Chemosensors*, 9(8), 213. <https://doi.org/10.3390/chemosensors9080213>
- Barea-Ramos, J. D., Cascos, G., Mesías, M., Lozano, J., & Martín-Vertedor, D. (2022). Evaluation of the olfactory quality of roasted coffee beans using a digital nose. *Sensors*, 22(22), 8654. <https://doi.org/10.3390/s22228654>
- Bhattacharyya, N., Seth, S., Tudu, B., Tamuly, P., Jana, A., Ghosh, D., & Sabhapandit, S. (2007). Detection of optimum fermentation time for black tea manufacturing using electronic nose. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 122(2), 627-634. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2006.07.013>
- Bieganski, A., Jaromin-Glen, K., Guz, Ł., Łagód, G., Jozefaciuk, G., Franus, W., & Sobczuk, H. (2016). Evaluating soil moisture status using an e-nose. *Sensors*, 16(6), 886. <https://doi.org/10.3390/s16060886>
- Bieganski, A., Józefaciuk, G., Bandura, L., Guz, Ł., Łagód, G., & Franus, W. (2018). Evaluation of hydrocarbon soil pollution using e-nose. *Sensors*, 18(8), 2463. <https://doi.org/10.3390/s18082463>



- Biondi, E., Blasioli, S., Galeone, A., Spinelli, F., Cellini, A., Lucchese, C., & Braschi, I. (2014). Detection of potato brown rot and ring rot by electronic nose: From laboratory to real scale. *Talanta*, 129, 422-430. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2014.04.057>
- Braggins, T., Jamieson, P., Luckman, M., Nickless, E., Scott, G., Yang, D., & Andrewes, P. (2020). Variability between farms of New Zealand raw bovine milk flavour: Identification and characterisation of odorous outliers. *International Dairy Journal*, 111, 104835. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2020.104835>
- Caner, C. (2005). The effect of edible eggshell coatings on egg quality and consumer perception. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85(11), 1897-1902. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2185>
- Centonze, V., Lippolis, V., Cervellieri, S., Damascelli, A., Casiello, G., Pascale, M., & Longobardi, F. (2019). Discrimination of geographical origin of oranges (*Citrus sinensis* L. Osbeck) by mass spectrometry-based electronic nose and characterization of volatile compounds. *Food chemistry*, 277, 25-30. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.10.105>
- De Cesare, F., Pantalei, S., Zampetti, E., & Macagnano, A. (2008). Electronic nose and SPME techniques to monitor phenanthrene biodegradation in soil. *Sensors and Actuators B: chemical*, 131(1), 63-70. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2007.12.012>
- De Cesare, F., Di Mattia, E., Pantalei, S., Zampetti, E., Vinciguerra, V., Canganella, F., & Macagnano, A. (2011). Use of electronic nose technology to measure soil microbial activity through biogenic volatile organic compounds and gases release. *Soil Biology and Biochemistry*, 43(10), 2094-2107. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.06.009>
- Chen, J., Zhu, Y., Chang, X., Pan, D., Song, G., Guo, Z., & Naik, N. (2021). Recent progress in essential functions of soft electronic skin. *Advanced Functional Materials*, 31(42), 2104686. <https://doi.org/10.1002/adfm.202104686>
- Chen, Q., Liu, A., Zhao, J., & Ouyang, Q. (2013). Classification of tea category using a portable electronic nose based on an odor imaging sensor array. *Journal of pharmaceutical and biomedical analysis*, 84, 77-83. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2013.05.046>
- Cheng, S. M., Wang, J., Wang, Y. W., & Ma, Y. H. (2013). Research on distinguishing tomato seedling infected with early blight disease by electronic nose. *Bull. Sci. Technol*, 29, 68-77.
- Cheng, S. M., Wang, J., Wang, Y. W., & Wei, Z. B. (2017). *Discrimination of different types damage of tomato seedling by electronic nose* [Conference session]. ITM Web of conferences. EDP Sciences. <https://doi.org/10.1051/itmconf/20171101019>
- Chi, X., Zhang, Y., Zheng, N., Wang, J., & Liu, H. (2024). HS-GC-IMS and HS-SPME/GC-MS coupled with E-nose and E-tongue reveal the flavors of raw milk from different regions of China. *Current Research in Food Science*, 8, 100673. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2023.100673>
- Cho, S., & Moazzem, M. S. (2022). Recent applications of potentiometric electronic tongue and electronic nose in sensory evaluation. *Preventive nutrition and food science*, 27(4), 354. <https://doi.org/10.3746/pnf.2022.27.4.354>
- Chung, S. H., & Lee, K. W. (2014). Effect of hen age, storage duration and temperature on egg quality in laying hens. *International Journal of Poultry Science*, 13(11), 634. <https://doi.org/10.3923/ijps.2014.634.636>
- Claeys, W. L., Cardoen, S., Daube, G., De Block, J., Dewettinck, K., Dierick, K., & Herman, L. (2013). Raw or heated cow milk consumption: Review of risks and benefits. *Food control*, 31(1), 251-262. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2012.09.035>



- Coppa, M., Verdier-Metz, I., Ferlay, A., Pradel, P., Didienné, R., Farruggia, A., & Martin, B. (2011). Effect of different grazing systems on upland pastures compared with hay diet on cheese sensory properties evaluated at different ripening times. *International dairy journal*, 21(10), 815-822. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2011.04.006>
- Cui, S., Inocente, E. A. A., Acosta, N., Keener, H. M., Zhu, H., & Ling, P. P. (2019). Development of fast e-nose system for early-stage diagnosis of aphid-stressed tomato plants. *Sensors*, 19(16), 3480. <https://doi.org/10.3390/s19163480>
- Dutta, R., Hines, E. L., Gardner, J. W., Udrea, D. D., & Boilot, P. (2003). Non-destructive egg freshness determination: an electronic nose based approach. *Measurement Science and Technology*, 14(2), 190. <https://doi.org/10.1088/0957-0233/14/2/306>
- Emmelkamp, P. M., & Meyerbröcker, K. (2021). Virtual reality therapy in mental health. *Annual review of clinical psychology*, 17(1), 495-519. <https://doi.org/10.1146/annurev-clinpsy-081219-115923>
- Ezhilan, M., Nesakumar, N., Babu, K. J., Srinandan, C. S., & Rayappan, J. B. B. (2018). An Electronic Nose for Royal Delicious Apple Quality Assessment – A Tri-layer Approach. *Food Research International*, 109, 44-51. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.04.009>
- Farahiyah, D., & Purnama, B. W. (2021). Design Prototype of Temperature and Humidity Control and Monitoring on Weaver Ant Cage based on Internet of Things. *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro Komputer Dan Informatika*, 7(2), 326-337. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2011.04.006>
- Feng, L., Zhang, M., Bhandari, B., & Guo, Z. (2018). A novel method using MOS electronic nose and ELM for predicting postharvest quality of cherry tomato fruit treated with high pressure argon. *Computers and Electronics in Agriculture*, 154, 411-419. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.09.032>
- Feng, X., Wang, H., Wang, Z., Huang, P., & Kan, J. (2022). Discrimination and characterization of the volatile organic compounds in eight kinds of huajiao with geographical indication of China using electronic nose, HS-GC-IMS and HS-SPME-GC-MS. *Food Chemistry*, 375, 131671. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131671>
- Feyzioglu, A., & Taspinar, Y. S. (2023). Beef quality classification with reduced e-nose data features according to beef cut types. *Sensors*, 23(4), 2222. <https://doi.org/10.3390/s23042222>
- Gado, Y. H., Bazár, Gy., Radó-Nyiczky, É., Orosz, Sz., & Tóth, T. (2022). Description of the Odor Profile of Fermented Alfalfa and Rye Silages Using an Electronic Nose. *Hungarian Journal of Animal Production/Állattenyésztés és Takarmányozás*, 71(1).
- Gamboa, J. C. R., da Silva, A. J., de Andrade Lima, L. L., & Ferreira, T. A. (2019). Wine quality rapid detection using a compact electronic nose system: Application focused on spoilage thresholds by acetic acid. *Lwt*, 108, 377-384. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.03.074>
- Gancarz, M., Wawrzyniak, J., Gawrysiak-Witulska, M., Wiącek, D., Nawrocka, A., Tadla, M., & Rusinek, R. (2017). Application of electronic nose with MOS sensors to prediction of rapeseed quality. *Measurement*, 103, 227-234. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2017.02.042>
- Garcia, C. D. C., Pereira Netto, A. D., Silva, M. C. D., Catão, A. A., Souza, I. A. D., Farias, L. S., ... & Silva Junior, A. I. D. (2018). Relative importance and interaction of roasting variables in coffee roasting process. *Coffee Science*, 13(3), 379-388. <https://doi.org/10.25186/cs.v13i3.1483>
- Gila, D. M. M., García, J. G., Bellincontro, A., Mencarelli, F., & Ortega, J. G. (2020). Fast tool based on electronic nose to predict olive fruit quality after harvest. *Postharvest Biology and Technology*, 160, 111058. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2019.111058>



- Giungato, P., Laiola, E., & Nicolardi, V. (2017). Evaluation of industrial roasting degree of coffee beans by using an electronic nose and a stepwise backward selection of predictors. *Food Analytical Methods*, 10, 3424-3433. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.148>
- Gu, S., Chen, W., Wang, Z., Wang, J., & Huo, Y. (2020). Rapid detection of *Aspergillus* spp. infection levels on milled rice by headspace-gas chromatography ion-mobility spectrometry (HS-GC-IMS) and E-nose. *LWT*, 132, 109758. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109758>
- Grassi, S., Benedetti, S., Magnani, L., Pianezzola, A., & Buratti, S. (2022). Seafood freshness: e-nose data for classification purposes. *Food Control*, 138, 108994. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.108994>
- Haddi, Z., Amari, A., Ali, A. O., El Bari, N., Barhoumi, H., Maaref, A., & Bouchikhi, B. E. N. A. (2011). Discrimination and identification of geographical origin virgin olive oil by an e-nose based on MOS sensors and pattern recognition techniques. *Procedia Engineering*, 25, 1137-1140. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.12.280>
- Haddi, Z., El Barbri, N., Tahri, K., Bougrini, M., El Bari, N., Llobet, E., & Bouchikhi, B. (2015). Instrumental assessment of red meat origins and their storage time using electronic sensing systems. *Analytical Methods*, 7(12), 5193-5203. <https://doi.org/10.1039/C5AY00572H>
- Hua, Z., Yu, Y., Zhao, C., Zong, J., Shi, Y., & Men, H. (2021). A feature dimensionality reduction strategy coupled with an electronic nose to identify the quality of egg. *Journal of Food Process Engineering*, 44(11), e13873. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13873>
- Jana, A., Bandyopadhyay, R., Tudu, B., Roy, J. K., Bhattacharyya, N., Adhikari, B., & Mukherjee, S. (2011, September). *Classification of aromatic and non-aromatic rice using electronic nose and artificial neural network* [Conference session] (pp. 291-294). 2011 IEEE Recent Advances in Intelligent Computational Systems. IEEE. <https://doi.org/10.1109/RAICS.2011.6069320>
- Jia, W., Liang, G., Wang, Y. és Wang, J. (2018). Elektronikus orrok, mint hatékony eszköz a húsminőség felméréséhez: egy mini áttekintés. *Food Analytical Methods*, 11, 2916-2924. <https://doi.org/10.1007/s12161-018-1283-Xu>
- Jiang, H., & Chen, Q. (2014). Development of electronic nose and near infrared spectroscopy analysis techniques to monitor the critical time in SSF process of feed protein. *Sensors*, 14(10), 19441-19456. <https://doi.org/10.3390/s141019441>
- Jiang, H., Chen, Q., & Liu, G. (2014). Monitoring of solid-state fermentation of protein feed by electronic nose and chemometric analysis. *Process Biochemistry*, 49(4), 583-588. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2014.01.006>
- Jo, C., Ahn, D. U., Liu, X. D., Kim, K. H., & Nam, K. C. (2011). Effects of chitosan coating and storage with dry ice on the freshness and quality of eggs. *Poultry science*, 90(2), 467-472. <https://doi.org/10.3382/ps.2010-00966>
- Juliyanto, M. A., Sulistiyowati, I., & Ahfas, A. (2023). Design of Turbine Aerator with Remote Control and Internet of Things (IoT)-Based Water pH Monitoring. *Buletin Ilmiah Sarjana Teknik Elektro*, 5(1), 156-166. <https://doi.org/10.12928/biste.v5i1.7863>
- Khan, F., Kumar, R. L., & Kadry, S. (2021). Hybrid reality-based education expansion system for non-traditional learning. *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro Komputer dan Informatika*, 7(1), 185. <https://doi.org/10.26555/jiteki.v7i1.20568>
- Konduru, T., Rains, GC és Li, C. (2015). A savanyú bőrrel fertőzött hagyma észlelése testreszabott gázérzékelő tömb segítségével. *Élelmiszer-mérnöki folyóirat*, 160, 19-27. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.03.025>



- Kumar, K., Chaudhri, S. N., Rajput, N. S., Shvetsov, A. V., Sahal, R., & Alsamhi, S. H. (2023). An IoT-enabled E-Nose for remote detection and monitoring of airborne pollution hazards using LoRa network protocol. *Sensors*, 23(10), 4885. <https://doi.org/10.3390/s23104885>
- Labreche, S., Bazzo, S., Cade, S., & Chanie, E. (2005). Shelf life determination by electronic nose: application to milk. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 106(1), 199-206. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2004.06.027>
- Laga, S. A., & Sarno, R. (2020). Temperature effect of electronic nose sampling for classifying mixture of beef and pork. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 19(3), 1626-1634. <https://doi.org/10.11591/IJEECS.V19.I3.PP1626-1634>
- Lee, W. H., Choi, S., Oh, I. N., Shim, J. Y., Lee, K. S., An, G., & Park, J. T. (2017). Multivariate classification of the geographic origin of Chinese cabbage using an electronic nose-mass spectrometry. *Food Science and Biotechnology*, 26, 603-609. <https://doi.org/10.1007/s10068-017-0102-6>
- Limbo, S., Torri, L., Sinelli, N., Franzetti, L., & Casiraghi, E. (2010). Evaluation and predictive modeling of shelf life of minced beef stored in high-oxygen modified atmosphere packaging at different temperatures. *Meat science*, 84(1), 129-136. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.08.035>
- Lin, Z., & Xiang, W. (2023). Wireless Sensing and Networking for the Internet of Things. *Sensors*, 23(3), 1461. <https://doi.org/10.3390/s23031461>
- Liu, H., Li, Q., Yan, B., Zhang, L., & Gu, Y. (2018). Bionic electronic nose based on MOS sensors array and machine learning algorithms used for wine properties detection. *Sensors*, 19(1), 45. <https://doi.org/10.3390/s19010045>
- Liu, M., Pan, L., Tu, K., & Liu, P. (2010). Determination of egg freshness during shelf life with electronic nose. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 26(4), 317-321.
- Liu, Q., Trevisan, A. H., Yang, M., & Mascarenhas, J. (2022). A framework of digital technologies for the circular economy: Digital functions and mechanisms. *Business Strategy and the Environment*, 31(5), 2171-2192. <https://doi.org/10.1002/bse.3015>
- Lu, W., Yu, W., Gan, C., Liu, Q., & Li, J. (2015, December). *Application of electronic nose technology in the detection of wheat quality* [Conference session] (pp. 133-136). 2015 International Conference on Intelligent Transportation, Big Data and Smart City. IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICITBS.2015.39>
- Luo, D., Chen, J., Gao, L., Liu, Y., & Wu, J. (2017). Geographical origin identification and quality control of Chinese chrysanthemum flower teas using gas chromatography – mass spectrometry and olfactometry and electronic nose combined with principal component analysis. *International Journal of Food Science & Technology*, 52(3), 714-723. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13326>
- McGann, J. P. (2017). Poor human olfaction is a 19th-century myth. *Science*, 356(6338), eaam7263. <https://doi.org/10.1126/science.aam7263>
- Mei, C., Shu, D., Jiang, H., Huang, W., & Liu, G. (2014). Monitoring of straw solid-state fermentation based on e-nose and gaussian process. *Trans Chin Soc Agric Mach*, 45, 188-193.
- Mishra, G., Srivastava, S., Panda, B. K., & Mishra, H. N. (2018). Sensor array optimization and determination of *Rhizopertha dominica* infestation in wheat using hybrid neuro-fuzzy-assisted electronic nose analysis. *Analytical Methods*, 10(47), 5687-5695. <https://doi.org/10.1039/C8AY01921E>
- Naranjo, A., Martínez-Lapuente, L., Ayestarán, B., Guadalupe, Z., Pérez, I., Canals, C., & Adell, E. (2021). Aromatic and sensory characterization of Maturana Blanca wines made with different technologies. *Beverages*, 7(1), 10. <https://doi.org/10.3390/beverages7010010>



