

ÁLLATTENYÉSZTÉS és TAKARMÁNYOZÁS

2025. 74. 2

Alapítás éve: 1952

ÁLLATTENYÉSZTÉS – TARTÁS – TAKARMÁNYOZÁS



› Béta-kazein a tehenek
tejtermelésében

› A fekete katonalég
jelentősége

› Tojtyúkوك kalcium ellátottsága

› Alternatív tojtyúk takarmányozási
rendszerek

› Genomikai információk
a vírus rezisztenciára irányuló
nemesítésben

TARTALOM - CONTENTS

<i>Polgár J. Péter – Pál László: Az állattenyésztés és takarmányozás 200 éve</i>	89
<i>Horváth Boglárka – Baranyay Henrik – Such Nikoletta – Wágner László – Dubleczy Károly – Pál László: Alternatív tojtyúk takarmányozási rendszerek lehetőségei és korlátai (Possibilities and limitations of alternative feeding systems for laying hens)</i>	92
<i>Nagy Rita – Tempfli Károly – Tossenberger János: A genomikai információk felhasználási lehetősége a vírus rezisztenciára irányuló nemesítésben - Irodalmi áttekintés (The potential of genomic information in breeding for virus resistance - Literature review)</i>	109
<i>Bana Bernadett – Gallen Attila – Tőzsér János: A fekete katonalégy jelentősége a körforgásos gazdaságban (The importance of the black soldier fly in the circular economy)</i>	123
<i>Horváth Boglárka – Baranyay Henrik – Such Nikoletta – Wágner László – Dubleczy Károly – Pál László: Tojtyúkok eltérő kalcium ellátásának vizsgálata osztott etetési technológiában (Investigations on the effects of different calcium supply of laying hens in a split feeding system)</i>	138
<i>Kovács Ákos Péter – Bene Szabolcs – Abella Dorina – Asbóth Zoé – Polgár J. Péter: A béta-kazein genotípus hatása magyar tarka tehénállomány első laktációs tejtermelésére (The effect of beta casein genotype on first lactation milk production in Hungarian Simmental cows)</i> ..	155
<i>A 2024-ben sikeresen megvédett PhD disszertációk összefoglalói - második rész (Summaries of PhD dissertations in the year of 2024 - part two):</i>	164
<i>Angeli Cserne: A fumonizin B1 toxin N- és O-palmitoil származékainak előállítása és toxicitásuk in vitro és in vivo vizsgálata (Preparation of N- and O-palmitoyl derivatives of fumonisin B1 toxin and their toxicity in vitro and in vivo)</i>	164
<i>Bárdos Boróka: Kisemlősök tartástechnológiájának fejlesztési lehetőségei (Development of keeping technology of small mammals)</i>	167
<i>Juhászné Tóth Réka: Szelénnel dúsított tej és tejtermékek előállítása (Production of selenium enriched milk and dairy products)</i>	171

Címlap kép (Frontpage photograph)

Bivaly csorda Zala megyében (Fotó: POLGÁR Péter)

Buffalo herd in Zala County (Photo: Péter POLGÁR)

Az állattenyésztés és takarmányozás 200 éve

A Magyar Tudós Társaság, a mai Magyar Tudományos Akadémia 1825. évi alapítása a tudomány támogatásának legnagyobb hazai eseményei közé tartozik. Az alapítók szándéka a magyar nyelvű tudomány és a fejlesztő, építő tudományosság meghonosítása, a tudomány hazai művelőinek támogatása volt. Saját szakmaterületünkön végzett tevékenységeink alapvető feladata ma is ez. A hazai állattenyésztés és takarmányozás területén egy hanyatló feudalista, nagybirtokos rendszerű termelési struktúrából induló átalakulás nagy ívű, ám számos politikai tényező által befolyásolt fejlődése húz két évszázados ívet. A fejlődés nem lehetett töretlen, hiszen ebben az időszakban az 1848-as szabadságharc, majd az I. és II. világháború pusztítása évtizedekre visszavetették a közben létrejött eredmények bevezetését, sikeres alkalmazását. A trianoni béke eredményeképpen hazánk mezőgazdasága nem csak területeteket, hanem értékes genetikai alapokat és sikeresen működtetett termelő- és feldolgozó technológiákat is elveszített. Ám a jelenlegi helyzet, ahonnan erre a két évszázadra visszatekinthetünk, egyértelműen több sikert, mint kudarcot jelent számunkra.

Az állattenyésztés tudatos, szervezett működtetése a lótenyésztésben már a XVIII. században, míg a többi haszonállat faj esetében csak a XIX. században formálódott rendszerré. A szarvasmarha esetében az igaerő jelentősége csökkent, a hús mellett a tej termelésének növelése vált szükségessé. A sertés zsír- és hústermelése, a juhok gyapjú-, hús- és tejtermelésének bevételi arányai is az élelmiszer alapanyagok, az állati fehérje irányába billentek el. Az állattenyésztési kutatásokhoz hasonlóan a takarmányozási kutatások is a XIX. században kezdtek szervezetté válni. A takarmány fogalma kitágult, már nemcsak a legelőt, a széna- és szalmafélét jelentette, az okszerű takarmányozás mellett jelentősen javult az abrakfogyasztó fajok termelésének intenzitása. A növekvő népesség élelmiszerral való ellátási igénye, a javuló közlekedési és szállítási lehetőségek és a feldolgozóipari élelmiszer-technológia mellett az árutermelési jellegű, intenzív állati termék előállítás rendszereinek kialakítása is szükségessé vált. Az 1894-ben kihirdetésre került „A mezőgazdaságról és a mezőrendőrségről szóló 1894. évi XII. Törvény”. A rendelkezései közül különösen nagy jelentőségűek a köztenyésztés irányításáról, ill. a köztenyésztés számára a megfelelő fajtájú, mennyiségű és minőségű apaállatokkal való ellátásról, az apaállatok beszerzéséről, azok kihelyezéséről és tartásáról szóló fejezetek. Széchenyi István már jóval korábban 1825-ben megalapította a „Pályafuttatási Társaságot” a lótenyésztés fejlesztésének elősegítésére. Ez a társadalmi szervezet 1828-ban „Lótenyésztési Társasággá”, majd 1830-ban „Állattenyésztő Társasággá” fejlődött és minden állatfajra kiterjesztette tenyésztésszervező tevékenységét (Bíró és Zsilinszky, 2024).

Az 1896-ban megalakuló „Állatélettani és Takarmányozási Kísérleti Állomás” nagy szerepet játszott a fejlődő takarmányozási kutatások összefogásában, a tudományos alapok megteremtésében. A XX. század elejétől a két világháború közötti időben sokat fejlődött a hazai takarmányok összetételének és táplálóértékének megállapítása, a kapcsolódó anyagcsere-élettani tudásanyag. Az állattermék-előállítás intenzitásának növekedésével és a genotípusok változásával párhuzamosan az állattenyésztési és takarmányozási vizsgálatok specializálódtak,

megjelentek az állatfajonként művelt kutatások. A II. világháború után mindenkori politikai struktúra hatásai érdemben befolyásolták a tenyésztési tevékenységek rendszerét, működtető szervezeteinek felépítését. Ugyanakkor a népesség élelmiszerrel történő ellátása mellett egyre nagyobb jelentőséget kaptak az export áralapot előállító ágazatok. Hazánk jelentős pozíciót ért el ezen a területen. Az 1949-ben létrejött „Állattenyésztési Kutatóintézet” és a később létrejövő egyéb intézetek az egyetemeken működő tudományos műhelyekkel együtt jelentős szerepet játszottak a világháborút követő államilag irányított „programos kutatásokban”. Az állattenyésztésben megjelenő fajtaátalakító keresztezések, hibridprogramok olyan genetikai bázist hoztak létre, ami a takarmányozástan fejlődését is generálta: az iparszerű takarmánykeverék-előállításához, a fehérje- és energia-értékelési rendszerekhez, a tömegtakarmány-tartósítási technológiákhoz kapcsolódó kutatások fellendülését segítette. Az 1989-es rendszerváltás után a civil szervezetekként létrejött tenyésztő egyesületek vették át az addig állami feladatként működtetett a tenyésztésszervezés, törzskönyvezés, fajtafenntartás gyakorlati feladatainak jelentős részét. Az alkalmazott és a kísérleti fejlesztéshez kapcsolódó takarmányozási kutatások területén jelentősebbé vált a hazai és külföldi nagyvállalatok részvételével, támogatásával, valamint a pályázatok keretében folyó tudományos munka.

Az állattenyésztés és takarmányozás, illetve a két területen végzett kutatás az elmúlt 200 évben egymás mellett alakult, fejlődött a kezdeti extenzív, majd az intenzív, és ma már a precíziós termeléshez kapcsolódóan (Szendrő és mtsai, 2025). A ló, sertés, szarvasmarha, juh, nyúl, házi méh és a hal- és baromfi fajok tenyésztésében alkalmazott eljárások tiszta vérben és keresztezés területén is kiváló genetikai alapokat eredményeztek. A hazai vonatkozásban védett és megőrzendő fajták esetében a génmegőrzési programok *in vivo* és *in vitro* eljárásait is alkalmazzuk. A sertés és baromfi fajok esetében a hibridizáció eljárása adott kiemelkedő eredményességet. Ezzel párhuzamosan fejlődött ki az állattenyésztésben alkalmazott biotechnológiai eljárások széles tárháza. Mai tenyésztési programjainkban a genom alapú eljárások, technológiáinkban a szenzorikus érzékelés, robotika és digitalizáció eszköztárát is képesek vagyunk alkalmazni. A takarmányozási kutatások jelenlegi és jövőbeni kihívásai nagyban kötődnek az állattenyésztés és a termék-előállítás fenntarthatósági követelményeihez, a klímaváltozás és a környezetvédelem kérdéseire. Az állatjóléti elvárásoknak való megfelelés, az antibiotikum felhasználás csökkentése, a precíziós és non-invazív adatgyűjtés és adatkezelés, a különféle „omikai” vizsgálómódszerek alkalmazása szintén fontos igazodási pontokat, gyorsan fejlődő területeket fog jelenteni a jövőbeni kutatások számára.

Az Állattenyésztés és Takarmányozás című tudományos folyóirat jogelődjét Állattenyésztés címmel dr. Czákó József alapította 1952-ben. A röviddel azelőtt újraalakult Állattenyésztési Kutatóintézet munkatársaival együtt felismerte, hogy a szakmának szüksége van egy tudományos folyóíratra, amelyben közzétehetik a gyakorlatban megvalósítható új tudományos eredményeket. A hazai eredmények, fejlesztések, innovációk bemutatásának, alkalmazási lehetőségei elterjesztésének kiváló eszköze lehet ma is. Első sorban szakmánknak, munkatársainknak szól.

Források:

- Bíró I. – Zsilinszky L. (2024):* Tenyésztésszervezés szervezeti rendszerének kialakulása és változása a magyar állattenyésztés történeti fejlődése során. DAGENE-Dunamenti Állatfajták Génmegőrző Nemzetközi Egyesülete, Budapest. ISBN 978-615-01-9417-2
- Kovács M. – Babinszky L. – Dublec K. – Fébel H. – Mézes M. (2025):* A gazdasági állatok takarmányozását megalapozó hazai kutatások 200 éve. Magyar Tudomány, 186. 859–865. <https://doi.org/10.1556/2065.186.2025.5.9>
- Szendró Zs. – Urbányi B. – Gócza E. – Horn P. (2025):* 200 év az állattenyésztési kutatásban. Magyar Tudomány, 186. 853–858. <https://doi.org/10.1556/2065.186.2025.5.8>

Alternatív tojótyúk takarmányozási rendszerek lehetőségei és korlátai

Possibilities and limitations of alternative feeding systems for laying hens

HORVÁTH Boglárka - BARANYAY Henrik - SUCH Nikolett - WÁGNER László -
DUBLECZ Károly - PÁL László

ÖSSZEFOGLALÁS

A tojótyúkok általánosan elterjedt hagyományos takarmányozási rendszerében az állatok a nap folyamán azonos táplálóanyag-tartalmú, általában dercés formájú, teljes értékű takarmánykeveréket fogyasztanak. Az alternatív takarmányozási rendszerek közé a szabadon válogató ("*free-choice feeding*" vagy "*cafeteria feeding*"), az egész szemű gabonás keveréket alkalmazó ("*loose-mix feeding*") és a szakaszos vagy osztott ("*sequential feeding*" vagy "*split feeding*") takarmányozási technológia tartozik. Az alternatív rendszerek segítségével a napi tojásképződési folyamat változó táplálóanyag és Ca-szükséglete pontosabban kielégíthető, a tojótyúknak bizonyos esetekben lehetősége van az energia-, fehérje- és Ca-források közötti szelekcióra. Az egész szemű gabonát alkalmazó technológiákban kihasználhatók az egész gabonaszemeknek a zúzógyomor kedvezőbb működése által biztosított emésztés-élettani előnyei, illetve a helyben megtermelt gabona felhasználásával csökkenthető a gabonafélék szállításához és őrléséhez szükséges energia. A kutatások eredményei szerint az alternatív technológiák alkalmasak lehetnek a tojótyúk takarmányozás termelési és gazdasági hatékonyságának növelésére, egyes környezetterhelési hatásainak mérséklésére.

Kulcsszavak: alternatív takarmányozás, tojótyúk, tojástermelés, osztott rendszer, Ca-ellátás

SUMMARY

In conventional feeding systems commonly used for laying hens, the animals consume a nutritionally balanced, typically mash-form complete diet with uniform nutrient content throughout the day. Alternative feeding systems include **free-choice feeding (cafeteria feeding)**, **loose-mix feeding** using whole grains, and **sequential or split feeding** technologies. The so-called free-choice system offers two or three feeds to the bird at the same time in separate feeders. The hens can choose between whole or ground grains, protein concentrate and different forms of feed limestone or other calcium sources according to their needs. The technology can be used on small farms because the simultaneous use of multiple feeders is not possible in large-scale operations. In the so-called "loose-mix" feeding system, whole grain is fed mixed with a complete feed mixture or protein concentrate. The benefits demonstrated using this technology are largely due to the digestive-physiological effects of whole grain. In a sequential or split feeding system, morning and afternoon feeds with different compositions are distributed in the same trough and may be the most suitable alternative system for large-scale layer farms. Two types of split feeding systems have been developed. In the first type of split feeding without the use of whole grains, a high energy, high protein, and low Ca diet is fed in the morning, while a low energy, low protein, and high Ca diet is offered in the afternoon. The other concept of the split system combines a high energy-low protein diet in the morning and a high protein-high Ca mixture in the afternoon. The high energy-low protein morning diet is usually whole wheat or another whole grain. These alternative systems can more precisely meet the varying nutrient and calcium requirements associated with the daily egg formation process. Technologies utilizing whole grains can take advantage of the digestive physiological benefits provided by improved gizzard function and allow for the use of locally produced grains, which reduces the energy needed for transportation and grinding. According to research findings, alternative feeding technologies may be suitable for improving the **productive and economic efficiency** of layer feeding and for mitigating certain **environmental impacts**.

Keywords: alternative feeding, laying hen, egg production, split feeding, calcium supply

1. Bevezetés

Az étkezési tojást termelő tojótyúkok általánosan elterjedt hagyományos takarmányozási rendszerében a nap folyamán azonos táplálóanyag-tartalmú, általában dercés formájú, teljes értékű takarmánykeveréket fogyasztanak az állatok. Ebben a hagyományos rendszerben a tyúkok takarmányfogyasztását főként az energia felvételük szabályozza, de nagy tojástermelési heterogenitás vagy nagymértékben változó környezeti hőmérséklet esetén a fehérje és a kalcium (Ca) túl- vagy alulfogyasztása fordulhat elő (Bouvaere és mtsai, 2011). Az alternatív takarmányozási rendszerek közé a szabadon válogató (*"free-choice feeding"* vagy *"cafeteria feeding"*), az egész szemű gabonás keveréket alkalmazó (*"loose-mix feeding"*) és a szakaszos vagy osztott (*"sequential feeding"* vagy *"split feeding"*) takarmányozási technológia tartozik (Molnár és mtsai, 2018b). Az alternatív rendszerek lehetőséget adnak a napi tojásképződési folyamat változó táplálóanyag és Ca-szükségletének pontosabb kielégítésére, bizonyos esetekben az energia-, fehérje- és Ca-források közötti szelekcióra. Az egész szemű gabonát alkalmazó technológiákban kihasználhatók az egész gabonaszemeknek a zúzógyomor kedvezőbb működése által biztosított emésztés-élettani előnyei, illetve a helyben megtermelt gabona felhasználásával csökkenthető a gabonafélék szállításához és őrléséhez szükséges energia. A kutatások eredményei szerint az alternatív technológiák alkalmasak lehetnek a tojótyúk takarmányozás termelési és gazdasági hatékonyságának növelésére, egyes környezetterhelési hatásainak mérséklésére.

2. A tojásképződés fontosabb élettani folyamatai

A tojótyúkok általában 24–26 óránként képesek tojást tojni, a tojásképződés átlagos ideje házi tyúkokban 24,5 óra. A folyamat első szakasza a petefészekben zajló tüszőfejlődés, amelynek során a fehérjékben és lipidekben gazdag szikanyag beépül az oocytába (Péczeley, 1987). A szikanyagok szintézise (*vitellogenesis*) a májban történik, a pubertás időszakától intenzíven termelődő ösztrogén hormon hatására. A szikanyag nagy részét kitevő lipoproteinek, pl. a nagyon kis sűrűségű lipoprotein (VLDL) és a vitellogenin (VTG) folyamatosan képződnek a májban, majd a vérplazmában szállítódva jutnak a petefészekbe, ahol az egyes molekulákat az oocyta receptor-közvetített endocitózissal veszi fel (Schneider, 2009). A szikanyag szintézise a tojótyúk számára nagy energiaigénnyel jár, az intenzív tüszőfejlődés időszakában a madár által felvett energia akár 40-50%-a is erre a célra használandó fel (Péczeley, 1987).

Az ovuláció során felszabaduló oocyta a petevezető tölcser (*infundibulum*) szakaszán keresztül a fehérjemirigybe (*magnum*) jut. A fehérjemirigy felelős a tojásfehérje (*albumen*) nagy hányadának termeléséért a véráram útján a szervbe folyamatosan transzportálódó aminosavakból (Péczeley, 1987). Az itt található csöves mirigyek valamennyi sejtje képes az albument alkotó közel 50 fehérje szintézisére és szekréciójára. A sejtekben a szintetizált fehérjék 1-2 napos tárolása is lehetséges (Péczeley, 1987). A fejlődő tojás ezt követően a szűkületbe (*isthmus*) kerül, ahol kialakul a héjhártya, a külső héjhártya rostjainak kereszteződéseiben a szerves mamilla magokkal, amelyek a meszesedés kiinduló pontjaiként szolgálnak (Sinclair-Black és mtsai, 2023). A tojás a szűkületet elhagyva a petevezető

hémirigy (*uterus*) részébe jut, ahol 19-20 órát tölt. A hémirigyben három fázisban jön létre a mintegy 5g Ca-karbonátot tartalmazó tojáshéj. A héjképződés első, kb. 5 órán át tartó fázisában a Ca-karbonát kezdődő lerakódásával párhuzamosan víz és fehérjék is bejutnak a héjhártyán át a tojásfehérjébe (Nys és Guyot, 2011). A második, intenzív meszesedési időszak kb. 10-13 órát jelent, majd a meszesedés befejező fázisa mintegy 1,5 óra hosszan tart. A Ca-karbonát képződése a hémirigy lumenében történik a Ca^{2+} és a hidrogénkarbonát (HCO_3^-) ionok egyesülése útján (Péczeley, 1987). A Ca^{2+} a vérplazmából jut az uterus üregébe, míg a hidrogénkarbonát ion vagy a vérből transzportálódik, vagy a hémirigy sejtjeiben képződött széndioxidból helyben jön létre (Sinclair-Black és mtsai, 2023). A mészhéj külső rétegére rakódó, szervetlen (hidroxil-apatit) és szerves (glikoproteidek és lipidok) anyagokból álló kutikula nagy részben a héjképződés utolsó 1,5-2 órájában jön létre (Péczeley, 1987).

A madaraknak két különböző Ca-forrás áll rendelkezésükre a tojáshéj képzéséhez (Péczeley, 1987). A meszes héjba beépülő kb. 2g Ca^{2+} származhat közvetlenül a takarmányból, vagy mobilizálódhat reszorpció révén a csontállományból. A reggeli és délelőtti órákban, amikor nem zajlik meszesedési folyamat az uterusban, a takarmányból felszívódó Ca^{2+} a csontokba kerül és raktározódik a medulláris állományban, illetve a vesék kiválasztják és kiürül a szervezetből (Nys és Guyot, 2011). A tojáshéj meszesedésének megindulásakor a bél Ca- abszorpciója fokozódik, a Ca a tojócsőbe szállítódik. A vérplazma Ca^{2+} szintjének ilyenkor tapasztalt csökkenése maga után vonja a parathormon koncentrációjának növekedését és hatására a medulláris csontszövetben a csontbontó osteoclastok aktivitásának fokozódását, a Ca-transzport megindulását az uterus felé (Péczeley, 1987). A sötét periódus kezdetén megszűnik a takarmányfelvétel és a bélcső Ca-tartalma a takarmányfelvétel befejezését követően 4-5 órával felszívódik vagy a bélsárral kiürül. A tojáshéj meszesedési fázisának ebben az utolsó részében már csak a csontokból származó Ca járul hozzá a mészhéj képződéséhez (Sinclair-Black és mtsai, 2023). A héj meszesedésének aktív szakaszaiban közvetlenül a bélből történő felszívódás által biztosított Ca^{2+} -ellátás hatékonyabb, mint a csontokból történő Ca^{2+} -reszorpció (Peganova és Eder, 2002).

3. Szabadon válogató takarmányozási rendszer ("free-choice feeding", "cafeteria feeding")

Az un. szabadon válogató rendszer két vagy három takarmányt kínál a madárnak külön-külön etetőekben egyszerre. A tyúkok szükségleteiknek megfelelően választhatnak az egész szemű vagy darált gabonák, a fehérjekoncentrátum és a különböző takarmánymész formák vagy egyéb Ca-források között (Robinson, 1985; Chah és Moran, 1985; Forbes és Covasa, 1995). A kétféle takarmány esetén az egyiknek egy energiában és fehérjében gazdag, Ca-ban szegény keveréknek, a másiknak egy nagy Ca-tartalmú kiegészítőnek kell lennie (Leeson és Summers, 1979). Chah (1972) kísérletében a hagyományos takarmányozási technológiát egy olyan szabadon válogató rendszerrel hasonlította össze, amelyben a tojóttyúkoknak egy energiában és fehérjében, illetve egy Ca-ban gazdag takarmányt kínált fel egy időben (1. ábra). A hagyományos, kontroll takarmányozáshoz képest a szabadon válogató madarak energia és fehérje felvétele a délelőtti folyamán

1. ábra: A tojótyúkok energia-, fehérje- és Ca-felvétele a nap folyamán a hagyományos (kontroll) és a szabadon válogató (EP Ca) technológiában (Chah, 1972)

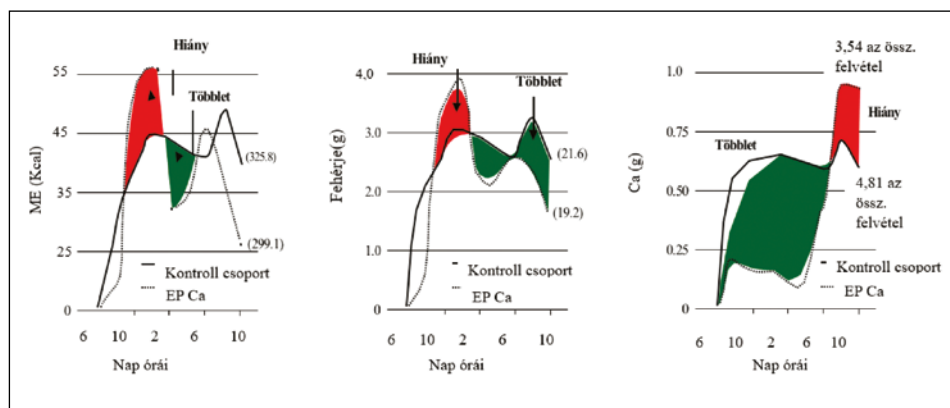


Figure 1: Energy, protein and calcium intake of laying hens during the day in the conventional (control) and free-choice (EP Ca) feeding technologies (Chah, 1972)

nagyobb, délután pedig kisebb volt. A Ca esetében ezzel szemben délelőtt jóval kisebb, délután viszont jóval több felvétel volt kimutatható. A szabadon válogató madarak napi összes energia felvétele 11, fehérje felvétele 8, Ca-felvétele 26%-kal volt kisebb a kontroll csoport értékeinél. A kísérlet alapján elmondható, hogy a mindig azonos összetételű takarmánykeverék a hagyományos takarmányozási technológiában a délelőtt folyamán energia- és fehérjehiányt, a délután folyamán viszont Ca-hiányt alakít ki a tojótyúk szervezetében. Az energia-, fehérje- és Ca-felvétel alakulása a kísérletben összefüggésben lehetett a tojásképződés szükségleteinek dinamikájával.

A kísérlet eredményei szerepet játszottak a későbbiekben az osztott technológia szemes gabonát nem alkalmazó típusának kialakításában is, amikor a vizsgálatok során a délelőtti keverékek a hagyományosnál nagyobb energia és fehérje, illetve kisebb Ca-tartalommal, a délutániak pedig kisebb energia és fehérje, de nagyobb Ca-koncentrációval kerültek összeállításra.

A technológia kisgazdaságokban alkalmazható, mert többféle etető egyidejű alkalmazása a nagyüzemben nem megoldható. Az összegyűlt tapasztalatok szerint a tojótyúkoknak maximum háromféle takarmányt érdemes kínálni, amelyeknek táplálóanyag és Ca szintben határozottan különbözniük kell (Molnár és mtsai, 2018b). A gabonák egész szemes formában is etethetők, többféle gabona is összekeverhető. A vitamin és a mikroelem forrásokat nem ajánlott szétválasztani. Fontos a megfelelő etető férőhely biztosítása és még a tojóidőszak megkezdése előtt, kb. a 15. héttől érdemes a technológiához való hozzászoktatás elindítása (Molnár és mtsai, 2018b). A szakirodalom alapján a szabadon válogató takarmányozás a hagyományos takarmányozáshoz képest a legtöbb esetben hasonló vagy jobb tojástermelési teljesítményt, vagy tojásmínőséget eredményezett (1. táblázat). Karunajeewa (1978) nagyobb tojástömegről, kisebb takarmányfelvételtől és kedvezőbb takarmányértékesítésről számolt be fehérjekoncentrátumot és egész szemű búzát felhasználó szabadon válogató rendszer esetében a ha-

gyománys technológiával való összehasonlításban. Hasonlóképpen *Leeson és Summers* (1979) a kontroll takarmánykeveréket (11,7 MJ/kg AME, 17,1% nyersfehérje, 3,0% Ca) fogyasztó csoporthoz képest kisebb takarmányfelvételt és nagyobb tojástömeget és hasonló tojástermelési %-ot mutatott ki a szabadon válogató csoportban, amikor a tyúkoknak egyidejűleg nagy energiájú és fehérjetartalmú, alacsony Ca-tartalmú takarmányt (12,8 MJ/kg AME; 19,2% nyersfehérje, 0,47% Ca) és kis energiájú és fehérjetartalmú, emelt Ca-tartalmú takarmányt kínált (7,28 MJ/kg AME; 10,7% nyersfehérje, 13,1% Ca).

