



A karbonlábnyom csökkentésének néhány aspektusa a sertéstenyésztésben

FŐGLEIN FLÓRA, HÚTH BALÁZS, TOSSENBERGER JÁNOS*

Széchenyi István Egyetem, Albert Kázmér Mosonmagyaróvári Kar

Állattudományi Tanszék, Mosonmagyaróvár

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

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

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

Email: tossenberger.janos@sze.hu

*Corresponding author/Levelező szerző

Received/Érkezett: 2025.04.11.

Revised/Átdolgozva: 2025.06.18.

Accepted/Elfogadva: 2025.10.18.

Published/Megjelent: 2025.12.23.

ÖSSZEFOGLALÁS

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

Kulcsszavak: sertéstenyésztés, fenntarthatóság, alternatív fehérjeforrások, környezeti terhelés



1. BEVEZETÉS

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

2. VILÁG HÚSTERMELÉSÉNEK TENDENCIÁI

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



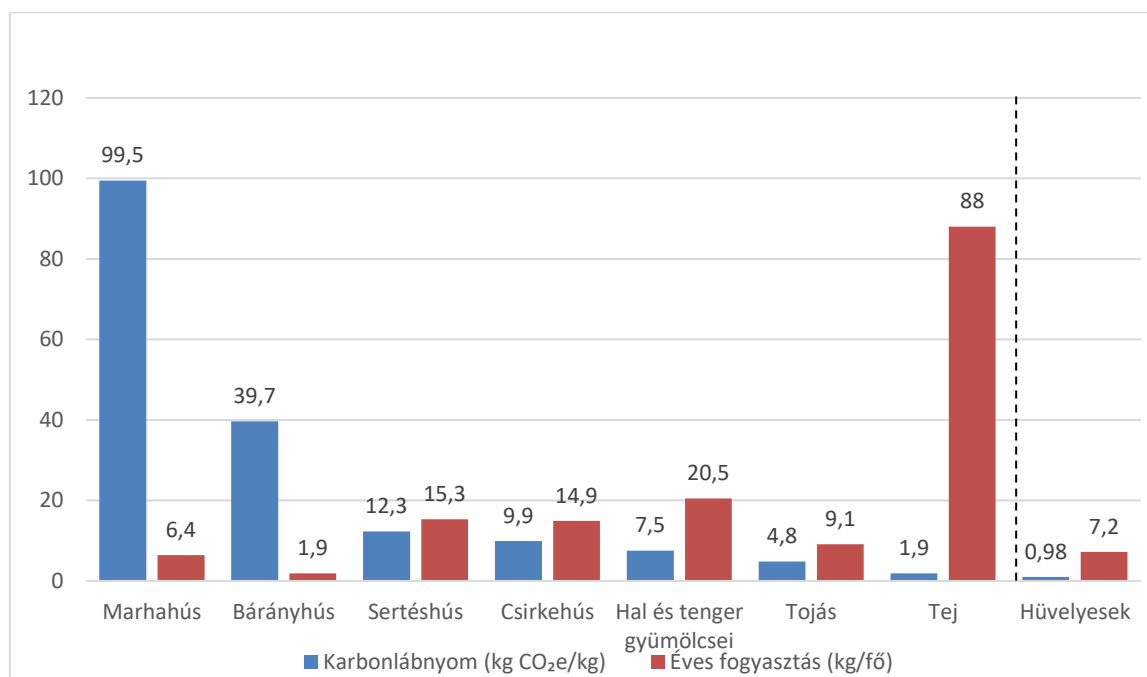
Az EU fogyasztói szokásainak változása miatt folyamatos növekedést mutatnak a vegánok, vegetáriánusok és flexitariánusok, ami részben környezetvédelmi okokkal indokolható. Szükséges azonban megjegyezni, hogy jelenleg még mindig alacsony a fogyasztók hajlandósága arra, hogy a húst rovarokkal vagy sejtalapú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

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

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

3. SERTÉSHÚS TERMELÉS ÉS ANNAK KÖRNYEZETI VONATKOZÁSAI

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



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

Forrás: Eurostat Comext adatbázis (2024)