- Narushin, V. G., Romanov, M. N., Lu, G., Cugley, J., & Griffin, D. K. (2021). How oviform is the chicken egg? New mathematical insight into the old oomorphological problem. *Food Control*, 119, 107484. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107484>
- No, H. K., Prinyawiwatkul, W., & Meyers, S. P. (2005). Comparison of shelf life of eggs coated with chitosans prepared under various deproteinization and demineralization times. *Journal of Food Science*, 70(6), s377-s382. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.tb11459.x>
- O'Callaghan, T. F., Hennessy, D., McAuliffe, S., Kilcawley, K. N., O'Donovan, M., Dillon, P., & Stanton, C. (2018). Corrigendum to "Effect of pasture versus indoor feeding systems on raw milk composition and quality over an entire lactation" (J. Dairy Sci. 99: 9424–9440). *Journal of Dairy Science*, 101(9), 8615. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-10985>
- Omatu, S., Yano, M., & Ikeda, Y. (2015, April). *Smell classification of wines by the learning vector quantization method* [Conference session] (pp. 195-200). 30th Annual ACM Symposium on Applied Computing. <https://doi.org/10.1145/2695664.2695833>
- Penza, M., & Cassano, G. (2004). Recognition of adulteration of Italian wines by thin-film multisensor array and artificial neural networks. *Analytica chimica acta*, 509(2), 159-177. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2003.12.026>
- Philippe, F. X., Cabaraux, J. F., & Nicks, B. (2011). Ammonia emissions from pig houses: Influencing factors and mitigation techniques. *Agriculture, ecosystems & environment*, 141(3-4), 245-260. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.03.012>
- Pobkrut, T., Siyang, S., Thepudom, T., & Kerdcharoen, T. (2018, January). *Development of malodor monitoring system based on electronic nose technology* (pp. 5-6). 2018 IEEE 8th International Nanoelectronics Conferences (INEC). IEEE. <https://doi.org/10.1109/INEC.2018.8441933>
- Pulluri, K. K., & Kumar, V. N. (2021, August). *Wine quality assessment using electronic nose* [Conference session]. (pp. 1-5). 2021 Asian Conference on Innovation in Technology (ASIANCON). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ASIANCON51346.2021.9544828>
- Pulluri, K. K., & Kumar, V. N. (2022). Qualitative and quantitative detection of food adulteration using a smart E-Nose. *Sensors*, 22(20), 7789. <https://doi.org/10.3390/s22207789>
- Purwono, P., Ma'arif, A., Negara, I. S. M., Rahmانيar, W., & Rahmawan, J. (2021). Linkage detection of features that cause stroke using feyn qlattice machine learning model. *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro Komputer dan Informatika*, 3(7), 423-432. <https://dx.doi.org/10.26555/jiteki.v7i3.22237>
- Qu, X., Yang, Z., Cheng, J., Li, Z., & Ji, L. (2023). Development and application of nanogenerators in humanoid robotics. *Nano Trends*, 3, 100013. <https://doi.org/10.1016/j.nwnano.2023.100013>
- Roy, M., & Yadav, B. K. (2022). Electronic nose for detection of food adulteration: A review. *Journal of Food Science and Technology*, 59, 846-858. <https://doi.org/10.1007/s13197-021-05057-w>
- Rahmati, S., Julkapli, N. M., Yehye, W. A., & Basirun, W. J. (2016). Identification of meat origin in food products – A review. *Food control*, 68, 379-390. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.04.013>
- Ren, Y., Ramaswamy, H. S., Li, Y., Yuan, C., & Ren, X. (2018). Classification of impact injury of apples using electronic nose coupled with multivariate statistical analyses. *Journal of Food Process Engineering*, 41(5), e12698. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12698>
- Ribéreau-Gayon, P., Glories, Y., Maujean, A., & Dubourdieu, D. (2021). *Handbook of Enology, volume 2: The chemistry of wine stabilization and treatments*. John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/0470010398>
- Rohman, A. (2018). The employment of Fourier transform infrared spectroscopy coupled with chemometrics techniques for traceability and authentication of meat and meat products. *Journal of advanced veterinary and animal research*, 6(1), 9. <https://doi.org/10.5455/javar.2019.f306>



- Ruengdech, A., & Siripatrawan, U. (2020). Visualization of mulberry tea quality using an electronic sensor array, SPME-GC/MS, and sensory evaluation. *Food Bioscience*, 36, 100593. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100593>
- Rutolo, M. F., Clarkson, J. P., & Covington, J. A. (2018). The use of an electronic nose to detect early signs of soft-rot infection in potatoes. *Biosystems engineering*, 167, 137-143. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2018.01.001>
- Sanaeifar, A., Mohtasebi, S. S., Ghasemi-Varnamkhasti, M., & Ahmadi, H. (2016). Application of MOS based electronic nose for the prediction of banana quality properties. *Measurement*, 82, 105-114. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2015.12.041>
- Sánchez, R., Boselli, E., Fernández, A., Arroyo, P., Lozano, J., & Martín-Vertedor, D. (2022). Determination of the masking effect of the 'zapateria' defect in flavoured stuffed olives using E-nose. *Molecules*, 27(13), 4300. <https://doi.org/10.3390/molecules27134300>
- Sarno, R., Triyana, K., Sabilla, S. I., Wijaya, D. R., Sunaryono, D., & Fatichah, C. (2020). Detecting pork adulteration in beef for halal authentication using an optimized electronic nose system. *IEEE Access*, 8, 221700-221711. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3043394>
- Severini, C., Ricci, I., Marone, M., Derossi, A., & De Pilli, T. (2015). Changes in the aromatic profile of espresso coffee as a function of the grinding grade and extraction time: a study by the electronic nose system. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(8), 2321-2327. <https://doi.org/10.1021/jf505691u>
- Spooner, A., Chen, E., Sowmya, A., Sachdev, P., Kochan, N. A., Trollor, J., & Brodaty, H. (2020). A comparison of machine learning methods for survival analysis of high-dimensional clinical data for dementia prediction. *Scientific reports*, 10(1), 20410. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-77220-w>
- Tabidi, M. H. (2011). Impact of storage period and quality on composition of table egg. *Advances in Environmental Biology*, 5(5), 856-861.
- Tan, J., & Xu, J. (2020). Applications of electronic nose (e-nose) and electronic tongue (e-tongue) in food quality-related properties determination: A review. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 4, 104-115. <https://doi.org/10.1016/j.aiia.2020.06.003>
- Thazin, Y., Eamsa-Ard, T., Pobkrut, T., & Kerdcharoen, T. (2019, June). *Formalin adulteration detection in food using E-nose based on nanocomposite gas sensors* [Conference session] (pp. 64-67). 2019 IEEE International Conference on Consumer Electronics-Asia (ICCE-Asia). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICCE-Asia46551.2019.8941601>
- Tian, X. Y., Cai, Q., & Zhang, Y. M. (2012). Rapid classification of hairtail fish and pork freshness using an electronic nose based on the PCA method. *Sensors*, 12(1), 260-277. <https://doi.org/10.3390/s120100260>
- Tohidi, M., Ghasemi-Varnamkhasti, M., Ghafarinia, V., Bonyadian, M., & Mohtasebi, S. S. (2018). Development of a metal oxide semiconductor-based artificial nose as a fast, reliable and non-expensive analytical technique for aroma profiling of milk adulteration. *International dairy journal*, 77, 38-46. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2017.09.003>
- Xu, S., Sun, X., Lu, H., Yang, H., Ruan, Q., Huang, H., & Chen, M. (2018). Detecting and monitoring the flavor of tomato (*Solanum lycopersicum*) under the impact of postharvest handlings by physicochemical parameters and electronic nose. *Sensors*, 18(6), 1847. <https://doi.org/10.3390/s18061847>
- Yakubu, H. G., Kovacs, Z., Toth, T., & Bazar, G. (2022). Trends in artificial aroma sensing by means of electronic nose technologies to advance dairy production – A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63(2), 234-248. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1945533>



- Yongwei, W., Wang, J., Zhou, B., & Lu, Q. (2009). Monitoring storage time and quality attribute of egg based on electronic nose. *Analytica Chimica Acta*, 650(2), 183-188. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2009.07.049>
- Vajdi, M., Varidi, M. J., Varidi, M., & Mohebbi, M. (2019). Using electronic nose to recognize fish spoilage with an optimum classifier. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 13, 1205-1217. <https://doi.org/10.1007/s11694-019-00036-4>
- Yudhana, A. (2023). Tsukamoto fuzzy inference system on Internet of Things-based for room temperature and humidity control. *IEEE Access*, 11, 6209-6227. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3236183>
- Wang, B., Xu, S., & Sun, D. W. (2010). Application of the electronic nose to the identification of different milk flavorings. *Food Research International*, 43(1), 255-262. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.09.018>
- Wang, Q., Jin, G., Jin, Y., Ma, M., Wang, N., Liu, C., & He, L. (2014). Discriminating eggs from different poultry species by fatty acids and volatiles profiling: Comparison of SPME-GC/MS, electronic nose, and principal component analysis method. *European journal of lipid science and technology*, 116(8), 1044-1053. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201400016>
- Wang, C., Zhang, X., & Hu, W. (2020). Organic photodiodes and phototransistors toward infrared detection: materials, devices, and applications. *Chemical Society Reviews*, 49(3), 653-670. <https://doi.org/10.1039/C9CS00431A>
- Wen, T., Zheng, L., Dong, S., Gong, Z., Sang, M., Long, X., & Peng, H. (2019). Rapid detection and classification of citrus fruits infestation by *Bactrocera dorsalis* (Hendel) based on electronic nose. *Postharvest Biology and Technology*, 147, 156-165. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.09.017>
- Widayanti, R., Harahap, E. P., Lutfiani, N., Oganda, F. P., & Manik, I. S. P. (2021). The impact of blockchain technology in higher education quality improvement. *J. Ilm. Tek. Elektro Komput. Dan Inform*, 7, 207-216. <https://doi.org/10.26555/jiteki.v7i2.20677>
- Wijaya, D. R., Sarno, R., & Zulaika, E. (2021). DWT/LSTM for electronic nose signal processing in beef quality monitoring. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 326, 128931. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2020.128931>
- Wijaya, D. R., Afianti, F., Arifianto, A., Rahmawati, D., & Kodogiannis, V. S. (2022). Ensemble machine learning approach for electronic nose signal processing. *Sensing and Bio-Sensing Research*, 36, 100495. <https://doi.org/10.1016/j.sbsr.2022.100495>
- Worku, A., Tóth, T., Orosz, S., Fébel, H., Kacsala, L., Húth, B., & Tóthi, R. (2021). Aroma profile, microbial and chemical quality of ensiled green forages mixtures of winter cereals and Italian ryegrass. *Agriculture*, 11(6), 512. <https://doi.org/10.3390/agriculture11060512>
- Zhang, F., Iliescu, D. D., Hines, E. L., & Leeson, M. S. (2011). Tomato Plant Health Monitoring: An Electronic Nose Approach. In E. Hines & M. Leeson (Eds.), *Intelligent Systems for Machine Olfaction: Tools and Methodologies* (pp. 231-248). IGI Global Scientific Publishing. <https://doi.org/10.4018/978-1-61520-915-6.ch009>
- Zhang, L., Guan, L., Lu, Z., Li, M., Wu, J., Cao, R., & Tian, J. (2019). Barrier-free patterned paper sensors for multiplexed heavy metal detection. *Talanta*, 196, 408-414. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2018.12.096>
- Zhao, X. J., Wu, H. L., Pan, L. Q., & Tu, K. (2014). Nondestructive prediction of postharvest strawberry quality by electronic nose. *Food Sci*, 35(18), 105-109. <https://doi.org/10.3390/s20113074>



- Zheng, Z., Li, L., Makhalanyane, T. P., Xu, C., Li, K., Xue, K., & Hao, Y. (2021). The composition of antibiotic resistance genes is not affected by grazing but is determined by microorganisms in grassland soils. *Science of the total environment*, 761, 143205. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143205>
- Zhou, C. L., Mi, L., Hu, X. Y., & Zhu, B. H. (2017). Evaluation of three pumpkin species: Correlation with physicochemical, antioxidant properties and classification using SPME-GC–MS and E-nose methods. *Journal of food science and technology*, 54, 3118-3131. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2748-8>
- Zhou, G., Lane, G., Cooper, S. L., Kahnt, T., & Zelano, C. (2019). Characterizing functional pathways of the human olfactory system. *eLife*, 8, e47177. <https://doi.org/10.7554/eLife.47177>

©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/).





Tojáshéjszín, mint monitoring eszköz

TORMA TÍMEA ÁGNES^{1*}, NAGY TAMÁS², KOVÁCSNÉ GAÁL KATALIN³

¹Intervet Hungária Kft., MSD Animal Health, Budapest

ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0007-6549-7002>

Email: tormatimeaagnes@gmail.com

²Gyermelyi Kft., Gyermely

ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0000-5564-9796>

³Széchenyi István Egyetem, Albert Kázmér Mosonmagyaróvári Kar

Állattudományi Tanszék, Mosonmagyaróvár

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-4448-7597>

*Corresponding author/Levelező szerző

Received/Érkezett: 2025.04.03.

Revised/Átdolgozva: 2025.05.18.

Accepted/Elfogadva: 2025.06.12.

Published/Megjelent: 2025.06.27.

ÖSSZEFOGLALÁS

A tojás, mint létfontosságú állati eredetű fehérjeforrás, nagy jelentőséggel bír az emberi táplálkozásban. A tojás minősége (összetétele, alakja, színe, héjminősége stb.) döntő szerepet játszik az élelmiszerként történő felhasználása mellett például a feldolgozhatóságában, tárolhatóságában, keltethetőségében, vagy a vakcina előállításban. Ezeket a tulajdonságokat a tojás alkotórészei együttesen, de külön-külön is befolyásolják. A fogyasztói igények eltérnek a tojáshéj színének tekintetében, vannak fehér és vannak barna héjú tojást preferáló vásárlók, de az árutojás színe mellett hangsúlyosabb lehet a szín tojáshéj minőséget befolyásoló szerepe. A protoporfirin és a biliverdin a madártojás színének óriási változatosságát eredményezi. A különböző tenyésztési irányok eltérő tojáshéjszín eredményeztek a hibrideknél. A barna héjú tojások pigmentációjának változása hangsúlyosabb a brojler típusú szülőpárok tojásaiban, mint barna tojás típusú tojóállományokban, ugyanakkor a hibridre jellemző tojáshéjszíntől való eltérés jelzésül szolgálhat az madarak egészségi állapotára, takarmányozására és a termeléssel kapcsolatos paraméterekre. A tojáshéjszín adatainak gyűjtésével a különböző tojáshéjszín változások tendenciája időben felismerhető, és az esetleges hibáknak megfelelő helyesbítő lépések megakadályozhatják az olyan szintű romlást, ami már a törékenyebb tojások megjelenéséhez vezethetnek. A gépi látást már alkalmazzák a tojások minőségi osztályozása során, ugyanakkor a tojáshéjszín elemzése még nem része a folyamatnak. A gépi látás használatával sokkal pontosabban érzékelhetőek a színeltérések, ezért az azonos állományoktól származó tojásoknál a színek varianciájában is meg lehet határozni egy tűréshatárt, hogy a tényleges, állományszintű eltéréseket detektáljuk. Ebben az irodalmi összefoglalásban a tojáshéj színének befolyásoló szerepét tanulmányoztuk azzal a céllal, hogy bemutassuk, hogy tojáshéjszín változásának hatása van egyéb tojáshéj minőségi mutatókra, melyek befolyásolhatják a héjszilárdságot, és ezen keresztül az árutojás minőséget, vagy a tenyésztojások keltethetőségét. Ezért a számítógépes képelemzési technikával és a gépi tanulás bevezetésével ez egy gyakorlatias monitoring eszköz lehet az ágazat számára.

Kulcsszavak: tojáshéj, héjszín, héjszín mérés, befolyásoló tényezők, gépi látás



1. HAZAI ÉS KÜLFÖLDI IRODALOM BEMUTATÁSA ÉS ÉRTÉKELÉSE

A szakirodalmi áttekintés a tojáshéj színének változásait befolyásoló tényezőket veszi számba és felméri a lehetőségét egy non-invazív, gépi látáson alapuló monitoring rendszer kidolgozásának.

1.1 A tojáshéj színe

A protoporfirin és a biliverdin jelenlétét már a késő krétai, madárszerű Maniraptora dinoszauruszok tojáshéjában is kimutatták (Wiemann et al., 2017).

Mind a meszes héj, mind a tojáshéj színének kialakítását befolyásoló és meghatározó héjpigment (protoporfirin) az uterusban képződik. Az uterusban a széteső vörösvérsejtekből a hemoglobin hematinná alakul át és abból képezik a madárméh sejtjei a pigmentet, de szintetizálódhatnak a pigmentek a héjmirigyben is (Hargitai et al., 2017; Sütő, 2013). Ennek a folyamatnak genetikai befolyásolása is ismert. Először is: a *CPOX* (koproporfirinogén III-oxidáz) magas szintű expressziója több protoporfirinogént és barna tojáshéj színt eredményez. Ezzel szemben a *FECH* (ferrochelataz) magas expressziója valószínűleg több protoporfirinogént alakított hemmé, csökkentette a protoporfirinogén szintjét a tojáshéjon belül, és világos színt eredményezett. Másodszor: a hem transzporterek a tojáshéj színét is befolyásolták (Zheng et al., 2022; Conder et al., 1991; Li et al., 2013). Ugyanakkor, bizonyos fajták vagy keresztezések, mint például az araucana, az olive egger, az easter egger olyan genetikai változatot hordoznak, ami a protoporfirin helyett a biliverdin lerakódását eredményezi, ez kék és zöld tojáshéjat jelent (Simmons, 2017).

Valójában a madarak tojásai kevésbé változatos színűek, mint a tollaik. Ezt dokumentálják Stoddard és Prum (2011) szín összehasonlító vizsgálataikban, valamint egy másik közlésükben Stoddard és Stevens (2011) leírták, hogy a kakukk képes a tojáshéj színében alkalmazkodni a gazdamadár fészkében található tojások színéhez.