1. táblázat: A szabadon válogató takarmányozás hatása a tojástermelési paraméterekre a hagyományos takarmányozással összehasonlítva

Irodalmi forrás (1)	Tojás termelés (%) (2)	Tojás súly (g) (3)	Tojás súly (g/nap) (4)	Tak. felvétel (g/nap) (5)	Energia felvétel (MJ/tyúk) (6)	Fehérje felvétel (g/tyúk) (7)	Ca- felvétel (g/tyúk) (8)	FCR (kg/kg) (9)
<i>Karunajeewa</i> (1978)	na (10)	+ (11)	na	- (12)	na	na	na	-
<i>Leeson és Summers</i> (1979)	= (13)	+	na	-	-	-	+	na
<i>Farrell és mtsai</i> (1981)	=	=	na	-	-	=	na	-
<i>Tauson és Elwinger</i> (1986)	=	+	+	na	na	na	na	na
<i>Chah és Moran</i> (1985)	=	=	na	=	-	-	-	na
<i>Olver és Malan</i> (2000)	=	+	na	=	-	-	+	-

-: szignifikáns csökkenés ($p < 0,05$); +: szignifikáns növekedés ($p < 0,05$); =: nincs szignifikáns különbség ($p > 0,05$); na: nincs adat; FCR: takarmány-értékesítés

Table 1: Effects of free-choice feeding on egg production traits compared to conventional feeding reference (1); egg production (%) (2); egg weight (g) (3); egg mass (g/day) (4); feed intake (g/day) (5); energy intake (MJ/hen) (6); protein intake (g/hen) (7); Ca-intake (g/hen) (8); feed conversion ratio (kg/kg) (9); no data (10); significant increase ($p < 0.05$) (11); significant decrease ($p < 0.05$) (12); no significant effect ($p > 0.05$) (13)

Chah és Moran (1985) az állatoknak külön-külön kínált darált kukorica alapú energiaforrást (11,7 MJ/kg AME, 8% nyersfehérje; 0,75% Ca), pelletált fehérje koncentrátumot (50% nyersfehérje, 10,46 MJ/kg AME, 0,2% Ca) és osztrigahéj pelyhet. A hagyományos takarmányozáshoz (11,7 MJ/kg MJ/kg AME, 18% nyersfehérje, 3,75% Ca) képest hasonló takarmányfelvételt, tojástermelést és tojástömeget mértek a kísérletben. A tojások Haugh-egysége nem különbözött, míg a héjszilárdság javult a szabadon válogató takarmányozás hatására a kontrollhoz képest. Egy hasonló vizsgálatban *Olver és Malan* (2000) darált kukorica helyett egész kukoricát kínált, granulált fehérje koncentrátummal és takarmánymésszel jércéknek hét hetes kortól és a tojástermelési teljesítményt a 80. élethétig rögzítették. A tojásrakási időszak alatt nem volt különbség a takarmányfelvételben vagy a tojástermelésben, de a szabadon válogató takarmányozású csoportban nagyobb tojástömeget és tojáshéj vastagságot, valamint kedvezőbb takarmány-

értékesítést figyeltek meg. A szabadon válogató takarmányozás hatásai változóak voltak a madarak között *Forbes és Covasa* (1995) kísérletében, ami az állományban megnövekedett heterogenitást eredményezett. Több kutatócsoport is gyengébb tojásmínőségről, kedvezőtlen tollazatról és megnövekedett takarmányfelvételtől számolt be a szabadon válogató takarmányozási rendszerben etetett állományoknál (*Tauson és Elwinger*, 1986; *Al Bustany és Elwinger*, 1988). *Farrell és mtsai* (1981) takarmányozáshoz képest kedvezőbb takarmány-értékesítést tapasztaltak, amikor három szabadon választható, energiában gazdag takarmányt kínáltak: 100% kukorica, 60% kukorica 40% maniókával keverve és 94% kukorica 6% pálmaolajjal keverve. A tojástermelési intenzitás és a tojások tömege hasonló volt, míg a takarmányfelvétel kisebb, a takarmány-értékesítés pedig kedvezőbb volt a hagyományos takarmányozással összehasonlítva.

4. Egész szemű gabonás keverékre alapozott rendszer („loose-mix feeding”)

Az un. „loose-mix” etetési rendszerben az egész szemű gabona teljes értékű tojó takarmánykeverékkel vagy fehérje koncentráttal együtt keverten kerül etetésre (2. táblázat).

2. táblázat: Az egész szemű gabonás keverékre alapozott („loose-mix”) takarmányozás hatása a tojástermelési paraméterekre a hagyományos takarmányozással összehasonlítva

Irodalmi forrás (1)	Egész gabona arány (2)	Tojás termelés (%) (3)	Tojássúly (g/tojás) (4)	Tojássúly (g/nap) (5)	Tak. felvétel (g/tyúk) (6)	Ca-felvétel (g/tyúk) (7)	FCR (kg/kg) (8)
<i>Ouart és mtsai</i> (1986)	37%	= (13)	=	=	=	na (10)	=
<i>Umar Faruk és mtsai</i> (2010a)	50%	=	=	=	=	na	=
<i>Benett és Classen</i> (2003)	60%	- (12)	+ (11)	na	+	na	+
<i>Henuk és mtsai</i> (2000)	60%	na	na	na	-	-	-
<i>Blair és mtsai</i> (1973)	70%	=	na	na	-	-	-
<i>Robinson</i> (1985)	75%	-	+	na	+	na	+
<i>Umar Faruk és mtsai</i> (2010b)	75%	=	=	na	-	na	na

+: szignifikáns csökkenés; -: szignifikáns növekedés; =: nincs szignifikáns különbség; na : nincs adat; FCR: takarmány-értékesítés

Table 2: Effects of loose-mix feeding on egg production traits compared to conventional feeding reference (1); ratio of whole grain (2); egg production (%) (3); egg weight (g) (4); egg mass (g/day) (5); feed intake (g/day) (6); Ca-intake (g/hen) (7); feed conversion ratio (kg/kg) (8); no data (10); significant increase ($p < 0.05$) (11); significant decrease ($p < 0.05$) (12); no significant effect ($p > 0.05$) (13)

A technológia alkalmazása során kimutatott előnyök nagy részben köszönhetők az egész szemű gabona révén létrejövő emésztés-élettani hatásoknak (Svihus, 2011). Az egész szemű gabona által a zúzógyomor mérete növekedhet, működése intenzívebbé válik. A gyomortartalom kémhatása savasabb, a fehérjeemésztés nagyobb hatékonysággal zajlik. A jobb zúzóműködés hormonális úton elősegíti a hasnyál előállítását, a hasnyállal ürülő enzimek aktivitásának növekedését és így valamennyi táplálóanyag emésztésének javulását (Svihus, 2011). A technológia vizsgálata során több ellentmondásos eredmény is született (Molnár és mtsai, 2018b). A 45% egész szemű búzának a teljes értékű tojótakarmányba történő bekeverése változatlan tojástermelést és takarmány-értékesítést eredményezett (Ouart és mtsai, 1986). Umar Faruk és mtsai (2010a) 50:50% arányban keverték az egész szemű gabonát és a fehérje koncentrátumot (121 g keverék/nap/tyúk). A kísérleti kezeléssel etetett tyúkok hasonló takarmányfelvételt, tojástermelést, tojástömeget és takarmány-értékesítést mutattak, mint a hagyományos rendszerben etetett tyúkok. Az egész szemű gabona 60%-ra növelt aránya, amelyben a gabona árpa volt, csökkentette a tojástermelést, de növelte a takarmányfelvételt és a tojások tömegét, kedvezőtlenebb takarmány-értékesítést okozva az azonos mennyiségű darált árpát tartalmazó takarmányhoz képest (Bennett és Classen, 2003). Henuk és mtsai (2000) a 60% egész szemű búzát és 40% granulált fehérje koncentrátumot tartalmazó keverékkel hasonló tojástermelési %-ot és tojástömeget, de kisebb takarmányfelvételt és kedvezőbb takarmány-értékesítést mértek a teljes értékű dercés takarmánnyal szemben. Az egész szemű gabonafélék arányának 75%-ra való növelése (búza és zab) és a fehérje koncentrátum 25%-ra történő csökkentése a keverékben csökkentette a tojástermelést, növelte a takarmányfelvételt és az elhullási arányt (Robinson, 1985) a hagyományos technológiához képest. Egy hasonló "loose-mix" rendszerben, ahol különböző egész szemű gabonaféléket (búza, árpa és kukorica) kevertek fehérje koncentrátummal és osztrigahéj-grittel 70:23:7 % arányban, Blair és mtsai (1973) hasonló tojástermelést, de kisebb takarmányfelvételt és kedvezőbb takarmány-értékesítést mutatott ki, mint a hagyományos dercés takarmányozás során. Ezek az ellentétes eredmények rávilágítanak arra, hogy az egész szemű gabonafélék (50-70%) és a fehérje koncentrátum relatív aránya döntő tényező a "loose-mix" takarmányozási rendszerben.

5. Osztott takarmányozási rendszer ("sequential feeding" vagy "split feeding")

A szakaszos vagy gyakoribb nevén osztott etetési rendszerben a délelőtti és délutáni időszakban különböző összetételű takarmányt ugyanabban az etetőben adják az állatoknak és ezért ez lehet a legmegfelelőbb alternatív rendszer a nagyüzemi tojástermelés számára. Az osztott takarmányozási rendszernek két típusa jött létre. Az első, egész szemű gabonát nem alkalmazó típusban a technológiai ajánláshoz képest az állatok a délelőtti folyamán egy energiában és fehérjében gazdagabb, illetve Ca-ban szegényebb, míg a délutáni folyamán energiában és fehérjében szegényebb, Ca-ban gazdagabb keveréket fogyasztanak (Lee és Ohh, 2002). A második, egész szemű gabonát felhasználó technológiában a délelőtti folyamán történik a gabona etetése önállóan, ami energiában gazdag,

de fehérje és Ca-tartalma nem éri el az álatok szükségletét. A délután során egy energiában szegény, de fehérjében és Ca-ban gazdag keverék etetésére kerül sor (*Umar-Faruk és mtsai*, 2011).

A két rendszer értékeléséhez érdemes megvizsgálni, hogy a napi ovulációs-ovipozíciós ciklus során az energia, a fehérje és aminosav, illetve a Ca-szükséglet hogyan viszonyul a leírt napszakos ellátáshoz. Mindkét osztott technológiában a délelőtti folyamán a délutánhoz képest egy energiában gazdagabb takarmány etetése történik. A szikbe transzportálódó lipoproteinek folyamatosan szintetizálódnak a májban és felhalmozódnak a tüszőben (*Péczely*, 1987), így a szik fejlődéséhez az ovulációig nem kapcsolódik energiaszükségleti csúcs. A szabadon válogató technológia vizsgálata során a hagyományos technológiával összehasonlítva azt tapasztalták, hogy a tojótyúkok energia felvétele nagyobb volt a délelőtti folyamán, az ovipozíció időszakában, illetve amikor az ovulált szik a petevezető infundibulum és magnum részében volt, mint a délutáni és későbbi napszakban (*Chah és Moran*, 1985). Ezek az eredmények indokolhatják az osztott rendszerek energia megosztásának napszakos elterését.

A két osztott rendszer legnagyobb különbsége a tojótyúkok fehérje- és aminosav-ellátása tekintetében áll fenn. Az első típusú osztott etetési rendszer elmélete azon alapul, hogy a tojásfehérje és a héjhártya fehérjéinek szintézise miatt a tojótyúk nagyobb mennyiségű aminosavat igényel a reggeli ovuláció után (*Hiramoto és mtsai*, 1990; *Muramatsu és mtsai*, 1991). A fehérjeszintézis sebessége kb. kétszer akkora, amikor a tojás a petevezető tojásfehérjét termelő magnum részében van, összehasonlítva a petevezető más részében tartózkodó tojással (*Hiramoto és mtsai*, 1990). Egy szabadon válogató etetést vizsgáló kísérlet során a tojótyúkok nagyobb mértékben a fehérje granulátumot preferálták a nagy energia tartalmú dercés keverékkel és az osztriga héjjal szemben, amikor a petesejt a magnumban volt (*Chah és Moran*, 1985). *Chah és Moran* (1985) szabadon válogató és hagyományos etetés összehasonlítása során két óránként mérte a tojók fehérje felvételét, ami a fentiekben ismertetett energia felvételhez hasonlóan alakult. A tojás fehérjemirigyben való jelenléte idején a válogató csoport kísérleti állatai esetében nagyobb mennyiségű fehérje felvételt mértek, mint amikor az uterusban volt a tojás. Ezzel szemben számos kísérleti eredmény nem támasztja alá azt a hipotézist, hogy a madár számára elsősorban a délelőtti fehérje és aminosav felvétel kulcsfontosságú, azaz a délelőtti szakaszban a tojótyúk fehérje és aminosav felvétele legyen nagyobb a délutáni időszakhoz képest. A nap első felében fehérjedús, majd a második felében fehérjeszegény takarmány osztott etetése hasonló tojástermelést eredményezett, mint a nap folyamán állandó fehérjeszintű takarmány etetése (*Penz és Jensen*, 1991; *Keshavarz*, 1998a; 1998b). Az osztott etetés során etetett 13% nyersfehérje tartalmú délelőtti és 16% nyersfehérje tartalmú délutáni takarmány hasonló tojástermelési %-ot, tojástömeget és takarmányértékesítést eredményezett, mint az ellentétes fehérje szintű keverékek (délelőtti 16%, délután 13% nyersfehérje tartalmú keverék) alkalmazása (*Keshavarz*, 1998a). A kísérletben a tojótyúkok délutáni fehérjebevitelére mindkét kezelési csoportban nagyobb volt, mivel a délelőtti és a délutáni takarmányfelvétel közel 40-60%-os arányban oszlott meg mindkét nyersfehérje kombináció esetében. A délutáni takarmány nagyobb fehérje koncentrációja a második típusú osztott rendszerben nem volt hatással a tojástermelésre, a tojástömegre,

a takarmányértékesítésre a hagyományos takarmányozáshoz képest (*Umar-Faruk és mtsai*, 2011). A délutáni takarmány nagyobb fehérjetartalmának biológiai magyarázata ebben a technológiában hiányzik, de indok az lehet, hogy az egész szemű gabonafélék alacsony fehérjetartalmát kompenzálja. Összességében az eredmények azt valószínűsítik, hogy optimális teljesítmény akkor várható, ha a napi fehérje és aminosav felvétel megfelelő mennyiségű és minőségű, függetlenül attól, hogy a maximális napi felvétel a reggeli vagy a délutáni időszakban történik. A petevezető fehérjemirigyében zajló fehérjeszintézis és –szekréció folyamata is ezt erősíti meg. A magnum mirigyei annak hatására ürítik váladékukat, hogy a magnumban előrehaladó, formálódó tojás nyomást gyakorol a nyálkahártyára (*Péczely*, 1987). Egyszerre a nyálkahártya redők kb. harmada érintkezik a tojással és üríti mirigyeit, míg a további kétharmadnyi redő mirigyeiben a következő tojásba szekretálódó fehérjék szintézise zajlik. A tojás áthaladását követően elegendő idő, kb. 25 óra, áll rendelkezésre a kiürült mirigyek regenerációjára, új fehérjék szintézisére (*Péczely*, 1987).

Mindkét osztott etetési technológiában a Ca-ellátás fő időszaka a délután, a délelőtti órákban etetett takarmány Ca-tartalma kicsi. A tojótyúkoknál az energia és fehérje szükséglet napszakos változásához képest sokkal kifejezettebb a Ca-igény napszakos változása. Ha összehasonlítjuk a madarak takarmányfogyasztását a napszakok szerint, nagy különbséget figyelhetünk meg a tojásrakásban lévő és tojást nem tojó madarak esetében. A tojásrakásban lévő madarak takarmányfogyasztása esetében két takarmányfelvételi maximum írható le (*Keshavarz*, 1998a). Az első a fényszakas kezdetétől 4-6 óra múlva, míg a nagyobb 14-16 óra múlva mérhető. A második takarmányfelvételi csúcs tojáshéjképződés alatti speciális Ca- igényhez kapcsolódik, és nem közvetlenül az energiaigény növekedéséhez vagy az éjszakai energiaraktározáshoz (*Mongin és Sauveur*, 1974). A reggeli órákban történő ovipozíció esetén a tojáshéjképződés során főként a „sötét periódusra” esik és éjszaka zajlik, a Ca-szükséglet ilyenkor a legnagyobb. Minden olyan takarmányozási technológia ezért, amely segíti a bélből történő Ca abszorpciójának „elnyújtását” a takarmányfelvétel leállását követően (pl. késő délutáni Ca-kiegészítés, durvább szerkezetű, nehezebben oldódó takarmánymész), segítheti a tojáshéj meszesedésének folyamatát, minőségének megőrzését vagy javítását. Az osztott takarmányozási rendszer délutáni takarmányának nagyobb Ca-tartalma is ezen az elven keresztül fejtheti ki előnyös hatásait. Az osztott rendszert vizsgáló korai tanulmányok a technológia pozitív hatását mutatták ki a tojáshéj vastagság, törésszilárdság (*Lee és Ohh*, 2002) és a héjdeformáció (*Leeson és Summers*, 1978) vonatkozásában.

A tojássárgájával és a -fehérjével ellentétben, a Ca-ban gazdag tojáshéj csak kis mennyiségű foszfort (P) tartalmaz (*Nys és Guyot*, 2011). Amikor a madarak kénytelenek mobilizálni a Ca-ot a medulláris csontból, ezzel egyidejűleg foszfor is felszabadul, nagyon nagy hányada viszont nem tud beépülni a tojáshéjba és a környezetbe ürül (*Nys és Guyot*, 2011). Az éjszakai héjképződés során a csontból kioldódó P pótlása miatt másnap a délelőtti időszakban ezért nagyobb mennyiségű P szükséges (*Nys és Guyot*, 2011). A délelőtti és délutáni P-szükségletek egymáshoz való aránya ezért ellentétes a Ca-szükségletek arányával. Ebből kifolyólag az osztott etetési rendszer takarmánykeverékei nagyobb hasznosítható P-szintet biztosítanak a tojótyúk számára a délelőtti fázisban a délutáni

fázishoz képest (*Umar Faruk, és mtsai, 2010a; Keshavarz és mtsai, 1998b; Molnár és mtsai, 2018b*).

Az osztott takarmányozási rendszerben több szerző, köztük saját kutatócsoportunk is a tojótyúkok csökkent napi takarmányfelvételét figyelte meg a hagyományos technológiával való összehasonlításban (*Leeson és Summers, 1978; Lee és Ohh, 2002; Horváth és mtsai, 2024*). A délelőtti időszakban egész szemű búzát alkalmazó osztott etetési rendszer esetében több kutatás szintén kisebb napi takarmányfelvételtől számolt be a kontroll etetéssel összehasonlítva (*Umar Faruk, és mtsai, 2010a; Traineau, és mtsai, 2013*). Voltak azonban olyan kísérletek is, amelyekben a tojótyúkok takarmányfelvétele nem különbözött az osztott és a hagyományos takarmányozási rendszerben (*Molnár és mtsai, 2018b; Poudel és mtsai, 2022*). Az étkezési tojást termelő tojótyúkokkal végzett kutatások (*de Los Mozos és mtsai, 2015; Molnár és mtsai, 2018b; Poudel és mtsai, 2022*) mellett brojler szülőpár tojók (*van Emous és Mens, 2021; van Emous, 2023*) esetében is kimutatták, hogy az osztott etetéssel a tojástermelési intenzitás, illetve a tojástömeg hasonló szinten tartható, mint a hagyományos takarmányozási technológiában. Egyes szerzők viszont trendszerűen jobb tojástermelési intenzitásról ($p=0,058$), illetve szignifikánsan ($P<0,05$) nagyobb napi termelt tojástömegről számoltak be az osztott technológiával etetett tojótyúkok esetében a kontroll takarmányozással összehasonlítva (*Jahan és mtsai, 2024*). Az osztott etetési rendszerben a kontrollhoz képest kedvezőbb takarmányértékesítés volt tapasztalható számos korábbi kísérletben, ami a gyakorlati üzemeltetés során ökonómiai előnyt is biztosíthat (*Lee és Ohh, 2002; Umar Faruk, és mtsai, 2010a; Traineau és mtsai, 2013*). Az eredmények között találhatóak nem ketreces rendszerből származók is. Hy-Line Brown tojók takarmányértékesítését szignifikánsan javította az osztott etetési rendszer a hagyományos etetéshez képest szabadtartású technológiában, a 34-53. élethét közötti időszakban, (*Jahan és mtsai, 2024*). Saját ketreces modell kísérletünkben az általunk kifejlesztett osztott takarmányozási rendszer a csúcstermelés időszakában (29-40. élethét) kisebb takarmányfelvétel mellett a hagyományos takarmányozási technológiával megegyező tojástermelési intenzitást és tojássúlyt, így kedvezőbb takarmány-értékesítést biztosított (3. táblázat), illetve mélyalmos üzemi körülmények között is (29-38. élethét) alkalmas volt a

3. táblázat: Tojástermelési jellemzők a hagyományos (kontroll) és az osztott etetési technológia összehasonlítása során modell kísérletben (29-40. élethét; átlag $\pm$ SEM; Horváth és mtsai, 2024)

Kezelés ¹ (1)	Tojástermelési intenzitás (%) (2)	Tojássúly (g) (3)	Napi tojássúly (g/nap) (4)	Takarmány-értékesítés (kg/kg) (5)
Kontroll etetés (6)	98,5 $\pm$ 0,4	60,1 $\pm$ 0,6	59,1 $\pm$ 0,6	1,93 $\pm$ 0,01
Osztott etetés (7)	98,0 $\pm$ 0,2	60,3 $\pm$ 0,7	59,0 $\pm$ 0,7	1,83 $\pm$ 0,02
Szignifikancia (8)	NS ² (9)	NS	NS	$p<0,001$

¹K – hagyományos etetés (kontroll), O – osztott etetés; n=23/kezelés; ²NS – nem szignifikáns ($p>0,05$)

Table 3: Egg production parameters of hens in commercial and split-feeding model system (29-40 weeks of age; means $\pm$ SEM; Horváth et al., 2024)

treatment (1); egg production (%) (2); egg weight (g) (3); egg mass (g/day) (4); feed conversion ratio (kg/kg) (5); control feeding (6); split-feeding (7); significance (8); non-significant ($p>0,05$) (9)

hagyományos takarmányozási technológiához hasonló tojástermelés eredmények (tojástermelési intenzitás, tojássúly, takarmány-értékesítés) elérésére (Horváth és mtsai, 2024).

Az egész szemű gabona etetésére alapozott osztott takarmányozás hatásait a tojástermelési teljesítmény paramétereire több kísérlet eredményei alapján a 4. táblázat foglalja össze.

4. táblázat: **Egész szemű gabona etetésére alapozott osztott takarmányozás hatása a teljesítmény jellemzőkre a hagyományos takarmányozással összehasonlítva**

Irodalmi forrás (1)	Tojás termelés (%) (2)	Tojás súly (g) (3)	Tojás súly (g/nap) (4)	Tak. felvétel (g/tyúk) (5)	Energia felvétel (MJ/tyúk) (6)	Fehérje felvétel (g/tyúk) (7)	Ca-felvétel (g/tyúk) (8)	FCR (kg/kg) (9)
Blair és mtsai (1973)	=	=	na (10)	+ (10)	=	+	+	na
Umar Faruk és mtsai (2010a)	=	=	=	- (12)	-	-	na	-
Umar Faruk és mtsai (2010b)	=	=	=	= (13)	na	na	na	=
Umar Faruk és mtsai (2011)	=	=	=	-	-	na	na	-
Traineau és mtsai (2013)	=	+	=	-	-	na	na	-

-: szignifikáns csökkenés +: szignifikáns növekedés, .=: nincs szignifikáns különbség; na: nincs adat; FCR: takarmány-értékesítés

Table 4: Effects of split-feeding based on whole grain on egg production traits compared to conventional feeding

reference (1); egg production (%) (2); egg weight (g) (3); egg mass (g/day) (4); feed intake (g/day) (5); energy intake (MJ/hen) (6); protein intake (g/hen) (7); Ca-intake (g/hen) (8); feed conversion ratio (kg/kg) (9); no data (10); significant increase ($p < 0.05$) (11); significant decrease ($p < 0.05$) (12); no significant effect ($p > 0.05$) (13)

A reggel etetett egész szemű gabona, mint energiaforrás, kombinálva a délután etetett nagyobb fehérje tartalmú takarmányokkal a legtöbb vizsgálatban javították a tojóttyúk takarmány-értékesítését. A vizsgálatok során megnövekedett takarmányfelvételt csak akkor tapasztaltak, amikor a gabonafélék (búza, árpa és kukorica) és a délután etetett fehérjében gazdag granulátum *ad libitum* állt rendelkezésre, de a tojástermelés ilyenkor is a hagyományos takarmányozási rendszerhez hasonló volt (Blair és mtsai, 1973). Amikor azonban korlátozták a takarmányfelvételt (121 g/nap), illetve a gabonaféléket és a fehérjekoncentrátumot 50:50% arányban adták, a takarmányfelvétel kisebb volt és a takarmányértékesítés nagymértékben javult a hagyományos vagy az egész szemű gabonás rendszerhez képest (Umar Faruk és mtsai, 2010a). Ebben a vizsgálatban a tojástermelés, a tojások tömege és a megtermelt napi tojástömeg minden vizsgált takarmányozási rendszerben hasonló volt. Az egész szemű búza etetése hozzájárult a takarmány-értékesítés

javulásához, mivel elősegítette a zúzógyomor működését és ezen keresztül a hatékonyabb emésztési folyamatokat. A tyúkok tojástermelését, a tojástömeget és a takarmányfelvételt nem befolyásolta, amikor az egész szemű búza arányát 50%-ról 75%-ra emelték a délelőtti takarmányban (*Umar Faruk és mtsai*, 2010b). Mindkét kezelés a hagyományos takarmányozáshoz hasonló a tojástermelési intenzitást és takarmány-értékesítést eredményezett. Figyelemre méltó, hogy a búzafogyasztás és a tojások tömege kisebb volt, amikor darált búzát etettek egész szemű búza helyett, a tojástermelés és a tojástömeg pedig változatlan maradt. A darált búza vagy kukorica 100%-os alkalmazása, vagy 80:20% arányban egész búzával való keverése csökkentette a tojások tömegét és a megtermelt napi tojástömeget anélkül, hogy befolyásolta volna a tojástermelést az egész búzás osztott etetéshez képest (*Traineau és mtsai*, 2013). A darált gabonafélék etetése az osztott rendszerben az egész szemű búzához képest kevésbé volt hatékony a takarmány-értékesítés tekintetében, de még mindig jobb volt, mint a hagyományos dercs takarmány etetése (*Traineau és mtsai*, 2013). A tojótyúkoknak a délelőtti folyamán vagy a délután kiosztott, mészkő grittet tartalmazó tápok energia- és fehérjeszintjének változása nem befolyásolta a takarmányfelvételt, a tojástermelést és a tyúkok testtömegét (*Traineau és mtsai*, 2015).

Az osztott rendszert vizsgáló korai tanulmányok a technológia pozitív hatását mutatták ki a tojáshéj minőségi jellemzői közül a tojáshéj vastagságára, törésszilárdságára (*Lee és Ohh*, 2002) és a héj deformációjára (*Leeson és Summers*, 1978). A későbbi kísérletek eredményei már nem egységesek. Idős, 83 hetes korú tojótyúkokban az osztott etetési rendszer, amikor a tojáshéjképződés időszakában nagyobb Ca-tartalmú takarmányt etettek, nagyobb tojáshéjvastagságot eredményezett, mint a hagyományos takarmányozás (*Molnár és mtsai*, 2017). *Keshavarz* (1998b) nem mutatott ki nagyobb tojáshéj vastagságot a kontroll csoporthoz képest (3,8% Ca), amikor a tojótyúkok délutáni keverékének Ca-tartalma meghaladta a délelőtti keverékét (de: 2,0% és du: 5,0%). Az osztott etetés hatására nem változott a tojáshéj vastagsága *Jahan és mtsai* (2024) kísérletében a hagyományos etetéssel összehasonlítva. A délutáni nagyobb Ca-tartalmú kiegyensúlyozó takarmány az osztott rendszerben szintén biztosította a kontrollhoz hasonló normál héjképződést és minőséget *Umar Faruk és mtsai* kísérleteiben (2010a; 2010b). Brojler szülőpár tojókkal végzett vizsgálatok során az osztott rendszer nem befolyásolta a tojáshéj minőségét (*van Emous és Mens*, 2021; *van Emous*, 2023). A 60-80 hetes életkorú Hy-LineW-36 tyúkok tojásai között kisebb arányban voltak lágyhéjúak az osztott etetésű csoportban, mint a hagyományos kezelési csoportban (*Poudel és mtsai*, 2022). Az osztott technológiával etetett tyúkok csoportjában kisebb volt a repedt vagy sérült tojások százalékos aránya, mint a kontroll csoportban (*Molnár és mtsai*, 2017). A tojás frissességet jelző Haugh-egység mérőszáma osztott etetés hatására nem változott a kontroll takarmányozással összevetve *Molnár és mtsai* (2018a, 2018b) vizsgálataiban.

Az osztott takarmányozás előnyei között megemlíthető, hogy segítségével csökkenthető a tojók által naponta felvett nyersfehérje, nitrogén (N) és P mennyisége, illetve az ürülék N és P koncentrációjának, a N és a P emissziójának csökkentése által a hagyományos takarmányozáshoz képest kisebb környezetterhelő hatás is elérhető. Az osztott takarmányokkal etetett tojótyúkok N-felvétele kisebb volt, mint a hagyományos takarmánnyal etetett madarak esetében *Leeson és Summers*

(1978) korai kísérletében. A délelőtti és délutáni osztott takarmányok 16-10%-os nyersfehérje-koncentrációja csökkentette a teljes fehérje- és N-felvételt, valamint növelte az állatok N-retencióját a 16% nyersfehérje tartalmú kontroll takarmányokhoz képest (Keshavarz, 1998b). Saját kísérleteink során kimutattuk, hogy az osztott takarmányozási rendszerben termelő tojtyúkrok nem csak kevesebb N-t bocsátanak ki a környezetükbe, elsősorban a kisebb N-felvételük miatt, mint a hagyományos takarmányozásban részesülők, hanem az ürülékben jelen lévő N-formák koncentrációja is kedvezőbb (5. táblázat; Horváth és mtsai, 2024). Eredményeink alapján az ammónia emisszió szempontjából előnyösebb az osztott technológiában keletkező ürülék, amely kisebb koncentrációban tartalmazza az NH_4^+ - és húgysav-N összegeként számított vizelet-N-t.