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

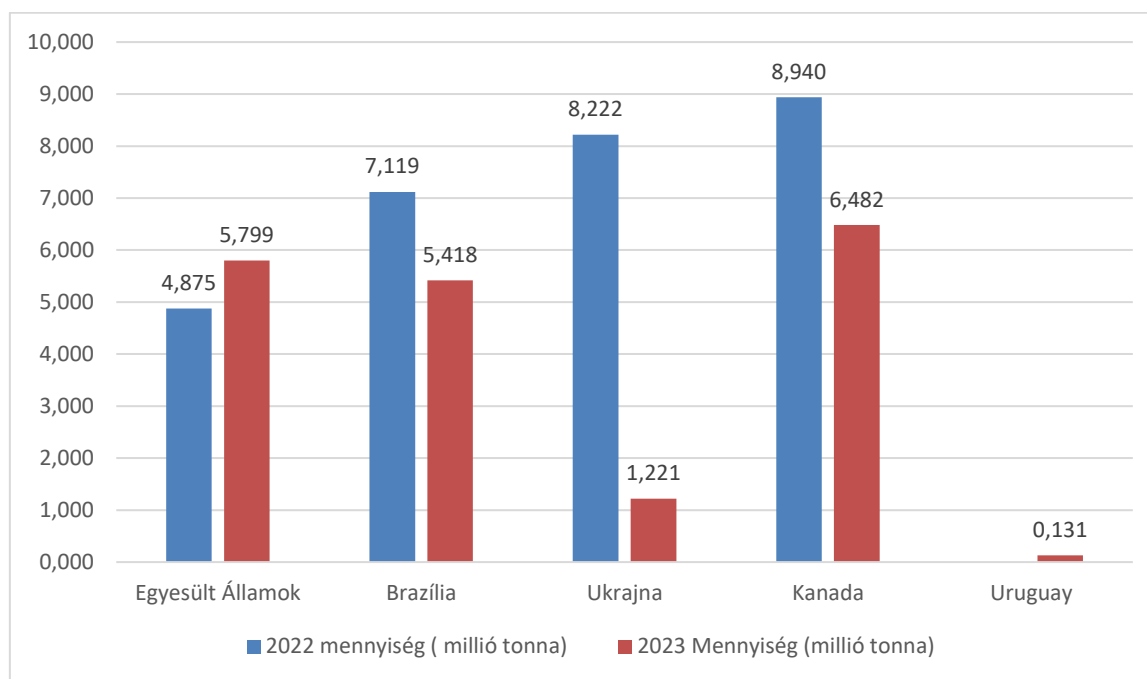


járnak, különösen a hús- és tejtermékek. A tej alacsony fajlagos karbonlábnyoma (1,9 kg CO₂e/kg) elsősre környezetbarát választásnak tűnhet, azonban a magas éves globális fogyasztás (88 kg/fő) miatt az ebből származó kibocsátás (167,2 kg CO₂e/fő/év) meghaladja például a csirkehúshoz köthető értéket.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

4. A SZÁLLÍTÁS KÖRNYEZETI HATÁSAI

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

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



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

Forrás: Eurostat Comext adatbázis 2022-2023

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

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



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

5. KEVERÉKTAKARMÁNYOK ELŐÁLLÍTÁSA

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

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



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

6. A FEHÉRJENÖVÉNYEK MINT ESZENCIÁLIS TAKARMÁNYKOMPONENSEK

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



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

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

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

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



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

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

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



7. AZ EGYES SZÓJAJAJTÁKBAN REJLŐ LEHETŐSÉGEK

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

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

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



8. A FENTARTHATÓSÁG JÖVŐBENI IRÁNYAI

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

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

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



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

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

9. KÖVETKEZTETÉSEK

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



Selected Aspects of Reducing the Carbon Footprint in Pig Farming

FLÓRA FŐGLEIN, BALÁZS HÚTH, JÁNOS TOSSENBERGER*

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

Department of Animal Science, Mosonmagyaróvár, Hungary

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

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

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

Email: tossenberger.janos@sze.hu

*Corresponding author/Levelező szerző

ABSTRACT

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

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

IRODALOMJEGYZÉK

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



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



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



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



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



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

©Copyright 2025 by the Authors.

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