A héjképződés a leghosszabb folyamat a tojásképződés alatt. A héjképződés előrehaladásával, a nem fehér színű tojást tojó tyúkok vertikális tojáshéj rétegében, a héjmirigy felszínét borító hámsejtek elkezdik szintetizálni és felhalmozni a pigmenteket. A három fő pigment a biliverdin-IX, annak cinkkelátja és a protoporfirin-IX. A protoporfirint a tojótyúkok tojásában található fő tojáshéjpigmentként azonosították más pigmentek, például a biliverdin mellett (Miksik et al., 1996; Mertens et al., 2010). Korábbi kutatások szerint a protoporfirin nagy része a kutikulában található (Miksik et al., 2007; Nys és Guyot, 2011). Samiullah és Roberts (2013) eltérést tapasztaltak a héjban mért protoporfirin mennyiségében azokhoz a héjakhoz képest, ahol eltávolították a kutikulát. Ez lehetővé tette a protoporfirin relatív mennyiségének kiszámítását a meszes tojáshéjban és a tojáshéj kutikula rétegében. A protoporfirin pigment nagy része a tojáshéj meszes részében (80-87 %), kisebb része a kutikulában (13-20 %) található. Ezek az eredmények arra utalnak, hogy a barna héjú tojások héjszínének megőrzésére összpontosító vizsgálatoknak figyelembe kell venniük a tojásképződés azon szakaszát, amelyben a pigmentlerakódás csökkenése következhet be. Az ép kutikulával fedett tojások a*(piros) színe arra utal, hogy a 33 és 50 élethetes tojásokban több volt a kutikula, mint a 67 hetes tojásoknál (*ld. 1. egyenlet*).

Tehát a héj színe nem a képződött pigment mennyiségétől, hanem annak lerakódásától, beépülésétől függ. A fehér tojást tojó tyúkok nem képesek pigmenteket lerakni a tojáshéjban, ami a fehér szín megjelenését eredményezi. Ezzel szemben a barna tojást tojók olyan génekkel rendelkeznek, amelyek lehetővé teszik számukra, hogy különböző mennyiségű porfirint rakjanak le a tojáshéjba. A két genotípus keresztezéséből keletkeznek a színezett, de világos tojásokat tojó madarak (tint).



Az ovipozíció ideje is befolyásolja a barna héjú tojások színének árnyalatát. Samiullah et al. (2016b) vizsgálataikban öt időintervallumot határoztak meg. A megvilágítás az állományban 04:00-20:00 óráig tartott és a tojást fél óránként gyűjtötték. A megvilágítás kezdetétől számítva 0,5-2, 2-3,5, 3,5-5 óra, és így további, összesen öt időperiódust dolgoztak fel a tojás minőségi tulajdonságait, köztük a héjszínt illetően. A legtöbb tojást a madarak 0-3,5 óra között tojták (51 %), és megfigyelték, hogy a színmérésnél az azt követő időszakban magasabb L^* értéket mértek (1. egyenlet), ami a világosabb tojásszínt detektálta. Tehát a kora reggeli órákban lerakott tojások sötétebb színárnyalatúak, mint a későbbi időpontban lerakottak.

A tojánhéjszín komplex tényező. Az abszolút héjszínt befolyásolja a genetika, a takarmányozás, az egészségi állapot, a stressz és ezek együttes hatása. A relatív színt befolyásolja a kutikula színe, vastagsága és fényessége (gloss) (Li et al., 2020). A kutikula a tojánhéj kalcikristályos felszínére rakódik kb. 10 μm vastagságban. A fényesség attól függ, hogy mennyire sima a kutikula felülete (Bogenfürst, 2020).

A héj színe kizárólag kereskedelmi jellegű tulajdonság, a tojás belső minőségével nincs összefüggésben, de ha betegség, vagy takarmányozási hiba miatt alakul ki a tojánhéj színének megváltozása (mikotoxinok), az már a belső összetételt is befolyásolhatja (Bogenfürst, 2020).

Hazánkban a fogyasztók, hagyomány szerint, túlnyomórészt a barna színű tojásokat kedvelik. A vásárlói preferencián felül a tojások színe összefüggésbe hozható azok minőségi paramétereivel is, mint például héjerősséggel, fehérje magassággal és zsírtartalommal (Jones et al., 2010), valamint a barna héjú tojások színét adó pigmentnek a Gram-pozitív baktériumokkal szemben tanúsított antimikrobiális hatása is bebizonyosodott (Ishikawa et al., 2010).

Az étkezési tojásnál fontos szempont a tojás vizuális megjelenése, akárcsak a szín homogenitása és fényessége.

Bármilyen hasznosítási iránynál azonban lényeges, hogy a kutikula és a tojánhéj, mint természetes „csomagolóanyag” és védelmi funkció elsődleges, mind a mechanikai hatások, mind a fertőző ágensek ellen. Ökológiai szerepe (vadon élő madarak rejtőzködő tojásai) mellett, szerepet játszik a hőszabályozásban (Bakken, 1978) és egyes szerzők szerint hozzájárul a tojánhéj mechanikai megerősítéséhez (Gosler et al., 2011).

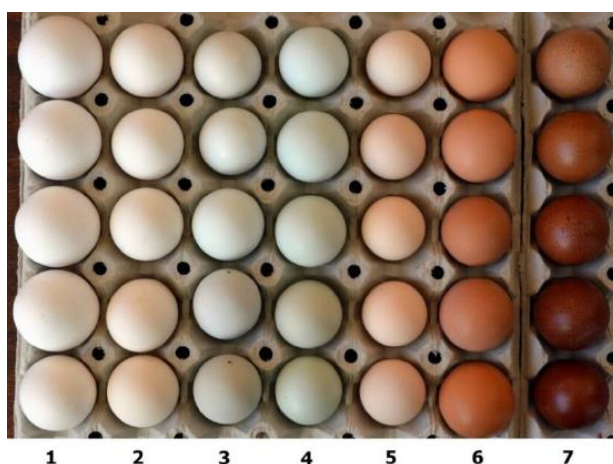
Baylan et al. (2017) a Ross-308 brojler szülőpártól származó tojásokon azt vizsgálták, hogy a héj színe befolyásolja-e a tojássárgája antitest tartalmát, illetve a kikelt csibék növekedési erélyét. Összesen 1350 tojás héjszínét koloriméter segítségével három csoportba sorolták: sötét ($E < 64$), közepes ($E = 64-67$) és világos ($E > 67$) színű tojások. A színcsoportok közötti különbség a tojás tömege, az alakindex, a héj tömege és a *Haugh-egység* tekintetében nem volt jelentős. A tojássárgája antitest-tartalma viszont (IgY) 6,658 mg/ml volt a sötét színű csoportban, 5,130 mg/ml a közepes színű és 5,242 mg/ml a világos színű csoportban. Az inkubációs jellemzők közül a termékenységi ráta sorrendben 94,66 %, 92,14 % és 87,92 % a sötét, közepes és világos héjszínű tojásokban, a keltethetőség 87,00 %, 84,28 %, 80,57 %, ugyanebben a sorrendben. A héjszín nem volt hatással a csibék növekedési teljesítményre.

Şekeroglu és Duman (2009) brojler szülőpárok tojásainál végzett vizsgálatukban szintén szín szerint csoportosították a tojásokat és azt állapították meg, hogy a tojánhéj színe ($E > 83,50$) szignifikáns összefüggést mutatott a héjvastagsággal, a termékenységgel, a keltethetőséggel, és az előző vizsgálattal ellentétben a naposcsibék testtömeg gyarapodásával a nevelés alatt.

1.2 A tojánhéjszín mérése

A tojánhéj színei vizuálisan, vagy koloriméter segítségével az L^* (világosság), a^* (pirosság) és b^* (sárgaság) színekoordináták mérésével és az abból számított krómaértékkel (C^*) jellemezhetők (1. egyenlet). Alternatív megoldásként speciális eszközök, például nagy teljesítményű folyadék-kromatográfia képes közvetlenül kimutatni a tojánhéj pigmenteket (van de Braak, 2023).

A hagyományos tudományos módszer a tojánhéj színintenzitásának mérésére a fény visszatükröződését (reflektivitást) mérő eszközt használja. A héj reflektivitása, amelyet százalékban fejeznek ki, azt mutatja meg, hogy mennyi fény verődik vissza a tojásfelületről. Ez a héj színének világosságát jelzi — minél magasabb az érték, annál világosabb a héj és fordítva. A reflektométer az abszolút sötét és fehér között (0,0-80,3 %) több mint 800 árnyalat megkülönböztetésére alkalmas (Sütő, 2013).



1. kép: Színárnyalatok a tojánhéjban

Forrás: Lukanov et al.,2015

A reflektivitás mérése gyors módszer, de nem olyan pontos, mint más színmérésre alkalmazott technikák, mivel csak egy kis területet (1 cm-es kör) mér. A leggyakrabban használt módszer a tojánhéj színének meghatározására a spektrofotometria. Az egyik legújabb spektrofotométer, a *Konica Minolta kézi spektrofotométer* (CM-2600d), az $L^*a^*b^*$ színrendszeren alapul. A műszer belső lámpával diffúz módon megvilágított területről merőlegesen visszavert fénynyaláb intenzitásának spektrális eloszlását méri a látható hullámhossz tartományban 400-700 nm-ig (Konrád, 2008). Ebben a rendszerben az L^* érték maximuma 100 (fehér) és minimuma 0 (fekete), és ez az egyik legfontosabb elem a héj színének mérésében. Az a^* érték esetében a zöld a negatív irányban, míg a piros a pozitív irányban található. A b^* esetén a kék a negatív irány, a sárga pedig a pozitív irány felé mutat. A tojánhéj E színértéket az 1. egyenlettel számítjuk ki (Commission International de L'Eclairage (CIE); Zeng et al., 2022).

$$E = \sqrt{L^2 + a^2 + b^2} \quad (1)$$

Ahol:

L = világosság, a = vörösség, b = sárgaság.



Lukanov et al. (2015) a vizsgálatokat 48 hetes korú, különböző genotípusú fehér, tint, kékeszöld és barna tojást tojó tyúkokkal végezték. A CIE $L^*a^*b^*$ színrendszer. L^* , a^* és b^* értékek alapján C^* (Chroma) értékkel minősítették a tojások színét. Az L^* értékek statisztikailag szignifikánsan csökkentek ($P < 0,001$) a fehér héjú tojáshéjánál 92,7-ről 40,2-re a sötétbarna tojáshoz képest. A barna tojás a^* értéke 1,9-ről (krémszín) 22,5-re nőtt a sötétbarna héjánál. A kékeszöld és színezett tojásokban az L^* és a b^* értékek hasonlóak voltak. A tojások színében azonban nem csak a csoportokon belül volt jelentős eltérés, hanem a fajtán belül is. A shell color index (SCI) megbízható színazonosításra alkalmas a barna és a nem pigmentált tojásoknál. A 70-nél alacsonyabb SCI-értékek ajánlhatók referenciaértékként a barna, pigmentált héj, míg a 85 feletti SCI-értékek a fehér héjú tojásoknál.

A Hunter laboratóriumi kalorimétert ($L^*a^*b^*$ rendszeren működve, 1. egyenlet) is használták a tojáshéj színének mérésére, de az értékek kevésbé szabványosak a Minolta színmérőkhöz képest (Wei és Bitgood, 1990). Egy alternatíva a Konica Minolta spektrofotométerhez a *Color Computer Vision gép*, amely nagyobb felületet mér és képes szennyeződések is detektálni (Mertens et al., 2005). Ez a gép szintén $L^*a^*b^*$ színrendszert használ (Odabasi et al., 2007).

A képelemzés egy másik hatékony eszköz a tojáshéj színének meghatározásában. Ebben a módszerben a héj egy téglalap alakú területét, a mérés tartományát (region of interest, ROI) választják ki, és a gép kiszámítja a piros, a zöld és a kék színcsatornák pixelintenzitásának átlagos értékeit (Sezer és Tekelioglu, 2009).

1.3 A tojáshéjszín befolyásoló tényezők

1.3.1 Az állomány életkora

A kereskedelmi típusú fehér és barna tojást tojó tyúkoknak a tojásai az életkor előre haladásával növekszenek (Fletcher et al., 1981; Sell et al., 1987). A kereskedelmi forgalomban lévő Hy-Line barna tyúkok például körülbelül 45 g tömegű tojással kezdik a tojástermelést. Ezt követően a tojás tömege és mérete meredeken növekszik a tojástermelés kezdete utáni első 8 héten belül. Bár a tojás tömegének/méretének növekedési üteme lelassul, a tojások további 20 hétig egyre nehezebbek és nagyobbak lesznek. Ettől kezdve a Hy-Line Brown tojástömege átlagosan körülbelül 66-67 grammra kiegyenlítődik (Hy-Line International, 2018). A barna tojáshéj pigmentjei így nagyobb tojásfelületen rakódnak le, ahogy a tyúk öregszik és a tojásméret nő. Ugyanakkor semmilyen bizonyíték nem utal a termelt pigment mennyiségének tojásméret szerinti eltérésére (Solomon, 1997). Ennek eredményeként az adott állományból származó tojásokon a héjak színe az állomány életkorával halványabbá válik (Lang és Wells, 1987; Solomon, 1997).

Ezt a megfigyelést támasztja alá Butcher és Miles (2018) miszerint, ahogy a tyúk idősödik, nő a tojás mérete, a tojás kúpos vége kevesebb pigmentet tartalmaz, mint a tompa vége, de szerintük ennek oka lehet a tojás nagysága mellett a pigmentszintézis csökkenése.

Odabasi et al. (2007) eredményei szerint a tojások világosabb színűek lettek, ahogy a Hy-Line Brown állomány idősödött, ezt főként az L^* értékek növekedése mutatta (1. egyenlet). A pigmentáció csökkenése a pirosság (a^*) csökkenésével járt. Amikor az L^* és a^* értékeket a tojás súlyához viszonyították, a változás mértéke csökkent, jelezve, hogy a tojás mérete fontos tényező a héj színének kialakításában. A kutatás megállapította, hogy az idősebb tyúkok világosabb tojásokat tojnak, mivel a tojás méretének növekedése nem járt arányos pigment mennyiség-növekedéssel a héjon. Véleményünk szerint ez felhívja a figyelmet a csúcstermelés utáni testtömeg kordában tartására is, mivel ezek alapján a nagyobb tojástömeg nem csak a héj vékonyodásával, de annak halványodásával is járhat.



Li Q et al. (2020) kísérleteikben megvizsgálták a fajta és az életkor hatását a tojáshéj fényére. Megállapították, hogy a különböző fajták tekintetében nagyon különbözőek voltak a kutikula fényességi (GU) értékei, az életkorral csökkent a színeképet befolyásoló a^* , b^* érték (1. egyenlet) és a kutikulával fedettség szintén csökkenést mutatott. A tojáshéj fénye (GU), amit a kutikula egyenletes, sima felszíne ad, nagy változatosságot mutatott az életkor előrehaladásával.

Kérdés az, hogy ez vajon a kor előrehaladásával magyarázható-e, mert még korábban, Grover et al. (1980) ugyan megállapítottak egy kis ($r = 0,175$), de erősen szignifikáns ($P < 0,01$) korrelációs együtthatót a héj színe és fajsúlya között a 15 hetes tojástermelési időszak alatt, de az idő múlásával megfigyelt erősebb korreláció ezen tulajdonságok között inkább a madarak életkorával volt összefüggésben.

Az eddigi irodalmi adatok azt mutatják, hogy a színnel kapcsolatos adatgyűjtés során a tojások egyedi tömegmérésére is gondot kell fordítani és a tojáshéjszínnel együtt analizálni kell, ugyanis mind az étkezési, mind pedig a keltető tojás minőségét befolyásoló tényezőről van szó, ami a héj szilárdságában mutatkozik meg, ha a világosabb héjszín a nagyobb tömegű tojáson jelentkezik ugyanazon állományban.

1.3.2 Takarmányozás

A tenyésztójas-előállítókat már régóta foglalkoztatta, hogy van-e összefüggés a tojáshéjszín és a tojáshéj egyéb minőségi paraméterei között. Joseph et al. (1999) kísérletükben 4 különböző genetikai vonaltól származó tenyésztójasokat vizsgáltak, 3 különböző takarmányozási program mellett. A tojásokat négy genotípustól (Avian 24K, Cobb 500, Hubbard Hi-Y és Shaver Starbro) gyűjtötték be, három etetési programot alkalmaztak (*ad libitum*, gyors és lassú adagolás). A héj színe és a héj minősége közötti lehetséges összefüggés az *ad libitum* etetésnél jelent meg. Minél sötétebb barna a tojáshéj, annál nagyobb a fajsúly, és így annál jobb a héj minősége. Bár ez a korreláció gyenge volt, szignifikánsnak bizonyult. Ebben a kísérletben már számítógépes képelemzést alkalmaztak. A tojásokról egyedileg készített, fekete-fehér színskálában digitalizált képet a *Northern Exposure* nevű szoftverrel analizálták. A szoftver kiszámított egy átlagot minden tojás héjszínének intenzitására (ebben az esetben átlagos szürkeértékére), azonban a szerzők ezt a módszert nem találták alkalmasnak a további vizsgálatokhoz.

Drabik et al. (2021) vizsgálatainak célja az volt, hogy a különböző héjszínű tojásokat értékeljék abban a tekintetben, hogy azok befolyásolják-e a tojás minőségét. A minta 180 tojásból állt (60/csoport), aracuana, marasi barna és fehér leghorn tyúkok tojásai képezték a vizsgálat tárgyát. A tojáshéj színét $CIE L^*a^*b^*$ rendszerrel mérték (1. egyenlet). A minőségértékelés az egész tojás (tömeg, fajsúly, ásványi elemek aránya, alakindex), sárgája (tömeg, szín, index, pH), fehérje (tömeg, magasság, pH) és héj (szín, szilárdság, tömeg, vastagság, sűrűség) jellemzőit tartalmazta. Elemezték a tojáshéj ásványi összetételét. A vizsgált színek tojásmínőségi jellemzőkre gyakorolt hatása azonban eltérő volt, és az egész tojás és az albumin tulajdonságok esetében a fehér szín ($P \leq 0,05$), míg a héj vastagsága tekintetében a sötétbarna szín ($P \leq 0,05$) volt a legkedvezőbb. A tojáshéj színe befolyásolta az ásványi anyag összetétel változásait ($P < 0,001$), kivéve a kálium- és nátriumtartalmat, míg az egyes ásványi elemek héjban való aránya korrelált az $L^*a^*b^*$ színtér koordinátákkal ($P \leq 0,05$). Amint arra Solomon (1997) rámutatott, a vas, a cink vagy a mangán nagyobb mennyiségben van jelen a sötétebb héjban, mert részt vesznek annak színezésében. A cink tekintetében azonban Drabik et al. (2021) vizsgálatai nem erősítik meg ezeket a megfigyeléseket, mivel a cink legmagasabb koncentrációját az aracuana tojáshéjban regisztrálták. Ezek a



megfigyelések összefüggésbe hozhatók Kennedy és Vevers (1976) korábbi elemzéseivel, amelyek a biliverdint és a cink-kelátot az araucana egyik fő héjpigmentjeként azonosítják.