Az osztott technológia hatására mért 70%-os látszólagos ileális N-emészthetőséggel szemben a kontroll csoportban szignifikánsan nagyobb, 80%-os emészthetőséget mérték ($P < 0,001$; Jahan és mtsai (2024). A foszfor forgalmához kötődő vizsgálatok közül Keshavarz (1998b) kísérletében az osztott kezelése közötti eltérések ellenére sem talált különbséget a kísérleti állatok P-retenciójában (23 és 17% közötti átlagok). Az osztott etetési technológia organikus tartásban a tojtyúkrok kisebb P-emisszióját eredményezte a hagyományos technológiával összehasonlítva (van Krimpen és mtsai, 2018)

Keshavarz (1998b) tanulmánya számolt be a sápcsonthamu tartalmának méréséről, melyben az osztott, délelőtti és délután eltérő P-ellátás nem befolyásolta szignifikánsan a sápcsonthamu tartalmát. Molnár és mtsai (2018c) kísérletében az osztott etetés, melyet a tojók 75. és 92. élethéte között alkalmazott, nem járt a sápcsonthamutörésszilárdságának, Ca- és P- tartalmának szignifikáns eltéréseivel a kontroll etetéshez képest. A kutató csoport megvizsgálta 21-85. élethét között a tojók sápcsonthamutörésszilárdságát és nem találtak különbséget az osztott és a hagyományos technológia összehasonlításában. Poudel és mtsai (2022) egy

5. táblázat: Az ürülék szárazanyag-tartalma és N-formáinak koncentrációja hagyományos (kontroll) és osztott etetési technológia esetén (29-40.élethét; átlag $\pm$ SEM; Horváth és mtsai, 2024)

Kezelés ¹ (8)	Szárazanyag (%) (1)	Bélsár-N (2)	NH_4^+ -N (3)	Húgysav-N (4)	Vizelet-N ² (5)	Összes N (6)
		mg/g sz.a (7)				
K (9)	20,18 $\pm$ 0,62	21,73 $\pm$ 0,43	7,12 $\pm$ 0,10	21,39 $\pm$ 0,20	28,51 $\pm$ 0,28	50,24 $\pm$ 0,54
O (10)	21,60 $\pm$ 0,41	20,53 $\pm$ 0,29	6,63 $\pm$ 0,10	20,11 $\pm$ 0,19	26,75 $\pm$ 0,25	47,28 $\pm$ 0,47
Szignifika- ncia (11)	NS ³ (12)	$p < 0,05$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$	$p < 0,001$

¹ K-hagyományos (kontroll) etetés, O – osztott etetés; ² az NH_4^+ -N és húgysav-N összege; ³ NS – nem szignifikáns ($P > 0,05$)

Table 5: Dry matter content and concentration of nitrogen forms in the excreta in commercial and split-feeding system (29-40 weeks of age; mean $\pm$ SEM; Horváth et al., 2024)

dry matter (1); feces nitrogen (2); NH_4^+ -nitrogen (3); uric acid-nitrogen (4); urinary-nitrogen (5); total nitrogen (6); mg/g dry matter (7); treatment (7); control treatment (9); split-feeding treatment (10); significance (11); non-significant - $p > 0.05$ (12)

későbbi életszakaszban, a 70. és 79. élethét időszakában nem tudott kimutatni szignifikáns különbségeket a sípcsont törésszilárdságában, átmérőjében, hosszában és súlyában az osztott, illetve a hagyományos etetés között.

Az osztott takarmányozási rendszer takarmánykeverékeinek összetétele ár-előnyt biztosíthat a hagyományos rendszer hasonló összetételű tápjainak árával szemben. Saját modell kísérletünkben csak az alapanyagok árával számolva a hagyományos takarmánykeverék árához viszonyítva az osztott rendszer tápjain alapuló napi adag ára 4%-os költségcsökkenést jelentett az osztott tápok javára (Horváth és mtsai, 2024). Egy friss publikáció a témában az általunk kimutatott takarmányköltség csökkenést kismértékben meghaladó, 6%-os csökkenést mutatott ki az osztott tápok javára a hagyományossal összehasonlítva (Hwang és mtsai, 2025), ami a kétféle technológiával elért hasonló termelési eredmények esetében szintén megerősíti, hogy az osztott technológia alkalmazásával gazdasági előny érhető el. Az osztott rendszer működtetéséhez szükséges azonban minden istállóhoz egy-egy külön takarmánytároló siló a délelőtti és a délutáni takarmánykeverékek számára. Számításaink szerint ez az extra beruházási költség hazai viszonyok között egy közepes méretű telep esetében az említett kedvezőbb takarmányozási költségeket alapul véve kb. egy év alatt megtérülhet.

5. Következtetések és javaslatok

Az alternatív takarmányozási technológiákról rendelkezésre álló tudományos ismereteink alapján elmondható, hogy a bemutatott rendszerek képesek a hagyományos rendszerrel összehasonlítva hatékonyabban kielégíteni a tojástermelés táplálóanyag- és Ca-szükségletét. A nagyüzemi tojástermelés számára legnagyobb potenciál az osztott technológia alkalmazásában van, ami a hagyományos rendszerhez hasonló tojástermelést és tojásmínőséget biztosíthat kisebb takarmányfelvétel és kedvezőbb takarmányértékesítés mellett. További előny az osztott rendszer hagyományosnál kisebb környezetterhelő hatása, lehetséges szerepe a N és ammónia emisszió csökkentésében. Az osztott rendszer további vizsgálatára, fejlesztésére számos területen szükség van, hiszen nincsenek tudományos igényű, specifikus javaslatok az egyes genotípusok eltérő takarmányozására, illetve a tojóciklus különböző szakaszaira vonatkozó ajánlásokat illetően. Ugyancsak hiányoznak a széles körű tudományos vizsgálatok az egyes alternatív tartástechnológiákban, mélyalmos, madárházaz, szabadtartásos rendszerekben termelő tojótyúkók számára.

6. Köszönetnyilvánítás

A jelen cikkben szereplő saját kutatásunk (Horváth és mtsai, 2024) az Innovációs és Technológia Minisztérium Kooperatív Doktori Program doktori hallgatói ösztöndíj programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült (KDP-6-3/PALY-2021).

7. Felhasznált irodalom

- Al Bustany, Z. – Elwinger, K. (1988): Whole grains, unprocessed rapeseed and β -glucanase in diets for laying hens. *Swedish J. Agric. Res.*, 18. 31–40.
- Bennett, C. D. – Classen, H. L. (2003): Performance of two strains of laying hens fed ground and whole barley with and without access to insoluble grit. *Poult. Sci.*, 82. 147–149. <https://doi.org/10.1093/ps/82.1.147>
- Blair, R. – Dewar, W.A. – Downie, J. N. (1973): Egg production responses of hens given a complete mash or unground grain together with concentrate pellets. *British Poult. Sci.*, 14. 373–377.
- Bouvarel, I. – Nys, Y. – Lescoat, P. (2011): Hen nutrition for sustained egg quality, In: Improving the safety and quality of eggs and egg products: Volume 1: Egg chemistry, production and consumption. Editors: Nys, Y. – Bain, M. – Van Immerseel, F., ITAVI, Centre INRA de Tours, F-37380 Nouzilly, France, 261–299.
- Chah, C. C. (1972): A study of the hen's nutrient intake as it relates to egg formation. M.S. Thesis, University of Guelph, Guelph, ON, Canada
- Chah, C. C. – Moran, E. T. (1985): Characteristics of high-performance hens at the end of lay when given cafeteria access to energy, protein, and calcium. *Poult. Sci.*, 64 (9). 1696–1712. <https://doi.org/10.3382/ps.0641696>
- de Los Mozos de, J. – Navarro-Villa, A. – García-Ruiz, A. I. (2015): Splitfeeding system reduces second grade eggs in the late production phase of laying hens. In: Proceedings of the 20th European Symposium on Poultry Nutrition, Prague, Czech Republic, 24–27 August 2015.
- Etches, R. J. (1987): Calcium logistics in the laying hen. *J. Nutr.*, 117. 619–628. <https://doi.org/10.1093/jn/117.3.619>
- Farrell, D. J. – Hamid, R. – Hutagalung, R. I. (1981): Free-choice feeding of laying hens in the humid tropics. *Trop. Anim. Prod.*, 6. 22–29.
- Forbes, J. M. – Covasa, M. (1995): Application of diet selection by poultry with reference to whole cereals. *World's Poult. Sci. J.*, 51. 149–165. <https://doi.org/10.1079/WPS19950010>
- Henuk, Y. – Thwaites, C. J. – Hill, M. K. – Dingle, J. G. (2000): The effect of fluctuating environmental temperature on responses of laying hens to choice feeding in a single feeder. In: Proceedings of the Australian Poultry Symposium, Editors: Pym, R.A.E et al., University of Sydney, Sydney, 117–120.
- Hiramoto, K. – Muramatsu, T. – Okumura, J. (1990): Protein synthesis in tissues and in the whole body of laying hens during egg formation. *Poult. Sci.*, 69. 264–269. <https://doi.org/10.3382/ps.0690264>
- Horváth, B. – Striffler, P. – Such, N. – Wágner, L. – Dublec, K. – Baranyay, H. – Bustyaházi, L. – Pál, L. (2024): Developing a more sustainable protein and amino acid supply of laying hens in a split feeding system. *Animals*, 14. 3006. <https://doi.org/10.3390/ani14203006>
- Hwang, H. – Lim, C. – Eom, J. – Cho, S. – Kim, I. H. (2025): Split-feeding as a sustainable feeding strategy for improving egg production and quality, nutrient digestibility, and environmental impact in laying hens. *Poult. Sci.*, 105100, <https://doi.org/10.1016/j.psj.2025.105100>
- Jahan, A. A. – Dao, T. H. – Morgan, N. K. – Crowley, T. M. – Moss, A. F. (2024): Effects of AM/PM diets on laying performance, egg quality, and nutrient utilisation in free-range laying hens. *Appl. Sci.*, 14. 2163. <https://doi.org/10.3390/app14052163>
- Karunajeewa, H. (1978): The performance of cross-bred hens given free choice feeding of whole grains and a concentrate mixture and the influence of source of xanthophylls on yolk colour. *British Poult. Sci.*, 19. 699–708. <https://doi.org/10.1080/00071667808416532>
- Keshavarz, K. (1998a): Investigation on the possibility of reducing protein, phosphorus, and calcium requirements of laying hens by manipulation of time of access to these nutrients. *Poult. Sci.*, 77. 1320–1332. <https://doi.org/10.1093/ps/77.9.1320>

- Keshavarz, K. (1998b): Further investigations on the effect of dietary manipulation of protein, phosphorus, and calcium for reducing their daily requirement for laying hens. *Poult. Sci.*, 77. 1333–1346. <https://doi.org/10.1093/ps/77.9.1333>
- Lee, K. H. – Ohh, Y. S. (2002): Effects of nutrient levels and feeding regimen of a.m. and p.m. diets on laying hen performances and feed cost. *Korean J. Poult. Sci.*, 29. 195–204.
- Leeson, S. – Summers, J. D. (1978): Voluntary food restriction by laying hens mediated through dietary self-selection. *British Poult. Sci.*, 19. 417–424. <https://doi.org/10.1080/00071667808416496>
- Leeson, S. – Summers, J. D. (1979): Dietary self-selection by layers. *Poult. Sci.*, 58. 646–651. <https://doi.org/10.3382/ps.0580646>
- Molnár, A. – Maertens, L. – Ampe, B. – Buyse, J. – Zoons, J. – Delezie, E. (2017): Supplementation of fine and coarse limestone in different ratios in a split feeding system: effects on performance, egg quality, and bone strength in old laying hens. *Poult. Sci.*, 96. 1659–1671. <https://doi.org/10.3382/ps/pew424>
- Molnár, A. – Kempen, I. – Sleenckx, N. – Zoons, J. – Maertens, L. – Ampe, B. – Buyse, J. – Delezie, E. (2018a): Effects of split feeding on performance, egg quality, and bone strength in brown laying hens in aviary system. *J. Appl. Poult. Res.*, 27. 401–415. <https://doi.org/10.3382/japr/pfy011>
- Molnár, A. – Maertens, L. – Ampe, B. – Buyse, J. – Zoons, J. – Delezie, E. (2018b): Effect of different split-feeding treatments on performance, egg quality, and bone quality of individually housed aged laying hens. *Poult. Sci.*, 97. 88–101. <https://doi.org/10.3382/ps/pex255>
- Molnár, A. – Maertens, L. – Ampe, B. – Buyse, J. – Zoons, J. – Delezie, E. (2018c): Effect of different split-feeding treatments on performance, egg quality, and bone quality of individually housed aged laying hens. *Poult. Sci.*, 97. 88–101. <https://doi.org/10.3382/ps/pex255>
- Mongin, P. – Sauveur, B. (1974): Voluntary food and calcium intake by the laying hen. *British Poult. Sci.*, 15. 349–359. <https://doi.org/10.1080/00071667408416118>
- Muramatsu, T. – Hiramoto, K. – Okumura, J. (1991): Changes in ovalbumin and protein synthesis in vivo in the magnum of laying hens during the egg formation cycle. *Comp. Biochem. Physiol. B, Comp. Biochem.*, 141–146. [https://doi.org/10.1016/0305-0491\(91\)90019](https://doi.org/10.1016/0305-0491(91)90019)
- Nys, Y. – Guyot, N. (2011): Egg formation and chemistry. In: *Improving the Safety and Quality of Eggs and Egg Products*, Editors: Nys, Y. – Bain, M. – Immerseel, F.V., Woodhead Publishing, 83–132. <https://doi.org/10.1533/9780857093912.2.83>
- Olver, M. D. – Malan, D. D. (2000): The effect of choice-feeding from 7 weeks of age on the production characteristics of laying hens. *S. Afr. J. Anim. Sci.*, 30. 110–114.
- Quart, M. D. – Marion, J. E. – Harms, R. H. (1986): Influence of wheat particle size in diets of laying hens. *Poult. Sci.*, 1015–1017. <https://doi.org/10.3382/ps.0651015>
- Péczei, P. (1987): A madarak szaporodásbiológiája. *Mezőgazdasági Kiadó*, Budapest, 102–108.
- Peganova, S. – Eder, K. (2002): Studies on requirement and excess of isoleucine in laying hens. *Poult. Sci.*, 81. 1714–1721. <https://doi.org/10.1093/ps/81.11.1714>
- Penz, A. M. – Jensen, L. S. (1991): Influence of protein concentration, amino acid supplementation, and daily time of access to high- or low-protein diets on egg weight and components in laying hens. *Poult. Sci.*, 70. 2460–2466. <https://doi.org/10.3382/ps.0702460>
- Poudel, I. – McDaniel, C. D. – Schilling, M. W. – Pflugrath, D. – Adhikari, P. A. (2022): Role of conventional and split feeding of various limestone particle size ratios on the performance and egg quality of Hy-Line® W-36 hens in the late production phase. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 283. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2021.115153>
- Robinson, D. (1985): Performance of laying hens as affected by split time and split composition dietary regimens using ground and unground cereals. *British Poult. Sci.*, 26. 299–309. <https://doi.org/10.1080/00071668508416818>
- Schneider, W. J. (2009): Receptor-mediated mechanisms in ovarian follicle and oocyte development. *Gen. Comp. Endocrinol.*, 163. 18–23. <https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2008.11.032>

- Sinclair-Black, M. – Garcia, R. A. – Ellestad, L. E.* (2023): Physiological regulation of calcium and phosphorus utilization in laying hens. *Front. Physiol.*, 14. 1112499. <https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1112499>
- Svihus, B.* (2011): The gizzard: function, influence of diet structure and effects on nutrient availability. *World's Poult. Sci. J.*, 67. 207–224. <https://doi.org/10.1017/S0043933911000249>
- Tauson, R. – Elwinger, K.* (1986): Prototypes for application of choice feeding in caged laying hens using flat chain feeders. *Acta Agric. Scand.*, 36. 129–146. <https://doi.org/10.1080/00015128609436518>
- Traineau, M. – Bouvarel, I. – Mulsant, C. – Roffidal, L. – Launay, C. – Lescoat, P.* (2015): Modulation of energy and protein supplies in sequential feeding in laying hens. *Animal*, 9. 49–57. <https://doi.org/10.1017/S1751731114002092>
- Traineau, M. – Bouvarel, I. – Mulsant, C. – Roffidal, L. – Launay, C. – Lescoat, P.* (2013): Effects on performance of ground wheat with or without insoluble fiber or whole wheat in sequential feeding for laying hens. *Poult. Sci.*, 92. 2475–2486. <https://doi.org/10.3382/ps.2012-02871>
- Umar Faruk, M. – Bouvarel, I. – Mème, N. – Rideau, N. – Roffidal, L. – Tukur, H. M. – Bastianelli, D. – Nys, Y. – Lescoat, P.* (2010a): Sequential feeding using whole wheat and a separate protein-mineral concentrate improved feed efficiency in laying hens. *Poult. Sci.*, 89. 785–796. <https://doi.org/10.3382/ps.2009-00360>
- Umar Faruk, M. – Bouvarel, I. – Meme, N. – Roffidal, L. – Tukur, H.M. – Nys, Y. – Andlescoat, P.* (2010b): Adaptation of wheat and protein-mineral concentrate intakes by individual hens fed ad libitum sequential or in loose-mix systems. *British Poult. Sci.*, 51. 811–820. <https://doi.org/10.1080/00071668.2010.532772>
- Umar Faruk, M. – Bouvarel, I. – Mallet, S. – Ali, M.N. – Tukur, H.M. – Nys, Y. – Lescoat, P.* (2011): Is sequential feeding of whole wheat more efficient than ground wheat in laying hens. *Animals*, 5. 230–238. <https://doi.org/10.1017/S1751731110001837>
- van Emous, R. A. – Mens, A. J. W.* (2021): Effects of twice a day feeding and split feeding during lay on broiler breeder production performance, eggshell quality, incubation traits, and behavior. *Poult. Sci.*, 100. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101419>
- van Emous, R.A.* (2023): Effects of feeding strategies during lay on broiler breeder production performance, eggshell quality, incubation traits, and behavior. *Poult. Sci.*, 102. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.102630>
- van Krimpen, M. M. – van Binnendijk, G. P. – van Emous, M. A.* (2018): Effect of split-feeding in organic layers on phosphorus excretion and eggshell quality (in Dutch). In: Wageningen Livestock Research Report 1120, Wageningen, the Netherlands.

Érkezett: 2025. május

Szerzők címe: Horváth, B. - Baranyay, H. - Such, N. - Wágner, L. - Dublec, K. - Pál, L. *
Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Georgikon Campus
Authors' address: Hungarian University of Agriculture and Life Sciences Georgikon Campus
H-8360 Keszthely, Deák Ferenc utca 16.
*levelező szerző, e-mail: pal.laszlo@uni-mate.hu

A genomikai információk felhasználási lehetősége a vírus rezisztenciára irányuló nemesítésben (Irodalmi áttekintés)

The potential of genomic information in breeding for virus resistance (Literature review)

NAGY Rita – TEMPFLI Károly – TOSSENBERGER János

ÖSSZEFOGLALÁS

A vírusrezisztencia-nemesítés egyre fontosabb szerepet játszik a jelenkori állattenyésztésben. Mivel a vírusos betegségek jelentős károkat okozhatnak a gazdaságnak, rontják az állatok jóllétét, és növelik az elhullási arányt, illetve az állategészségügyi költségeket, ezért lényeges a genomikai információk felhasználási lehetőségei az állatnemesítésben. A vírusrezisztencia esetén az adott szervezet ellenállóvá válik az adott patogénnel szemben, vagyis a gazdaszervezetben a kórokozó nem képes hatékonyan szaporodni vagy betegséget kiváltani, ha mégis kialakul a betegség, akkor enyhébb kezeléssel elérhető a gyógyulás. A modern állattenyésztés és nemesítés rohamos fejlődésének köszönhetően az állatállományok mérete jelentősen megnövekedett az elmúlt időszakban, ezzel hozzájárulva a termelés hatékonyságának javulásához, ami abból a szempontból is szükséges, hogy jelentősen nőtt a kereslet az állati termékek iránt, valamint a környezeti fenntarthatóságra vonatkozóan is egyre nagyobb elvárások jelennek meg. Ezen szükségletek kiszolgálásához lényeges a molekuláris biológiai módszerek, mint pl. a génszerkesztési, génszabályozási technikák (pl. CRISPR/Cas rendszer) fejlődése, ami fontos alapot jelent mind az állati és emberi egészség, valamint az állatjóllét javítása, mind pedig az élelmiszerbiztonság fokozása szempontjából. Jelen tanulmány célja röviden összefoglalni a már ismert genomikai információk felhasználási lehetőségeit a vírus rezisztenciára irányuló nemesítésben.

Kulcsszavak: genomi információk, vírus rezisztencia, génszerkesztés, nemesítés

SUMMARY

Breeding animals resistant to certain viruses plays an increasingly important role in modern animal husbandry. Since viral diseases can cause significant damage to the economy, deteriorate animal welfare, enhance mortality, and increase the costs of medication of animals, research into them and the possibilities of using genomic information against them in animal breeding are therefore essential. In the case of the so-called virus resistance, the given organism becomes resistant to the tested pathogen, i.e. the pathogen is unable to reproduce effectively or cause disease, in the host organism. Thanks to the rapid development of modern animal husbandry and breeding, the number of livestock has increased significantly in recent times, thereby contributing to the improvement of production efficiency, which is necessary, since the demand for products of animal origin has seen a dramatic increase, as well as there are growing expectations appearing regarding environmental sustainability as well. Molecular biological methods, such as e.g. the development of gene editing and gene regulation techniques (e.g. CRISPR/Cas system), are essential to serve these needs, and it represents an important basis for improving both animal and human health and animal welfare, as well as for enhancing food safety. The aim of the present study is to briefly summarize the potential applications of already known genomic information in breeding for virus resistance.

Keywords: genomic information, virus resistance, gene editing, breeding

1. Bevezetés

A globális élelmiszer-termelési rendszerek lényeges eleme a haszonállatok tenyésztése, amely fontos hatással van a környezetre, az emberi egészségre, valamint az állatok jóllétére is, melynek következtében egy nagy kihívást jelentő kutatási, fejlesztési ágazattá alakult a genetikai és genomikai technológiák fejlesztése. A fokozott adatgyűjtés, elemzés, korszerű számítástechnikai eszközök, fejlett infrastruktúra használata során a precíziós állattenyésztés és a természet megőrzés is magasabb szintre kerülhet. Az előzőek hatására az egészségügyi kezelések és a kedvezőtlen környezeti hatások is csökkenhetnek, az egészségügyi státusz javítható, és az állatok jólléte is javulhat (Jones és Wilson, 2022). Az állattenyésztésben egyre nő a genetika és a genomika szerepe a gazdálkodási rendszerek és a piaci igények miatt, valamint jelentős technológiai fejlesztések is történtek az elmúlt 100 évben. A tenyésztértébecslés, a számítási módszerek és a szelekciós pontosság folyamatos javulása a kvantitatív genetikai megközelítés alkalmazásával indult, de egyre inkább a genomikai eszközök használatával tud jelentősen fejlődni és javítani az állattenyésztés hatékonyságán. Az idő előrehaladtával egyre több adat vált elérhetővé, a tenyésztési célok is kiszélesedtek, ezért az állatok egyre több jellemzőjére terjed ki a javulásra való igény, mint pl. az egészség, a jóllét, valamint az olyan mérhető tulajdonságokra is, mint a termelékenység és a túlélés (Jones és Wilson, 2022).

A genotipizálás és teljes genom szekvenálási technikák révén azonosíthatóak sok esetben a betegségekkel szembeni rezisztenciához kapcsolódó genetikai markerek, amelyekre jó példa a *Johne*-kór, a szarvasmarhák légzőszervi betegsége. A genetikai ismeretek segítik az eredményes tenyésztési programok kialakítását, és ezáltal olyan szarvasmarhák szelekcióját, ahol ellenállóbb az egyed immunrendszere, valamint, ha megbetegszik az állat, akkor is könnyebben gyógyítható, illetve csökken a bakteriológias felülfertőződés következtében kialakuló betegség esélye náluk, ezáltal kisebb a szükséges antibiotikum kezelési költség és lerövidül a gyógyulási idő. A genomikai eszközök használata segíti a kórokozók korai azonosítását, így testreszabott módon képesek a kezelési stratégiát biztosítani az adott betegséggel szemben, továbbá segíthetnek a járványkitörések minimalizálásában és a biológiai biztonság javításában. A genomikának jelentős potenciálja van továbbá a betegségekkel szembeni rezisztencia javításában, a gazdasági veszteségek csökkentésében, az állattenyésztés fenntarthatóságának javításában (Kasimanickam és mtsai, 2025).

Az állattenyésztés és nemesítés során fontos feladat az egyes betegségekkel szembeni rezisztens populációk kialakítása. Ide tartozik a vírusrezisztencia kutatás és nemesítés is. Fontos megjegyezni, hogy a rezisztencia többnyire viszonylagos és nem tekinthető korlátlanul. A rezisztencia egyes kórokozókkal szemben természetes módon is kialakulhat, például mutáció következtében, azonban a kutatók mesterséges formában szintén létre tudják és létre is hozzák sok esetben, pl. géntechnológiai eljárások során előidézhető az adott patogénnel szembeni rezisztencia. Az ilyen rezisztens egyedek ellenállóbbak lesznek az adott vírussal szemben, így jobb eséllyel élnek túl az adott kórokozó okozta megbetegedést, járványt, és sok esetben a rezisztens egyedek utódai szintén rendelkeznek ellenállósággal az adott fertőzéssel szemben, éppen ezért

ezen utódok tovább szaporítása lényeges része lehet az állatnemesítésnek (Gao és *mtsai*, 2023).

Fontos megemlíteni, hogy a vírusok speciális élősködők és ezáltal kiemelten kell vizsgálni is őket, hiszen önálló életre képtelenek, csak a gazdasejten belül tudnak szaporodni, illetve a gazdasejtben történő életciklusuk során felhasználják annak nukleinsav komponenseit, a fehérjeszintézishez szükséges összetevőket és anyagcsere-folyamatokat. Képesek továbbá bizonyos sejtfelszíni struktúrákhoz kötődni és ezáltal a szervezet számos sejtjét megfertőzni. Egy részük az akut fertőzést követően az immunrendszer működése révén hamar eliminálódik a szervezetből, míg mások látens állapotban sokáig képesek a gazdaszervezet bizonyos sejtjeiben megbújni, illetve a későbbiekben speciális ingerek hatására, vagy a gazdaszervezet védekező rendszerének gyengülése következtében aktiválódnak és szaporodni kezdenek. A vírusok esetében nagy nehézséget jelenthet a szervezet számára a gyors mutálódási képességük, amely miatt a szervezet immunrendszere nehezebben tudja őket felismerni, azonosítani, és megsemmisíteni. A vírusfertőzés elkerülésére vakcinázni lehet számos esetben, illetve, ha már megtörtént a fertőzés, akkor antivirális szerekkel lehet csökkenteni a betegséget és gyorsítani a gyógyulási folyamatot. Ezek többféle hatással rendelkezhetnek, van, ami a vírusok szaporodásának bizonyos fázisaiban hat, és csökkenti a keletkező vírus mennyiséget, használatos olyan is, amely hozzájárul a megbetegedés könnyebb leküzdéséhez, de alkalmaznak olyan szereket is, amelyek a vírus fehérje képzését akadályozzák meg, vagy a vírus örökítő-anyagának sokszorozását és replikációját gátolják. Az úgynevezett széles spektrumú antivirális szerek képesek egyszerre többféle vírus ellen is hatásosan fellépni.

Az állatok fertőző betegségei komoly veszélyt jelentenek a mezőgazdaság, a közegészségügy valamint az ipar számára. A nagy vírusfertőzéses járványok, mint az afrikai sertéspestis vírusa (ASFV), a sertések reproduktív és légzőszervi szindrómája (PRRSV), vagy a szintén sertéseket veszélyeztető járványos hasmenés vírusa (PEDV), de a baromfi iparban megjelenő madárinfluenza vírusa (AIV), vagy a szarvasmarhák ragadós száj- és körömfájás vírusa (FMDV) mind rávilágított arra, hogy újfajta megközelítés szükséges a betegségekkel szembeni reziliens és rezisztens állatok tenyésztése során. A fertőzésekkel szembeni jobb ellenálló képességű állatok létrehozásához ígéretes lehetőségnek tűnik a génszerkesztési technikák alkalmazása, mint pl. a CRISPR/Cas9 módszer (Gao és *mtsai*, 2023). A hagyományos megközelítés során az állatok fertőző betegségének terjedését vakcinával, különböző biológiai biztonsági intézkedéssel vagy az állatok selejtezésével igyekeznek csökkenteni. Ugyanakkor ennek a gyakorlatnak a korlátai között van például a gyakori ismétlődő oltások szükségessége, vagy a kórokozók kiszűrésének a kockázata, esetleg az etikai aggályok, melyek az állatok tömeges, járványvédelmi célból történő leölésével és ártalmatlanításával függenek össze. Ezek indokolják az olyan új stratégiák, mint molekuláris biológiai módszerek komolyabb kutatását (ide sorolható pl. génszerkesztési technológiák, a cinkujj-nukleázok (ZFN), CRISPR/Cas rendszerek használata). Az állatok genomjának pontos módosításai lehetővé teszik a betegségekkel szembeni fokozott rezisztenciát, járványok mérsékelt terjedését, és ezáltal javíthatják az állatjólléti körülményeket. A vírusfertőzésekkel szembeni rezisztenciára irányuló nemesítésben lényeges a meglévő genetikai információk helyes felhasználása, melyek segítségével

a vírus gazdasejtbe jutása, szaporodása válik lehetetlenné. Ez lehet akár azáltal, hogy a gazdasejtbe bejutásukhoz használt receptorok működését változtatjuk meg, így nem tud a vírus behatolni, de akár olyan génexpressziós változást is előidézhetünk, melynek hatására olyan fehérjék keletkeznek, amik megzavarják, gátolják vagy elpusztítják a vírusokat, illetve az életciklus folyamataikat rontják, aminek következtében a fertőzés esélye csökken (Gao és mtsai, 2023). Szükséges a genetikai folyamatok kutatása, fejlesztése, és megfelelő szintű alkalmazása, hiszen a genomi változtatás jelentős előnyökkel járhat, azonban, ha a genetikai sokféleség jelentősen lecsökken, akkor a változó környezethez való alkalmazkodás és az új betegségek leküzdésének esélye is romolhat a genetikai sokféleség potenciális csökkenése következtében. Így a genetikai módosítások során a nem kívánt következmények kockázata is növekedhet (Kasimanickam és mtsai, 2025).