Az eddigi irodalmakból világossá válik, hogy a tojás színének ugyanazon állományon belüli változása (világosodása) függ a tojáshéj minőségétől, illetve a tojás nagyságtól, az pedig összefüggésben van a takarmányozással, a meszes héj kialakulásának ásványi anyag ellátottságával.

1.3.3 Tartásmód, stressz, management hibák

A baromfik viselkedése számos külső és belső tényező egymásra hatásától függ, és meghatározza a madarak komfort érzetét, esetenként számukra kellemetlen hatásokat kifejtve komoly termelési kieséseket, betegségeket okozhat. A tartási rendszerek, az etetési, itatási technológiák, a klimatizáció és a világítási programok külön-külön is és kölcsönhatásaikban is jelentős hatótényezők a tojástermelésben. Például a telepítési sűrűség optimumának átlépése, ami zsúfoltsággal, élettér csökkenéssel jár, ha volierekben, vagy mélyalmos tartástechnológiában, iparszerűen tartják a tojótyúkokat, stressz tényezőként hatnak, fokozva a szociális rangsor által kiváltott egyéb tényezőket (csipkedés, agresszivitás). A tojásképződést és a tojásrakást befolyásoló tényezőkről van szó, ugyanis ezek a tényezők a stressz hormonok, különösen az adrenalin felszabadulását eredményezhetik. Ez a hormon a vérbe kerülve felelős a tojásrakás késleltetéséért és a héjmirigy kutikula képződésének leállításáért. Ezek a tényezők világosabb tojáshéjak keletkezését okozhatják, ami gyakran annak a következménye, hogy amorf kalcium-karbonát rakódik le egy már meglévő, teljesen kialakult kutikulára, vagy egy hiányos kutikula alakul ki, amelyet a kutikulaképződés idő előtti leállása okoz (Butcher és Miles, 2018), és Samiullah és Roberts (2013) szerint pedig a kutikulában található a héj pigment 13-20 %-a.

Zsédely et al. (2023) tojásmintákat vizsgáltak 30, 60, 72 hetes életkorban, eltérő tartástechnológiájú (mélyalmos kifutózott, illetve mélyalmos), de azonos genotípusú tyúkoknál a tojás tápanyag tartalmát, illetve a tojáshéj színét illetően. A héjszín mérésére a *Konica Minolta Chroma Meter C-R 400* típusú színmérőt használták. A nevelési rendszer nem befolyásolta a héj szilárdságát, az albumin magasságát és a *Haugh egységeket*, de a héj színét szignifikánsan világosabbnak (nagyobb L^* és alacsonyabb a^* és b^*) mérték a kifutózott mélyalmos, mint a zárt mélyalmos csoportban. Minelli et al. (2007) közlése szerint a tartási rendszernek (ketrec vs. szabadtartás) jelentős hatása van a héj színére (L^* , a^* , b^*), Haugh egységre. Sokołowicz et al. (2018) ugyanezekről a következtetésekről számolt be a héj színével kapcsolatban.

Valójában a stressz és a világosabb színű tojások közötti kapcsolat a kutatások szerint olyan erős, hogy a kutatók azt javasolták, hogy a héj pigmentvesztése alapot jelenthet a tyúkokat érő stresszhatások felmérésére szolgáló non-invazív módszer kidolgozásához (Hughes et al., 1986; Butcher és Miles, 2018).

Az alternatív tartástechnológiák mellett a módosított ketrecek is hatással vannak a tojásvisszatartásra, és ezen keresztül a tojáshéj színére. Walker (1998) megállapította, hogy a zártabb tojófészkekből származó tojások sötétebbek színűek voltak, mint a nyitott fészkekből származók. Ez azt jelenti, hogy a zártabb fészkek esetében a tyúkok nyugodtabbak voltak, és rövidebb volt a tojásvisszatartás ideje. Az eredmények alátámasztják a korábbi bizonyítékokat, miszerint a stressz csökkentése és a jólét javítása érdekében kívánatos zártabb fészkelő helyek kialakítása.

Hughes et al. (1986) megfigyelései során a tojótyúkokat kizárták a fészkükből, ami a tojások visszatartását eredményezte a héjmirigyben. Amikor a kizárást, mint stresszt, kísérletesen előidéztek, és adrenalin fecskendeztek a madarakba, az növelte a tojások visszatartását és a kóros



tojáshéjú tojások megnövekedett arányát eredményezte az azt követő 10 napban. A dózis-válasz hatás tehát nyilvánvaló volt.

A management hibák, melyek mind az étkezési, mind a tenyésztójas előállításnál előfordulhatnak, és főképpen a szervezési, technológiai, takarmányozási hibákban csúcsosodnak ki, mind stresszorként hatnak a tojásképződés során, melyek a fent említett módokon befolyásolhatják a tojáshéj színének változását.

1.3.4 Baromfibetegségek

Számos vírusos baromfibetegség, mint például az IBV, az ND, az ED-76 (egg drop syndrome) és a madárinfluenza (AI) járhat a tojástermelés mennyiségi és minőségi megváltozásával (Saif et al., 2008). Ezek a vírusok specifikus affinitást mutatnak a légúti és a reprodukív traktus nyálkahártyájához. Mivel a vírus közvetlenül megfertőzi és károsítja a reprodukív rendszert, a betegség jelei közvetett módon a traktus termékében, a tojásban nyilvánulnak meg. Így a tojástermelés csökken, a tojáshéj elvékonyodik, abnormálisan világos, és szabálytalan körvonalú lesz. ED-76 esetében a héj nélküli tojások is megjelenhetnek.

A *Coronaviridae* családba tartozó IBV széles körű elterjedtségének, gyors szaporodásának és genetikai variációjának köszönhetően számos országban okoz jelentős gazdasági károkat fiatal állatok elhullása és felnőtt állatok termelési mutatóinak romlásán keresztül (Yuan et al., 2022).

A barna tollú tojótyúk esetében a fertőző bronchitis felelős lehet a tojáshéj minőségének romlásáért és a héj világosabb színének kialakulásáért (Chousalkar et al., 2009). Ennek oka, hogy a betegséget okozó koronavírus hajlamos elszaporodni a különféle hámszövetekben, beleértve a légcsövet, a tüdőt, a vesét, a beleket, a petefészket és a tojócsövet (Uenaka et al., 1998; Ignjatovic et al., 2002), és a protoporfirin szintézis helye pedig a madárméh hámszöve.

A különböző törzsek eltérő affinitással rendelkeznek az egyes szervek sejtjeihez: bizonyos törzsek inkább az ivarszervekben, mások inkább a vese szövetben szaporodnak, de a vese szöveti tropizmust mutató törzsek is okozhatják világosabb színű tojások termelését (Chousalkar et al., 2009). Kísérleti fertőzéssel azt is kimutatták, hogy az IBV képes megfertőzni a petevezető bármely szakaszát és a különböző IBV törzsek eltérő affinitást mutatnak az egyes tojócső szakaszokhoz, ezáltal meghatározva a károsodás lokalizációját és mértékét (Chousalkar et al., 2007).

A petevezető morfológiai állapota konzisztens az adott állat által megtermelt tojás minőségével és a tubuláris mirigyek alulfejlettsége összefüggésbe hozható a rossz minőségű tojások termelésével napos kori IBV fertőzés esetén (Crinion, 1972).

Az IBV vírusfertőzés esetén megfigyelhető csökkent takarmány, és vízfogyasztás, valamint a vírus szaporodás által okozott lokális és szisztémás károsító hatások együttesen vezetnek petefészkek sorvadáshoz és a megtermelt tojások mennyiségi és minőségi romlásához. A csökkent takarmány- és vízfogyasztás önmagában is képes regresszív elváltozásokat okozni a tojótyúk ivarszerveiben és csökkenteni a termelési mutatókat, de ezen szervi változások gyorsan helyreállhatnak a megfelelő takarmányozási körülmények újbóli fennállása esetén (Sevoian és Levine 1957).

Az ivarszervek mikroszkópos vizsgálata azt bizonyítja, hogy a takarmánymegvonás miatti stressz okozta regresszív elváltozás a petevezető méretének arányos csökkenéséhez vezet, ezért az epithel sejtek formájában nem figyelhető meg változás és a csillók száma és mérete sem károsodik. Ezzel szemben egy IBV vírusfertőzés során az egyes tojócső szakaszok aránytalanul károsodnak: a magnum, isthmus és uterus epithel rétegeinek a magassága csökken, a sejtek alakja megváltozik, a csillók károsodnak, vagy helyenként teljesen eltűnnek és a tubuláris mirigyek kitágulnak, ezek pedig egy súlyosabb fokú és tartósabb regresszióhoz vezetnek (Sevoian és Levine, 1957).



Chousalkar et al. (2007) ehhez hasonló eredményeket publikált kísérleti IBV fertőzést követően: egyes egyedekben atrofizálódott petevezető, gyulladós sejtek infiltrációja és a tubuláris mirigyek tágulata volt megfigyelhető és ezen állatok tojástermelése leállt. A többi fertőzött állatban csupán a tojáshéjak kifakulása volt tapasztalható, megtartott termelési mutatók mellett.

Crinion (1972) nem talált szignifikáns különbséget a napos korban IBV vírussal fertőzött és kontroll csoport között *Haugh egységben*, tojástömegben, sűrűségben, vagy héjvastagságban, mégis a fertőzött csoport tojásainak a Haugh egység eredményeiben tízszeres variációt tapasztalt. A tojástermeléshez szükséges anyagok tehát megfelelő mennyiségben jutnak el a petevezetőbe, viszont azok beépülése nem tud megfelelő módon megvalósulni a vírusreplikáció okozta sejtkárosodás következtében. Azon állatok, amelyek a kísérlet során kizárólag méshéj nélküli tojásokat termeltek, feltehetően a naposkori IBV fertőzés következtében kialakuló, maradandó petevezető károsodást szenvedtek el.

Az IBV fertőzések okozta tojáshéjszín fakulás összefüggésben áll a PP IX csökkent szintézisével és/vagy tojáshéjba történő csökkent lerakódásával, mivel a vírusfertőzés hatására kialakult, világosabb színű tojáshéjakból mindig alacsonyabb mennyiségű PP IX mérhető egységnyi tömegű tojáshéjra nézve (Samiullah et al., 2016a).

Élő attenuált VicS strain IBV vírussal való tízszeres dózisu fertőzés esetén is tapasztalhatunk tojáshéjszín fakulást és formaváltozást, azonban a vizsgált törzs nem okozott tojástermelés csökkenést és petevezető károsodást, és a hatása kifejezettebb volt azon egyedekben, melyek jérce korban nem immunizálódtak a fertőző bronchitis vírusával szemben (Chousalkar et al., 2009). Más vizsgálatok szerint a tojástermelés alatti rendszeres, 8 hetente történő permetezéssel vakcinázás VicS strain IBV vakcinával szignifikánsan csökkentette az Isa barna típusú tojóhibridek termelését a kontroll csoporthoz képest (Sulaiman és Roberts, 2011).

Az IBV-t taglaló szakkönyvek javarészt a betegség tojástermelés csökkentő hatását, vékony héjú, héj nélküli, vagy durva felszínű és fakó tojások megjelenését taglalják, és említést tesznek a klasszikus „bronchitis tojás” megjelenésről, ami ráncos és hullámos felszínű (Cook et al., 2012; Cavanagh és Gelb, 2008).

A különböző törzseket vizsgáló kutatások ellentétes, vagy részben ellentétes eredményei szintén bizonyítják azt a megfigyelést, miszerint különböző törzsek eltérő kórélettani elváltozásokat tudnak kialakítani házityúkban. Ezen felül az egyes tyúkfajták IBV vírussal szembeni érzékenységének is meghatározó szerepe lehet a tojócsőben kialakuló károsodás mértékében, ugyanis fehér leghorn típusú fajtában súlyosabb elváltozásokat írtak le, mint barna Isa fajtában (Chousalkar et al., 2009).

Az említett vizsgálatok tehát eltérő és néhol ellentmondó eredményeket mutattak be az egyes IBV törzsek által okozott fertőzések során tapasztalt termelési és tojásmínőségi mutatók tekintetében házityúkban, azonban a tojás depigmentáltságát okozó közvetlen és közvetett szignifikáns hatás számos szerző által került bizonyításra. A vírus által okozott, tojócsövet érintő csökkent pigment termelés és/vagy beépítés pontos mechanizmusa nem teljesen tisztázott, de összefüggésben lehet a vírusreplikáció hatására kimutatható csökkent mitokondrium számmal az uterusban (Khan et al., 2019). A baromfipestist (ND) okozó paramyxovírus tojástermelésre és tojáshéjminőségre gyakorolt kártételét a tojótyúkok a vérszérum kalcium és foszfor koncentrációjával ellenőrizték Igwe et al. (2018). A fertőzött csoportok tojástermelése szignifikánsan csökkent, még a vakcinázott csoporté is, ezzel együtt a foszfor koncentráció a vérszérumban szintén. A baromfipestissel fertőzött tojótyúkok tojástermelése pozitívan erősen korrelált a szérum foszforszint csökkenésével. A nem



vakcinázott, befertőzött csoportokban volt jelentős a hófehér (hipózott) tojások megjelenése, és emelkedett a magas arányú puha héjú és törött tojások aránya.

Baromfipestis ellen vakcinázott és vakcinázatlan állatok kísérleti fertőzését végezte el Igwe et al. (2018) és a vizsgálatok során azt tapasztalták, hogy a vakcinázatlan állatok esetén jelentős mértékű romlás volt látható a tojástermelésben és a tojáshéjak színében, valamint minőségében is. A kórszövettani elváltozások a látott tünetekkel összhangban álltak: a petevezető súlyos fokú gyulladással elváltozása, szövetelhalás, atrófia és a csillók teljes pusztulása, melyek leginkább az uterust érintették.

Ezzel szemben a vakcinázott és vvNDV vírussal fertőzött állatok esetén nem volt megfigyelhető szín- és minőségváltozás és a termelés csökkenése is enyhébb fokú volt, de fontos észben tartani, hogy még vakcinázott állományokban is jelentkezhet tojástermelés kiesés egy vadvírus fertőzés esetén. Baromfipestis elleni vakcinavírussal történő kísérleti fertőzés során is csak enyhébb elváltozásokat tapasztalhatunk: petevezető ödéma, valamint limfocitózis és plazmasejtes beszűrődése (Biswal és Morril, 1954; Bwala et al., 2012).

Az említett megfigyelések alapján tehát az IBV-hez hasonlóan a baromfipestis esetén is figyelembe kell venni az egyes vírustörzsek patogenitását a vakcinázási program kialakításakor, és kiemelt figyelmet kell szentelni a járványvédelmi szabályok betartásának is. A vakcinázás, habár megvédi az állatokat a vvND által okozott klinikai tünetek többségének megjelenésétől, mint például a tojáshéjszín kifakulása és a héjminőség romlása, de a tojástermelés csökkenése nem ritka jelenség egy vadvírus fertőzés során (Alexander és Senne, 2016).

A baromfipestis által okozott depigmentációnak és héjminőség romlásnak a pontos mechanizmusa még nem ismert, de feltételezhetően összefüggésben áll a víruszaporodás során látott kórszövettani elváltozásokkal (Li et al., 2016) (mint ahogy azt a bronchitis vírus esetén is láthattuk), valamint a vérben mért foszfor koncentráció csökkenésével. Li et al. (2016) azt is kimutatták, hogy egy erősen patogén NDV fertőzés esetén az uterus *CaBP-D28k* mRNS expressziója szignifikánsan alacsonyabb, mint a kontroll csoporté, ez pedig összefüggésben áll a tojáshéj minőségével és kalcium koncentrációjával. Li et al. (2017) ugyanezen gén (*CaBP-D28k*) csökkent expresszióját mutatták ki kísérleti madárinfluenza fertőzés során, ami összeköthető a csökkent tojástermeléssel és a tojáshéjminőség romlásával.

Kanárikkal végzett, kísérleti úton előállított vérszegénység esetén negatív összefüggést találtak a plazma és az ürülék protoporfirin-koncentrációi között a tojásrakás során és a tojáshéj barna színe között. Ez az eredmény arra utal, hogy megnövekedett a protoporfirin termelése a májban, amely megemelkedhetett a plazma és az ürülék protoporfirin koncentrációiban, és gátolhatta a tojáshéj protoporfirin pigmentációját, valószínűleg az enzimaktivitások befolyásolása révén. Ez alapján feltételezték, hogy a pigment de novo termelődik a kanári héjmirigyében, de a keringő pigmentek befolyásolhatják a héjmirigyek pigment szintézisét, így összekapcsolva a tojó fiziológiai állapotát a tojáshéj színével (Hargitai et al., 2017).