2. Genomikai szelekció, genomika az állattenyésztésben

A genomikai korszak elején, az 1980-as években az állattenyésztésben az önálló genetikai marker tesztek voltak jellemzőek, főként a szülői hatás és az örökletes terheltségek esetében folyt vizsgálat. Ezt követően a kvantitatív és a genomikai megközelítések kombinálása felé tolódott el az irány. Így tudták azonosítani azokat a genomikai variánsokat, amik érdekesek számukra és amelyeket a marker-asszociált szelekció révén fel lehetett használni. Ennek a módszernek a lehetőségei korlátozottak voltak, mert csak kevés kvantitatív tulajdonság lókuszt (QTL) került megbízható mértékben azonosításra a populációk között, és ennek is csak csekély hányada hasznos az általános tenyésztési cél elérése érdekében. Az elmúlt közel 20 évben a hangsúlyt a genomikai szelekció vette át, ahol fejlesztik, finomítják a módszereket. A számítástechnika és az analitika gyors, párhuzamos fejlődése következtében a tenyészték előrejelzésre felhasználható genomikai információk sűrűségének és az értékelhető adatok mennyiségének folyamatos növekedése jellemző (Jones és Wilson, 2022). A genomikai szelekció előnyös azoknál a tulajdonságoknál, amelyet nehezen lehet mérni, előre jelezni a hagyományos módszerekkel, mert vagy korlátozottak rá a mérési lehetőségek, vagy csupán késői életkorban, vagy csak nehezen és költségesen mérhetőek. Erre jó példa, hogy pontos tenyészték becslések nem álltak rendelkezésre fiatal bikák 7 éves koráig pl. arra vonatkozóan, hogy az utódaiknak milyen tejhozama lesz, és csak azután lehetett ezzel számolni, hogy elérték azt a kort az utódok, amelyben mérhető vált a tejtermelésük. Most már akár embrionális stádiumban is elég jól lehet következtetni ezen értékekre a hagyományos ivadékvizsgálati költségek töredékéért a genomikai szelekció alkalmazásával. Jóllehet az előrejelzés pontossága csökken az egymást követő generációk során, ezért fontos a modellek nyomon követése és pontosítása (Jones és Wilson, 2022). Miután a genetikusok felfedezték, hogy a gének lineárisan helyezkednek el a kromoszómákon, azután képesek voltak térképet készíteni róluk, így már jól érzékelhető volt, hogy az egyes fenotípusok mögötti variánsok hol helyezkednek el egymáshoz képest. Az első térképet *Sturtevant* tette közzé, ez az ún. kapcsolati térkép volt, mely rekombináns egyedek keresztezésén és kimutatásán alapult. Napjainkban túlnyomórészt a távolabbi rokonságban lévő egyedek nagy populációiban ún. genomszintű asszociációs vizsgálatok (GWAS) segítségével törekszenek az

egyes értékmérő tulajdonságokat befolyásoló, új genetikai variánsok azonosítására. Létezik továbbá az ún. marker-asszisztált szelekció, amely a molekuláris információk tenyésztésbe való beépítésére szolgál. Az 1990-es évek végén és a 2000-es évek elején az állattenyésztési kutatásokban jelentős szemléletváltás ment végbe, és a markerrel segített szelekció helyett a genomikai szelekció került előtérbe, a kiváltó variánsok feltérképezése helyett a teljes genom átfogó elemzése vált lehetővé és egyre fontosabbá. A genomikai előrejelzésre úgy is nézhetünk, mint az állatok rokonságáról szóló becslésre, azáltal, hogy megnézzük, mennyi DNS-en osztoznak az állatok a törzskönyvből megjósolható átlagos rokonsághoz képest. Az optimális hozzájárulások szelekciója segíthet egyensúlyba hozni a populáció genetikai javulását és a beltenyésztést, valamint a populáció diverzitásának elvesztését. Ekkor a kevésbé rokon egyedek párosítása történik meg, ahol még mindig elég magas a várható genetikai nyereség az utódokban (Johnsson, 2023). Egy jelentős PRRSV-fertőzőes vizsgálatban, ahol különböző genetikai forrásokkal dolgoztak, ott a GWAS eredmények alapján feltártak egy lényeges SNP-t (WUR10000125), ami a fertőzést követő testsúlynövekedéssel és a virémiával is összefüggésben állt. A kapott eredmények azt mutatták, hogy ez a marker régió magyarázta a testsúlynövekedés teljes genetikai variációjának több mint 11%-át, valamint a fertőzést követő vírusterhelés teljes genetikai variációjának 15,7%-át magyarázta (Harlizius és mtsai, 2020). Ezen vizsgálatok is alátámasztják, hogy az állatnemesítésben jelentős hatást érhet el a genomikai szelekció erőteljesebb bevonása.

3. A vírusokat közvetlenül elpusztító vagy gátló fehérjék expressziója

Az állatok genomja mellett a velük kölcsönhatásba lépő mikrobák és paraziták genomjai is egyre részletesebben ismertté váltak a genomikai technológiák fejlődése során. Az állat populációkon belül és azok között is sok betegséggel szembeni rezisztencia esetében jellemző a genetikai változatosság. Nehéz az adatokat összegyűjteni, hiszen szükséges a fertőzés létrejötte is az adott populáción belül ahhoz, hogy képet kaphassunk a rezisztens egyedekről. Ha, mondjuk egy farmon lehetőség lenne az egyes állatok genomikai profiljához való való idejű hozzáféréshez, akkor jobban vizsgálható lenne a parazita, a fertőzött egyed és a környező populáció genetikája együttesen. Így lehetne a legoptimálisabban kihasználni a fertőzöttek elkülönítését, kezelését, mind a parazitaellenes, mind a bakteriális felülfertőződés során szükséges antibiotikumos kezelés tekintetében, hogy az állatjóllét sérülésének veszélye a lehető legkisebb legyen (Jones és Wilson, 2022). Sok dolog befolyásolja a vírusok immunrendszer elkerülésének és a tovább szaporodásának eredményességét (ide tartozik a vírus genetikai állományának mérete, jellege, a vírusfehérjék száma és funkciói). Az RNS-vírusoknak kisméretű a genomja és gyors mutációra képesek, ezért a fő menekülési útjuk az antigén-variánsok létrehozása. A DNS-vírusoknak ezzel szemben nagy a genetikai állománya, így a törzsfelődésük során olyan mechanizmusokat fejlesztettek ki, amivel tudják módosítani az immunrendszer működését a gazdaszervezetben, és ennek köszönhetően elkerülni a gazda védekező folyamatait (Erdei és mtsai, 2011). A vírussal megfertőződött sejtek azonnali reakcióként I. típusú interferonokat, azaz IFN- α -t és IFN- β -t kezdenek termelni, amelyek hatására

antivirális állapot alakul ki a fertőzött sejthez közeli sejtekben, ezáltal gátolódik a vírus szaporodási esélye is (Erdei és mtsai, 2011). Az interferon rendszer lényeges szerepet játszik a szervezet vírus elleni védekezésében. Ha sérült, hiányos vagy kiütött az interferon jelátviteli rendszer az egerekben, vagy egyéb emlőállat, illetve az ember esetében, akkor ezen egyedek hamar elhaláloznak egy vírus-fertőzés következtében. Az Mx (orthomyxovírus) útvonal az egyik legjelentősebb az interferon indukált antivirális mechanizmusok közül. Az Mx fehérjék a GTPáz szupercsaládba tartoznak és közvetlenül rendelkeznek antivirális hatással, mivel gátolják a vírus replikáció korai szakaszát. A vírusok az evolúció során többféle módszert fejlesztettek ki az interferon (IFN) rendszerből való kijutásra, annak elkerülésére. Ezek közé tartozik például, hogy elnyomják az IFN-szintézist, vagy megkötik és semlegesítik a már szekretált IFN molekulákat, esetleg az IFN-jelátvitelt blokkolják, vagy az IFN-indukálta antivirális hatást gátolják (Haller és mtsai, 1980, 2007). Bizonyos patogén mikroorganizmusokkal szemben rezisztencia érhető el a gének expressziójának fokozásával vagy transzgenézis gátlása révén. Az Mx1 gén az egyik legkorábban vizsgált vírusellenes gén, mely az I. típusú interferon (IFN I., vagyis az interferon alfa (IFN- α) és interferon béta (IFN- β)) downstream effektora. Vírusfertőzés következtében a megnövekvő IFN- α és IFN- β mennyiség indukálja az Mx1 gén expresszióját (Haller és mtsai, 1980, 2007). A génexpresszió gyorsan indukálódik a vírusok által okozott fertőzés során az IFN-ek hatására. Ha nincs jelen IFN, akkor az Mx gén néma marad, ezért is hasznos markere az Mx transzkriptum (RNS-) vagy fehérjemennyisége az IFN I. típusú aktivitásnak (Haller és mtsai, 2007). Három IFN-indukált enzimszisztéma van a vírusellenes fő útvonalon, a protein kináz R (PKR), a 2-5 OAS/RNaseL rendszer, valamint az Mx GTPázok; ha ezek közül bármelyik hiányzik, akkor jelentősen meg tud növekedni a vírusedényiség a gazdaszervezetben. De ezen kívül van más IFN-indukált útvonal is a vírus elleni védekezés során, hiszen az előző három enzim kiütése (tripla knock-out egér) esetében is mérhető csekély szintű IFN-indukált vírusellenes állapot (Zhou, 1999). A vírus-rezisztenciára alkalmazható módszer a betegség-rezisztenciával összefüggő gének (pl. Mx1) véletlen beillesztése vagy célzott integrációja az állati genomba, mely ezen gének fokozott expresszióját idézheti elő, ezzel segítve a kívánt célt. A vírus replikációjának megzavarására vagy megszüntetésére alkalmazható eszköz még a shRNS vagy CRISPR rendszer használata is. De a gazdaszervejtbe történő bejutást is meg lehet zavarni vagy akadályozni például a vírus bejutásához használt receptor módosításával (Gao és mtsai, 2023). Betegségekkel szembeni rezisztens állatállomány kialakítása során a szelektív tenyésztés fontos módszer, de vannak akadályai is, mint például az, hogy időigényes és költséges ez a technika. A már meglévő genomikai információk módosíthatják a tenyésztési célokhoz való hozzáállásunkat. Ezáltal a kezdeti terveinket átgondolhatjuk, újraértékelhetjük, a számunkra kedvező tulajdonságok genetikai hátterének ismeretében kiválaszthatjuk a gazdaságilag leginkább jövedelmező, például egy-egy vírusra rezisztens egyedet a további nemesítéshez, amennyiben a genetikai előnye az adott állatnak a rezisztencia mellett további értékmérők esetében is megállapítható. Ezt alaposan át kell gondolni a tenyésztőknek előre, mivel sajnos a hagyományos tenyésztési célok többnyire kedvezőtlenül korrelálnak a már ismert, rezisztenciához köthető genomikai információkkal (Henryon, 2014). Érdemes kiemelni a különbséget a rezisztencia és a

tolerancia között. A rezisztencia esetében az adott állatfaj és a kórokozói közötti kapcsolat során a gazdaszervezet a kórokozó életciklusa felett ellenőrzést tud gyakorolni, vagyis a gazdafaj ellenállóbb (kisebb eséllyel fertőződik meg, csökkenti a kórokozó szaporodását a fertőzés után, mérsékli a fertőzés terjedését, átvitelét). A rezisztencia általában relatívnak tekinthető, nem pedig abszolútnak. A megváltozott rezisztencia a populáció egészére is hatással van, hiszen egyes tulajdonságok az egyéni gazdaszervezet számára előnyösek, míg másokból a gazdapopuláció más tagjai tudnak profitálni (*Bishop és mtsai*, 2014). A tolerancia pedig egy adott fertőzési szint teljesítményére gyakorolt nettó hatásként definiálható, vagyis a teljesítmény visszaesése a kórokozó terhelés függvényében történik. Abban az esetben, ha nagyobb a tolerancia egy populációban, akkor az egyedekre és a populációra is nagyobb fittség jellemző, még ha jelentősebb a kórokozó terhelés is. Nem túl jó mutató a tolerancia használata, mivel csak a fertőzött populációkban fejezhető ki a mértéke, és ahhoz, hogy hasznos legyen, szükséges a betegség magas prevalenciája. A nem fertőzött állatok tekinthetők a legellenállóbbnak az adott kórokozóval szemben, ám nem rendelkeznek a tolerancia értékeléséhez használható fenotípussal. Érdekes a rezisztencia tulajdonságokra összpontosítani a tolerancia helyett (*Bishop és mtsai*, 2014).

4. Génszerkesztés a patogének szaporodásának, transzkripciójának vagy transzlációjának gátlására

A génszerkesztés segít olyan betegségekkel szemben rezisztens állatok kialakításában, ahol nem csak kevésbé alakul ki adott betegség, vagy az könnyebben leküzdhető, de emellett az állatok hasznosításából származó előnyök sem csökkennek pl. tejhozam, húsmennyiség, tojástermelés stb., ezáltal a mezőgazdasági ipar eredményesebb lehet, egészségesebb lehet az állatállomány a termelékenységi szint megőrzése mellett (*Kasimanickam és mtsai*, 2025). A genomszerkesztés során egyedi enzimekkel a sejtmagban lévő DNS szálakat elvágják egy adott helyen, majd a DNS újra párosítását is befolyásolják, ezáltal nagyon pontos genetikai változásokat tudnak létrehozni. Ez egy jó módszert jelenthet a vírus okozta betegségekkel szemben ellenállóbb állatállomány előállítására, illetve ennek köszönhetően a globális élelmiszerbiztonság is javulhat, valamint az élelmiszer pazarlás csökkenhet az egész termelési lánc során. A legjelentősebb génszerkesztési technika jelenleg a CRISPR/Cas rendszer, ami egy 20 nukleotidból álló RNS guide-ot használ, hogy az enzimkomponensét a kijelölt lókuszra irányítsa a genomban (*Proudfoot és mtsai*, 2019). A jelenlegi fejlesztések közül a legtöbbet használta ez a módszer, pedig alig több, mint egy évtizede fedezték fel. Gyakori használata bizonyítja a technika gyors fejlődését és előre jelzi a sokféle potenciális alkalmazási lehetőségét (*Jones és Wilson*, 2022). Jelenleg állati és növény sejtekben a DNS szerkesztésére a ZFN (cink ujj) (*Klug*, 2010), TALEN (*Shamshirgaran*, 2022), és a CRISPR/Cas9 az, amelyet leginkább használnak, míg az RNS szintű génszerkesztésre a CRISPR/Cas13 és az RNS-interferencia (RNAi) használatos. Ezen módszerek segítségével lehetőség nyílik a kórokozó mikroorganizmusok génjeinek DNS vagy RNS szintű megváltoztatására, a gazdasejtben történő replikációjuk, transzkripciójuk, transzlációjuk gátlására, aminek hatására csökken vagy megszűnik a vírus fertőzőképessége

az adott állományban. A génszerkesztés teszi lehetővé, hogy az élő szervezetek génállományát DNS-hasító enzimekkel megváltoztathassuk, illetve átalakítsuk, azaz új nukleotidokat juttathatunk be a DNS-állományba, vagy kivehetünk nem szükséges részeket, esetleg kicserélhetjük más információt kódoló régióra az adott DNS szakaszt. A klasszikus génmódosítás során (GMO) zömében véletlenszerűen beépülő génekkel változtatták meg a génállományt, amely ráadásul gyakran más élőlényekből származott. Ezzel szemben a génszerkesztés során a pontosság jóval nagyobb, ekkor csak a kívánt nukleotidokat érinti a kivágás, csere. A génszerkesztést többnyire a CRISPR/Cas rendszerrel végzik, amely nagyon pontos vágást tud végezni, amivel forradalmasította a molekuláris biológiai kutatásokat. Fontos megjegyezni, hogy ez a fajta génszerkesztés, ahol nem visznek be idegen fajból származó géneket, ott csak ugyanakkora egészségügyi veszélyt jelenthetnek az adott állomány szempontjából, mint a klasszikus nemesítéssel létrehozott fajok. Azonban míg a klasszikus nemesítéssel a látható, mérhető fenotípusos tulajdonságokból lehet következtetni a genotípusra, addig a genom alapú szelekció során előre ismerjük a genotípust és ezáltal tudjuk fokozni a szelekció hatékonyságát. A CRISPR/Cas rendszer használatához ezt a komplexet be kell juttatni a sejtbe, amely történhet plazmid segítségével, vagy elektroporációval, esetleg vírusvektorral. A Cas enzim végzi a DNS szál hasítását, majd a sejt DNS javító mechanizmusa felelős a helyreállításért. Olyan DNS szakasz szükséges, ami nagy részen komplementer a hasított szállal, azaz a vágási hely előtt és után is 40-90 bázis részen komplementer bázispárt tartalmaz a templáthoz képest. A javítóenzimek segítségével ez a mesterséges komplementer régió lesz bekötve a templáthoz és a későbbi genetikai állomány sokszorozásánál már a beültetett régió lesz a templát.

A Marek-betegséget a herpesz vírus okozza madarak esetében (MDV), ellene újabban kidolgoztak egy intracelluláris védekezési stratégiát, amely segítségével lehetőség van arra, hogy olyan tyúkokat tudjanak létrehozni, amelyek rezisztensek több madár DNS-vírussal szemben (*Challagulla és mtsai, 2021*).

A madárinfluenza esetében a jelenlegi vakcinázási lehetőségek nem megfelelőek a fertőzés leküzdésére. Próbálkoznak olyan transzgenikus madár előállításával, ahol a rövid hajtű RNS-t (shRNS) expresszáltatnak, ezzel pedig a vírus polimeráz működését zavarják meg, ellenállóvá téve a madarat a fertőzést okozó vírussal szemben. A madárinfluenza terjedése eltérő eredményeket mutat a madár fajok érzékenysége következtében, valamint az eltérő tartási körülmények hatására, de a szükséges biológiai intézkedések eltérő volta miatt is, valamint az emberi tevékenység hatására szintén eltérés mutatkozhat mind a kereskedelmi, mind a háztáji állományokban (*Gentile és mtsai, 2024*).

A madár fertőző bronchitis megbetegedést egy vírus okozza, amely hatása erőteljesen jelentkezik mind légzőszervi tünetek, mind kiválasztó- és ivarszervi tünetek formájában. Nagy fertőzőképességet mutat a madarak között, vagy elsődleges, vagy szinergista szerepet játszik egyéb fertőző betegségek kialakulásában és ezzel is fokozza a baromfiállomány mortalitását (*Gentile és mtsai, 2024*).

A szarvasmarhánál és egyéb párosujjú patásoknál előforduló ragadós száj- és körömfájás betegségét szintén egy vírus váltja ki, ez a FMD vírus, mely az RNS vírusok családjába tartozik és komoly gazdasági károkat tud okozni. Olyan transzgenikus szarvasmarhát hoztak létre a kutatók, mely az FMD vírus VP4

strukturális fehérjéjét megcélzó shRNS-t expresszál. Ezen állatok rezisztenssé váltak az FMD-re (Wang és mtsai, 2012; Wang és mtsai, 2013).

A sertéseket érintő Aujeszky-betegség kialakulásáért (PRV) egyfajta herpeszvírus felelős, amely súlyos megbetegedést és halálozást tud okozni világszerte a sertéspopulációban, ezáltal pedig jelentős gazdasági veszteséget a sertéságazat számára. Jelenleg nem állnak rendelkezésre kellően hatékony vírusellenes gyógyszerek a probléma megoldására. Ezért a kutatók olyan 75 sg RNS-t (single guide RNS) terveztek, amely képes a PRV genom összes génjét megtámadni és a vírus replikációját gátolni ezáltal. Ezek az eredmények azt mutatják, hogy a CRISPR/Cas9 módszer a jövőben megfelelő terápiás megközelítés lehet a PRV elleni küzdelemben (Tang és mtsai, 2017).

Az afrikai sertéspestis vírus által okozott megbetegedés (ASF) egy akut vérzéses, lázas betegség, amely a sertések között világszerte komoly gazdasági veszteségeket képes okozni. Ezt egy nagy, összetett kétszálú DNS vírus váltja ki, ezért sajnos nincs megfelelő vakcinázási lehetőség ellene jelenleg egyelőre. Itt ismét a CRISPR/Cas9 technológiát felhasználva igyekeznek transzgenikus állatokat létrehozni, de jelenleg nem értek el átütő eredményt ebben a tekintetben a kutatók (Sollner és mtsai, 2021).

5. A gazdasejt receptorainak megcélzásával a patogén mikroorganizmusok bejutását és replikációját igyekeznek csökkenteni

A vírusok életciklusuk során először a vírusreceptoron keresztül jutnak be a sejtbe, ehhez a gazdasejt normál életéhez szükséges sejtfelszíni molekuláit használják fel. A bejutás után a vírus és a gazdasejt membránja összeolvad, a vírusgenom szabaddá válásával a vírusfehérjék termelése megkezdődhet, majd a vírus genetikai anyagának (RNS vagy DNS) újra képződése történik meg. Az így létrejött víruskomponensek virionná szerveződését követően a kész vírus elhagyja a gazdasejtet és újabb sejteket képes megfertőzni (Erdei és mtsai, 2011). A gazdasejtbe való bejutáshoz a vírusok tehát receptorokat használnak fel, amennyiben az ilyen receptorokat kódoló géneket megzavarják vagy törlik, akkor a vírus gazdasejtbe való bejutása megszűnik, ezáltal az adott vírus ellen rezisztencia tud kialakulni. A gazdasejt vírusra fogékony receptorának kiiktatása mellett a vírussal kölcsönhatásba lépő fehérjék megzavarása, működésüknek gátlása a gazdaszervezetben is megfelelő védelmet jelenthet a vírus fertőzéssel szemben.

A sertés reprodukív és légzőszervi szindróma (PRRS) gazdaságilag jelentős betegséget okoz világszerte, a kórokozója egy arterivírus, amely minden korú sertést érinthet, de főleg a kocák érzékenyek rá, akiknél vetélést, vagy a fialás során holt malacokat eredményez, de a malacok esetében is súlyos légúti megbetegedést tud okozni, ami nagyarányú morbiditást és jelentős mortalitást tud eredményezni. Ez a vírus a monocita/makrofág vonal sejtjeit fertőzi meg, ahol két makrofág specifikus fehérjét, a CD163-at és a CD169-et azonosították a vírus receptoraként. A PRRS fertőzés során a vírus gazdasejtbe történő bejutásában a CD163 receptor játssza a döntő szerepet. Épp ezért, ha módosítják a receptor alakját, vagyis a CD163 egy alternatív izoformája alakul ki a gazdasejtben, amely nem rendelkezik C-terminális részen transzmembrán horgonyzóval, akkor az

a receptor működésképtelenné válik, ezáltal a vírus nem tud rajta keresztül bejutni a gazdasejtbe és nem lesz képes replikálódni (Patton és mtsai, 2009). De sajnos ez a receptor számos más biológiai funkcióért is felelős, ezért ennek hiánya, kiesése hatással lehet a sertések növekedésére, fejlődésére, valamint egyéb kórokozó elleni toleranciájára is. Mivel a CD163-ról ismert, hogy sok biológiai funkcióért felelős, mind a homeosztázisban, mind a gyulladásos folyamatokban, mind az immunválaszban, ezért nem a teljes fehérjét kódoló régió kiütését célozták meg, hanem csak az 5-ös domén kódolásának eltávolítását végezték el, ennek hatására az állatok teljesen rezisztensekké váltak a PRRSV- fertőzéssel szemben, de a többi funkciója nem sérült a CD163-as résznek (Burkard és mtsai, 2017). Génszerkesztés segítségével sikerült olyan egészséges sertéseket létrehozni, amelyek a PRRS vírusfertőzésnek ellenálltak, ezáltal a CRISPR-Cas módszer ilyen irányú felhasználása jelentős hasznot hozhat az állategészségügy javítására irányuló munkálatokban (Burger és mtsai, 2024).

Az ASFV, azaz az afrikai sertéspestis vírus okozta megbetegedés a házisertések esetében jelentős elhullást okoz, de a vírus bejutásához használt elsődleges receptor nem ismeretes még. A kutatók azt feltételezték, hogy a makrofágok membránfelszíni receptorai játszhatnak döntő szerepet a vírusfertőzés során (Sanchez-Torres és mtsai, 2003). A CD163 knock-out sertések esetében azt találták, hogy nincs jelentős eltérés a knock-out és a vadtypusú egyedek között mortalitás, patológia vagy virémia tekintetében, tehát a CD163 receptor nem játszik lényeges szerepet az ASF fertőzés terjedésében (Popescu és mtsai, 2017).

A szarvasmarhákat érintő BVD vírus okozta megbetegedés a szarvasmarhák vírusos hasmenését okozza, amely jelentős betegség a szarvasmarha-tenyésztés során. Azt találták, hogy a CD46 receptor a fő felelőse a vírus sejtbe való bejutásának. A CD46 receptort kódoló fehérjében hat darab aminosavat lecseréltek, ennek hatására az így keletkezett állatok esetében jelentősen lecsökkent a fogékonyság a BVD-re, mindemellett az ilyen génszerkesztett borjúknál nem volt megfigyelhető semmilyen jelentős káros hatás az élet első 20 hónapjában. Ez volt az első eset, hogy olyan szarvasmarha génszerkesztést idéztek elő, ahol jelentősen tudott csökkenni a vírus okozta betegség. Ez a fajta módszer javítja az állatjóllétet, a szarvasmarha-tenyésztés gazdaságos fenntarthatóságát, csökkenti az antibiotikum használatát a mezőgazdaságban, hiszen a borjak bakteriális felül-fertőződésének aránya is csökken, így nincs szükség olyan mértékű antibiotikum használatra sem (Workman és mtsai, 2023).

A baromfi-ágazatnak szintén több jelentős gazdasági kárt okozó vírussal kell szembenéznie. Ide tartozik többek közt a madárinfluenza vírusa (AIV), amely azért jelentős vírus, mivel bizonyos tagjai zoonózisra is képesek, ezáltal rónak terhet a közegészségre, mivel képesek az emberi élet veszélyeztetésére. A jelenleg forgalomban lévő vakcinák és vírus ellenes gyógyszerek nem képesek teljességgel kezelni és megelőzni az összes ide sorolható vírustörzset, ezért bír nagy jelentőséggel a megelőzési és védekezési stratégiák fejlesztése. A legújabb kutatások szerint ezen vírusok gazdasejtbe hatolása során kiemelkedő az ANP32A gén szerepe, amennyiben ezt sikerül célzottan kiűteni, akkor valószínűleg jó kiindulópontot kapunk a madárinfluenza elleni molekuláris nemesítéshez (Park és mtsai, 2020).

6. Lehetséges kockázatok és etikai megfontolások

A génmódosított állatok létrehozása nagy lehetőséget jelent az állategészségnek és jóllétnek a javításában, valamint az élelmezésbiztonság és emberi egészség hasznára is válhat, de bizonyos potenciális kockázattal és kezelendő etikai aggályokkal is rendelkezik. Nehezíti a megoldást, hogy többnyire a betegségekre való fogékonyság és a rezisztencia is sokszor poligénes öröklődést mutat, ezért egy-egy génmódosítás kevés, vagy nem megfelelő hatást ér el. Előfordulhat az is, hogy míg egy betegséggel szembeni rezisztenciát sikerül elérni, közben egy másik betegségre pedig fogékonyabbá válik az állat. A betegséggel szembeni rezisztenciához a genomikai szelekció során elengedhetetlen, hogy a tenyésztők, állatorvosok, kutatók folyamatosan együtt tudjanak működni és monitorozni tudják a genetikai változásokat és azok hatásait (*Kasimanickam és mtsai, 2025*). Az egyik fő probléma ezzel, hogy nem kívánt következmények is kialakulhatnak az alkalmazása során, mivel előfordulhat, hogy nem pont ott, nem pont úgy sikerül a génszerkesztés, génmódosítás, mint azt előre tervezték, esetleg a tervezettől eltérő hatások is kialakulnak. Lényeges és kezelendő probléma szintén az is, hogy az állatokat ne érje szükségtelen károsodás se a génszerkesztés, se az életük során. Szükséges folyamatosan fejleszteni, korszerűsíteni a technikákat és minimalizálni azoknak az állatokra vonatkozó nem kívánt hatásait.