Han et al. (2021) szintén kutatták a máj szerepét a tojáshéj barna színének kialakulásában. Kísérletükben összehasonlító transzkriptomikai analízist végeztek idős, Hy-Line brown tojótyúkok májában, ahol a barna tojáshéj színe eltérő volt, és megállapították, hogy a sötétebb héjú (színlegyezőn 14,8) tojást tojó tyúkok májában számos, immunválaszhoz és vírusellenes hatáshoz kapcsolódó gén expressziója magasabb volt, mint a világosabb színű (színlegyezőn 9,7) tojást tojó társaikéban.

A héj pigmentációjának gyors csökkenése gyakori bizonyos gyógyszerek, például a szulfonamid kezelést követően. A tyúkoknak napi 5 mg-os dózisban adott nicarbazin kokcidiosztatikum 24 órán



belül halványabb színű tojások termelését eredményezi. Nagyobb dózisok a tojáshéj kutikula teljes depigmentációjához vezethetnek (Butcher és Miles, 2018).

Tojótyúkknál és szülőpárállományoknál a vírusos eredetű anémiai mellett gondolnunk kell a külső-belső paraziták okozta anémiára is, ami szintén okozhatja a tojások színének változását (madártetű atka, kokcidiózis).

1.4 Gépi látórendszerek és képfeldolgozó algoritmus használata

Az automatizált, gépi látórendszerek (Machine Vision System, MVS) forradalmasították szinte az összes iparágat. A nagy teljesítményű számítási erőforrások és a számítógépes látástechnikák, például a tárgyfelismerés és a képszegmentálás 2000-es években bekövetkezett fejlődésével, valamint a mély neurális hálózatok 2010-es években történő megjelenésével a látásalapú rendszerek teljesítménye jelentősen megnőtt (Ghazal et al., 2024).

A gépi látórendszereket a környezetből származó vizuális információk feldolgozására és értelmezésére, míg a mesterséges intelligencia (MI) technológiákat a gépi tanulási algoritmusokkal együtt a minták felismerésére és a cselekvések, események előrejelzésére alkalmazzák. Ezek az intelligens rendszerek az időbeli tanulás által javítják a teljesítményüket.

A mezőgazdaságban használt képalkotó technológiák lehetővé teszik a növények valós idejű vizsgálatát és monitorozását a jobb egészségi állapotfelmérés, a hozambecslés és a talajviszonyok meghatározása érdekében, ami jobb minőségű terményhez és fejlettebb tervezéshez vezet (Ghazal et al., 2024).

A tojások külső – belső hibáinak és a tojáshéj repedéseinek vizsgálatára egyre szélesebb körben használt módszer olyan gépi látórendszer, amely világítási rendszert és szoftveralgoritmusokat integrál az emberi ellenőrzés alternatívájaként.

So et al. (2022) összegezték a hibás tojások kimutatásához eddig üzemi és kísérleti körülmények között alkalmazott módszereket (gépi látás, spektroszkópia, akusztikai válasz, módosított nyomás, hiperspektrális képalkotás) és algoritmusokat.

A képalkotást használó rendszerekben az intenzív fény áthatol az ép és a belső hibás (vérfolt, húsfolt) tojásokon. Nasiri et al. (2020) szintén az átvilágított tojások képét használták és szennyezettséggel kombinált, véres és törött (törött, repedt vagy lyuk a tojáshéjon) tojások alapján tanították a mélytanulás modellt, amivel átlagosan 94,84-es teljes pontosságot értek el ötszörös keresztvalidáció használatával.

Az ép tojások képeinek színe jellemzően sárga, míg a hibás tojások képein a vérfoltok piros színben jelennek meg (Dehrouyeh et al., 2010). Bár Dehrouyeh et al. (2010) különböző megvilágítású tojásokról készült képeket használtak az algoritmushoz, az RGB (piros, zöld, kék) színes képeket szürkeárnyaltos (színárnyalat, telítettség, világosság) képekké alakították. A továbbiakban színárnyalat-hisztogramot használtak a vérfoltok kimutatására, és a hisztogram két végének maximális értékeit választották ki a hibadetektálás kritériumaként.

Yang et al. (2023) munkájuk során egyedi képeket készítettek a fehér héjú tojásokról és egy kétlépcsős modellt fejlesztettek ki *valós idejű többfeladatos detektálás* (real-time multitask detection, RTMDet) és véletlen erdő (Random Forest) alapján a tojás kategóriájának és tömegének előrejelzésére. A modell *konvolúciós neurális hálózatot* (CNN) használt és regressziós technikákat a tojások együttes osztályozására és tömegmérésére.

Az osztályozás során nagyon jól működött a modell a véres tojások esetében, mivel a fehér tojáshéjon megjelenő vörös foltok miatt, a *CNN modell* képes volt jellemzőtérképek (feature map) kinyerésére. Az RTMDet-et használták a tojások osztályozáshoz szükséges jellemzőinek rendezésére



és kinyerésére, a kinyert jellemzők (tojás hosszúság és szélesség) alapján pedig egy *Random Forest algoritmust* használtak a tojástömeg előrejelzésére.

Annak ellenére, hogy Milovanovic et al. (2021) megállapították, hogy a gépi látási rendszerekkel a különböző baromfiafajoktól származó tojások színe pontosabb mérhető, mint a *Minolta színmérővel*, a módszer még nem került bevezetésre üzemi körülmények között.

A következő lépés annak vizsgálata, hogy a jelenleg gépilátáson alapuló tojásosztályozási rendszerek, módosított algoritmust használva, alkalmasak-e a tojáshéjszín meghatározására. Ez lehetőséget adna arra, hogy a már egyéb funkcióra elkészített képeket (szennyezettség, törött tojás) a tojáshéjszín bemeneteként alkalmazzuk.

Bár Yang et al. (2023) által választott megoldások megfeleltek a kitűzött célnak (legjobb osztályozási pontosság 94,80 % és 96,0 % volt az R^2 regressziós modell esetében), a tojáshéjszín modellhez a növénytermesztésben, a színeltérésen alapuló módszereket felhasználva, további lehetőségek nyílnak a modell kidolgozásra.

Vrochidou et al. (2021) a szőlő érettségének fokát ellenőrző, gépi látáson alapuló modellben a színskálákat három érettségi fokozathoz – érett, éretlen és túlrett – képhisztogramokhoz rendelték. Majd támogató *vektoros regresszor* (Support Vector Regressor, SVR) módszert alkalmaztak a szőlő érettségének alakulását követő színskálák létrehozására. Következő lépésként adatbányászati algoritmusokat használtak a színjellemzők kinyerésére az RGB színanalízisű képek mérési tartományának (ROI) standard és átlagos eltéréseiből. A modell teljesítményét a négyzetes középértékből kapták meg K-szoros keresztvalidáció segítségével.

A spenótnál alkalmazott modell (Haider et al., 2021) más megközelítés, de tojáshéjszínre átültetve is izgalmas eredményt hozhat. A spenót esetében a képet úgy készítették, hogy a levelet egy speciálisan tervezett táblára helyezték, amely az adott növény referencia zöld és sárga színeit tartalmazza. A javasolt algoritmus automatikusan kinyeri a levelet a képből, és kiszámítja a színbeli hasonlóságot a referencia színekkel. Majd ebből az elemzésből definiálnak egy zöld színérték (GCV) indexet, amely nitrogénindikátorként szolgál. Munkájuk során különböző színtávolság-modellek értékelését is elvégezték, hogy megtalálják azt a modellt, amely képes pontosan rögzíteni a színkülönbségeket.

A tojáshéjszín esetében, a kép *RGB színanalízisében* a vörösség lehet fontos, mivel a sötétebb barna tojáshéjban magasabb az a^* (pirosság) tényező (Samiullah és Roberts, 2013; Lukanov et al., 2015).

Az ebben a fejezetben leírt, a gépilátáson alapuló, a tojásválogatásra és a növénytermesztésben alkalmazott eljárásokból javasolt elindulni egy olyan *Machine Learning modell* megalkotásához, ami alkalmas a tojáshéjszín meghatározására és az ezen alapuló monitoring rendszer kidolgozására.

2. KÖVETKEZTETÉSEK

A tojáshéj színe fajra, fajtára, hibridre jellemző, attól függően, hogy protoporfirin vagy biliverdin épül be a tojáshéj külső rétegébe. A kutikulába beépült színanyagok és a kutikula felszínének simasága is hozzájárul ahhoz, hogy milyen színűnek látjuk a tojást. Ennek megfelelően, minden fajnak, fajtának, hibridnek más a tojáshéj színe, ami egészséges állapotban, optimális körülmények esetén jellemző rá. Ezt tekinthetjük szín-alapvonalnak, amit viszonyítási értéként szolgálhat a színeltérések megállapításához.

A gépi látás használatával sokkal pontosabban érzékelhetőek a színeltérések, ezért az azonos állományoktól származó tojásoknál a színek varianciájában is meg lehet határozni egy tűréshatárt, hogy a tényleges, állományszintű eltéréseket detektáljuk.



A szín-alapvonalától való eltérést okozhatják normális élettani folyamatok is, mint például az állomány termelésben eltöltött ideje továbbá, hogy a tojást melyik napszakban tojta a tyúk (reggeli órákban lerakott tojások sötétebb színárnyalatúak). Ezt a gépi látás bevezetésekor is figyelembe kell venni és korcsoportonként újra meghatározni a szín alapvonalat és rögzíteni kell a napszakot, amikor a tojáshéjszín mérése történik.

A szín-alapvonalától való eltérést egyrészt okozhatják a tojáshéj és kutikula normális képződését megzavaró folyamatok, pl. tojásviszatarlás (stressz), az uterus megváltozott pH-ja (hőstressz), takarmányozási hibák (kokcidiosztatikum átszennyeződés, a héj képződéséhez szükséges mikro- és makroelemek, vitaminok hiánya), illetve a kalcium és foszfor anyagcserét befolyásoló egyéb tényezők (pl. egyes antibiotikumok, vírusos betegségek), másrészt okozhatja a tojáshéj képződésben részt vevő szervek, szövetek károsodásai, pl. fertőző betegségek következtében.

A gépi látást már alkalmazzák különböző típusú tojásválogatógépek a szennyezett és törött tojások kiválogatására. Az ott alkalmazott módszerek tojáshéjszínre adaptálása non-invazív monitoring eszközt kínál az ágazat számára. A gépi látással gyűjtött adatok felhasználhatók gépi tanulási modellek betanítására, ami a tendenciák alapján előre jelzi a termelés szempontjából kedvezőtlen trendeket. Ezáltal a helyesbítő tevékenység mielőbb eszközölhető, mivel a túlzott színvesztés egy bizonyos pont fölött már romló tojáshéj minőséggel is járhat, az időben kapott figyelmeztetéssel a tojáštörésből adódó gazdasági kár mérsékelhető vagy megelőzhető.



Eggshell Colour as a Monitoring Tool

ÁGNES TÍMEA TORMA^{1*}, TAMÁS NAGY², KATALIN KOVÁCSNÉ GAÁL³

¹Intervet Hungária Ltd., MSD Animal Health, Budapest, Hungary

²Gyermelyi Ltd., Gyermely, Hungary

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

ABSTRACT

Eggs, as a vital animal protein, are of great importance in human nutrition. In addition, the quality of eggs (composition, shape, colour, shell quality, etc.) plays a decisive role in their use as food, as well as in their processability, storage, hatchability, vaccine production, and more. These properties are influenced by the components of the egg, both together and separately. Consumer preferences for eggshell colour vary, with some buyers favouring white eggs and others opting for brown-shelled ones. However, beyond just the colour of the commercial eggs, the impact of colour on eggshell quality may be even more significant. Protoporphyrin and biliverdin result in a huge variety of bird egg colours. Different breeding directions have resulted in different eggshell colours in hybrids. The pigmentation of brown-shelled eggs is more pronounced in broiler breeder parent flock than in brown-egg-type layer flocks, but the deviation from the eggshell colour characteristic of the hybrid can serve as an indicator of the health status of the birds, feeding and production-related parameters. By collecting eggshell colour data, the trend of different eggshell colour changes can be recognized in time, and corrective steps can be taken to prevent deterioration to a level that can lead to the appearance of more fragile eggs. Machine vision is already used in the quality classification of eggs, however, the analysis of eggshell colour is not yet part of the process. Using machine vision, colour differences can be detected much more accurately, therefore, a tolerance limit can be defined in the colour variance of eggs from the same flocks to detect actual, flock-level differences. In this literature review, we studied the influencing role of eggshell colour with the aim of demonstrating that changes in eggshell colour have an impact on other eggshell quality indicators, which can influence shell strength and, through this, commercial egg quality or hatchability of breeding eggs. Therefore, with the introduction of machine vision techniques and machine learning, this can be a practical tool for the sector.

Keywords: eggshell, shell colour, shell colour measurement, influencing factors, machine vision



IRODALOMJEGYZÉK

- Alexander D. J. & D. A. Senne, D. A. (2016). Newcastle Disease. In Saif, Y. M.; Fadly, A. M., Ames, *Diseases of poultry* (12th ed.). Iowa: Blackwell Pub.
- Bakken, G. S., Vanderbilt, V. C., Buttemer, W. A., Dawson, W. R. (1978) Avian eggs: thermoregulatory value of very high near-infrared reflectanc. *Science*, 200,321-323.
- Baylan, M., Celik, L. B., Akpinar, G. C., Alasahan, S., Kucukgul, A., & Dogan, S. C. (2017). Influence of eggshell colour on egg yolk antibody level, incubation results, and growth in broiler breeders. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 46, 105-112. <https://doi.org/10.1590/S1806-92902017000200004>
- Biswal, G., & Morrill, C. C. (1954). The pathology of the reproductive tract of laying pullets affected with Newcastle disease. *Poultry Science*, 33(5), 880-897. <https://doi.org/10.3382/ps.0330880>
- Bogenfürst, F. (2020). *A keltetés kézikönyve*. Forum, Budapest.
- van de Braak, T. (2023). *Eggshell color Eggsplained*. Hendrix Genetics. <https://layinghens.hendrix-genetics.com/en/articles/eggshell-color-eggsplained>
- Butcher, G. D. & Miles, R.D. (2018). Factors Causing Poor Pigmentation of Brown-Shelled Eggs. *IFAS Extension*, VM94. <https://edis.ifas.ufl.edu/publication/VM047>
- Bwala, D. G., Clift, S., Duncan, N. M., Bisschop, S. P., & Oludayo, F. F. (2012). Determination of the distribution of lentogenic vaccine and virulent Newcastle disease virus antigen in the oviduct of SPF and commercial hen using immunohistochemistry. *Research in Veterinary Science*, 93(1), 520-528. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2011.06.023>
- Cavanagh, D. & Gelb, J. (2008). Infectious bronchitis. In Saif, Y. M., Fadly, A. M., Glisson, J. R., McDougald, L. R., Nolan, L. K. & Swayne, D. E. (Eds), *Diseases of poultry* (pp. 117-133). Ames, Iowa Blackwell, USA.
- Commission International de L'Eclairage (CIE) *Colorimetry* (3rd ed.), CIE 015:2004. CIE Publications.
- Chousalkar, K. K., Roberts, J.R., & Reece, R. (2007). Comparative Histopathology of Two Serotypes of Infectious Bronchitis Virus (T and N1/88) In Laying Hens and Cockerels. *Poultry Science*, 86(1), 50-58. <https://doi.org/10.1093/ps/86.1.50>
- Chousalkar, K. K., Cheetham, B. F., & Roberts, J. R. (2009). Effects of infectious bronchitis virus vaccine on the oviduct of hens. *Vaccine*, 27(10), 1485–1489. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2009.01.012>
- Conder, L. H., Woodard, S. I., & Dailey, H. A. (1991). Multiple mechanisms for the regulation of haem synthesis during erythroid cell differentiation. Possible role for coproporphyrinogen oxidase. *The Biochemical Journal*, 275(2), 321-326. <https://doi.org/10.1042/bj2750321>
- Cook, J. K., Jackwood, M., & Jones, R. C. (2012). The long view: 40 years of infectious bronchitis research. *Avian Pathology*, 41(3), 239-250. <https://doi.org/10.1080/03079457.2012.680432>
- Crinion, R. A. P. (1972). Egg quality and production following infectious bronchitis virus exposure at one day old. *Poultry Science*, 51(2), 582-585. <https://doi.org/10.3382/ps.0510582>
- Dehrouyeh, M. H., Omid, M., Ahmadi, H., Mohtasebi, S. S., & Jamzad, M. (2010). Grading and quality inspection of defected eggs using machine vision. *International Journal of Advanced Science and Technology*, 17, 23-30.
- Drabik, K., Karwowska, M., Wengerska, K., Próchniak, T., Adamczuk, A., & Batkowska, J. (2021). The Variability of Quality Traits of Table Eggs and Eggshell Mineral Composition Depending on Hens' Breed and Eggshell Color. *Animals*, 11(5), 1204. <https://doi.org/10.3390/ani11051204>
- Fletcher, D. L., Britton, W. M., Rahn, A. P., & Savage, S. I. (1981). The influence of layer flock age on egg component yields and solids content. *Poultry Science* 60(5), 983-987. <https://doi.org/10.3382/ps.0600983>



- Ghazal, S., Munir, A., & Qureshi, W. S. (2024). Computer vision in smart agriculture and precision farming: Techniques and applications. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 13, 64-83. <https://doi.org/10.1016/j.aiia.2024.06.004>
- Gosler, A. G., Connor, O. R., & Bonser, R. H. C. (2011). Protoporphyrin and Eggshell Strength: Preliminary Findings from a Passerine Bird. *Avian Biology Research*, 4(4), 214-223. <https://doi.org/10.3184/175815511X13207833399666>
- Grover, R. M., Anderson, D. L., & Damon, R. A. (1980). The Correlation Between Egg Shell Color and Specific Gravity as a Measure of Shell Strength, *Poultry Science*, 59, 1335-1336. <https://doi.org/10.3382/ps.0591335>
- Haider, T., Farid, M. S., Mahmood, R., Ilyas, A., Khan, M. H., Haider, S. T.-A., Chaudhry, M. H., & Gul, M. (2021). A computer-vision-based approach for nitrogen content estimation in plant leaves. *Agriculture*, 11(8), 766. <https://doi.org/10.3390/agriculture11080766>
- Han, G., Kim, J., Kang, H., & Kil, D. (2021). Transcriptomic analysis of the liver in aged laying hens with different intensity of brown eggshell color. *Animal Bioscience*, 34(5), 811-823. <https://doi.org/10.5713/ajas.20.0237>
- Hargitai, R., Boross, N., Hámori, S., Neuberger, E., & Nyiri, Z. (2017). Eggshell Biliverdin and Protoporphyrin Pigments in a Songbird: Are They Derived from Erythrocytes, Blood Plasma, or the Shell Gland? *Physiological and Biochemical Zoology*, 90(6), 613-626. <https://doi.org/10.1086/694297>
- Hughes, B. O., Gilbert, A. B., & Brown, M. F. (1986). Categorisation and causes of abnormal egg shells: relationship with stress. *British Poultry Science*, 27(2), 325-337. <https://doi.org/10.1080/00071668608416885>
- Hy-Line International (2018). *Optimizing Egg Size in Commercial Layers*. Hy-Line International, Technical update. <https://www.hyline.com/Upload/Resources/TU%20EGG%20ENG.pdf>
- Ignjatovic, J., Ashton, D. F., Reece, R., Scott, P., & Hooper, P. (2002). Pathogenicity of Australian Strains of Avian Infectious Bronchitis Virus. *Journal of Comparative Pathology*, 126(2-3), 115-123. <https://doi.org/10.1053/jcpa.2001.0528>
- Igwe, A. O., Ihedioha, J. I., & Okoye, J. O. A. (2018). Changes in serum calcium and phosphorus levels and their relationship to egg production in laying hens infected with velogenic Newcastle disease virus. *Journal of Applied Animal Research*, 46(1), 523-528. <https://doi.org/10.1080/09712119.2017.1352506>
- Ishikawa, S., Suzuki, K., Fukuda, E., Arihara, K., Yamamoto, Y., Mukai, T., & Itoh, M. (2010). Photodynamic antimicrobial activity of avian eggshell pigments. *FEBS Letters*, 584(4), 770-774. <https://doi.org/10.1016/j.febslet.2009.12.041>
- Jones, D. R., Musgrove, M. T., Anderson, K. E., & Thesmar, H. S. (2010). Physical quality and composition of retail shell eggs. *Poultry science*, 89(3), 582-587. <https://doi.org/10.3382/ps.2009-00315>
- Joseph, N. S., Robinson, N. A., Renema, R. A., & Robinson, F. E. (1999). Shell quality and color variation in broiler breeder eggs, *J. Appl. Poultry Res.*, 8, 70-74. <https://doi.org/10.1093/japr/8.1.70>
- Kennedy, G. Y., & Vevers, H. G. (1976). A survey of avian eggshell pigments. *Comparative biochemistry and physiology. B, Comparative biochemistry*, 55(1), 117-123. [https://doi.org/10.1016/0305-0491\(76\)90183-8](https://doi.org/10.1016/0305-0491(76)90183-8)
- Khan, S., Roberts, J., & Wu, S. B. (2019). Genes involved in mitochondrial biogenesis and function may not show synchronised responses to mitochondria in shell gland of laying chickens under infectious bronchitis virus challenge. *BMC Molecular and Cell Biology*, 20, 1-13. <https://doi.org/10.1186/s12860-019-0190-7>



- Konrád, Sz. (2008). *Sárga magyar tyúk anyai vonalra alapozott termékelőállítás lehetőségei*. [Doktori (PhD) értekezés, Nyugat-magyarországi Egyetem]. Újhelyi Imre Doktori Iskola, Mosonmagyaróvár.
- Lang, M. R., & Wells, J. W. (1987). A review of eggshell pigmentation. *World's Poultry Science Journal*, 43, 238-246. <https://doi.org/10.1079/WPS19870016>
- Li, G., Chen, S., Duan, Z., Qu, L., Xu, G., & Yang, N. (2013). Comparison of protoporphyrin IX content and related gene expression in the tissues of chickens laying brown-shelled eggs. *Poultry Science*, 92(12), 3120-3124. <https://doi.org/10.3382/ps.2013-03484>
- Li, R., Guo, K., Liu, C., Wang, J., Tan, D., Han, X., & Wang, J. (2016). Strong inflammatory responses and apoptosis in the oviducts of egg-laying hens caused by genotype VIIId Newcastle disease virus. *BMC Veterinary Research*, 12, 1-12. <https://doi.org/10.1186/s12917-016-0886-2>
- Li, R., Qi, X., Han, X., Liu, C., Wang, J., Wang, R., & Huang, J. (2017). Deterioration of eggshell quality is related to calbindin in laying hens infected with velogenic genotype VIIId Newcastle disease virus. *Theriogenology*, 91, 62-68. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.12.030>
- Li, Q., Ren J., Wang K., Zheng J., Xu G., Ge C., Yang N., & Sun C. (2020). The effect of breed and age on the gloss of chicken eggshells. *Poultry Science*, 99(5), 2494-2499. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.01.010>
- Lukanov, H., Genchev, A., & Pavlov, A. (2015). Colour traits of chicken eggs with different eggshell pigmentation. *Trakia Journal of Sciences*, 13(2), 149-158. <https://doi.org/10.15547/tjs.2015.02.007>
- Martínez-de la Puente, J., Merino, S., Moreno, J., Tomás, G., Morales, J., Lobato, E., García-Fraile, S., & Martínez, J. (2007). Are eggshell spottiness and colour indicators of health and condition in blue tits *Cyanistes caeruleus*? *Journal of Avian Biology*, 38(3), 377-384. <https://doi.org/10.1111/j.0908-8857.2007.03877.x>
- Mertens, K., De Ketelaere, B., Kamers, B., Bamelis, F. R., Kemps, B. J., Verhoelst, E. M., De Baerdemaeker, J. G., & Decuyper, E. M. (2005). Dirt Detection on Brown Eggs by Means of Color Computer Vision. *Poultry Science*, 84(10), 1653-1659. <https://doi.org/10.1093/ps/84.10.1653>
- Mertens, K., Vaesen, I., Loffel, J., Kemps, B., Kamers, B., Perianu, C., Zoons, J., Darius, P., Decuyper, E., De Baerdemaeker, J., & De Ketelaere, B. (2010). The transmission color value: A novel egg quality measure for recording shell color used for monitoring the stress and health status of a brown layer flock. *Poultry Science*, 89(3), 609-617. <https://doi.org/10.3382/ps.2009-00261>
- Miksik, I., Holáň, V., & Deyl, Z. (1996). Avian eggshell pigments and their variability. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 113(3), 607-612. [https://doi.org/10.1016/0305-0491\(95\)02073-X](https://doi.org/10.1016/0305-0491(95)02073-X)
- Miksik, I., Eckhardt, A., Sedlakova, P., & Mikulikova K. (2007). Proteins of insoluble matrix of avian (*Gallus gallus*) eggshell. *Connective Tissue Research*, 48(1), 1-8. <https://doi.org/10.1080/03008200601003116>
- Milovanovic, B., Tomovic, V., & Djekic, I. (2021). Color assessment of the eggs using computer vision system and Minolta colorimeter. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15, 5097-5112. <https://doi.org/10.1007/s11694-021-01085-4>
- Minelli, G., Sirri, F., Folegatti, E., Meluzzi, A., & Franchini, A. (2007). Egg quality traits of laying hens reared in organic and conventional systems. *Italian Journal of Animal Science*, 6(sup1), 728-730. <https://doi.org/10.4081/ijas.2007.1s.728>



- Nasiri, A, Omid, M, & Taheri-Garavand, A. (2020) An automatic sorting system for unwashed eggs using deep learning. *Journal of Food Engineering*, 283, 110036. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110036>
- Nys, Y., & Guyot, N. (2011). Egg formation and chemistry. In Y. Nys, M. Bain, & F. Van Immerseel (Eds.), *Improving the Safety and Quality of Eggs and Egg Products* (pp. 83-132). Woodhead Publishing, Cambridge, UK. <https://doi.org/10.1533/9780857093912.2.83>
- Odabasi, A. Z., Miles, R. D., Balaban, M. O., & Portier K. M. (2007). Changes in Brown Eggshell Color As the Hen Ages. *Poultry Science*, 86, 356-363. <https://doi.org/10.1093/ps/86.2.356>
- Saif, Y. M. (Ed.) (2008). *Diseases of poultry* (12th ed.). Blackwell Publishing.
- Samiullah, S. & Roberts, J. R. (2013). The location of protoporphyrin in the eggshell of brown-shelled eggs, *Poultry Science*, 92, 2783-2788. <http://dx.doi.org/10.3382/ps.2013-03051>
- Samiullah, S., Roberts, J. R., & Chousalkar, K. (2016a). Infectious bronchitis virus and brown shell colour: Australian strains of infectious bronchitis virus affect brown eggshell colour in commercial laying hens differently. *Avian Pathology*, 45(5), 552-555. <http://dx.doi.org/10.1080/03079457.2016.1184744>
- Samiullah, S., Roberts, J., & Chousalkar, K. (2016b). Oviposition time, flock age, and egg position in clutch in relation to brown eggshell color in laying hens. *Poultry Science*, 95(9), 2052-2057. <https://doi.org/10.3382/ps/pew197>
- Sekeroglu, A. & Duman, M. (2009). Effect of Egg Shell Colour of Broiler Parent Stocks on Hatching Results, Chickens Performance, Carcass Characteristics, Internal Organ Weights and Some Stress Indicators. *Kafkas Universitesi Veteriner Fakultesi Dergisi*, 17(5), 837-842. <https://doi.org/10.9775/kvfd.2011.4630>
- Sell, J. L., Angel, C. R., & Escibano, F. (1987). Influence of supplemental fat on weights of eggs and yolks during early egg production. *Poultry science*, 66(11), 1807-1812. <https://doi.org/10.3382/ps.0661807>
- Sevoian, M., & Levine, P. P. (1957). Effects of infectious bronchitis on the reproductive tracts, egg production, and egg quality of laying chickens. *Avian Diseases*, 1(2), 136-164. <https://doi.org/10.2307/1587727>
- Sezer, M., & Tekelioğlu, O. (2009). Quantification of Japanese Quail Eggshell Colour by Image Analysis. *Biological Research* 42(1), 99-105. <https://doi.org/10.4067/S0716-97602009000100010>
- Simons, P. (2017): *Egg Signals*. Roodbont Publishers B.V.
- So, J-H., Joe, S. Y., Hwang, S. Y., Hong, S. J., & Lee, S. H. (2022). Current advances in detection of abnormal egg: a review. *Journal of Animal Science and Technology*, 64,5, 813-829. <https://doi.org/10.5187/jast.2022.e56>
- Sokołowicz, Z., Krawczyk, J., & Dykiel, M. (2018). Effect of Alternative Housing System and Hen Genotype on Egg Quality Characteristics. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 30(8), 695-703. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2018.v30.i8.1753>
- Solomon, S. E. (1997). *Egg and eggshell quality*. Iowa State University Press, London.
- Stoddard, M. C. & Stevens, M. (2011). Avian vision and the evolution of egg color mimicry in the common cuckoo. *Evolution*, 65, 2004-2013. <https://doi.org/10.1111/j.1558-5646.2011.01262.x>
- Stoddard, M. C., & Prum, R. O., (2011). How colorful are birds? Evolution of the avian plumage color gamut. *Behavioural Ecology* 22(5), 1042-1052. <https://doi.org/10.1093/beheco/arr088>
- Sulaiman, A., & Roberts, J. R. (2011). Infectious bronchitis vaccination protocols for laying hens. *Media Peternakan*, 34(3), 159-159. <https://doi.org/10.5398/medpet.2011.34.3.159>



- Sütő, Z. (2013). A tojás. In Pupos, T., Sütő, Z., & Szöllősi, L. (Eds.): *Versenyképes tojástermelés* (pp. 77-93). Szaktudás Kiadó Ház, Budapest.
- Uenaka, T., Kishimoto, I., Uemura, T., Ito, T., Umemura, T., & Otsuki, K. (1998). Cloacal inoculation with the Connecticut strain of avian infectious bronchitis virus: an attempt to produce nephropathogenic virus by in vivo passage using cloacal inoculation. *The Journal of veterinary medical science*, 60(4), 495-502. <https://doi.org/10.1292/jvms.60.495>
- Vrochidou, E., Bazinas, C., Manios, M., Papakostas, G. A., Pachidis, T. P., & Kaburlasos, V. G. (2021). Machine Vision for Ripeness Estimation in Viticulture Automation. *Horticulturae*, 7(9), 282. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7090282>
- Walker, A. W. (1998). Egg shell colour is affected by laying cage design. *British Poultry Science*, 39(5), 696-699. <https://doi.org/10.1080/00071669888593>
- Wei, R., & Bitgood, J. J. (1990). A new objective measurement of eggshell color. 1. A test for potential usefulness of two color measuring devices. *Poultry Science*, 69(10), 1775-1780. <https://doi.org/10.3382/ps.0691775>
- Wiemann, J., Yang, T., Sander, P. N., Schneider, M., Engeser, M., Kath-Schorr, S., Müller, C. E., Sander, P. M. (2017). Dinosaur origin of egg color: oviraptors laid blue-green eggs. *PeerJ*, 5:e3706. <https://doi.org/10.7717/peerj.3706>
- Yang, X., Bist, R. B., Subedi, S., & Chai, L. (2023). A Computer Vision-Based Automatic System for Egg Grading and Defect Detection. *Animals*, 13(14), 2354. <https://doi.org/10.3390/ani13142354>
- Yuan, S., Cheng, Q., Guo, J., Li, Z., Yang, J., Wang, C., Liang, Z., Zhang, X., Yu, H., Li, Y., Huang, S., & Wen, F. (2022). Detection and genetic characterization of novel infectious bronchitis viruses from recent outbreaks in broiler and layer chicken flocks in southern China, 2021. *Poultry Science*, 101(10), 102082. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.102082>
- Zeng, L., Xu, G., Jiang, C., Li, J., & Jiangxia Zheng, J. (2022). Research Note: L*a*b* color space for prediction of eggshell pigment content in differently colored eggs. *Poultry Science*, 101(8), 101942. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.101942>
- Zheng, C., Li, Z., Yang, N., & Ning, Z. (2014). Quantitative expression of candidate genes affecting eggshell color. *Animal Science Journal*, 85(5), 506-510. <https://doi.org/10.1111/asj.12182>
- Zsédely, E., Szalai, K., Takács, G., Lencsés-Varga, E., Szabó-Sárvári, L. Cs., & Tempfli, K. (2023). Yield Performance, Laying Behaviour Traits and Egg Quality of a Crossbred Laying Hen in Alternative Housing Systems. *Chemical Engineering Transactions*, 107, 121-126. <https://doi.org/10.3303/CET23107021>

©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/).





The Relationship Between Days Dry, Days Open, and Milk Yield in Egyptian Buffaloes

KAWTHAR MOURAD¹; ADEL KHATTAB^{2*}, ASMAA ZAYED MOHAMED³, JÁNOS TŐZSÉR⁴

¹Animal Production Research Institute, Research Center, Ministry of Agriculture, Cairo, Egypt

ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0004-1993-3553>

²Animal Production Department, Faculty of Agriculture, Tanta University, Egypt

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-2906-4177>

Email: Adel.khatab@agr.tanta.edu.eg

³Animal and Fish Production Department, Faculty of Agriculture, (saba Basha) Alexandria University, Egypt

ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0004-7166-539X>

⁴Albert Kázmér Faculty of Agricultural and Food Sciences of Széchenyi István University

Department of Animal Science, Mosonmagyaróvár, Hungary

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

*Corresponding author/Levelező szerző

Received/Érkezett: 07.01.2025.

Revised/Átdolgozva: 18.02.2025.

Accepted/Elfogadva: 15.03.2025.

Published/Megjelent: 27.06.2025.

ABSTRACT

A total of 4,355 records of normal lactations of Egyptian buffaloes kept at Mehalet Mousa Farm, belonging to the Animal Production Research Institute (APRI) (Research Center, Ministry of Agriculture, Cairo, Egypt), during the period from 1993 to 2022 were utilised in this study to estimate the relationships between dry period and days open with milk traits. The following variables were the focus of the study: total milk yield (TMY), lactation period (LP), dry period (DP), and days open (DO). The mean values of TMY, LP, DP, and DO were 1704 kg, 212 days, 221 days, and 117 days, respectively. The least squares analysis of variance demonstrated that both the sires (bulls) and the buffalo nested within sires had a significant effect on TMY, LP, DP, and DO. The year and month of parturition, as well as parity, also had a significant influence on most of the studied variables. Furthermore, the estimates of the partial linear regression coefficients of TMY and LP on DO were statistically significant ($P < 0.01$). However, the quadratic regression coefficients were not significant, with values of 6.71 ± 0.28 kg/d and -0.0016 ± 0.0008 kg/d² for TMY and 1.03 d/d and -0.00004 ± 0.00005 d/d² for LP, respectively. The findings of this study indicate that the estimates of the linear regression coefficients of TMY and LP on DP were significant ($P < 0.01$). However, the quadratic regression coefficients were not significant, with values of -6.89 ± 0.32 kg/d and 0.0009 ± 0.0006 kg/d² for TMY and -1.02 ± 0.02 d/d and 0.00001 ± 0.0004 d/d² for LP, respectively. The findings of this study indicated that a reduction in the dry period and the number of days open would be a favourable outcome for dairy farmers. This would assist in reducing the financial expenditure associated with the rearing of breeding cows and optimising the number of lactations per cow.