7. Következtetések, javaslatok

Eddig három fő publikációs vonal volt megfigyelhető az állattenyésztés során a genomika felhasználása esetében. Az első csoportban a fenotípus különbségek jelennek meg a természetben előforduló genomvariációk jellemzése során a házasított állatoknál egy fajon belül. A második csoport a genom összehasonlításokról szól közeli rokon házasított vagy vadon élő fajok között, amelyek számunkra fontos fenotípust mutatnak. A harmadik fő publikációs vonal pedig a gén szekvencia azonosításáról szól, amelyről úgy gondolják, kulcsszerepet játszik az adott biológiai folyamatban, és kiütése során alakul ki a kívánt fenotípus. Az állattenyésztésben a genom szekvencia alkalmazása leginkább a betegségekkel szembeni rezisztenciára és az állat jóllét javítására használható. A rezisztencia főként akkor lényeges, ha a hagyományos szelekciós tenyésztés vagy a vakcinázás nem ér el kellő hatást (*Jones és Wilson, 2022*). A génszerkesztés rohamosan fejlődő terület a molekuláris biológiában, amely nagy lehetőségeket rejt magában az állategészség és jóllét javítása, az emberi egészség és élelmiszerbiztonság fokozása szempontjából. Az állattenyésztési ágazat számára nagyon előnyös lehet a fertőző betegségekkel szemben rezisztens csoportok kialakítása, mint pl. PRRS vírus, vagy ALV elleni védekezés. De még napjainkban is jelentős a kihívás a gazdaszervezet vírussal szembeni rezisztenciájának kialakításakor a lényeges gének és genomális régiók azonosításában rejlik. Fontos továbbá a vírus életciklusának és a gazdaszervezettel való kölcsönhatásának alapos megértése, megismerése, ehhez jelentős segítséget nyújt a teljes genom megismerése és a CRISPR/Cas technika alkalmazásával a szükséges gének kiütési vagy aktiválási alakítása az adott igény szerint (*Sun és mtsai, 2021*); *Yuan és mtsai, 2022*); *Zhao és mtsai, 2020*). Fontos feladat a vírus bejutás során kulcsfontosságú receptorok

aminosavainak pontos azonosítása is. Ehhez kísérletezés és tervezés is szükséges, de van néhány technológia, amit már használnak és segítségükre válik pl. a kristályszerkezet elemzés, számítógépes szimuláció vagy a gépi tanulás (Findlay és mtsai, 2014). Gyakorta próbálják a CRISPR/Cas9 módszert alkalmazni a betegségrezisztencia kialakítására, de szükséges figyelembe venni, hogy váratlan delécio vagy kromoszóma transzlokáció is kialakulhat ekkor, lényeges a lehető legkisebbre csökkenteni ezen kockázati tényezőket, akár olyan elsődleges szerkesztéssel, amely nem okoz DNS kettős száltörést. Illetve érdemes azt vizsgálni, hogy a Cas9 által generált kis indelek a vírusban sajnos nem mindig érik el a kellő hatást, mert előfordul, hogy a vírus fertőzőképes marad. Éppen ezért fontos lehet több hely megcélzása a CRISPR/Cas9 rendszerrel. Jelentős eredménynek számít, hogy 2025. április 30-án az Egyesült Államok Élelmiszer- és Gyógyszerügyi Hivatala (FDA) olyan génszerkesztési technológia alkalmazását hagyta jóvá, ami segítségével PRRS rezisztens sertéseket tudnak létrehozni, és ezen állatok részt vehetnek a tenyésztésben, ezáltal már nem csupán a hagyományos betegség kezelési módszerekre lehet hagyatkozni, hanem új út nyílik meg a PRRS betegséggel kapcsolatos rezisztencia esetében az állattenyésztés számára (Scott, 2025). Mindazonáltal a haszonállatok betegségekkel szembeni rezisztenciájának hátterében rejlő genetikai és molekuláris mechanizmusok megértéséhez további kutatásokra van szükség. Jobban szükséges megismerni a génszerkesztési technikák állattenyésztésre való alkalmazásának előnyeit és kockázatait. Az állatok genomszerkesztéséhez, a génexpresszió szabályozásához és az állatok betegségekkel szembeni rezisztenciájának kialakításához fontosak az olyan génszabályozási technikák, mint a CRISPR vagy a RNAi interferencia fejlesztése, hiszen ezek új módokat kínálhatnak, melyeket folyamatosan tesztelni és javítani kell a hatékonyság érdekében.

8. Felhasznált irodalom

- Bishop, S. C. – Woolliams, J. A. (2014): Genomics and disease resistance studies in livestock. *Liv. Sci.*, 166. 190–198. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2014.04.034>
- Burger, B. T. – Beaton, B. P. – Campbell, M. A. – Brett, B. T. – Rohrer, M. S. – Plummer, S. – Barnes, D. – Jiang, K. – Naswa, S. – Lange, J. – Ott, A. – Alger, E. – Rincon, G. – Rounsley, S. – Betthausen, J. – Mtango, N. R. – Benne, J. A. – Hammerand, J. – Durfee, C. J. – Rotolo, M. L. – Cameron, P. – Lied, A. M. – Irby, M. J. – Nyer, D. B. – Fuller, C. K. – Gradia, S. – Kanner, S. B. – Park, K. E. – Waters, J. – Simpson, S. – Telugu, B. P. – Salgado, B. C. – Brandariz-Nunez, A. – Rowland, R. R. R. – Culbertson, M. – Rice, E. – Cigan, A. M. (2024): Generation of a commercial-scale founder population of porcine reproductive and respiratory syndrome virus resistant pigs using CRISPR–Cas. *The CRISPR J.*, 7.1. <https://doi.org/10.1089/crispr.2023.0061>
- Burkard, C. – Lillico, S. G. – Reid, E. – Jackson, B. – Mileham, A. J. – Whitelaw, C. B. – Archibald, A. L. (2017): Precision engineering for PRRSV resistance in pigs: Macrophages from genome edited pigs lacking CD163 SRCR5 domain are fully resistant to both PRRSV genotypes while maintaining biological function. *PLoS Pathog.* 13. e1006206. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1006206>
- Challagulla, A. – Jenkins, K. A. – O’Neil, T. E. – Shi, S. – Morris, K. R. – Wise, T. G. – Paradkar, P. N. – Tizard, M. L. – Doran, T. J. – Schat, K. A. (2021): In vivo inhibition of Marek’s disease virus in transgenic chickens expressing Cas9 and gRNA against ICP4. *Microorganisms*, 9. 164. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9010164>

- Erdei, A. – Sármay, G. – Prechl, J. (2011): Immunológia. E-Book. http://zsuzsanna.emri.uni-eger.hu/public/uploads/2011-0001-524-immunologia_59f039dfa2d5c.pdf
- Findlay, G. M. – Boyle, E. A. – Hause, R. J. – Klein, J. C. – Shendure, J. (2014): Saturation editing of genomic regions by multiplex homology-directed repair. *Nature*, 513. 120–123. <https://doi.org/10.1038/nature13695>
- Gao, F. – Li, P. – Yin, Y. – Du, X. – Cao, G. – Wu, S. – Zhao, Y. (2023): Molecular breeding of livestock for disease resistance. *Virology*, 587. 109862. <https://doi.org/10.1016/j.virol.2023.109862>
- Gentile, N. – Carrasquer, F. – Marco-Fuertes, A. – Marin, C. (2024): Backyard poultry: exploring non-intensive production systems. *Poultry Sci.*, 103. 103284. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.103284>
- Haller, O. – Arnheiter, H. – Lindenmann, J. – Gresser, I. (1980): Host gene influences sensitivity to interferon action selectively for influenza virus. *Nature*, 283. 660–662. <https://doi.org/10.1038/283660a0>
- Haller, O. – Kochs, G. – Weber, F. (2007): Interferon, Mx, and viral countermeasures. *Cytokine Growth Fact. Rev.*, 18. 425–433. <https://doi.org/10.1016/j.cytogfr.2007.06.001>
- Harlizius, B. – Mathur, P. – Knol, E. F. (2020): Breeding for resilience: new opportunities in a modern pig breeding program. *J. Anim. Sci.*, 98. S150–S154. <https://doi.org/10.1093/jas/skaa141>
- Henryon, M. – Berg, P. – Sorensen, A. C. (2014): Animal-breeding schemes using genomic information need breeding plans designed to maximise long-term genetic gains. *Liv. Sci.* 166. 38–47. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2014.06.016>
- Johnsson M. (2023): Genomics in animal breeding from the perspectives of matrices and molecules. *Hereditas*, 160. 20. <https://doi.org/10.1186/s41065-023-00285-w>
- Jones, H. E. – Wilson, P. B. (2022): Progress and opportunities through use of genomics in animal production. *Trend. Genet.*, 38. 1228–1252. <https://doi.org/10.1016/j.tig.2022.06.014>
- Kasimanickam, R. – Ferreira, J. C. P. – Kastelic, J. – Kasimanickam, V. (2025): Application of genomic selection in beef cattle disease prevention. *Animals*, 15. 277. <https://doi.org/10.3390/ani15020277>
- Klug, A. (2010): The discovery of zinc fingers and their development for practical applications in gene regulation and genome manipulation. *Q. Rev. Biophys.*, 43. 1–21. <https://doi.org/10.1017/S0033583510000089>
- Park, Y. H. – Chungu, K. – Lee, S. B. – Woo, S. J. – Cho, H. Y. – Lee, H. J. – Rengaraj, D. – Lee, J. H. – Song, C. S. – Lim, J. M. (2020): Host-specific restriction of avian influenza virus caused by differential dynamics of ANP32 family members. *J. Infect. Dis.*, 221. 71–80. <https://doi.org/10.1093/infdis/jiz506>
- Patton, J. B. – Rowland, R. R. – Yoo, D. – Chang, K. O. (2009): Modulation of CD163 receptor expression and replication of porcine reproductive and respiratory syndrome virus in porcine macrophages. *Virus Res.*, 140. 161–171. <https://doi.org/10.1016/j.virusres.2008.12.002>
- Popescu, L. – Gaudreault, N. N. – Whitworth, K. M. – Murgia, M. V. – Nietfeld, J. C. – Mileham, A. – Samuel, M. – Wells, K. D. – Prather, R. S. – Rowland, R. R. R. (2017): Genetically edited pigs lacking CD163 show no resistance following infection with the African swine fever virus isolate, Georgia 2007/1. *Virology*, 501. 102–106. <https://doi.org/10.1016/j.virol.2016.11.012>
- Proudfoot, C. – Lillico, S. G. – Tait-Burkard, C. (2019): Genome editing for disease resistance in pigs and chickens. *Anim. Front.*, 9. 6–12. <https://doi.org/10.1093/af/vfz013>
- Sanchez-Torres, C. – Gomez-Puertas, P. – Gomez-del-Moral, M. – Alonso, F. – Escribano, J. M. – Ezquerro, A. – Dominguez, J. (2003): Expression of porcine CD163 on monocytes/macrophages correlates with permissiveness to African swine fever infection. *Arch. Virol.*, 148. 2307–2323. <https://doi.org/10.1007/s00705-003-0188-4>
- Scott, N. R. (2025): FDA approves gene-editing tech creating PRRS-resistant pigs. American Veterinary Medical Association. <https://www.avma.org/news/fda-approves-gene-editing-tech-creating-prrs-resistant-pigs>

- Shamshirgaran, Y. – Liu, J. – Sumer, H. – Verma, P. J. – Taheri-Ghahfarokhi, A. (2022). Tools for efficient genome editing; ZFN, TALEN, and CRISPR. In: Verma, P. J. - Sumer, H. - Liu, J. (eds): Applications of genome modulation and editing. Methods in Molecular Biology, 2495. Humana, New York, NY. https://doi.org/10.1007/978-1-0716-2301-5_2
- Sollner, J. H. – Mettenleiter, T. C. – Petersen, B. (2021): Genome editing strategies to protect livestock from viral infections. Viruses, 13. 1996. <https://doi.org/10.3390/v13101996>
- Sun, L. – Zhao, C. – Fu, Z. – Fu, Y. – Su, Z. – Li, Y. – Zhou, Y. – Tan, Y. – Li, J. – Xiang, Y. (2021): Genome-scale CRISPR screen identifies TMEM41B as a multi-function host factor required for coronavirus replication. PLoS Pathog., 17. e1010113. <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1010113>
- Tang, Y. D. – Liu, J. T. – Wang, T. Y. – Sun, M. X. – Tian, Z. J. – Cai, X. H. (2017): CRISPR/Cas9-mediated multiple single guide RNAs potentially abrogate pseudorabies virus replication. Arch. Virol., 162. 3881–3886. <https://doi.org/10.1007/s00705-017-3553-4>
- Wang, H. – Liu, X. – Wu, J. – Wu, G. – Yu, L. – He, C. – Yang, H. – Xie, W. – Xia, X. – He, H. (2013): Bovine fetal epithelium cells expressing shRNA targeting viral VP1 gene resisted against foot-and-mouth disease virus. Virology, 439. 115–121. <https://doi.org/10.1016/j.virol.2013.02.003>
- Wang, H. – Wu, J. – Liu, X. – He, H. – Ding, F. – Yang, H. – Cheng, L. – Liu, W. – Zhong, J. – Dai, Y. (2012): Identification of short hairpin RNA targeting foot-and-mouth disease virus with transgenic bovine fetal epithelium cells. PLoS One, 7. e42356. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0042356>
- Workman, A. M. – Heaton, M. P. – Vander Ley, B. L. – Webster, D. A. – Sherry, L. – Bostrom, J. R. – Larson, S. – Kalbfleisch, T. S. – Harhay, G. P. – Jobman, E. E. (2023): First gene-edited calf with reduced susceptibility to a major viral pathogen. PNAS Nexus, 2. pgad125. <https://doi.org/10.1093/pnasnexus/pgad125>
- Yuan, H. M. – Yang, L. – Zhang, Y. Z. – Xiao, W. Y. – Wang, Z. R. – Tang, X. C. – Ouyang, H. S. – Pang, D. X. (2022): Current status of genetically modified pigs that are resistant to virus infection. Viruses, 14. 417. <https://doi.org/10.3390/v14020417>
- Zhou, A. – Paranjape, J. M. – Der, S. D. – Williams, B. R. – Silverman, R. H. (1999): Interferon action in triply deficient mice reveals the existence of alternative antiviral pathways, Virology, 258. 435–440. <https://doi.org/10.1006/viro.1999.9738>
- Zhao, C. – Liu, H. – Xiao, T. – Wang, Z. – Nie, X. – Li, X. – Qian, P. – Qin, L. – Han, X. – Zhang, J. (2020): CRISPR screening of porcine sgRNA library identifies host factors associated with Japanese encephalitis virus replication. Nat. Commun., 11. 5178. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-18936-1>

Érkezett: 2025. május

Szerzők címe: Nagy, R.* - Tempfli, K. - Tossenberger, J.
Széchenyi István Egyetem, Albert Kázmér Mosonmagyaróvári Kar,
Állattudományi Tanszék

Authors' address: Széchenyi István University, Albert Kázmér Mosonmagyaróvár Faculty,
Department of Zoology
H-9200 Mosonmagyaróvár, Vár tér 2.
*levelező szerző, e-mail: nagy.rita2@sze.hu

A fekete katonalégység jelentősége a körforgásos gazdaságban

The importance of the black soldier fly in the circular economy

BANA Bernadett – GALLEN Attila – TŐZSÉR János

ÖSSZEFOGLALÁS

A világ népességének gyors növekedése miatt az állati eredetű fehérjék iránti kereslet jelentősen növekedhet a következő évtizedekben. Az emberi és állati táplálkozásban egyre nagyobb szerepet kapnak az alternatív fehérjeforrások, különösen a rovarok, amelyek fenntartható módon helyettesíthetik a hagyományos állati fehérjéket. A rovartenyésztés kis ökológiai lábnyommal jár, mivel biokonverziós folyamatai révén nagy hatásokkal alakít át szerves anyagokat hasznosítható formává, miközben mérsékli a környezetre gyakorolt negatív hatásokat. A fekete katonalégység hatékony és gyors életciklusa lehetővé teszi ipari célú tenyésztését. Emellett a fekete katonalégység felhasználható takarmányfehérje, bioüzemanyag és talajjavító anyagok előállítására.

Kulcsszavak: rovartenyésztés, körforgásos gazdaság, szerves hulladék, fekete katonalégység életciklusa, alternatív fehérje

SUMMARY

Introduction: Population growth could significantly increase the demand for animal protein, so there is increasing attention to alternative protein sources such as edible insects. The black soldier fly efficiently converts organic waste into protein, grows rapidly and is suitable for sustainable large-scale farming. Strict EU regulation ensures that eight authorized insect species can be safely used for animal feed.

The role of insects in a circular economy: The circular economy aims to use resources efficiently and reduce waste. Insects, especially the black soldier fly, play a crucial role in recycling organic waste and producing sustainable protein. This ecological approach supports environmentally friendly food and feed production.

The life cycle and technological products of the black soldier fly: The life cycle of the black soldier fly consists of five developmental stages, ensuring the reproduction and biological function of the individual. Its rapid development makes it suitable for industrial breeding, and its larvae are efficient at breaking down organic waste. Its biomass, high in protein and fat, can be used as feed, biodiesel and soil conditioner, promoting sustainable farming. The breeding of the black soldier fly allows for versatile industrial applications. Its high protein content makes it suitable for animal feed, its fat content can be used to produce biofuel and the larval decomposition processes contribute to soil improvement, promoting sustainable farming.

Conclusion: Rearing black soldier flies reduces the environmental burden by efficiently breaking down biological waste and requires less water and land than conventional animal husbandry. Its larvae have a high protein and fat content, making them a competitive alternative as feed, biofuel and soil conditioner. Industrial farming can contribute to sustainable farming, food security and environmental protection.

Keywords: insect rearing, circular economy, organic waste, black soldier fly life cycle, alternative protein

1. Bevezetés

A globális népesség gyors növekedésével párhuzamosan az állati eredetű élelmiszerfehérje iránti kereslet is jelentős mértékben emelkedhet a következő évtizedekben. A jelenlegi tendenciák alapján becslések szerint a fehérjeigény akár 70%-kal is növekedhet, miközben a világ népessége várhatóan meghaladja a 9 milliárd főt 2050-re (Yen, 2015). Jelenleg a nyugati étrendek fehérjeforrásai túlnyomórészt állati eredetűek, azonban az intenzív állattenyésztés jelentős környezetterhelést okoz (Oonincx és De Boer, 2012).

Az emberi és állati táplálkozásban egyre nagyobb szerepet kapnak az alternatív fehérjeforrások, különösen azok a rovarfajok, amelyek emberi fogyasztásra és/vagy takarmányozási célra alkalmasak, és hatékonyan helyettesíthetik a hagyományos fehérjét, miközben hozzájárulhatnak a fenntartható hulladékkezeléshez (Borrello és mtsai, 2016).

A rovarok ígéretes és fenntartható fehérjeforrást jelentenek, mivel tápanyagdúsak (Rumpold és Schlüter, 2013) és nagyobb konverziós hatékonysággal rendelkeznek, így sokkal kevesebb vizet igényelnek, mint a hagyományosan tenyésztett állatok (Huis és mtsai, 2013a). Emellett hatékonyan alakítják át a szerves melléktermékeket fehérjévé és fajtól vagy feldolgozási eljárástól függően 50% és 82% közötti fehérjetartalommal rendelkeznek (szárazanyag) (Rumpold és Schlüter, 2013), valamint értékes tápanyagokat is biztosítanak, mivel kalciumban, vasban és cinkben is gazdagok (Huis, és mtsai, 2013b). A rovartenyésztés alacsony környezeti terheléssel jár, mivel a rovarok kevés szántóföldet és vizet igényelnek az állattenyésztéshez képest, valamint csökkentett ökológiai költségekkel működnek, kevesebb üvegházhatású gáz- és szén-dioxid-kibocsátással (Oonincx és mtsai, 2010).

A rovartenyésztés egyik legkiemelkedőbb szereplője a fekete katonalégység, amely különösen fontos a takarmányipar számára, mivel gyorsan fejlődik, és rövid idő alatt nagy mennyiségű biomassza állítható elő belőle. Tenyésztése fenntartható és gazdaságos, nagyüzemi környezetben is megvalósítható, hiszen kevés erőforrást igényel. Képes hatékonyan lebontani a szerves melléktermékeket, ezáltal hozzájárul az élelmiszeripari melléktermékek és szennyvíz-kezelés költségeinek csökkentéséhez (Tomberlin és Huis, 2020).

Ezek az előnyök különösen ígéretes megoldássá teszik a fekete katonalégység alkalmazását az élelmiszeriparban keletkező melléktermékek kezelésében és az alternatív fehérjeforrások előállításában. Számos kutatás foglalkozik a rovarok takarmányozási és humán fogyasztási célú alkalmazásával, amely várhatóan egyre nagyobb szerepet kap világszerte az élelmiszeriparban és a környezetvédelemben (Nguyen et al, 2015).

Az Európai Unió 2015/2283/EU számú Novel Food rendelete alapján a következő rovarfajok kaptak engedélyt emberi fogyasztásra szánt termékek előállítására: közönséges lisztbogár, házi tücsök, keleti vándorsáska, kis lisztbogár. Az Európai Unió szigorúan szabályozza a rovartenyésztést és a rovarfehérje takarmányozási célú felhasználását (2017/893/EU rendelet, 2021/1925/EU rendelet). E jogszabályok biztosítják a biztonságos és higiénikus előállítást. Az EU-ban jelenleg nyolc rovarfaj engedélyezett takarmányozási célokra. Ezek: fekete katonalégység, közönséges házilégység, sárga lisztbogár, kis lisztbogár, házi tücsök, sávós tücsök, banántücsök és a selyemhernyó.

Az engedélyezett rovarfajok nem invazívak, nem károsak a növényekre, és nem veszélyeztetik a biodiverzitást (*Žuk-Golaszewska és mtsai, 2020*).

2. A rovarok szerepe körforgásos gazdaságban

A körforgásos gazdaság fogalma sokféleképpen értelmezhető, mivel kutatók és szakemberek eltérő nézőpontokat alkalmaznak. *Kirchherr és mtsai (2017)* vizsgálatukban 114 különböző definíciót elemeztek. Az egyik legfontosabb közös elem minden meghatározásban az erőforrások hatékonyabb felhasználására való törekvés, bár az, hogy pontosan mi minősül „jobbna”, továbbra is vita tárgyát képezi. Azonban egyértelmű, hogy a jelenlegi globális trendek világosan mutatják, hogy a természeti erőforrások gyorsuló kimerülése és az ezzel járó szén-dioxid-kibocsátás növekedése komoly kihívást jelentenek. Ugyanakkor a hulladékhegyek folyamatosan gyarapodnak, miközben a kapcsolódó környezeti szennyezés is fokozódik (*Velenturf és mtsai, 2019*). A modern élelmiszer-termelési rendszer egyik legnagyobb problémája a jelentős élelmiszer-hulladék keletkezése, amely az előállított élelmiszerek ehető részeinek több mint egyharmadát érinti. Ez nemcsak gazdasági és társadalmi szempontból okoz jelentős veszteséget, hanem környezeti problémákhoz is vezet, például az erőforrások pazarlásához és a felesleges üvegházhatású gázok kibocsátásához (*Cappellosza és mtsai, 2019*).

A rovarok, mint alternatív biológiai hasznosítási eszközök egyre nagyobb figyelmet kapnak ezen a területen, mivel képesek különféle szerves anyagokból tápanyagot felvenni, ezzel hozzájárulva a szerves melléktermékek tömegének csökkentéséhez (*Gustavsson és mtsai, 2011*), miközben értékes fehérjeforrásként is szolgálhatnak az élelmiszer- és takarmánygyártásban (*Spranghers és mtsai, 2017*). Ezen biológiai megoldás tökéletesen illeszkedik a körforgásos gazdaság elveibe, amelynek célja az erőforrások újrahazsnosítása és a hulladék minimalizálása. Az ilyen rendszerek nemcsak a fenntarthatóság fokozását segítik elő, hanem egy teljesen új ökológiai szemléletet alakítanak ki, amely lehetőséget teremt az élelmiszeripari és agrárszektor környezetbarát átalakítására (*Madau és mtsai, 2020*).

Fontos azonban megjegyezni, hogy a rovarok takarmányozására vonatkozó szabályozás világszerte jelentős eltérést mutat. Az EU szigorú előírásokat tartalmaz a rovaralapú élelmiszerek és takarmányok biztonságos előállítására vonatkozóan. Ennek érdekében jelenleg nem engedélyezett a trágya (állati ürülék) felhasználása rovarok takarmányaként. Ezzel szemben más régiókban – például Thaiföldön, Kínában vagy Afrikában – a szabályozás kevésbé szigorú, és bizonyos esetekben trágyán vagy trágyával kevert szerves hulladékon is nevelnek rovarokat (*Huis és Oonincx, 2017*).

A rovarok azon képessége, hogy szerves anyagokat kiváló minőségű tápanyagokká alakítsanak át, hosszú ideje ismert és kihasznált jelenség. Különösen a fekete katonalégy vált kiemelkedő szereplővé ebben a folyamatban, mivel az egyik leghatékonyabb biokonverterként képes a szerves anyag tömegét akár 75%-kal csökkenteni, miközben fehérjékben és lipidekben gazdag biomasszává alakítja át (*Gold és mtsai, 2018*).

Ennek a képességnek köszönhetően fekete katonalégy ígéretes biológiai megoldás, amely sokoldalúan hasznosítható különböző iparágakban.

3. A fekete katonalégység

A fekete katonalégység (*Hermetia illucens*) az ízeltlábúak (Arthropoda) törzsébe, a rovarok (Insecta) osztályába, a kétszárnyúak (Diptera) rendjébe, valamint a *Stratiomyidae* családba tartozik. Ez a faj elsősorban trópusi és melegebb éghajlatú régiókban fordul elő nagy számban, és jelentős szerepet játszik a természetes lebomlási folyamatokban, valamint a fenntartható hulladékkezelésben (*Purkayastha és mtsai*, 2017).

3.1. A fekete katonalégység életciklusa

A fekete katonalégység életciklusa öt fő fejlődési szakaszból áll (1. ábra), amely során a rovar különböző morfológiai és fiziológiai változásokon megy keresztül. Ezek a szakaszok biztosítják az egyed fejlődését, szaporodását és biológiai funkcióinak optimális működését.

3.2. Pete

A nőivarú fekete katonalégység a peték lerakása során olyan környezetet részesít előnyben, amely biztosítja az optimális fejlődési feltételeket az utódok számára. A peterakás folyamata általában 20–30 percig tart, és ez idő alatt a nőstény egy petecsomót hoz létre, amely átlagosan 324–998 apró petét tartalmaz. Ezek a peték rendkívül könnyűek, tömegük kb. $0,028 \pm 0,001$ mg (*Chia és mtsai*, 2018). A fekete katonalégység nőstényei védett helyeket keresnek (például szerves anyagok, párás környezet), hogy kedvező feltételeket teremtsenek a lárvák fejlődéséhez. A tojások 0,9–1,3 mm hosszúságúak, és 2–4 napon belül kikelnek, attól függően, hogy milyen hőmérsékleti és páratartalmi körülményeknek vannak kitéve (*Gobbi és mtsai*, 2013).

3.3. Lárva

A megtermékenyített peték körülbelül négy nappal a lerakás után kelnek ki, és azonnal egy rendkívül aktív táplálkozási szakaszba lépnek, amely a fekete katonalégység fejlődési ciklusának egyik legfontosabb periódusa (*Zhang és mtsai*, 2010). A petéből kikelő lárvák azonnal megkezdik intenzív táplálkozásukat, amely során különböző szerves anyagokat (például állati és növényi eredetű hulladékokat) fogyasztanak. Ennek köszönhetően a fekete katonalégység lárvái hatékony biológiai lebontó szervezetek, amelyek hozzájárulnak az organikus hulladék mennyiségének csökkentéséhez, miközben értékes fehérje- és zsírtartalmú biomasszát állítanak elő. A lárvaszakasz 12–20 napig tart, és ezalatt a lárvák jelentős méretbeli növekedést érnek el, testük színe világosbarnáról fokozatosan sötétebb árnyalatúvá változik, jelezve az életkor előrehaladását és az átalakulási folyamat megkezdését (*Diener és mtsai*, 2011). A lárvák ebben az időszakban jelentős mennyiségű zsírt és fehérjét raktároznak el, amelyet későbbi fejlődési szakaszaik során hasznosítanak fel (*Ortiz és mtsai*, 2016).

3.4. Előbáb

A fekete katonalégység lárvái fejlődésük végső szakaszába lépve jelentős morfológiai és viselkedési változásokon mennek keresztül, amelyek előkészítik őket a bábozódásra. Az érett lárvák színe fokozatosan sötétebbé válik, egyre inkább fekete árnyalatot öltenek, miközben mozgásuk és aktivitásuk jelentősen csökken. Ez az átalakulás része a metamorfózis előkészítésének, amelynek során a lárvák felkészülnek az imágóvá fejlődésre. Ebben az időszakban a lárvák teljesen abbahagyják a táplálkozást, mivel testükben már elegendő tápanyagot halmoztak fel a következő fejlődési fázis energiaköltségeinek fedezésére. A táplálkozás leállásával együtt bélrendszerük teljesen kiürül, hogy eltávolítsák a már nem szükséges szerves maradványokat. Ezt követően az előbábok száraz, védett helyet keresnek, ahol a bábozódás zavartalanul végbemehet (*Diener és mtsai, 2009; Huis és mtsai, 2013a*).

3.5. Báb

A fekete katonalégység bebábozódása összetett biológiai folyamat, amely során a lárvák olyan jelentős szerkezeti és fiziológiai átalakuláson mennek keresztül, hogy végül kifejlett rovarrá alakulnak. A bábozódás kezdetén a lárvák kemény külső vázat fejlesztenek, amely elsődleges célja a mechanikai védelem biztosítása a külső környezeti hatások és ragadozók ellen (*Barros és mtsai, 2014*). Ez a külső réteg vastag kitinből áll, amely megakadályozza a kiszáradást és csökkenti a sérülések kockázatát, így elősegíti a bábállapot zavartalan lefolyását. A bábállapot általában 6–10 napig tart, amely alatt belső szerkezeti átalakulások zajlanak le, beleértve az izomstruktúrák, légzőrendszer és idegrendszer kialakulását. A lárvák testében felhalmozott tápanyagokat használja fel a metamorfózis elősegítésére, miközben nem vesz magához újabb táplálékot. A bábok színe ebben a fázisban sötétbarnától feketéig változik, amely összefügg a kitinváz fokozatos keményedésével és pigmentációjával (*Hoc és mtsai, 2019*). A bábból való kikelés kedvezőtlen környezeti feltételek esetén akár öt hónapig is elhúzódhat (*Sheppard és mtsai, 2002*).