Key words: Egyptian buffaloes, days dry, days open, milk yield



1. INTRODUCTION AND LITERATURE REVIEW

Fertility traits, such as days open, play an important role in the productive life of animals. Short days open increase the productive life of animals and the number of calves produced (Basant Shafik et al., 2017).

In Egypt, buffaloes are considered the main dairy cattle, as they surpass local cows in terms of milk yield and growth rate (Easa et al., 2022).

Integrating several traits, such as days open and days dry, alongside milk yield, and understanding their relationships, is important for effectively controlling the dairy production system to maximise economic returns. Poor fertility performance increases production costs due to higher culling rates, longer calving intervals, lower milk production, and fewer calves per cow per year, ultimately resulting in decreased profits (Bagnato & Oltenacu, 1994; Helmy & Somida, 2021).

Economic traits, such as productivity and fertility, in dairy cattle are influenced by genetic and non-genetic factors. Calculating the environmental factors affecting productive and reproductive performance provides basic information for developing breeding and management programmes for genetic improvement. This information is useful for selecting cows, sires and dams with superior genetic merit (Khattab et al., 2023).

The main objective of the present study is therefore to estimate the relationships between the dry period (DP), days open (DO) and total milk yield (TMY), as well as between the dry period and lactation period (LP), for Egyptian buffaloes.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1 Source of data

This study uses a total of 4,355 normal lactation records of Egyptian buffalo kept at the Mehalet Mousa Farm, which belongs to the Animal Production Research Institute (APRI) at the Research Centre of the Ministry of Agriculture in Cairo, Egypt, from 1993 to 2022. The variables studied were total milk yield (TMY), lactation period (LP), dry period (DP) and days open (DO). Days dry is the period during which the animal is not producing milk. The 'days open' period is the time between calving and the subsequent conception.

2.2 Feeding system

In winter, the animals were fed Berseem (*Trifolium alexandrinum*) in addition to rice straw and small amounts of concentrated feed. In the summer, the animals were fed a concentrate ration and a small amount of Berseem hay. The amount of feed given to the animals was determined according to their body weight and level of milk production. The rations were offered twice daily. Clean water was available at all times. The buffalo cows were hand-milked twice daily, at 07:00 and 16:00, throughout the lactation period. The buffalo cows were naturally mated in a group system. Rectal palpation was used to check for pregnancy 40 days after calving. Buffalo heifers were usually first mated at 18 months of age or when they reached 350 kg in body weight.

2.3 Statistical analysis

A preliminary analysis of the data was performed using the Statistical Analysis System (SAS, 2000) software. The linear mixed model included the fixed effects of month and year of parturition, dam's parity, and the linear and quadratic regression coefficients of total milk yield (TMY) and lactation



period (LP) on dry period (DP) and days open (DO). The random effects of sires (bulls) and buffalo nested within sires were also included in the model.

The following mixed model (Eq. 1) was used:

$$Yijklmn = U + Si + Dij + Mk + Yl + Pm + B1XO + B2O2 + B3XP + B4P2 + Eijklm \quad (1)$$

Where:

U = the overall mean of the traits; Si = the random effect of the i^{th} bull; Dij = the random effect of the j^{th} buffalo nested within the i^{th} bull; Mk = the fixed effect of the k^{th} month of calving ($k = 1, 2, \dots, 12$); Yl = the fixed effect of the year of calving; and L = (1993, 1994, ... to 2022), Pm = fixed effect of the m^{th} parity, $b_{(1o)}$ = partial linear regression coefficient of TMY and LP on days dry, $b_{(2p)}$ = partial quadratic regression coefficient of TMY and LP on days dry, $b_{(3p)}$ = partial linear regression coefficient of TMY and LP on days open and $b_{(4p)}$ = partial quadratic regression coefficient of TMY and LP on days open. $e_{(ijklmnopq)}$ = random residual effect.

3. RESULTS AND DISCUSSION

The overall means of total milk yield (TMY), lactation period (LP), dry period (DP) and days open (DO) for Egyptian buffaloes are presented in Table 1.

Table 1: Means, stander deviation (SD), and coefficient of variation (CV%) for different variables studied on Egyptian buffaloes

Variables	Mean	SD	CV %
Total Milk yield (TMY), kg	1704	565	33.13
Lactation period (LP), d	212	48	22.88
Dry period (DP), d	221	110	49.94
Days open (DO), d	117	102	86.97

Number of records: 4355.

The coefficients of variation for TMY, LP, DP and DO were 33.13 %, 22.88 %, 49.94 %, and 86.97 %, respectively (Table 1). The higher estimates for DP and DO were due to greater variation between animals, which is attributed to the fact that artificial insemination is not always available. The variation in DO may also be attributed to differences in climatic extremes during different years and seasons, management practices, the presence of a teaser bull, and the ability of labourers to detect oestrus (Bashir et al., 2015).

Bulls and buffalo nested within bulls had a significant effect on TMY, LP, DP, and DO (Table 2), suggesting the potential for genetic improvement of these traits through sire and dam selection. Ibrahim et al. (2012), Amina Ahmed et al. (2017) and Khattab et al. (2023), working with a different set of the same herd, reported that the sire of the heifers had a significant effect on milk yield and lactation period. Conversely, Vyas et al. (2021), working with Surti buffaloes in India, found that the sire had no significant effect on DP and DO.

The least squares of variance for the factors affecting milk traits are presented in Tables 2 and 3. The month and year of parturition had a significant impact on TMY, LP, DP, and DO, except for the effect of the month of parturition on LP. Similar results were obtained by Aziz et al. (2001), Khattab et al. (2010), El-Arian et al. (2012), Bashir et al. (2015), Sezer et al. (2022), and Khattab et al. (2023) with different strains of buffalo.



Parity significantly affected TMY, LP, DP, and DO ($P < 0.01$; see *Tables 2 and 3*). Many authors working with different buffalo strains have reported similar results (Aziz et al., 2001; Khattab et al., 2010; El-Arian et al., 2012; Bashir et al., 2015; Amina Ahmed et al., 2017; Basant Shafik et al., 2017; Ramadan, 2018; Eldawy et al., 2021; Ayad et al., 2022; Sezer et al., 2022; Khattab et al., 2023).

Table 2: Least squares analysis of factors affecting total milk yield (TMY) and lactation period (LP) in Egyptian buffaloes

S.O.V	d.f	F-value		F-value	
		TMY	Pr>f	LP	pr>f
Between bulls	226	3.30	< 0.0001	3.70	< 0.0001
Between cows: bulls	746	2.31	< 0.0001	1.95	< 0.0001
Between parity	11	6.36	< 0.0001	4.69	< 0.0001
Between month of calving	11	0.71	0.6987	0.04	0.0308
Between year of calving	31	10.3	< 0.0001	7.54	< 0.0001
Regressions					
Days open, linear	1	629.50	< 0.0001	922.9	< 0.0001
Days open, quadratic	1	10.50	< 0.0001	15.59	< 0.0001
Days dry, linear	1	460.77	< 0.0001	61.70	< 0.0001
Days dry, quadratic	1	0.33	< 0.0001	10.57	< 0.0001
Errors, MS.	3333	206501		1729	

Table 3: Least squares analysis of factors affecting dry period (DP) and days open (DO) in Egyptian buffaloes

S.O.V	d.f	DP		DO	
		F-value	pr>F	F-value	pr>F
Between bulls	226	3.08	< 0.0001	3.42	< 0.0001
Between cows: bulls	746	1.77	< 0.0001	1.71	< 0.0001
Between parity	11	28.45	< 0.0001	28.25	< 0.0001
Between month of calving	11	5.55	< 0.0001	5.85	< 0.0001
Between year of calving	31	12.57	< 0.0001	13.45	< 0.0001
Errors, MS.	3333	8749		9124	

The significant effect of the month and year of parturition may be due to changes in herd size, the age of the cows, and managerial practices, which vary from year to year and are affected by weather conditions and phenotypic trends. The significant effect of parity on productive and reproductive traits is logically due to an increase in body weight and age of the animals, as well as an increase in feed intake.

The estimates of the partial linear and quadratic regression coefficients of TMY and LP on days open (DO) are presented in *Table 4*. The estimates of the partial linear and quadratic regression coefficients of TMY and LP on DO were significant for linear regression but not for quadratic regression ($P < 0.10$; see *Table 4*). The respective values were 6.71 ± 0.28 kg/d and -0.0016 ± 0.0008 kg/d² for TMY, and 1.03 d/d and -0.00004 ± 0.00005 d/d² for LP.

An increase in TMY and days in milk (DIM) with an increase in days open was evident. Ashmawy and Khattab (1991), working with Friesian cows, concluded that maximum production in the current lactation, including the calf crop, was achieved when cows were bred as early as possible after



calving. An intensive programme of heat detection and efficient insemination practices would significantly reduce DO. Therefore, decreasing days open is the aim for dairy cow breeders.

Table 4: Estimates of partial linear and quadratic regression coefficients of days open (DO) and days dry (DD) on total milk yield (TMY), and lactation period (LP) in Egyptian buffaloes

Variation	Lactation period (LP), d	Total Milk yield (TMY), kg
Intercept (a)	317.09 ± 2.03 ($P < 0.000$)	2451.71 ± 28.83 ($P < 0.0001$)
Days open, linear	1.03 ± 0.018 ($P < 0.0001$)	6.71 ± 0.28 ($P < 0.0001$)
Days open, quadratic	-0.00004 ± 0.00005 ($P = 0.4255$)	-0.0016 ± 0.0008 ($P < 0.0324$)
Days dry, linear	-1.02 ± 0.02 ($P < 0.0001$)	-6.89 ± 0.32 ($P < 0.0001$)
Days dry, quadratic	0.00001 ± 0.00004 ($P < 0.7111$)	0.0009 ± 0.0006 ($P < 0.1645$)

Estimates of the linear regression coefficients of TMY and LP on DD were significant ($P < 0.01$; see Table 4), whereas the quadratic regression coefficients were not significant, at -6.89 ± 0.32 kg/d and 0.0009 ± 0.0006 kg/d² for TMY, and -1.02 ± 0.02 d/d and 0.00001 ± 0.00004 d/d² for LP, respectively. Therefore, reducing the dry period and the number of days open is a desirable goal for dairy farmers as it helps to minimise the cost of raising breeding cows and maximise the number of lactations per cow.

4. CONCLUSION

The present results indicate the importance of selecting higher-lactating female buffaloes. In other words, the length of time that cows are kept dry depends on the cost of milking cows with extended lactations. Dairy breeders tend to milk their cows for as long as possible during late lactation, provided that the income generated exceeds the daily feed costs.



A szárazonállás, a nyitott napok és a tejhozam összefüggése az egyiptomi bivaly esetében

KAWTHAR MOURAD¹; ADEL KHATTAB^{2*}, ASMAA ZAYED MOHAMED³, TŐZSÉR JÁNOS⁴

¹Mezőgazdasági Minisztérium, Állattenyésztési Kutatóintézet, Kairó, Egyiptom

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0004-1993-3553>

²Tanta Egyetem, Mezőgazdaságtudományi Kar, Állattenyésztési Tanszék, Egyiptom

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2906-4177>

Email: adel.khatab@agr.tanta.edu.eg

³Alexandriai Egyetem, Mezőgazdaságtudományi Kar, Állattenyésztési és Halászati Tanszék, Egyiptom

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0004-7166-539X>

⁴Széchenyi István Egyetem, Albert Kázmér Mosonmagyaróvári Kar

Állattudományi Tanszék, Mosonmagyaróvár

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

*Corresponding author/Levelező szerző

ÖSSZEFOGLALÁS

A tanulmányban összesen 4355 teljes laktációs adatot használtak fel a Mehalet Mousa Farmon tartott egyiptomi bivalyokra vonatkozóan. A tenyészet a Kairói Mezőgazdasági Minisztérium Állattenyésztési Kutatóintézetéhez (APRI) tartozik. A vizsgálatban az 1993 és 2022 között időszaban a kapcsolatokat elemezték a szárazon állás ideje, a nyitott napok és a tejtermelési jellemzők között. A vizsgált változók a teljes tejhozam (TMY), a laktációs időszak (LP), a szárazon állási időszak (DP) és a nyitott napok (DO). A TMY, LP, DP és DO átlagait 1704 kg-nak, 212 napnak, 221 napnak és 117 napnak számították. A legkisebb négyzetek varianciaanalízise azt mutatta, hogy a bivaly bikák szignifikáns hatással voltak a TMY, LP, DP és DO értékekre. Az ellés éve és hónapja, valamint a paritásnak statisztikailag igazolt hatását számszerűsítették a legtöbb vizsgált változóra. A TMY és LP részleges lineáris regressziós együtthatóinak becslése a nyitott napokra (DO) szignifikáns volt ($P < 0,01$), de a kvadratikus regressziós együtthatók nem voltak szignifikánsan biztosítottak: TMY ($6,71 \pm 0,28$ kg/nap és $-0,0016 \pm 0,0008$ kg/nap²) és LP ($1,03$ nap/nap és $-0,00004 \pm 0,00005$ nap/nap²). A TMY és LP lineáris regressziós együtthatóinak becslése a szárazonállási időszakra (DP) statisztikailag igazolt volt ($P < 0,01$), míg a kvadratikus regressziós együtthatók nem: TMY ($-6,89 \pm 0,32$ kg/nap, és $0,0009 \pm 0,0006$ kg/nap²), LP ($-1,02 \pm 0,02$ nap/nap és $0,00001 \pm 0,00004$ nap/nap²). A jelen eredmények azt sugallják, hogy a szárazonállás időszak és a nyitott napok csökkentése a kívánatos tenyésztési cél, amely segít a tenyész tehének nevelési költségeinek minimalizálásában és a tehenenkénti laktációk számának maximalizálásában.

Kulcsszavak: egyiptomi bivaly, szárazonállási napok, nyitott napok, tejhozam



REFERENCES

- Amina Ahmed, I. S., Shimma El-Komy, M., Set El-Habiab, & Khattab, A. S. (2017). Phenotypic and genotypic trends for some economic traits in Egyptian buffaloes. *J. Anim. Poultry Prod.*, 8(6), 129-133. <https://doi.org/10.21608/jappmu.2017.45797>
- Ashmawy, A. A., & Khattab, A. S. (1991). Factors affecting annualized milk yield in Frisian cows in Egypt. *Egypt. J. of Anim. Prod.*, 28(1), 1-9. <https://doi.org/10.21608/ejap.1991.121539>
- Aziz, M. A., Schoeman, S. J., Jordaan, G. F., Chafie, O. M., & Mahdy, A. T. (2001). Genetic and phenotypic variation of some reproductive traits in Egyptian Buffalo. *South African Journal of Animal Science*, 31(3), 195-199. <https://doi.org/10.4314/sajas.v31i3.3802>
- Ayad, A. A., Abd-Allah, M., & Kamal, M. A. (2022). Non-genetic factors affecting phenotypic parameters of milk production and reproductive performance in lactating Egyptian buffaloes. *Archive of Agriculture Science J.*, 5(1), 10-23. <https://doi.org/10.21608/aasj.2022.230030>
- Bagnato, A., & Oltenacu, P. A. (1994) Phenotypic evaluation of fertility traits and their associations with milk production of Italian Friesian Cattle. *J. Dairy Sci.*, 77(3), 874-882. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(94\)77022-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(94)77022-3)
- Basant Shafik, M. N., El- Bayomi, Kh. M., Abo- Salem, M. E. S., & Darwish, S. A. (2017). Environmental factors affecting some productive and reproductive traits in Egyptian Buffaloes. *Benha Veterinary Medical Journal*, 32(1), 153-159. <https://doi.org/10.21608/bvmj.2017.31202>
- Bashir, M. K., Khan, M. S., Latif, M., Mustafa, M. I., Khalid, M. F., Reham, S., & Farooq, U. (2015). Environmental factors affecting productive traits and their trends in Nili- Ravi buffaloes. *Pakistan J. of Life and Social Sciences*, 133(3), 137-144.
- Easa, A. A., Abdel Aziz, A. H., El-Barabry, A. S. A., Kostomakhin, M. A., & Imbabi, T. A. (2022). Genetic parameters of production and reproduction traits of Egyptian buffaloes under subtropical conditions. *Tropical Animal Health and Production*, 54, 270. <https://doi.org/10.1007/s11250-022-03251-2>
- El-Arian, M. N., Shalaby, N. A., Khattab, A. S., Darwish, S. A., & Abou-Gamous, R. H. (2012). Phenotypic and genetic trends for some milk yield traits of Egyptian buffaloes. *J. Animal and Poultry Prod. Mansoura Univ.*, 3(7), 353-364. <https://doi.org/10.21608/jappmu.2012.82938>
- Eldawy, M. H., Lashen, M. E., Badr, H. M., & Farouk, M. H. (2021). Milk production and reproductive performance of Egyptian buffalo cows. *Tropical Animal Health and production*, 53, 282. <https://doi.org/10.1007/s11250-021-02722-2>
- Ibrahim, M. A., Khattab, A. S., Set El-habaeib, S. A., & Tőzsér, J. (2012) Genetic parameters for buffalo milk yield and milk quality traits using animal model. *Animal welfare, ethology and housing systems*, 8(2), 175-182.
- Helmy, A. A. H., & Somida, R. A. M. (2021). Genetic parameters for some reproductive traits in Egyptian buffaloes. *Egyptian. J. Anim. Prod.*, 58(2), 57-61. <https://doi.org/10.21608/ejap.2021.67104.1011>
- Khattab, A. S., Kawther, A.M., & Set El-habaeib, S. A. (2010, April 24-28). *Estimation of genotypic parameters and breeding value for productive traits on Egyptian buffaloes* [Conference session]. Buffalo world congress, Argentina, Buenos Aires.
- Khattab, A. S., Peters, S. O., Adenaike, A. S., Amal El-Sawy, A., Safa Sand, S., El-Barbary, A.S., & Thiruvenkadan, A. K. (2023). A comparison of several methodologies of selection index for productive and reproductive characteristics in Egyptian buffaloes. *Tropical Animal Health and Production*, 55(3), 200. <https://doi.org/10.1007/s11250-023-03625-0>



- Ramadan, S. I., (2018). Effect of some genetic and non-genetic factors on productive and reproductive traits of Egyptian buffaloes. *J. Adv. Vet. Anim. Res.*, 5, 374-380. <https://doi.org/10.5455/javar.2018.e287>
- SAS, Institute, Inc. (2000). SAS/STAT Software: Changes and Enhancements Trough Release 8.02. Statistical Analysis System Institute Inc., Cary, NC.
- Sezer, Oz., Alkoyak, K., & Kucukersan, S. (2022). Effects of calving year, season and age on some lactation traits of Anatolian buffaloes reared at farmer conditions in Turkey. *Ankara Univ., Vet. Fak Derg.*, 69, 157-163. <https://doi.org/10.33988/auvfd.813234>
- Vyas, P., Pannu, U., Gaur, M., & Joshi, P. (2021). Genetic evaluation of Surti Buffaloes on the reproduction traits by all repeatability Univariate models of WOMBAT. *Buffalo Bulletin*, 40(3), 409-418.