3.6. Kifejlett légy

A fekete katonalégység életciklusának utolsó szakasza a kifejlett egyed (imágó) állapot, amely során a rovar eléri végső formáját és megkezdí szaporodási tevékenységét. Az imágók átlagosan 3–20 napig élnek, amely időszak alatt fő céljuk a párzás és a peték lerakása (*Tomberlin és mtsai, 2009*). A fekete katonalégység kifejlett egyedei anatómiai sajátosságuk miatt nem vesznek fel táplálékot, mivel szájszervük nem alkalmas táplálkozásra. Ebben az életszakaszban energiaigényüket kizárólag a lárváállapotban elraktározott zsírkészleteikből fedezik (*Barragan-Fonesca és mtsai, 2017*). A frissen kikelő imágók kezdetben puha testfelépítésűek, amely néhány órán belül megszilárdul, ezt követően aktív mozgásba kezdenek. A szaporodás már a kikelést követő két napon belül megkezdődik, amelyet újabb két nap elteltével a peterakás követ, biztosítva a faj szaporodási ciklusának zavartalan fenntartását. Az imágók ebben a fázisban teljes szaporodóképességgel rendel-

1. ábra: A fekete katonalégység biológiai ciklusa (Bana, 2025)

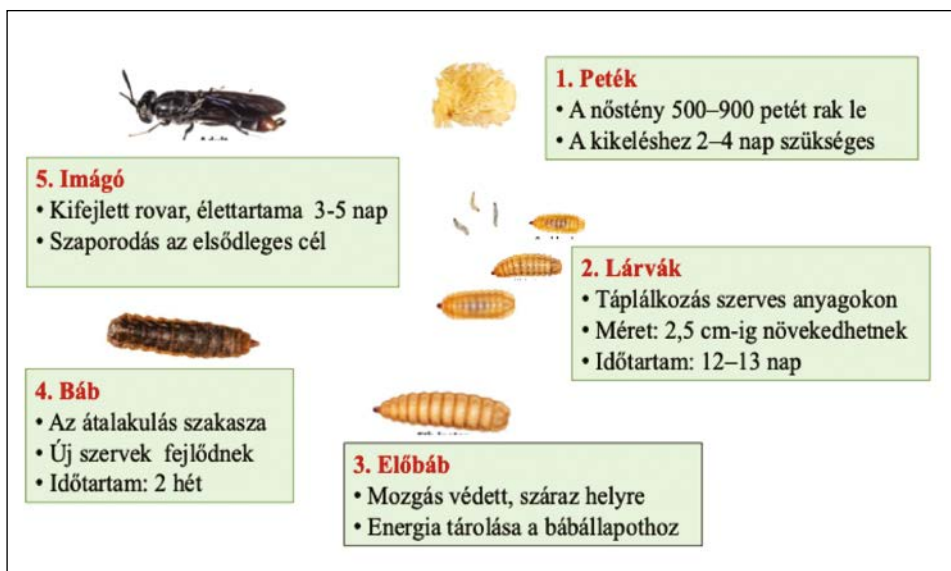


Figure 1: The biological cycle of the black soldier fly

keznek, ami lehetővé teszi a tenyésztési folyamat újraindulását és a populáció fennmaradását (Hoc és mtsai, 2019; Chen és mtsai, 2025).

3.7. A fekete katonalégység gazdasági és fenntarthatósági jelentősége

A fekete katonalégység egyre nagyobb figyelmet kap, mint fenntartható fehérjeforrás, mivel életciklusa rendkívül gyors és hatékony, ami lehetővé teszi, hogy nagy mennyiségben tenyesszék. Lárvai kiváló takarmány-alapanyagot képeznek. A lárvák által felhalmozott fehérje (40–45%) és zsír (25–35%) magas koncentrációban van jelen, előbbi érték ugyan elmarad a házi tücsök (60–70%) vagy a lisztbogár (50–55%) értékétől, ám zsírsavprofilja – különösen laurinsav-tartalma – antimikrobiális hatással bír (Sprangers és mtsai, 2017). A növedékcserkéknél, akár 50%-ban is kiválthatja a szójalisztet, megfelelő aminosav-kiegészítés mellett. Sertéseknél a helyettesítés mértéke 25–50%, de az utóhizlalási szakaszban, amikor a fehérjeigény mérséklődik, a teljes kiváltás is lehetséges a termelési mutatók csökkenése nélkül (Gasco és mtsai, 2020). A fekete katonalégység lárvainak takarmányhasznosítása kiemelkedő, hiszen 1,5–2,0 kg takarmány elegendő 1 kg fehérje előállításához. Ez jóval kedvezőbb, mint a csirke (2,5–3,0 kg), a sertés (3,5–4,0 kg) vagy a szarvasmarha (akár 6–10 kg) esetében (Oonincx és mtsai, 2015; Huis és Oonincx, 2017). Emellett a fekete katonalégység tenyésztése során a CO₂ kibocsátás 5–10 kg CO₂/kg fehérje, míg a szarvasmarha esetében ez akár 250–500 kg is lehet. Vízfelhasználása is kedvező, 400 liter víz szükséges 1 kg fehérje előállításához, míg a marhahúsé akár 15 000 liter is elérhet (Smetana és mtsai, 2019; Makkar és mtsai, 2014).

A fekete katonalégység feldolgozása egy innovatív és fenntartható biotechnológiai folyamat, amely lehetővé teszi, hogy lárvaiból különböző ipari és mezőgazdasági

célokra kiváló minőségű alapanyagokat állítsanak elő. A lárvák magas fehérje- és zsírkoncentrációval rendelkező biomasszát képeznek, amelyet különböző területeken hasznosítanak, például állati takarmányként (*Veldkamp és Bosch, 2015*), bioüzemanyagok előállításában (*Makkar és mtsai, 2014*) vagy talajjavítási eljárásokban (*Diener és mtsai, 2011*). Ezek az adatok alátámasztják, hogy a fekete katonalégy tenyésztése egyszerre gazdaságos, környezetbarát és jól illeszkedik a körforgásos gazdaság célrendszerébe (*Veldkamp és Bosch, 2015*).

4. A fekete katonalégy feldolgozási lépései

Az ehető rovarok előállítása három fő módszerrel történik: vadon történő betakarítással, félig háziasítással és ipari tenyésztéssel. *Yen (2015)* kutatása szerint a világon elfogyasztott rovarok 92%-át vadon gyűjtik, míg a félig háziasított rovarok az összes felhasznált rovar 6%-át teszik ki. Ez azt jelenti, hogy a tenyésztett rovarok aránya jelenleg csupán 2%, ha kizárólag azokat vesszük figyelembe, amelyeket közvetlenül emberi fogyasztásra szánunk. A rovartenyésztés az ehető rovarok előállításának egy viszonylag új módszere, amely különösen a fejlett országokban kezd elterjedni (*Oonincx és De Boer, 2012*). Ez a rendszer lehetővé teszi a rovarok fogságban történő tenyésztését, ahol minden tenyésztési lépést szigorúan ellenőriznek, beleértve az életkörülményeket, az étrendet és az élelmiszerminőséget.

Huis és mtsai (2013a) részletes információkat szolgáltatott a rovartenyésztési technikákról, kiemelve azok előnyeit és hátrányait. Megállapítása szerint a tenyésztési módszer kétségtelenül a legproduktívabb és leghatékonyabb módja az ehető rovarok előállításának, mivel biztosítja az állandó minőséget, fenntarthatóságot és nagyobb termelékenységet az ipari feldolgozás szempontjából.

4.1. Lárvák begyűjtése

A feldolgozás első lépése a tenyésztett lárvák begyűjtése, amely történhet szerves hulladékokkal táplált rendszerekből vagy speciális takarmányozási környezetből. A megfelelő higiéniai és táplálkozási feltételek biztosítása elengedhetetlen a végeredmény minőségének fenntartásához (*Nguyen és mtsai, 2018*).

4.2. Tisztítás és előkészítés

A begyűjtött lárvákat tisztítják, hogy eltávolítsák a külső szennyeződések, például a hulladékmaradványokat vagy a tenyésztési szubsztrátumot. Ez általában vízalapú mosási technológiával történik (*Huis és mtsai, 2013b*).

4.3. Feldolgozási technikák

A lárvákat különböző módon dolgozzák fel, attól függően, hogy milyen ipari vagy agrárgazdasági célra szánják őket:

- Szárítás – hőkezeléssel csökkentik a nedvességtartalmat, hogy a biomassza tárolható és hosszabb ideig eltartható legyen (*Saucier és mtsai, 2022*).
- Őrlés – a szárított lárvákat apróra őrlik vagy porrá alakítják, amely állati takarmányként és biológiai trágyaként is hasznosítható (*Rumpold és Schlüter, 2013*).

- Extrakció – speciális eljárásokkal kivonják a fehérjét és zsírokat, amelyeket különböző ipari alkalmazásokhoz lehet használni, például bioüzemanyagok előállításához (Manaf és mtsai, 2019).

4.4. Csomagolás és tárolás

A feldolgozott termékeket hő- és fényvédelemmel ellátott csomagolásba helyezik, hogy biztosítsák a hosszú távú tárolhatóságot és megőrizték tápértéküket (Zheng és mtsai, 2012).

5. A fekete katonalégység technológia termékei

A fekete katonalégység lárváinak felhasználása egyre nagyobb népszerűségnek örvend világszerte, mivel hatékony megoldást nyújt a biológiailag lebomló hulladékok gyors és költséghatékony stabilizálására. Ezek a lárvák rendkívül hatékonyan képesek lebontani a szerves anyagokat, miközben jelentős mennyiségű fehérjét és zsírt halmoznak fel testükben, amelyek később különféle kereskedelmi és ipari célokra hasznosíthatók (Purkayastha és Sarkar, 2020).

A fekete katonalégység lárvái képesek komplex szerves melléktermékeket gyorsan lebontani, ezzel hozzájárulva a hulladékgazdálkodás hatékonyságának növeléséhez. A biokonverziós folyamat során a feldolgozott szerves anyag nagy részét fehérjévé és lipidekké alakítják, amely később különböző takarmányozási, bioüzemanyag-előállítási és talajjavítási célokra használható fel (Ahmad és mtsai, 2023).

2. ábra: A fekete katonalégység lárvák szervesanyag újrahazsnosítása (Bana, 2025)

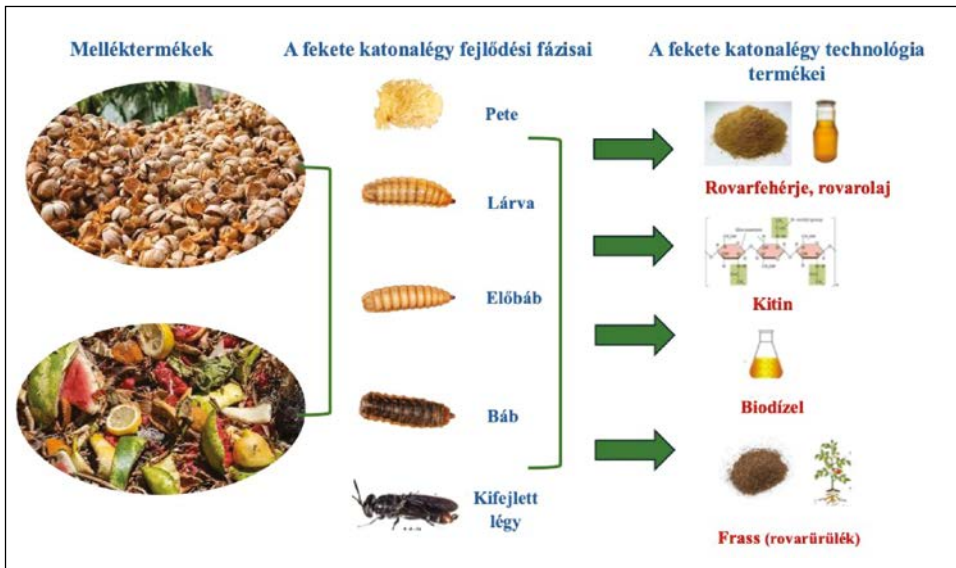


Figure 2: Organic recycling of black soldier fly larvae

5.1. Takarmány

A fekete katonalégység lárvái táplálkozás szempontból rendkívül fontos szerepet töltenek be az állati takarmányozásban, mivel gazdagok mikro- és makrotápanyagokban, amelyek nélkülözhetetlenek az egészséges növekedéshez és fejlődéshez. Magas fehérje- és zsírtartalmuknak köszönhetően számos állatfaj, köztük baromfik (*Pieterse és mtsai*, 2019), halak (*Zarantonello és mtsai*, 2020) és sertések (*Veldkamp és Bosch*, 2015) számára kiváló táplálékforrásként szolgálnak. A lárvák fehérjetartalma jelentős, 30–53 g/100 g szárazanyag, míg lipidtartalmuk 20–41 g/100 g szárazanyag között változik, ami versenyképes alternatívává teszi őket az állati takarmányok között. A fekete katonalégység lárvái különösen gazdagok telített zsírsavakban, amelyek létfontosságú szerepet játszanak az állatok növekedésében és egészségmegőrzésében. Az egyik legjelentősebb zsírsav a laurinsav (C12:0), amely nagy koncentrációban van jelen a lárvákban, és bizonyított antimikrobiális hatással rendelkezik a Gram-pozitív baktériumok ellen (*Meneguz és mtsai*, 2018). Ennek köszönhetően a fekete katonalégység nem csupán tápláló takarmány-alapanyag, hanem hozzájárulhat az állatok immunrendszerének támogatásához és betegségekkel szembeni ellenálló-képességük növeléséhez is. A laurinsav mellett az olajsav (C18:1n-9), palmitinsav (C16:0) és linolsav (C18:2n-6) is jelentős mennyiségben megtalálható a lárvákban (*Caligiani és mtsai*, 2019), amelyek fontos szerepet játszanak az állatok energiaszükségletének biztosításában, növekedésük elősegítésében és immunrendszerük támogatásában.

5.2. Biodízel

A biodízel napjaink egyik leggyakrabban vizsgált alternatív üzemanyaga, amely jelentős szerepet játszhat az üvegházhatású gázok kibocsátásának mérséklésében és a fosszilis energiahordozók kiváltásában. Az elmúlt évtizedekben a biodízel előállítására elsősorban növényi alapanyagokat, különösen étkezési növényi olajokat alkalmaztak, ugyanakkor felhasználásuk gazdasági fenntarthatóságával kapcsolatban számos kérdés merül fel (*Rezania és mtsai*, 2019). A környezetileg fenntarthatóbb és gazdaságosabb alapanyagok kutatása során egyre nagyobb figyelmet kap a rovaralapú biodízel-termelés, amely új perspektívát nyithat az alternatív üzemanyagok előállítása terén (*Manaf és mtsai*, 2019). Különösen a fekete katonalégység lárvája tűnik ígéretes alapanyagának, mivel jelentős lipidfrakcióval rendelkezik, amely biodízel előállítására alkalmas, miközben az állattenyésztés és hulladékkezelés területén is hasznosítható (*Zheng és mtsai*, 2012). Emellett a fekete katonalégységből előállított biodízel megfelel a nemzetközi szabványoknak, amely lehetőséget teremt a szélesebb körű ipari alkalmazásra és a kereskedelmi forgalomba hozatalára.

5.3. Kitin

A kitin a fekete katonalégység testfelépítésének egyik alapvető összetevője, különösen a külső vázban található meg, amely védelmet biztosít a lárvák és kifejlett egyedek számára. A fekete katonalégység életciklusa során változó kitintartalom figyelhető meg: lárvaalap állapotban 3,6%, előbábként 3,1%, bábként 14,1%, míg a

kifejlett egyedekben 2,9% (Wang és mtsai, 2020). A kitin nemcsak az ízeltlábúak vázának egyik meghatározó anyaga, hanem ipari és tudományos célokra is kiválóan hasznosítható.

A kitin kinyerése és feldolgozása számos területen alkalmazható, különösen a biotechnológiában, gyógyszeriparban, agráriumban és környezetvédelmi megoldásokban (D'Hondt és mtsai, 2020). A textiliparban egyre növekvő érdeklődés mutatkozik iránta, mivel természetes alapanyagként szerepet játszhat a biológiai lebomló textíliák fejlesztésében, csökkentve ezzel a hagyományos szintetikus anyagok környezeti terhelését. Emellett a szövetregenerációt érintő kutatások során is hasznosítható, például sebgyógyulást elősegítő bioanyagok és orvosi implantátumok fejlesztésében, amelynek alapját a kitinből származó kitozán képezi. A környezetvédelem területén a kitin adszorbensként használható szennyvíztisztítási technológiákban (Bhatnagar és Sillanpää, 2009). Egyes kutatások szerint kiváló nehézfém-megkötő képességgel rendelkezik, amely lehetővé teszi ipari szennyvízben található toxikus fémionok eltávolítását, ezzel jelentősen hozzájárulva a vízkezelési technológiák fejlődéséhez. Emellett a hulladékcsökkentésben is szerepet játszik, mivel biológiai lebomló alternatívát kínál a hagyományos műanyag-alapú víztisztító rendszerek helyett (Purkayastha és Sarkar, 2021).

5.4. Szerves trágya

A fekete katonalégység lárváinak alkalmazásával végzett komposztálási folyamat jelentős előnyökkel jár, különösen a végtermékként keletkező szerves trágya minőségét illetően. A hagyományos komposztálási módszerekkel előállított trágyákhoz képest ez a trágyatípus magasabb nitrogén-, foszfor- és káliumtartalommal rendelkezik, ami kiemelkedően fontos a növények egészséges fejlődése szempontjából. Emellett a fekete katonalégység lárvák trágyája magas csírázási indexértékeket mutat, amely arra utal, hogy a végtermék hatékonyabban serkenti a növények csírázását és növekedését, elősegítve a termés hozam növelését és a fenntartható agrárgazdálkodás előnyeit (Cai és mtsai, 2019). A komposzt minőségét nagyban befolyásolja a feldolgozott melléktermék összetétele és típusa, amely meghatározza a végtermék tápanyagprofilját és fizikai tulajdonságait. Ennek megfelelően a megfelelő szubsztrát kiválasztása kulcsfontosságú lehet a trágyában található makro- és mikrotápanyagok koncentrációjának optimalizálása érdekében. A fekete katonalégység lárváival támogatott komposztálási folyamat további jelentős előnye az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentése a hagyományos, mikrobiális lebontású komposztáláshoz képest (Chen és mtsai, 2019). A lárvák aktivitása révén a biológiai hulladékok gyorsabb lebomlása következik be, amely minimalizálja a metán- és szén-dioxid-kibocsátást, így hozzájárulhat a fenntartható hulladékkezelési megoldások terjedéséhez. Emellett a fekete katonalégység lárvái képesek csökkenteni a hulladék nehézfém-koncentrációját, amely kiemelt jelentőséggel bír a mezőgazdasági alkalmazás szempontjából. A nehézfémek eltávolítása javítja a komposzt biztonságosságát, ezáltal lehetővé teszi annak szélesebb körű használatát a növénytermesztésben, minimális környezetterhelés mellett (Sarpong és mtsai, 2019). A fekete katonalégység tenyésztése az egyik leginnovatívabb biológiai megoldás az ipari, mezőgazdasági és környezetvédelmi kihívások kezelésére. Ez a rovartenyésztési forma nemcsak alternatív fehérjeforrást

biztosít, hanem jelentős szerepet játszik a körforgásos gazdaságban, amely célja a hulladék csökkentése és az erőforrások hatékonyabb újrafelhasználása. A fekete katonalégy képes nagy mennyiségű szerves hulladék lebontására, miközben magas tápanyagtartalmú melléktermékeket állít elő, amelyek visszaforgathatók a mezőgazdaságba és az állattenyésztésbe.

6. Következtetés

A fekete katonalégy tenyésztése fontos szerepet játszik a fenntartható gazdálkodásban, mivel alacsony környezeti terheléssel jár, és hatékonyan hasznosítja a biológiai hulladékokat. Lárvai gyorsan lebontják a szerves anyagokat, csökkentve az élelmiszeripari melléktermékek és szennyvízkezelési költségeket, miközben magas fehérje- és zsírtartalmuk miatt versenyképes alternatívát kínálnak a hagyományos takarmányokkal szemben. Biokonverziós folyamatai minimalizálják az üvegházhatású gázok kibocsátását, amely az intenzív állattenyésztés egyik fő környezeti problémája, és kevesebb vizet, valamint területet igényel, mint a hagyományos állattenyésztés. Ipari alkalmazásai rendkívül sokoldalúak: takarmányfehérje-alapanyagként szolgálhat az állati takarmányozásban, bioüzemanyagként hasznosítható, és a lárvák ürülékéből készült komposzt elősegíti a talaj regenerálódását. Az ipari szintű tenyésztés új lehetőségeket nyit az agrárszektor számára, hozzájárulva az élelmezésbiztonság, a hulladékgazdálkodás és a környezetvédelem fejlődéséhez. További kutatások és technológiai fejlesztések révén a fekete katonalégy még nagyobb szerepet kaphat az alternatív fehérjetermelési és hulladékkezelési folyamatokban, amelyek hosszú távon fenntarthatóbb gazdasági rendszerek kialakítását segítik elő. Ezek a biológiai megoldások nemcsak gazdaságilag lehetnek életképesek, hanem hozzájárulhatnak az ökológiai egyensúly megőrzéséhez is, így a rovartenyésztés kiemelkedő alternatívává válhat a fenntartható élelmiszer-termelésben és hulladékgazdálkodásban.

7. Felhasznált irodalom

- Ahmad, I. K. – Peng, N. T. – Amrul, N. F. – Basri, N. E. A. – Jalil, N. A. A. – Azman, N. A. (2023): Potential application of black soldier fly larva bins in treating food waste. *Insects*, 14. 434. <https://doi.org/10.3390/insects14050434>
- Barragan-Fonseca, K. B. – Dicke, M. – van Loon, J. J. (2017): Nutritional value of the black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) and its suitability as animal feed—a review. *J. Insects Food Feed*, 3. 105–120. <https://doi.org/10.3920/JIFF2016.0055>
- Barros-Cordeiro, K. B. – Bão, S. N. – Pujol-Luz, J. R. (2014): Intra-puparial development of the black soldier-fly, *Hermetia illucens*. *J. Insect Sci.*, 14. 83. <https://doi.org/10.1093/jis/14.1.83>
- Bhatnagar, A. – Sillanpää, M. (2009): Applications of chitin and chitosan derivatives for the detoxification of water and wastewater - A short review. *Adv. Coll. Interface Sci.*, 152. 26–38. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2009.09.003>
- Borrello, M. – Lombardi, A. – Pascucci, S. – Cembalo, L. (2016): The seven challenges for transitioning into a bio-based circular economy in the agri-food sector. *Rec. Pat. Food, Nutr. Agric.*, 8. 39–47. <https://doi.org/10.2174/221279840801160304143939>
- Cai, M. – Zhang, K. – Zhong, W. – Liu, N. – Wu, X. – Li, W. – Zhang, J. (2019): Bioconversion–composting of golden needle mushroom (*Flammulina velutipes*) root waste by black soldier fly (*Hermetia illucens*, *Diptera: Stratiomyidae*) larvae, to obtain added-value biomass and fertilizer. *Was. Biomass Val.*, 10. 265–273. <https://doi.org/10.1007/s12649-017-0063-2>

- Caligiani, A. – Marseglia, A. – Sorci, A. – Bonzanini, F. – Lolli, V. – Maistrello, L. – Sforza, S. (2019): Influence of the killing method of the black soldier fly on its lipid composition. *Food Res. Int.*, 116. 276–282. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.08.033>
- Cappellozza, S. – Leonardi, M. G. – Savoldelli, S. – Carminati, D. – Rizzolo, A. – Cortellino, G. – Tettamanti, G. (2019): A first attempt to produce proteins from insects by means of a circular economy. *Animals*, 9. 278. <https://doi.org/10.3390/ani9050278>
- Chen, J. – Hou, D. – Pang, W. – Nowar, E. E. – Tomberlin, J. K. – Hu, R. – Li, Q. (2019): Effect of moisture content on greenhouse gas and NH₃ emissions from pig manure converted by black soldier fly. *Sci. Tot. Environ.*, 697. 133840. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133840>
- Chen, X. – Li, L. – Hu, F. – Wang, Y. – Zhang, Y. – Zhou, Z. – Zhou, Q. (2025): Development of the endo-reproductive system and the effect of mating status on egg development in adult *Hermetia illucens* L. *Insects*, 16. 330. <https://doi.org/10.3390/insects16040330>
- Chia, S. Y. – Tanga, C. M. – Khamis, F. M. – Mohamed, S. A. – Salifu, D. – Sevgan, S. – Ekesi, S. (2018): Threshold temperatures and thermal requirements of black soldier fly *Hermetia illucens*: Implications for mass production. *PloS one*, 13. e0206097. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0206097>
- Diener, S. – Zurbrugg, C. – Tockner, K. (2009): Conversion of organic material by black soldier fly larvae: establishing optimal feeding rates. *Waste Manag. Res.*, 27. 603–610. <https://doi.org/10.1177/0734242X09103838>
- Diener, S. – Zurbrugg, C. – Gutiérrez, F. R. – Nguyen, D. H. – Morel, A. – Koottatep, T. – Tockner, K. (2011): Black soldier fly larvae for organic waste treatment-prospects and constraints. *Proc. WasteSafe*, 2. 13–15. <https://doi.org/10.1177/0734242X09103838>
- D'Hondt, E. – Soetemans, L. – Bastiaens, L. – Maesen, M. – Jespers, V. – Van den Bosch, B. – Elst, K. (2020): Simplified determination of the content and average degree of acetylation of chitin in crude black soldier fly larvae samples. *Carbohydrate Res.*, 488. 107899. <https://doi.org/10.1016/j.carres.2019.107899>
- Gobbi, P. – Martinez-Sanchez, A. – Rojo, S. (2013): The effects of larval diet on adult life-history traits of the black soldier fly, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae). *Eur. J. Entomology*, 110. 461. ISSN 1210-5759
- Gold, M. – Tomberlin, J. K. – Diener, S. – Zurbrugg, C. – Mathys, A. (2018): Decomposition of biowaste macronutrients, microbes, and chemicals in black soldier fly larval treatment: A review. *Waste Manag.*, 82. 302–318. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.10.022>
- Gustavsson, J. – Cederberg, C. – Sonesson, U. – Van Otterdijk, R. – Meybeck, A. (2011): Global food losses and food waste. file:///C:/Users/Bene%20Szabolcs/Downloads/GlobalFoodLossesandwaste.pdf
- Hoc, B. – Noël, G. – Carpentier, J. – Francis, F. – Caparros Megido, R. (2019): Optimization of black soldier fly (*Hermetia illucens*) artificial reproduction. *PloS one*, 14. e0216160. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0216160>
- Huis, A. V. – Itterbeeck, J. V. – Klunder, H. – Mertens, E. – Halloran, A. – Muir, G. – Vantomme, P. (2013a): Edible insects: future prospects for food and feed security. <https://www.fao.org/4/i3253e/i3253e.pdf>
- Huis, A. V. (2013b): Potential of insects as food and feed in assuring food security. *Ann. Rev. Entomology*, 58. 563–583. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120811-153704>
- Huis, A. V. – Oonincx, D. G. (2017): The environmental sustainability of insects as food and feed. A review. *Agro. Sus. Dev.*, 37. 1–14. <https://doi.org/10.1007/s13593-017-0452-8>
- Kirchherr, J. – Reike, D. – Hekkert, M. (2017): Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Res., Conserv. Recyc.*, 127. 221–232. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005>
- Madau, F. A. – Arru, B. – Furesi, R. – Pulina, P. (2020): Insect farming for feed and food production from a circular business model perspective. *Sustainability*, 12. 5418. <https://doi.org/10.3390/su12135418>

- Makkar, H. P. – Tran, G. – Heuzé, V. – Ankers, P. (2014): State of the art on use of insects as animal feed. *Anim. Feed Sci Techno*, 197. 1–33. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.07.008>
- Manaf, I. S. – Embong, N. H. – Khazaai, S. N. M. – Rahim, M. H. A. – Yusoff, M. M. – Lee, K. T. – Maniam, G. P. (2019): A review for key challenges of the development of biodiesel industry. *Energy Conv. Manag.*, 185, 508–517. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.02.019>
- Meneguz, M. – Schiavone, A. – Gai, F. – Dama, A. – Lussiana, C. – Renna, M. – Gasco, L. (2018): Effect of rearing substrate on growth performance, waste reduction efficiency and chemical composition of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae. *J. Sci. Food Agric.*, 98. 5776–5784. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9127>
- Nguyen, D. T. – Bouguet, V. – Sprangers, T. – Vangansbeke, D. – De Clercq, P. (2015): Beneficial effect of supplementing an artificial diet for *Amblyseius swirskii* with *Hermetia illucens* haemolymph. *J. Appl. Entomology*, 139. 342–351. <https://doi.org/10.1111/jen.12188>
- Nguyen, H. C. – Liang, S. H. – Chen, S. S. – Su, C. H. – Lin, J. H. – Chien, C. C. (2018): Enzymatic production of biodiesel from insect fat using methyl acetate as an acyl acceptor: Optimization by using response surface methodology. *Energy Conv. Manag.*, 158. 168–175. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.12.068>
- Oonincx, D. G. – Van Itterbeeck, J. – Heetkamp, M. J. – Van Den Brand, H. – Van Loon, J. J. – Van Huis, A. (2010): An exploration on greenhouse gas and ammonia production by insect species suitable for animal or human consumption. *PloSone*, 5. e14445. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0014445>
- Oonincx, D. G. – De Boer, I. J. (2012): Environmental impact of the production of mealworms as a protein source for humans a life cycle assessment. *PloSone*, 7. e51145. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0051145>
- Oonincx, D. G. – Van Huis, A. – van Loon, J. J. (2015): Nutrient utilisation by black soldier flies fed with chicken, pig, or cow manure. *J. Insects Food Feed.*, 1. 131–139. <https://doi.org/10.3920/JIFF2014.0023>
- Ortiz, J. C. – Ruiz, A. T. – Morales–Ramos, J. A. – Thomas, M. – Rojas, M. G. – Tomberlin, J. K. – Jullien, R. L. (2016): Insects as sustainable food ingredients. *Insects as Sus. Food Ingrid.*, ISBN: 978-0-12-802856-8
- Pieterse, E. – Erasmus, S. W. – Uushona, T. – Hoffman, L. C. (2019): Black soldier fly (*Hermetia illucens*) prepupae meal as a dietary protein source for broiler production ensures a tasty chicken with standard meat quality for every pot. *J. Sci. Food Agric.*, 99. 893–903. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9261>
- Purkayastha, D. – Sarkar, S. – Roy, P. – Kazmi, A. A. (2017): Isolation and morphological study of ecologically-important insect “*Hermetia illucens*” collected from Roorkee compost plant. <https://doi.org/10.7508/pj.2017.03.010>
- Purkayastha, D. – Sarkar, S. (2020): Physicochemical structure analysis of chitin extracted from pupa exuviae and dead imago of wild black soldier fly (*Hermetia illucens*). *J. Polymers Environ.*, 28. 445–457. <https://doi.org/10.1007/s10924-019-01620-x>
- Purkayastha, D. – Sarkar, S. (2021): Sustainable waste management using black soldier fly larva: a review. *Int. J. of Environ. Sci. Techno.*, 1–26. <https://doi.org/10.1007/s13762-021-03524-7>
- Rezania, S. – Oryani, B. – Park, J. – Hashemi, B. – Yadav, K. K. – Kwon, E. E. – Cho, J. (2019): Review on transesterification of non-edible sources for biodiesel production with a focus on economic aspects, fuel properties and by product applications. *Energy Conv. Manag.*, 201. 112155. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.112155>
- Rumpold, B. A. – Schlüter, O. K. (2013): Potential and challenges of insects as an innovative source for food and feed production. *Inno. Food Sci. Emer. Techno.*, 17. 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2012.11.005>

- Sarpong, D. E. – Oduro-Kwarteng, S. – Gyasi, S. F. – Buamah, R. – Donkor, E. – Awuah, E. – Baah, M. K. (2019): Biodegradation by composting of municipal organic solid waste into organic fertilizer using the black soldier fly (*Hermetia illucens*)(*Diptera: Stratiomyidae*) larvae. Int. J. Recyc. Org. Waste in Agric., 8. 45–54. <https://doi.org/10.1007/s40093-019-0268-4>
- Saucier, L. – M'ballou, C. – Ratti, C. – Deschamps, M. H. – Lebeuf, Y. – Vandenberg, G. W. (2022): Comparison of black soldier fly larvae pre-treatments and drying techniques on the microbial load and physico-chemical characteristics. J. Insects Food Feed, 8. 45–64. <https://doi.org/10.3920/JIFF2021.0002>
- Sheppard, D. C. – Tomberlin, J. K. – Joyce, J. A. – Kiser, B. C. – Sumner, S. M. (2002): Rearing methods for the black soldier fly (*Diptera: Stratiomyidae*). J. Med. Entomology, 39. 695–698. <https://doi.org/10.1603/0022-2585-39.4.695>
- Smetana, S. – Schmitt, E. – Mathys, A. (2019): Sustainable use of *Hermetia illucens* insect biomass for feed and food: Attributional and consequential life cycle assessment. Res. Conserv. Recyc., 144. 285–296. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.01.042>
- Sprangers, T. – Ottoboni, M. – Klootwijk, C. – Oryn, A. – Deboosere, S. – De Meulenaer, B. – De Smet, S. (2017): Nutritional composition of black soldier fly (*Hermetia illucens*) prepupae reared on different organic waste substrates. J. Sci. Food Agric.e, 97. 2594–2600. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8081>
- Tomberlin, J. K. – Adler, P. H. – Myers, H. M. (2009): Development of the black soldier fly (*Diptera: Stratiomyidae*) in relation to temperature. Environ. Entomology, 38. 930–934. <https://doi.org/10.1603/022.038.0347>
- Tomberlin, J. K. – Van Huis, A. (2020). Black soldier fly from pest to 'crown jewel' of the insects as feed industry: an historical perspective. J. Insects Food Feed, 6. 1–4. <https://doi.org/10.3920/JIFF2020.0003>
- Veldkamp, T. – Bosch, G. (2015): Insects: a protein-rich feed ingredient in pig and poultry diets. Anim. Front., 5. 45–50. <https://doi.org/10.2527/af.2015-0019>
- Velenturf, A. P. – Jensen, P. D. – Purnell, P. – Jopson, J. – Ebner, N. (2019): A call to integrate economic, social and environmental motives into guidance for business support for the transition to a circular economy. Admin. Sci., 9. 92. <https://doi.org/10.3390/admsci9040092>
- Wang, H. – Rehman, K. – Feng, W. – Yang, D. – Rehman, R. – Cai, M. – Zheng, L. (2020): Physicochemical structure of chitin in the developing stages of black soldier fly. Int. J. Biol. Macromolecules, 149. 901–907. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.01.293>
- Yen, A. L. (2015): Insects as food and feed in the Asia Pacific region: current perspectives and future directions. J. Insects Food Feed, 1. 33–56. <https://doi.org/10.3920/JIFF2014.0017>
- Zarantonello, M. – Zimbelli, A. – Randazzo, B. – Compagni, M. D. – Truzzi, C. – Antonucci, M. – Olivetto, I. (2020): Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) reared on roasted coffee by product and Schizochytrium sp. as a sustainable terrestrial ingredient for aquafeeds production. Aquaculture, 518. 734659. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2019.734659>
- Zhang, J. – Huang, L. – He, J. – Tomberlin, J. K. – Li, J. – Lei, C. – Yu, Z. (2010): An artificial light source influences mating and oviposition of black soldier flies, *Hermetia illucens*. J. Insect Sci., 10. 202. <https://doi.org/10.1673/031.010.20201>
- Zheng, L. – Hou, Y. – Li, W. – Yang, S. – Li, Q. – Yu, Z. (2012): Biodiesel production from rice straw and restaurant waste employing black soldier fly assisted by microbes. Energy, 47. 225–229. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.09.006>
- Żuk-Golaszewska, K. – Gałęcki, R. – Obremski, K. – Smetana, S. – Figiel, S. – Gołaszewski, J. (2022): Edible Insect Farming in the Context of the EU Regulations and Marketing - An Overview. Insects, 13. 446. <https://doi.org/10.3390/insects13050446>

Szerzők címe: Bana, B.* – Tőzsér, J.

Széchenyi István Egyetem, Albert Kázmér Mosonmagyaróvári Kar

Authors' address: Széchenyi István University Albert Kázmér Faculty of Agricultural and Food Sciences

H-9200 Mosonmagyaróvár, Vár tér 2.

*levelező szerző, e-mail: bana.bernadett@sze.hu

Gallen, A.

Karát Broiler Kft.

9800 Vasvár, Nagymákfa utca 18.

Tojtyúk elkterő kalcium ellátásának vizsgálata osztott etetési technológiában

Investigations on the effects of different calcium supply of laying hens in a split feeding system

HORVÁTH Boglárka - BARANYAY Henrik - SUCH Nikolett - WÁGNER László - DUBLECZ Károly - PÁL László

ÖSSZEFOGLALÁS

A szerzők jelen kísérletükben két eltérő kalcium (Ca) ellátást biztosító osztott takarmányozási kezelést hasonlítottak össze Hy-Line Brown tojtyúkokkal, a kísérleti állatok 62. és 68. élethe között. A kontroll (K, n=24) Ca-ellátás a hagyományos napi szükséglethez viszonyítva a délelőtti takarmánykeverékben kb. 20%-kal kisebb, a délutánban pedig kb. 20%-kal nagyobb Ca-tartalmat jelentett. A CA kezelés (n=24) délelőtti takarmánykeverékének Ca-tartalma a szükségletnél 38%-kal kisebb, a délutánban 35%-kal nagyobb volt. A délelőtti és délutáni takarmánykeverékek Ca-tartalma között nagyobb különbséget biztosító CA takarmánykeverék kombináció nem befolyásolta szignifikánsan a tyúkok testsúlyát, a tojástermelési jellemzőket (tojástermelés intenzitása, tojássúly, napi tojássúly, takarmány-értékesítés), a tojásmínőségi jellemzőket, köztük a tojáshéj vastagságát és a héj törésszilárdságát, a sárgasínt összetételét ($p > 0,05$), de jobb N-retenciót, kisebb N-emissziót, valamint az ammónia emisszió szempontjából kedvezőbb N-összetételű ürületet (kisebb vizelet-N (NH_4^+ -N + húgsav-N) tartalom) eredményezett ($p < 0,05$). A kísérlet eredményei alapján elmondható, hogy a CA keverék kombináció a kontrollhoz képest a tojástermelés színvonalának biztosítása mellett kisebb környezetterhelő hatással rendelkezett. További nagyüzemi vizsgálata javasolt.

Kulcsszavak: osztott takarmányozás, tojtyúk, tojástermelés, kalcium-ellátás, nitrogén emisszió

SUMMARY

Objective: The aim of the present study was to investigate the effects of two split feeding treatments providing different calcium (Ca) supplies on egg production, egg quality parameters, nitrogen (N), Ca, phosphorus (P) retentions and emission, as well as tibia composition of laying hens.

Methods: Hy-Line Brown laying hens (n = 48), 62 weeks of age, were individually housed and randomly assigned to two split-feeding treatment groups. In the control group (K, n = 24), the Ca content of the morning diet was approximately 20% lower, and the Ca concentration of the afternoon diet was about 20% higher than the hens' daily Ca requirement. In the CA treatment group (n = 24), the Ca content of the morning diet was 38% below the requirement, while the Ca concentration of the afternoon diet was 35% above the requirement. Experimental diets were fed for six weeks. The daily feed allowance was 120 g per hen per day. Birds in both treatment groups received 40% of their daily feed (48 g) as the morning diet at 8:00 a.m., and the remaining 60% (72 g) as the afternoon diet at 3:00 p.m.

Results: The CA dietary treatment, which involved a greater difference between morning and afternoon dietary Ca concentrations, had no significant effect on body weight, egg production parameters (including egg production rate, egg weight, daily egg mass, and feed conversion ratio), eggshell thickness, shell breaking strength, or tibia composition ($p > 0.05$). However, the CA treatment significantly increased N retention, reduced N emission, and resulted in a more favorable N composition in the excreta in terms of ammonia-related emissions, as evidenced by lower contents of ammonium (NH_4^+), uric acid, and urinary N ($p < 0.05$) compared to the control group. Although hens in the CA treatment group had significantly lower Ca and P intake than those in the control group ($p < 0.05$), there were no significant differences in Ca and P retention, emission, or excreta concentrations between the two groups.

Conclusions: Egg production and egg quality parameters were not affected by the two different dietary Ca supply strategies tested. However, the CA dietary regimen, which introduced a greater

difference between morning and afternoon Ca concentrations, reduced the environmental impact by lowering ammonia emissions. Based on these findings, it is recommended that the CA treatment be further evaluated under large-scale commercial farming conditions.

Keywords: split feeding, laying hen, egg production, calcium supply, nitrogen emission

1. Bevezetés és irodalmi áttekintés

A hagyományos tojótyúk takarmányozási technológiától eltérő, ún. alternatív rendszerek közül a nagyüzemek számára leginkább az osztott vagy más néven szakaszos ("split feeding" vagy "sequential feeding") etetési technológia ajánlható. Az osztott etetés során a délelőtti és délutáni időszakban különböző összetételű, teljes értékű takarmánykeveréket osztanak ki az állatoknak ugyanabban az etetőrendszerben. Az osztott takarmányozási rendszernek két típusa jött létre. Az egész szemű gabonát nem alkalmazó típusban a technológiai ajánláshoz képest az állatok a délelőtti folyamán egy energiában és fehérjében gazdagabb, illetve kalciumban (Ca) szegényebb, míg a délután folyamán energiában és fehérjében szegényebb, Ca-ban gazdagabb keveréket fogyasztanak (Lee és Ohh, 2002). Az egész szemű gabonát felhasználó technológiában a délelőtti folyamán történik a gabona etetése önállóan, ami energiában gazdag, de fehérje és Ca-tartalma nem éri el az állatok ajánlott napi szükségletét. A délután során egy energiában szegény, de fehérjében és Ca-ban gazdag keverék etetésére kerül sor (Umar-Faruk és mtsai, 2010).

A tojótyúkoknál az energia és fehérje szükséglet napszakos változásához képest sokkal kifejezettebb a Ca-igény napszakos változása. Ha összehasonlítjuk a tojótyúkok takarmányfogyasztását a napszakok szerint, nagy különbséget figyelhetünk meg a tojásrakásban lévő és a tojást nem tojó tyúkok esetében. A tojásrakásban lévő tyúkok takarmányfogyasztása esetében két takarmányfelvételi maximum írható le (Keshavarz, 1998a). Az első a fényszakasz kezdetétől 4-6 óra múlva, míg a nagyobb 14-16 óra múlva mérhető. A második takarmányfelvételi csúcs a tojáshéjképződés alatti speciális Ca-igényhez kapcsolódik, és nem közvetlenül az energiaigény növekedéséhez (Mongin és Sauveur, 1974). A tyúkoknak két különböző Ca-forrás áll rendelkezésükre a tojáshéj képzéséhez (Péczely, 1987). A meszes héjba beépülő kb. 2g Ca származhat közvetlenül a takarmányból, vagy mobilizálódhat reszorpció révén a csontállományból. A reggeli és délelőtti órákban, amikor nem zajlik meszesedési folyamat az uterusban, a takarmányból felszívódó Ca a csontokba kerül és raktározódik a medulláris állományban, illetve a vesék kiválasztják és kiürül a szervezetből. A tojáshéj meszesedésének megindulásakor a bél Ca-abszorpciója fokozódik, a Ca a tojócsőbe szállítódik. A vérplazma Ca-szintjének ilyenkor tapasztalt csökkenése maga után vonja a parathormon koncentrációjának növekedését a vérben, és hatására a medulláris csontszövetben a csontbontó *osteoclast* sejtek aktivitásának fokozódását, a Ca transzport megindulását az uterus felé (Péczely, 1987). A fényprogram sötét periódusának kezdetén megszűnik a takarmányfelvétel és a bélcső Ca-tartalma a takarmányfelvétel befejezését követően 4-5 óra alatt felszívódik vagy a bélsárral kiürül. A tojáshéj meszesedési fázisának ebben az utolsó részében már csak a csontokból származó Ca járul hozzá a mészhéj képződéséhez. A héj meszesedé-

sének aktív szakaszaiban közvetlenül a bélből történő felszívódás által biztosított Ca-ellátás hatékonyabb, mint a csontokból történő Ca-reszorpció (*Peganova és Eder, 2002*). Minden olyan takarmányozási technológia ezért, amely segíti a bélből történő Ca abszorpciójának „elnyújtását” a takarmányfelvétel leállítását követően (pl. késő délutáni Ca kiegészítés, durvább szerkezetű, nehezebben oldódó takarmánymész segítségével), segítheti a tojáshéj meszesedésének folyamatát, a tojáshéj minőségének megőrzését vagy javítását. Az osztott takarmányozási rendszer délutáni takarmányának nagyobb Ca-tartalma is ezen az elven keresztül fejtheti ki előnyös hatásait. Az osztott rendszert vizsgáló korai tanulmányok a technológia pozitív hatását mutatták ki a tojáshéj vastagság, törésszilárdság (*Lee és Ohh, 2002*) és a héjdeformáció (*Leeson és Summers, 1978*) vonatkozásában.

Az eddigi osztott etetési technológiát vizsgáló kísérletek legtöbb esetben a hagyományos technológiával való összehasonlítást vizsgálták, nem tették lehetővé egy kísérleten belül a többféle, eltérő osztott Ca-ellátások összehasonlítását. Ezekben a kísérletekben nagyon nagy mértékű különbségek voltak a délelőtti és délutáni takarmány Ca-koncentrációja között. A hagyományos szükségleti értéket 100%-nak, kontrollnak tekintve a délelőtti keverékek Ca-tartalma 0,8-84%, a délutáni takarmányé pedig 115-436% között mozgott (*Leeson és Summers, 1978; Umar-Faruk és mtsai, 2010; Molnár és mtsai, 2018a; Emous és Mens, 2021; Jahan és mtsai, 2024*). A nagy Ca-koncentráció különbségek ellenére a vizsgált osztott takarmányok a hagyományos kontrollhoz képest hasonló vagy bizonyos paraméterekben jobb tojástermelést biztosítottak. Az egy kísérleten belül több délelőtti és délutáni takarmány Ca-tartalom hatásait vizsgáló kísérletek egy része nem volt valódinak nevezhető osztott rendszer, mert a délelőtti és délutáni takarmányok azonos energia és fehérje tartalommal rendelkeztek (*Keshavarz, 1998a, 1998b*), illetve a takarmányok energia és nyersfehérje tartalma nem tette lehetővé a Ca-ellátás elkülönített vizsgálatát (*Waldroup és Hellwig, 2000; Lee és Ohh, 2002*).

Mindezek alapján olyan modell kísérlet elvégzését tűztük ki célul, amelyben kétféle osztott rendszerű Ca-ellátást úgy tudunk összehasonlítani, hogy a takarmányok energia és nyersfehérje, valamint aminosav és hasznosítható foszfor (P) tartalma nem befolyásolta a Ca-kezelési hatások értékelését. A kísérletünkben vizsgált osztott takarmányozási rendszerben a kontroll Ca-ellátáshoz hasonlítva (a szükséglethez képest a délelőtti keverékben kb. 20%-kal kisebb, a délutániban pedig kb. 20%-kal nagyobb Ca-tartalom) a délelőtti és délutáni takarmány Ca-tartalmai között nagyobb különbséget biztosító Ca-ellátás (a délelőtti keverék kalcium tartalma a szükségletnél 38%-kal kisebb, a délutáni 35%-kal nagyobb) hatásait vizsgáltuk a tojótyúkok testsúlya, tojástermelési paraméterek, tojásmínőségi jellemzők, a nitrogén (N), Ca-, P- felvétel, retenció és emisszió értékek és a sápcsonot összetétele (hamu, kalcium és foszfor tartalom) tekintetében.

2. Anyag és módszer

2.1 Kísérleti állatok és elhelyezésük

A kísérlet helyszíne a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Élettani és Takarmányozástani Intézet Georgikon Campusán található kísérleti telep volt. A modell kísérletben 48 Hy-Line Brown genetikájú tojótyúk került beállításra, amelyek

a kísérlet megkezdésekor 62 hetes életkorúak voltak. A kísérleti állatok a Fuchs Tojás Kft. telepéről a kísérleteket megelőzően egy héttel érkeztek és hét napig a termelő telepen fogyasztott takarmányt kapták. A tojótyúkوك kétszintes egyedi ketrecekben kerültek elhelyezésre (1056 cm² alapterület), amelyek mindegyike szelepes itatóval és kézi feltöltésű etetővályúval volt felszerelve. Egy szinten belül a hat állat úgy lett elhelyezve, hogy az egymás mellett lévő állatok külön kezeléshez tartoztak. A hat állatból álló blokkokból összesen nyolc ismétlés került kialakításra. A terem hőmérséklete $20 \pm 0,6$ °C volt, fényprogramként pedig 16 óra világos és 8 óra sötét szakasz, 30 lux fényerősség került beállításra. A kísérletet az Intézményi Etikai Bizottság (Állatvédelmi Bizottság, Georgikon Campus, Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem) a MÁB-2/2021 engedélyszáma alatt hagyta jóvá.

2.2. Kísérleti takarmány kezelések

A kísérletben két osztott takarmányozási kezelést hasonlítottunk össze: egy kontroll (K) és egy módosított Ca-tartalmú kísérleti keverékeket tartalmazó kezelés (CA). Mindkét kezelési csoporthoz 24 állat tartozott. A kísérleti takarmányok összetételét és táplálóanyag-tartalmát az 1. táblázat mutatja be. A kísérlet 6 héten keresztül zajlott, a kísérleti állatok 62. és 68. élethete között. A napi takarmány adag 120 g takarmány/nap/egyed volt. Reggel 8 órakor a fényszakasz kezdetén az állatok mindkét kezelési csoportban a napi takarmányadagjuk 40%-át kapták (48g) a délelőtti keverékből, és a második adag kiosztásáig 7 óra állt rendelkezésükre ennek elfogyasztására (6,85 g/óra). A napi takarmány adag további 60%-át (72g) 15 órakor kapták meg a délutáni keverékből és 9 órán keresztül fogyaszthatták a fényszakasz végéig (8,00 g/óra). A takarmány kiosztás időpontjában az etetőben maradt takarmány maradék mindig lemérésre és eltávolításra került. A két kezelési csoport délelőtti, illetve ugyanígy a délutáni takarmánykeverékeinek energia (AMEn) és nyersfehérje tartalma, illetve nyolc esszenciális aminosav esetében a standardizált ileális emészthető (SID) koncentráció közel azonos volt. A délelőtti keverékek AMEn tartalma, nyersfehérje és az esszenciális aminosavak SID koncentrációja a tenyésztő cég ajánlásainak figyelembevételével került megállapításra (Hy-Line Performance Guide, 2024; Hy-Line International). A délutáni keverék AMEn tartalma 93%-a, nyersfehérje tartalma 89%-a volt a délelőttinek (100%), az esszenciális aminosavak SID koncentrációjára pedig 85-91% volt jellemző ebben az összehasonlításban. A kísérleti állatok Ca-szükségletének megfelelő Ca-koncentrációhoz (4,38%) képest a K kezelés délelőtti keverékében kb. 20%-kal kisebb, a délutáni pedig kb. 20%-kal nagyobb Ca-tartalmat állítottunk be. A CA kezelés esetében a délelőtti keverékben az eddigieknél nagyobb mértékű csökkentést, illetve a délutáni takarmánykeverékben nagyobb mértékű növelést alkalmaztunk: a délelőtti keverék a szükségletnél 38%-kal kisebb, a délutáni pedig 35%-kal nagyobb volt.

2.3. Mérések és mintavételi eljárások

A kísérleti állatok testsúlyát hetente egyedileg mértük. A délelőtti és délutáni fázisok takarmányfelvétele (g/nap/tyúk), a tojástermelési intenzitás (%) és a tojássúly (g) naponta rögzítve lettek. A mért adatokból tyúkonként a teljes kísér-

1. táblázat: A kísérleti takarmánykeverékek összetétele és táplálóanyag-tartalma (%)

Összetevők (5)	Kontroll (K) (1)		Kalcium kezelés (CA) (2)	
	Délelőtt (3)	Délután (4)	Délelőtt	Délután
Kukorica (6)	20,00	20,00	20,00	20,00
Búza (7)	41,79	39,17	40,45	36,70
Extrahált szójadara (8)	15,80	9,90	17,50	10,20
Extrahált napraforgódara (9)	9,00	12,00	4,20	13,00
Növényi olaj (10)	2,85	2,40	2,67	3,18
Búzakorpa (11)	0,00	1,10	6,90	0,00
L-Lizin-HCl (12)	0,13	0,13	0,10	0,12
DL-Metionin (13)	0,19	0,15	0,20	0,14
L-Treonin (14)	0,02	0,00	0,02	0,00
MCP (15)	0,69	0,66	0,59	0,69
Takarmánymész (durva, 2-4 mm) (16)	6,00	9,60	4,65	10,70
Takarmánymész (gríz) (17)	2,79	4,14	1,98	4,52
Takarmánysó (18)	0,21	0,22	0,21	0,22
Premix ¹ (19)	0,53	0,53	0,53	0,53
Fitáz (Natuphos E 5000 TPT) (20)	0,01	0,01	0,01	0,01
Számított táplálóanyag-tartalom (21)				
AMEn (MJ/kg) (22)	11,26	10,47	11,27	10,46
Nyersfehérje (23)	17,00	15,18	17,00	15,19
Nyerszsír (24)	4,40	3,89	4,40	4,60
Nyersrost (25)	4,36	4,70	4,40	4,71
Nyershamu (26)	12,80	17,44	10,70	18,92
SID Lizin (27)	0,80	0,68	0,80	0,68
SID Metionin + Cisztein (28)	0,79	0,72	0,79	0,71
SID Metionin (29)	0,44	0,39	0,44	0,39
SID Arginin (30)	1,02	0,92	1,00	0,93

(a táblázat folytatása a következő oldalon)

letre vonatkozóan számtani átlagot képeztünk, majd az átlagokat statisztikailag értékeltük ($n=24/\text{csoport}$). A következő adatokat számítással határoztuk meg egy tojótyúkra és a teljes kísérletre vonatkozóan: átlagos napi, illetve délelőtti és délutáni takarmányfelvétel (g/nap/tyúk), átlagos napi, illetve délelőtti és délutáni fehérje-, Ca- és P-felvétel (g/nap/tyúk), napi termelt tojóssúly (g/nap/tyúk) és takarmány-értékesítés (kg takarmány/kg tojás). A kísérlet utolsó napján egy tojás begyűjtésre került minden állattól a tojásmínőség mérése céljából, melyeket 4°C-on tároltunk a mérések elvégzéséig. A tojásokat 24 óra tárolást követően 30 percen keresztül szobahőmérsékleten állni hagytuk, majd a tojásmínőségi paramétereket (tojáshéj szilárdság, sűrűfehérje magasság, Haugh-egység, sárgája szín, sárgája átmérő, sárgája magasság, héjvastagság) a Digital Egg Tester 6500 (Nabel Co., Kyoto 601-8444 Japan) nevű mérőműszerrel mértük.

Az utolsó héten a kísérleti takarmányok 0,5% titánium-dioxid (TiO_2) indikátorral

Összetevők (5)	Kontroll (K) (1)		Kalcium kezelés (CA) (2)	
	Délelőtt (3)	Délután (4)	Délelőtt	Délután
SID Treonin (31)	0,62	0,53	0,61	0,54
SID Valin (32)	0,75	0,67	0,74	0,68
SID Leucin (33)	1,14	1,01	1,14	1,01
SID Isoleucin (34)	0,67	0,60	0,66	0,60
SID Triptofán (35)	0,18	0,16	0,18	0,16
Ca (36)	3,55	5,37	2,73	5,92
P összes (37)	0,54	0,53	0,54	0,53
P hasznosítható (38)	0,37	0,36	0,37	0,36
Mért táplálóanyag-tartalom (39)				
Szárazanyag (40)	89,81	90,51	89,64	90,54
Nyersfehérje (23)	17,16	15,41	17,06	15,93
Nyerszsír (24)	4,31	3,52	4,38	4,35
Nyersrost (25)	4,78	6,63	5,21	8,26
Ca (36)	3,85	5,59	3,04	5,88
P összes (37)	0,53	0,52	0,53	0,51

¹ Premix összetétel: (1 kg takarmányra vonatkoztatva): A-vitamin—8000 NE, D₃-vitamin—3,000 NE, E-vitamin—30 NE, tiamin—2 mg, riboflavin—6 mg, piridoxin HCL—4 mg, niacin—30 mg, pantoténsav—8 mg, folsav—1 mg, biotin—0,2 mg, betain—180 mg, kolin-klorid—147mg, Zn—80 mg, Cu—13,5 mg, Fe—54 mg, Mn—90 mg, I—2,7 mg, Se—0,36 mg; Mn—100 mg, I—1,5 mg, Se—0,5 mg; Xilanáz enzim (Econase XT 25 P) -16BXU/g

Table 1: Composition and nutrient content of experimental diets (%)

control treatment (1); calcium treatment (2); morning phase (3); afternoon phase (4); ingredients (5); corn (6); wheat (7); extracted soybean meal (8); sunflower meal (9); plant oil (10); wheat bran (11); L-lysine-HCl (12); DL-methionine (13); L-threonine (14); monocalcium-phosphate (15); limestone coarse (16) limestone fine (17) feed salt (18) premix (19); phytase (20); calculated nutrient content (21); AMEn (22); crude protein (23); crude fat (24); crude fibre (25); crude ash (26); SID lysine (27); SID methionine+cysteine (28); SID methionine (29); SID arginine (30); SID threonine (31); SID valine (32); SID leucine (33); SID isoleucine (34); SID triptophan (35); calcium (36); total P (37); available P (38); measured nutrient content (39); dry matter (40);

lettek kiegészítve. Négy napos adaptációs időszakot követően két egymást követő napon, naponta a teljes napi ürülék homogenizációját követően reprezentatív ürülminta-gyűjtést végeztünk. A napi mintákat kísérleti állatonként egyesítettük, majd alapos homogenizációt követően -20 °C-os hőmérsékleten tároltuk a későbbi mérésekig. A mintákból felolvasztást és újabb homogenizációt követően meghatároztuk a szárazanyag-tartalmat, az összes-N, ammónium-N (NH₄⁺-N) és húgysav-N, a Ca és a P koncentrációkat.