©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/).



NEKROLÓG



Forrás: Széchenyi István Egyetem

Tisztelgés Varga-Haszonics Zoltán professor emeritus szakmai pályafutása előtt

Dr. Varga-Haszonits Zoltán agroklimatológus, az MTA köztestületének tagja, a Széchenyi István Egyetem [professor emeritusa](#) és a Magyar Meteorológiai Társaság tagja életének 91. évében, 2024. március 16-án hajnalban elhunyt. Professzor úr szakmai pályafutásának bemutatását *Tenk Antal* professor emeritus korábbi írására, a Széchenyi István Egyetem információira és az Országos DoktoriTanács (ODT) adataira alapozva állítottuk össze.

Dr. Varga-Haszonits Zoltán a Győr-Moson-Sopron megyei Kónyban született 1933. július 4-én. Középiskolai tanulmányait a győri Révai Miklós Gimnáziumban folytatta, ahol 1951-ben érettségizett. Ugyanabban az évben felvételt nyert az Eötvös Lóránd Tudományegyetem Természettudományi Karának meteorológia szakára, ahol 1955-ben szerzett diplomát.

Első munkahelye az Országos Meteorológiai Intézet martonvásári Agrometeorológiai Observatóriumában volt, ahol a talajok hő- és vízgazdálkodását vizsgálta. Ebből a témából írta egyetemi doktori értekezését és szerzett doktori címet 1963-ban. 1964-ben ENSZ ösztöndíjasként fél évet töltött a Szovjetunióban, majd újabb fél évet Kanadában.

Hazatérve, 1965-ben kinevezték az Agrometeorológiai Osztály vezetőjévé, és egyidejűleg a Meteorológiai Világszervezet (WMO) Agrometeorológiai Bizottsága magyar képviselőjének delegálták, majd 1966-ban Magyarországot képviselte az európai szocialista országok agrometeorológiai körzetesítésére alakult munkacsoportban. 1965-68 között országos hálózatot szervezett a fenológiai megfigyelésekhez, amihez „Útmutatás kultúrfenológiai megfigyelésekre” címmel kiadványt szerkesztett. A genfi nemzetközi meteorológiai kongresszuson 1972-ben a Módszertani Bizottság alelnökévé választották.

Professzor úr kiterjedt kutatásokat folytatott a kultúrnövények fenológiai fázisai és az időjárás közötti kapcsolatok területén. Az „Agroklimatológiai modell az őszi búza fenofázisainak meteorológiai jellemzésére” című disszertációja alapján 1973-ban megszerezte a „földrajztudományok kandidátusa” tudományos fokozatot.

Amikor az Országos Meteorológiai Intézet Országos Meteorológiai Szolgálatává alakult, 1972-ben a Központi Előrejelző Intézet igazgatóhelyettesévé, majd 1974-ben igazgatójává nevezték ki. Ebben az időszakban alakították ki az agroklimatológiai információs rendszert. Erről a tevékenységről Máhr Jenővel közösen „Az időjárás előrejelzése és a mindennapi élet” címmel könyvet írtak. Hamarosan önálló könyve jelent meg a Mezőgazdasági Kiadónál „Agrometeorológia” címmel 1977-ben. A '70-es évek végén líbiai szakemberek részére szervezett agrometeorológiai képzés keretében angol nyelven tartott előadásokat és „Agroclimatology and agrometeorological forecasting” címmel írt jegyzetet a hallgatóknak.

Az ELTE-n négy éven át (1976-1980) meteorológiai szakos hallgatók részére adta elő „Az agrometeorológiai tájékoztatás és előrejelzés” c. fakultatív tárgyat. Tíz éves igazgatóság után, 1984-ben a Meteorológiai Szolgálat elnökének tanácsadójává nevezték ki, majd 1987-ben jelent meg második önálló könyve a Mezőgazdasági Kiadónál „Agrometeorológiai információk és felhasználásuk” címmel.

Mosonmagyaróváron már 1984-től, a Pannon Agrártudományi Egyetem Mezőgazdaságtudományi Karán – meghívott előadóként – oktatta az „Agrometeorológia” című tantárgyat. A Karon 1992-ben egyetemi tanárrá nevezték ki és ugyanebben az évben védte meg MTA doktori disszertációját is. 1995-2002 között volt az Agrometeorológiai és Vízgazdálkodási Tanszék vezetője. Az 1996-ban létrehozott Környezettudományi Intézetet igazgatóként 2000-ig vezette. 1996-ban a korábbi meteorológiai megfigyelőállomást – az Országos Meteorológiai Szolgálat támogatásával – meteorológiai főállomássá szervezte át, amelynek szakmai felügyeletét az általa vezetett tanszék látta el. Több kari jegyzetet írt.

Tudományos közéleti tevékenységét az MTA Meteorológia Tudományos Bizottság elnökeként, illetve az MTA Mezőgazdasági Vízgazdálkodási Bizottság tagjaként fejtette ki. Több nyertes OTKA témának volt a vezetője.

Nyugdíjba, de nem nyugalomba vonult 2002-ben. Ebből az alkalomból a Kar „Professor Emeritus”-ává nevezték ki. Nyugdíjasként több országos jelentőségű projektben vett részt, így a Láng István és Csete László által vezetett alkalmazkodó rendszerrel-, a fenntarthatósággal-, az éghajlatváltozással-, illetve a Várallyay György által irányított agroökológiai szisztémákkal foglalkozó kutatásokban.

Szakmai munkáját több állami kitüntetés fémjelezte, a Magyar Meteorológiai Társaság Steiner Lajos emlékérem (1979) és Berényi Dénes Díj (1994). A környezetvédelmi miniszter 2001-ben Schenzl Guidó Díjban részesítette.

Varga-Haszonits professzor úr a hazai és nemzetközi agrometeorológiai kutatások kiemelkedő egyénisége volt, meghatározó iskolateremtő tevékenységet végzett. Szakirodalmi tevékenysége igen kiterjedt: szakkönyvek, egyetemi tankönyvek és szakpublikációk szerzője volt. Egész életét a tudománynak szentelte, még 90 éves korában, betegen is kiemelkedő publikációs tevékenységet folytatott. Egyetemi jegyzeteket írt, sőt, jelenleg is egy egyetemi tankönyv írásával foglalkozott.

Professzor úr a közelmúltban lett tagja az Albert Kázmér Mosonmagyaróvári Kar tudományos folyóiratának, a megújuló *Acta Agronomica Óváriensis* szerkesztő bizottságának.

Egykori munkatársai és az Óvári Gazdászok népes családja *Varga-Haszonits professzor úr* emlékét kegyelettel megőrzi.

Mosonmagyaróvár, 2024. 07. 15.

Dr. Kacz Károly és Prof. Dr. Tózsér János



Forrás: Széchényi István Egyetem

Emlékezés Fazekas Imre óvári gazdaszra

Ismét gyászol az Alma Mater, az Óvári Kar, az óvári gazdaszok közössége.

Elhunyt Fazekas Imre, óvári gazdasz, közösségünk meghatározó egyénisége. Ha most megkérdezhetném, úgy érzem, hogy ő is azt választaná, hogy számos tisztsége és identitása közül, ezt emeljem ki, hiszen óvári gazdasz mivolta, a fő rendező elv volt az életében, amelyből szinte minden más levezethető volt.

Nehezen indul az írás, nehéz megszólalni a nekrológ írójának. Nagy a veszteség, erősek az érzelmek, nagy a feladat, hogy méltóképpen emlékezzünk Imrére. Egy fájdalmasan rövid időbe beszorított hihetetlenül gazdag és sokrétű életút főbb mérföldköveit kell felidézni.

Ismeretségünk hosszú időre nyúlik vissza. Abban a szerencsében volt részem, hogy fiatal oktatóként csoportfelelős tanár lehettem annál az évfolyamnál, amelyre Imre járt. Dr. Krász Ádám tanár úr, mint évfolyamfelelős irányítása mellett igyekeztünk terelgetni ennek a fiatal, energikus és sokszor szertelen csapatnak a kezdő lépéseit, majd későbbi útját az egyetemi tanulmányok világában.

Imre már korán kitűnt aktivitásával, határozottságával, tettekésségével. Nagyszerű közösségi ember volt, aki hamar a társaság motorjává és központi egyéniségévé vált.

Kiváló alapokkal jött, mindig büszke volt szeretett középiskolájára a győri Révai Miklós Gimnáziumra.

Jó tanuló volt, akin már kezdettől fogva látni lehetett az érdeklődést és a szakma szeretetét, amit későbbi életpályája minden tekintetben igazolt. Ugyanakkor a tanulás mellett érdekelték és vonzották a gazdasz hagyományok, a diákélet szabadsága és lehetőségei, és ha úgy adódott, egy kis bohémság sem volt idegen tőle. Sokan emlékszünk még az 1984-es diáknapokra, amikor is egy fergeteges kampány után diákdékáná választották.

Későbbi pályájának meghatározó élményeként említette azt a szakmai gyakorlatot, amelyet még hallgatóként töltött a jónevű jánossomorjai Kossuth TSz-ben. Úgy látszik, ott is elégedettek lehettek vele, mert 1987-ben, agrármérnöki diplomájának megszerzése után, friss diplomásként és ifjú házasként itt kezdte meg szakmai pályafutását és itt tette meg első lépéseit a nagybetűs életben. Az első időszakban állattenyésztő volt Várbalogon és Albertkázmépusztán. Még nem volt 30 éves, amikor kinevezték kerületvezetőnek, ahol a teljes vertikummal foglalkoznia kellett. Hozzá tartozott az állattenyésztés, a növénytermesztés, a takarmánykeverékgyártás, az értékesítés.

Életpályáját minden bizonnyal nagymértékben befolyásolta, hogy nem sokkal szakmai tevékenységének megkezdése után jött a rendszerváltás, ami a mezőgazdaság működését is fenekestől felforgatta, jó és rossz dolgokat egyaránt hozva magával.

Ez vezetett oda, hogy 1994-ben megalakította a „Szemes Művek” Kft-t, ami 8500 hektáron

integrálta a növénytermelést és a termények értékesítését. Ennek 16 éven át volt a többségi tulajdonosa és ügyvezető igazgatója, 2001 óta pedig a Mosonmagyaróvári Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Karnak, illetve jogutódjának a mintagazdasága. A gazdálkodás mellett szerepet vállaltak különféle fajtakísérletekben és rendszeresen fogadtak és fogadnak ma is a Karról érkező hallgatókat gyakorlatra. 2017-ben bekapcsolódtak az úgynevezett „duális képzésbe”, aminek keretében több hallgató náluk tölti a gyakorlati idejét. A gazdaságban végzett gyakorlati képzés mellett 2015-től címzetes egyetemi docensként a Karon is oktatott.

Az évek folyamán fokozatosan szűkítette a tevékenységi kört, és ahogy egy interjúban fogalmazott: „ma már csak 700 hektáron termelünk és 6 ezer tojtyúkot tartunk.”

Szakmai-közéleti tevékenysége részeként számos alkalommal emelte fel szavát, és hívta fel a figyelmet a határmenti régióban sok problémát okozó privatizációs, földvásárlási és földhasználati anomáliákra.

A szakmai tevékenység mellett a társadalmi szerep- és felelősségvállalás szintén fontos helyet foglalt el életében. Három cikluson keresztül volt tagja Jánossomorja képviselőtestületének, volt sportköri elnök, a Győr-Moson-Sopron Megyei Vadászkamara vezetőségi tagja, valamint a Mosonmagyaróvári Vízitársulat elnöke, illetve a Nemzeti Agrárgazdasági Kamara küldöttje.

Óvári gazdászként az Alma Materhez fűződő kapcsolatának egyik - talán legfontosabb - szegmense a mosonmagyaróvári Mezőgazdasági Szakemberek Klubjában és a jogutód Óvári Gazdászok Szövetségében vállalt szerepe. A jogelőd szervezet tevékenységének már kezdő agronómus korában is részese volt, majd a későbbiekben annak vezetőségi tagjává vált. Az Óvári Gazdászok Szövetségében kezdetben elnökségi tagként működött, majd a szervezet közgyűlése 2012-ben egyhangúan választotta meg elnökének, mely pozícióban 2020-ig tevékenykedett eredményesen. Elnöksége alatt sikeresen zajlott le az intézmény bicentenáriumi ünnepségsorozata, valamint a győri Széchenyi István Egyetemhez történő integrációja, melyek előmozdításában és véghezvitelében oroszlánrészt vállalt. Az Óvári Gazdászok Szövetségének, mint szervezetnek és saját karizmájának teljes súlyával állt ki a Kar érdekeiért. Az óvári gazdász hagyományok igaz őrzőjeként és továbbfejlesztőjeként, a kar múltjának ápolása, a jelen lehetőségeinek kiaknázása és a jövő fejlesztéseinek megalapozása terén kifejtett széleskörű tevékenységével bizonyította igaz ragaszkodását az ősi Alma Mater iránt.

A Széchenyi István Egyetem Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kara és az Óvári Gazdászok Szövetsége Egyesület érdemei elismeréseként 2018-ban Wittmann Antal, 2019-ben Albert Kázmér Díjjal tüntette ki. Kiemelkedő tevékenysége méltánylásaként az Alumni szervezet 2021-ben örökös tiszteletbeli elnökévé választotta, illetve az Egyetem Bicentenáriumi emlékérmét és Széchenyi István Egyetem emlékérmét adományozott számára.

A gyökerek meghatározzák egy ember életét. Három vagy négy településhez biztosan kötődött Imre. Az első Lipót, a szülőfalu, amely elmondása szerint, a döntő élményt adta - ifjúkori barátja édesapja révén -, ahhoz, hogy a mezőgazdasági pályát válassza. Szülőfalujába egész életében rendszeresen visszajárt és a családi köteléken kívül idekötötte még a „Vadludak” baráti társaság, melynek tagjait gyermek- és ifjúkori barátai alkották.

Győr és Mosonmagyaróvár a tanulmányok helyszínei, és végül Jánossomorja, ahol szakmai pályája kiteljesedett.

Annak ellenére, hogy Imre világot látott ember volt, ezek a meghatározó helyszínek beleférnek egy 50 km átmérőjű körbe.

Ez is azt mutatja, hogy nem kell feltétlenül a világ másik felén keresni a boldogulást, ha jól sáfárkodunk talentumainkkal, ez szülőföldünkön is sikerülhet.

A család kiemelten fontos volt életében. Tanulmányai végeztével feleségül vette Horváth Csilla földrajz-történelem szakos tanárnőt, aki egész életében hű társa maradt. Csilla a családon túl, szakmai munkájában is támogatta, és már hosszú ideje a cég gazdasági vezetőjeként tevékenykedik. Két lányuk született, akiket Imre mindig büszkén említett. Flórát, aki a Corvinus Egyetemen nemzetközi tudományokból diplomázott, majd politológiát tanult, és a „kis” Csillát, aki amellet, hogy pszichológus lett, a Mezőgazdasági mérnök szakot is elvégezte Óváron, folytatva így a családi hagyományokat.

Egy interjúban egyszer Imre a következőképpen fogalmazott: „Ha újra kezdhetném, megint csak agrármérnök lennék, és újra Csilla lenne a feleségem.”

Gyakran hallottam tőle a következő hasonlatot, amit ars poétikájának is tekintett: „Az élet olyan, mint a műkorcsolyaverseny. Van egy kötelező és egy szabadon választott kűr. Akkor nyersz, ha mindkettőben kiválóan teljesítesz. A munka, a család, az emberi kapcsolatok, a társadalmi konvenció szerint az elvárt kötelező gyakorlat. A hobbijaim, a Vadludak, a vadászat, a motorozás, a tréfás verseim jelentik az én szabad kűrömet. Akkor érzem jól magam, ha a kettő egyensúlyban van.”

Igen Imre, elmondhatjuk, hogy egyensúlyban volt! Három életre is elegendő dolgot tettél a számodra kiszabott rövid idő alatt. Köszönünk Neked mindent! Örökre beírtad magad az Óvári Gazdászok Aranykönyvébe. Amíg óvári gazdász lesz a Földön, az emléked élni fog.

Köszönjük, hogy velünk voltál! Nyugodj békében!

Mosonmagyaróvár, 2025. április 20.

*Dr. Schmidt Rezső
Professor emeritus
Széchenyi István Egyetem
Albert Kázmér Mosonmagyaróvári Kar*