A kísérlet utolsó napján 8 órakor az állatokat széndioxidos (CO₂) kábítását követően, a nyaki véna átvágásával kivérettük és begyűjtöttük a levágott állatok jobb oldali sípcsontját (tibia) majd főzés segítségével megtisztítottuk az izom és porc maradványoktól. A letisztított csontokat -20°C-on tároltuk a kémiai analízisek elvégzéséig.

2.4. Analitikai módszerek és számítások

Az analitikai mérések a MATE ÉTI Takarmányozástani és Takarmányozás-élettani Tanszékének laboratóriumában történtek. A begyűjtött ürülék mintákat 60°C-on kemencében szárítottuk 72 órán keresztül a további feldolgozás előtt. Mindkét kezelés tyúkjainak takarmánymintáit, és a begyűjtött ürülék mintákat ledaráltuk egy őrlőmalomban (Retsch ZM 100, Retsch GmbH and Co., K.G., Haan, Germany). Minden minta esetében két analitikai mérést végeztünk, amelyek eredményeit átlagoltuk. A darált minták szárazanyag-tartalmát szárítószekrényben történő szárítást (105 °C-on 24 órán keresztül, súlyállandóságig) követően határoztuk meg (MSZ ISO 6496:2001).

A minták összes-N tartalmát Kjeldahl módszere alapján (MSZ ISO 5983-1:2005), Foss-Kjeltec 8400 analízátor segítségével állapítottuk meg (Nils Foss Allé 1, DK-3400 Hilleroed, Dánia). Az ürülék mintákból az NH_4^+ -N-t *Peters és mtsai* (2003), míg a húgysav-N meghatározást *Marquardt és mtsai* (1983) által leírt módszer alapján végeztük. Minden N-paraméter szárazanyagtartalomra vonatkoztatva került kiszámításra. A vizelet-N tartalmát az ammónium-N és a húgysav-N összegeként határoztuk meg (*O'Dell és mtsai*, 1960).

Meghatároztuk a kísérleti takarmány keverékek nyerszsír (MSZ EN ISO 6492) és nyersrost tartalmát (MSZ EN ISO 6865:2001). A takarmány és ürülék mintákból a Ca és a P tartalmát is mértük. A Ca-tartalom mérése atomabszorpciós spektrofotométerrel történt (MSZ EN ISO 6869:2001). A minták P-tartalmát fotometriás módszerrel (MSZ EN ISO 6491:2001) állapítottuk meg (Biochrom Libra S12 UV-VIS, Biochrom Ltd. Cambridge, UK). A kísérleti takarmánykeverékek és ürülék minták TiO_2 tartalmát UV-spektroszkópiás vizsgálat segítségével határoztuk meg (*Ferguson és mtsai*, 1998).

A sípcsontot kemencében 100 °C-on 24 órán át szárítottuk, majd Soxhlet-készülékben petroléter segítségével 16 órán át zsírtalanítottuk. Ezt követően egy éjszakán át szárítószekrényben 100 °C-on szárítottuk a száraz, zsírtalanított csont súlyának meghatározásához, majd kemencében 16 órán át 600 °C-on hamvasztottuk (AOAC 972.15 módszer; AOAC, 1990). A sípcsont hamutartalmának %-os értékét a száraz, zsírtalanított csontsúly hamuként megmaradt súlyának felhasználásával számítottuk ki. A csonthamuból származó Ca és P meghatározása a takarmány mintáknál leírt módszerekkel történt.

A N-, Ca- és P-retenció meghatározásához a következő egyenletet alkalmaztuk (*Bregendahl és mtsai*, 2002): Látszólagos N-retenció = $1 - \left(\frac{[\text{TiO}_2]_{\text{takarmány}}}{[\text{TiO}_2]_{\text{ürülék}}} \times \frac{[\text{Elem}]_{\text{ürülék}}}{[\text{Elem}]_{\text{takarmány}}} \right)$. Az egyenletben a $[\text{TiO}_2]$ a takarmányban, illetve ürülékben mért TiO_2 koncentrációt jelenti, míg az $[\text{Elem}]$ a takarmányban, illetve ürülékben mért N-, Ca- és P-koncentrációt. A kísérleti keverékek esetében a napi adag 40%-át a délelőtti, 60%-át a délutáni keverék biztosította, ezért az indikátor és a makroelemek koncentrációját a következő képlettel állapítottuk meg: Átlagos koncentráció = (délelőtti takarmány koncentráció x 0,4) + (délutáni takarmány koncentráció x 0,6).

2.5. Statisztikai analízis

Az adatok előkészítését a statisztikai analízisre a Microsoft Office Excel 2016 programmal történt. Az adatok normál eloszlásának (Kolmogorov-Szmirnov teszt) és a varianciák homogenitásának (Levene-teszt) ellenőrzését követően a takarmány kezelések hatását kétmintás (független) t-próbával értékeltük. Amennyiben az adatok normál eloszlása, vagy a varianciák homogenitásának előfeltétele nem teljesült, a Mann–Whitney-tesztet alkalmaztuk. A kísérlet során a statisztikai analíziseket az SPSS 22.0 szoftvercsomag segítségével végeztük el (IBM Corp., Armonk, NY, USA). A statisztikai szignifikanciát $p < 0,05$ értéknél határoztuk meg.

3. Eredmények

3.1. Testsúly, tojástermelési és tojásmínőségi paraméterek

A kísérleti állatok kísérlet kezdetén mért testsúlya nem különbözött a kezelési csoportok között (2. táblázat). A takarmányozási kezelések nem befolyásolták a tojótyúkok kísérlet végi testsúlyát és a kísérlet során mért súlyváltozást sem ($p > 0,05$).

2. táblázat: A kísérleti kezelések hatása a tojótyúkok testsúlyára (átlag $\pm$ SEM)

Kezelés (5)	Testsúly (kg) (1)		
	Kísérlet kezdetén (2)	Kísérlet végén (3)	Súlyváltozás (4)
K (6)	2,02 $\pm$ 0,03	2,01 $\pm$ 0,03	-0,04 $\pm$ 0,01
CA (7)	1,98 $\pm$ 0,02	1,97 $\pm$ 0,02	-0,05 $\pm$ 0,01
Szignifikancia (8)	NS (9)	NS	NS

K – Kontroll kezelés, CA – Kalcium kezelés; $n=24$ /kezelés; NS – nem szignifikáns ($p > 0,05$)

Table 2: Effects of dietary treatments on the body weight of laying hens (mean $\pm$ SEM)

body weight (kg) (1); start of the experiment (2); end of the experiment (3); body weight change (4); treatment (5); control group (6); calcium treatment (7); significance (8); non-significant - $p > 0.05$ (9)

A tojótyúkok takarmányfelvételében nem tudtunk kimutatni szignifikáns különbségeket a két kezelési csoport között ($p > 0,05$; 3. táblázat). Ugyanígy a kisebb délelőtti és nagyobb délutáni Ca-koncentrációt biztosító Ca-ellátás (CA) nem befolyásolta a napi AMEn felvételt ($p > 0,05$; 4. táblázat). A nyersfehérje fogyasztást tekintve, a délelőtti hasonló fehérje felvételt követően a tojók fehérje felvétele délután a CA csoportban szignifikánsan ($p < 0,05$) meghaladta a K csoportra jellemző értéket, de a teljes napi fehérje felvételben a két csoport közötti különbségek nem mutatkoztak szignifikánsnak (4. táblázat).

A CA kezelésben részesült tyúkok esetében a délelőtti Ca-felvétel szignifikánsan kisebb volt a kontrollhoz képest ($p < 0,001$, 5. táblázat), majd a csoport tojótyúkjai délután nagyobb mennyiségű Ca-ot fogyasztottak ($p < 0,001$), mint a K csoport tagjai. A teljes napi Ca-felvétel a délelőttihez hasonlóan kisebb volt a CA csoportban a K csoporttal összehasonlítva. A tojótyúkok P-felvétele a délelőtti időszakban nem különbözött a két kezelési csoportban. A délutáni időszakban, valamint a teljes napra számítva viszont szignifikánsan kisebb volt a P-felvétel a CA kezelést fogyasztó tyúkok esetében a K csoporthoz képest ($p < 0,05$).

3. táblázat: A kísérleti kezelések hatása a napi takarmányfelvételre (g/nap; átlag $\pm$ SEM)

Kezelés (4)	Délelőtt (1)	Délután (2)	Összes (3)
K (5)	45,6 $\pm$ 0,3	68,1 $\pm$ 0,4	113,7 $\pm$ 0,7
CA (6)	45,3 $\pm$ 0,2	67,7 $\pm$ 0,5	113,0 $\pm$ 0,7
Szignifikancia (7)	NS (8)	NS	NS

K – Kontroll kezelés, n=24; CA – Kalcium kezelés, n=23/kezelés; NS – nem szignifikáns ($p>0,05$)

Table 3: Effects of dietary treatments on daily feed intake (g/day; mean $\pm$ SEM)

morning (1); afternoon (2); total (3); treatment (4); control group (5); calcium treatment (6); significance (7); non-significant - $p>0.05$ (8)

4. táblázat: A kísérleti állatok napi energia és fehérje felvétele (átlag $\pm$ SEM)

Kezelés (6)	AMEn-felvétel (kJ/nap/állat) (1)			Nyersfehérje felvétel (g/nap/állat) (2)		
	Délelőtt (3)	Délután (4)	Összes (5)	Délelőtt	Délután	Összes
K (7)	513,8 $\pm$ 3,4	712,1 $\pm$ 4,5	1225,4 $\pm$ 7,7	7,8 $\pm$ 0,1	10,5 $\pm$ 0,1	18,3 $\pm$ 0,1
CA (8)	510,9 $\pm$ 2,4	708,3 $\pm$ 5,6	1219,1 $\pm$ 7,5	7,7 $\pm$ 0,1	10,8 $\pm$ 0,1	18,5 $\pm$ 0,1
Szignifikancia (9)	NS (10)	NS	NS	NS	$p<0,05$	NS

K – Kontroll kezelés, CA – Kalcium kezelés; n=24/kezelés; NS – nem szignifikáns ($p>0,05$)

Table 4: Effects of dietary treatments on daily energy and protein intake of experimental animals (mean $\pm$ SEM)

AMEn intake - kJ/day/animal (1); crude protein intake – g/day/animal (2); morning (3); afternoon (4); total (5); treatment (6); control group (7); calcium treatment (8); significance (9); non-significant - $p>0.05$ (10)

5. táblázat: A kísérleti kezelések hatása a napi kalcium és foszfor felvételre (átlag $\pm$ SEM)

Kezelés (6)	Ca-felvétel (g/nap/állat) (1)			P-felvétel (mg/nap/állat) (2)		
	Délelőtt (3)	Délután (4)	Összes (5)	Délelőtt	Délután	Összes
K (7)	1,76 $\pm$ 0,01	3,81 $\pm$ 0,02	5,56 $\pm$ 0,03	241,7 $\pm$ 1,9	353,3 $\pm$ 2,4	596,3 $\pm$ 3,6
CA (8)	1,38 $\pm$ 0,01	3,98 $\pm$ 0,03	5,36 $\pm$ 0,04	239,1 $\pm$ 1,2	344,3 $\pm$ 2,9	585,7 $\pm$ 3,6
Szignifikancia (9)	$<0,001$	$<0,001$	$<0,001$	NS (10)	$p<0,05$	$<0,05$

K – Kontroll kezelés, n=24; CA – Kalcium kezelés, n=23/kezelés; NS – nem szignifikáns ($p>0,05$)

Table 5: Effects of dietary treatments on daily calcium and phosphorus intake (mean $\pm$ SEM)

calcium intake - g/day/animal (1); phosphorus intake – g/day/animal (2); morning (3); afternoon (4); total (5); treatment (6); control group (7); calcium treatment (8); significance (9); non-significant - $p>0.05$ (10)

A 6. táblázat a kísérleti kezeléseknek a tojástermelési paraméterekre kifejtett hatását mutatja be. Az eltérő Ca-ellátás nem befolyásolta szignifikáns mértékben a tojástermelési intenzitást, a tojássúlyt, a napi tojássúlyt és a takarmány-értékesítés értékét ($p>0,05$). A tojástermelési intenzitás esetében erős tendenciát mutattunk ki a CA kezelés javára, amely csoportban kb. 2%-kal nagyobb volt a tojástermelési % a K csoporthoz képest ($p=0,05$). A kísérlet végén mért tojásmínőségi jellemzőiben a két kezelési csoport összehasonlítása során nem mutattunk ki szignifikáns különbségeket ($p>0,05$; 7. táblázat).

6. táblázat: A kísérleti kezelések hatása a tojástermelési paraméterekre (átlag $\pm$ SEM)

Kezelés (5)	Tojástermelési intenzitás (1) (%)	Tojássúly (2) (g)	Napi tojássúly (3) (g/nap)	Takarmány-értékesítés (4) (kg/kg)
K (6)	92,56 $\pm$ 0,9	62,3 $\pm$ 0,9	57,2 $\pm$ 0,8	1,99 $\pm$ 0,03
CA (7)	94,87 $\pm$ 1,0	61,1 $\pm$ 0,6	57,5 $\pm$ 0,9	1,97 $\pm$ 0,03
Szignifikancia (8)	NS (p=0,05)	NS (9)	NS	NS

K – Kontroll kezelés, CA – Kalcium kezelés; n=24/kezelés (1); NS – nem szignifikáns (P>0,05) (2)

Table 6: Effects of dietary treatments on egg production parameters (mean $\pm$ SEM)

egg production % (1); egg weight - g (2); daily egg mass - g/day (3); feed conversion ratio - kg/kg (4); treatment (5); control group (6); calcium treatment (7); significance (8); non-significant - p>0.05 (9)

7. táblázat: Tojásmínőségi paraméterek a kísérlet végén (átlag $\pm$ SEM)

Paraméter (5)	Kezelés (1)		Szignifikancia (4)
	K (2)	CA (3)	
Tojássúly (g) (6)	61,68 $\pm$ 1,24	62,59 $\pm$ 1,28	NS (14)
Tojánhéj szilárdság (kgf) (7)	3,72 $\pm$ 0,31	3,78 $\pm$ 0,24	NS
Tojánhéj vastagság (mm) (8)	0,45 $\pm$ 0,01	0,44 $\pm$ 0,01	NS
Sűrűféhérje magasság (mm) (9)	6,95 $\pm$ 0,27	7,18 $\pm$ 0,21	NS
Haugh-egység (10)	81,91 $\pm$ 1,73	83,69 $\pm$ 1,44	NS
Sárgája szín (11)	14,50 $\pm$ 0,18	14,50 $\pm$ 0,12	NS
Sárgája magasság (mm) (12)	17,05 $\pm$ 0,23	17,59 $\pm$ 0,29	NS
Sárgája átmérő (mm) (13)	41,06 $\pm$ 0,40	40,31 $\pm$ 0,75	NS

K – Kontroll kezelés, CA – Kalcium kezelés; n=24/kezelés; kgf – kilogramm törőerő; tojássárgája szín érték a DSM Yolk Color Fan skála szerint (1-16); NS – nem szignifikáns (p>0,05)

Table 7: Egg quality parameters at the end of the experiment (mean $\pm$ SEM)

treatment (1); control group (2); calcium treatment (3); significance (4); parameter (5); egg weight (6); eggshell strength (7); eggshell thickness (8); thick albumen height (9); Haugh-unit (10); egg yolk color – DSM yolk color fan scale 1-16 (11); egg yolk height (12); egg yolk diameter (13); non-significant - p>0.05 (14)

3.2. Retenció és ürülék összetétel

A kísérleti kezelések a tojótyúkok N-felvételének, retenciójának és emissziójának bemutatására vonatkozó értékek a 8. táblázatban láthatóak. A CA kezelés nem befolyásolta a kísérleti állatok N-felvételét, de nagyobb N-retenciót és kisebb N-emissziót eredményezett a K kezelés eredményeivel összehasonlítva (p<0,001).

Az ürülék szárazanyag-tartalma nem különbözött a két takarmányozási kezelés vonatkozásában, viszont valamennyi vizsgált N-tartalmú vegyület szignifikánsan kisebb értékét mutatott a CA kezelést fogyasztó tyúkok esetében a K kezeléshez képest (p<0,05; 9. táblázat). A CA kezelésben részesült csoport állatai szignifikánsan kevesebb Ca-ot és P-t vettek fel, mint a K kezelés egyedei, de a Ca- és P-retenció, emisszió és ürülék koncentráció nem különbözött a két csoport összehasonlításában (p>0,05; 10. és 11. táblázat). Az emissziós értékekben tendencia jelleggel a CA kezelés hatására kisebb átlagértékeket mutattunk ki mindkét makroelem esetében (p<0,10).

8. táblázat: **Nitrogén felvétel, retenció és emisszió (átlag ± SEM)**

Kezelés (4)	N felvétel (1) (g/nap/állat)	N retenció (2) (%)	N emisszió (3) (g/nap/állat)
K (5)	2,93 ± 0,02	44,18 ± 1,46	1,64 ± 0,04
CA (6)	2,95 ± 0,02	51,79 ± 1,44	1,42 ± 0,04
Szignifikancia (7)	NS (8)	p<0,001	p<0,001

K – Kontroll kezelés, CA – Kalcium kezelés; n=24/kezelés; NS – nem szignifikáns (p>0,05)

Table 8: Nitrogen intake, retention, and emission (mean ± SEM)

nitrogen intake – g/day/animal (1); nitrogen retention - % (2); Nitrogen emission – g/day/animal (3); treatment (4); control group (5); calcium treatment (6); significance (7); non-significant - p>0.05 (8)

9. táblázat: **Az ürülék szárazanyag-tartalma és N-formáinak koncentrációja (átlag ± SEM)**

Kezelés (7)	Szárazanyag (%) (1)	Bélsár-N (1)	NH ₄ ⁺ -N (2)	Húgysav-N (3)	Vizelet-N ¹ (4)	Összes N (5)
		mg/g sz.a. (6)				
K (8)	26,65 ± 0,50	24,17 ± 0,60	4,51 ± 0,13	12,18 ± 0,24	16,69 ± 0,31	40,86 ± 0,81
CA (9)	25,25 ± 0,53	22,30 ± 0,69	3,86 ± 0,19	11,44 ± 0,25	15,30 ± 0,32	37,60 ± 0,91
Szignifikancia (10)	NS (11)	p<0,05	p<0,05	p<0,05	p<0,05	p<0,05

K – Kontroll kezelés, CA – Kalcium kezelés; n=24/kezelés; NS – nem szignifikáns (p>0,05); ¹az NH₄⁺-N és húgysav-N összege;

Table 9: Dry matter content and concentration of nitrogen-containing compounds in the excreta (mean ± SEM)

feces nitrogen (1); NH₄⁺-nitrogen (2); uric acid-nitrogen (3); urinary-nitrogen (4); total nitrogen (5); mg/g dry matter (6); treatment (7); control group (8); calcium treatment (9); significance (10); non-significant - p>0.05 (11)

10. táblázat: **Kalcium felvétel, retenció, emisszió és koncentráció az ürülékben (átlag ± SEM)**

Kezelés (5)	Ca-felvétel (1) (g/nap/állat)	Ca-retenció (2) (%)	Ca-emisszió (3) (g/nap/állat)	Ürülék Ca (4) (mg/g sz.a)
K (6)	5,56 ± 0,03	67,52 ± 0,30	1,81 ± 0,02	45,30 ± 0,76
CA (7)	5,33 ± 0,04	67,03 ± 0,28	1,76 ± 0,02	46,84 ± 0,95
Szignifikancia (8)	p<0,001	NS (9)	NS (p=0,078)	NS

K – Kontroll kezelés, CA – Kalcium kezelés; n=24/kezelés; NS – nem szignifikáns (p>0,05)

Table 10: Calcium intake, retention, and emission and concentration in the excreta (mean ± SEM)

calcium intake – g/day/animal (1); calcium retention - % (2); calcium emission – g/day/animal (3); excreta calcium – mg/g dry matter (4); treatment (5); control group (6); calcium treatment (7); significance (8); non-significant - p>0.05 (9)

11. táblázat: **Foszfor felvétel, retenció, emisszió és koncentráció az ürülékben**
(átlag $\pm$ SEM)

Kezelés (5)	P-felvétel (1) (g/nap/állat)	P-retenció (2) (%)	P-emisszió (3) (g/nap/állat)	Ürülék P (4) (mg/g sz.a)
K (6)	0,60 $\pm$ 0,01	50,83 $\pm$ 1,02	0,29 $\pm$ 0,01	7,27 $\pm$ 0,14
CA (7)	0,59 $\pm$ 0,01	54,22 $\pm$ 1,85	0,27 $\pm$ 0,01	7,10 $\pm$ 0,28
Szignifikancia (8)	p<0,05	NS (9)	NS (p=0,067)	NS

K – Kontroll kezelés, CA – Kalcium kezelés; n=24/kezelés; NS – nem szignifikáns (p>0,05)

Table 11: *Phosphorus intake, retention, and emission and concentration in the excreta (mean $\pm$ SEM)*
phosphorus intake – g/day/animal (1); phosphorus retention - % (2); phosphorus emission – g/day/animal (3); excreta phosphorus – mg/g dry matter (4); treatment (5); control group (6); calcium treatment (7); significance (8); non-significant - p>0.05 (9)

3.3. Sípcsont hamu, kalcium és foszfor tartalom

A kísérleti kezelések hatásának a sípcsont hamu, Ca- és P-tartalmára kifejtett hatását a 12. táblázat tartalmazza. A sípcsont hamu, Ca- és P-tartalmában nem tudtunk kimutatni szignifikáns különbségeket a K és a CA kezelés között (p>0,05).

12. táblázat: **A sípcsont (tibia) hamu, kalcium és foszfor tartalma (%; átlag $\pm$ SEM)**

Kezelés (4)	Hamu (1)	Ca (2)	P (3)
K (5)	52,27 $\pm$ 0,26	18,68 $\pm$ 0,17	8,60 $\pm$ 0,15
CA (6)	52,98 $\pm$ 0,22	18,72 $\pm$ 0,20	8,72 $\pm$ 0,17
Szignifikancia (7)	NS (8)	NS	NS

K – Kontroll kezelés, CA – Kalcium kezelés; n=24/kezelés; NS – nem szignifikáns (p>0,05) (2)

Table 12: *Ash, calcium and phosphorus content of tibia bone (%; mean $\pm$ SEM)*
ash (1); calcium (2); phosphorus (3); treatment (4); control group (5); calcium treatment (6); significance (7); non-significant - p>0.05 (8)

4. Eredmények értékelése

Az osztott etetési rendszer délelőtti és délutáni takarmánykeverékeiben alkalmazott eltérő Ca-koncentrációk hatását számos kísérletben vizsgálták. *Umar-Faruk és mtsai* (2010) kísérletében a délelőtti csak szemes gabonát alkalmazó osztott technológia vizsgálata során a délelőtti Ca-tartalom (0,03%) a kontroll keverék Ca-koncentrációjának (3,6%) csak 0,8%-át jelentette, míg a délutáni takarmánynál ez 200% volt (7,2%). A délelőtti teljes értékű keveréket alkalmazó osztott koncepció vizsgálataiban is előfordult a délelőtti és délutáni keverékek Ca- tartalmának szélsőségesen nagy különbsége. *Leeson és Summers* (1978) a délelőtti takarmányban 0,47% Ca-ot, míg a délutániban 13,1%-ot alkalmazott, ami a kontroll takarmányban mért Ca-tartalom (3,0%) 15,6, illetve 436%-a volt. Saját kísérletünkben a K kezelés délelőtti keverékében a kísérleti állatok napi Ca-szükségletének megfelelő takarmány Ca-tartalomhoz (4,38%) képest kb. 20%-kal kisebb (3,55%), a délutániban pedig kb. 20%-kal nagyobb Ca-koncentrációt (5,37%) alkalmaztunk. A CA kezelés délelőtti keverékében a K kezelésnél nagyobb

mértékű csökkentést, illetve a délutáni keverékben nagyobb mértékű növelést alkalmaztunk. A délelőtti keverékben a szükségletnél 38%-kal kisebb (2,73%), a délutániban 35%-kal nagyobb volt (5,92%) a Ca-tartalom. Ezen Ca-koncentráció különbségekhez hasonló eltérések hatásairól már több kísérletben beszámoltak. A délelőtti és délutáni keverékek Ca-tartalma példaként három vizsgálatban a következőképpen alakultak (zárójelben a kontroll, 100%-nak tekintett Ca-tartalomhoz viszonyított eltérés): *Molnár és mtsai* (2018a): de-2,68% (76,5%), du-4,04% (115%); *Emeus és Mens* (2021): de-2,87% (84%), du-4,45% (131%); *Jahan és mtsai* (2024): de-2,5% (61%), du-5,6% (136%).

Az eredményeink értékelése szempontjából kiemelendők azok a kísérletek, ahol egy kísérleten belül több délelőtti és/vagy délutáni takarmány Ca-tartalom hatásait vizsgálták. Ezek között voltak olyanok, amelyekben a délelőtti és délutáni takarmányok azonos energia és fehérje tartalommal rendelkeztek (nem valódi osztott rendszer: *Keshavarz* (1998a, 1998b)), nem kerültek részletesen bemutatásra az energia és fehérje tartalmak (*Waldroup és Hellwig*, 2000), illetve a délutáni többféle Ca-koncentrációhoz eltérő energia és fehérje tartalmak tartoztak (*Lee és Ohh*, 2002). Saját kísérletünkben ezekhez a vizsgálatokhoz képest újszerűen a kétféle Ca-ellátáshoz tartozó délelőtti keverékek, illetve ugyanígy a délutáni keverékek energia, fehérje és hasznosítható foszfor tartalma is megegyezett, lehetővé téve a Ca-hatások pontosabb vizsgálatát. Eredményeinkkel összhangban *Keshavarz* (1998b) kísérletében a délelőtti és délutáni keverékek Ca-tartalmában alkalmazott különbségek (Kontroll: de-3,5%, du-3,5%; T2: de-2,5%, du-4,5%; T4: de-1,5%, du-5,5%) nem befolyásolták szignifikáns mértékben a tojók testsúlygyarapodását és takarmányértékesítését ($p > 0,05$). Saját eredményeinkhez hasonlóan a délelőtti keverékben az egyre csökkenő Ca-koncentrációk szignifikánsan egyre kisebb Ca-felvételhez, a délutáni keverékben pedig a növekvő Ca-koncentrációk egyre nagyobb Ca-felvételhez vezettek (*Keshavarz*, 1998b). Az eltérő Ca-ellátás, akárcsak a saját vizsgálatunkban, nem okozott szignifikáns ($p > 0,05$) mértékű változást a tojástermelési paraméterekben (tojástermelési intenzitás, tojássúly, napi tojássúly, takarmány-értékesítés). A kísérlet T5-ös kezelése az ellátási logikát megfordítva délelőtt nagy (5,5%), délután nagyon alacsony (1,5%) Ca-koncentrációkat vizsgált, amelynek hatására szignifikánsan lecsökkent a takarmány- és a napi Ca-felvétel, illetve a tojástermelési intenzitás és a napi tojássúly. *Lee és Ohh* (2002) tanulmányában arról számolt be, hogy a kontroll kezelés (de-du: 3,55% Ca), illetve a délelőtti takarmány Ca-koncentráció (0,6%) mellett alkalmazott három délutáni keverék Ca-koncentrációja (T1:6,5%, T2:9,45%, T3:12,40%) nem okozott szignifikáns különbségeket a takarmányfelvételben, a tojástermelési intenzitásban és a tojássúlyban ($P > 0,05$). *Waldroup és Hellwig* (2000) vizsgálatában a kontroll keverék Ca-tartalma délelőtt és délután egyaránt 3,25% volt. A T1 kezelésben ehhez képest növelték a délutáni keverék Ca-tartalmát (de-3,25%, du-6,5%), a T2 kezelésben pedig a délelőtti Ca-tartalom is kisebb volt (de-1,0%, du-6,5%). Meg erősítve a saját és az előzőekben ismertetett kísérletek eredményeit (*Keshavarz*, 1998b; *Lee és Ohh*, 2002), a három kezelés tojótyúkjainak takarmányfelvétele, tojástermelési intenzitása és tojássúlya ebben a kísérletben sem különbözött. A kontrollhoz (3,55g) képest mind a T1 (5,53g), mind a T2 (4,22g) kezelés nagyobb napi Ca-felvételt tett lehetővé.

Az eltérő délelőtti és délutáni Ca-tartalmak a takarmányban saját kísérletünkben nem befolyásolták a tojásmínőségi jellemzőket, kiemelve a Ca-ellátástól nagy mértékben függő tojáshéj vastagságot és a szilárdságát jellemző törőerőt. A Lee és Ohh (2002) által alkalmazott T1-2-3 kezelések mindegyike szignifikánsan növelte a tojáshéj vastagságot a kontroll kezeléshez képest, de saját eredményeinkhez hasonlóan közöttük sem volt különbség e paraméter tekintetében. A kontrollhoz képest a tojáshéj szilárdságot csak a T2 és T3 kezelések növelték, és a T3-as kezelés a T1-2 eredményeinél is szignifikánsan nagyobb törőerőt eredményezett ($p < 0,05$). Waldroup és Hellwig (2000) a kontroll kezeléshez képest a nagyobb Ca-koncentráció különbségeket alkalmazó T2 kezelés esetében mutatta ki a tojáshéj szilárdság szignifikáns növekedését.

Az osztott etetési technológia különböző délelőtti és délutáni takarmány Ca-tartalmait egy kísérleten belül összehasonlító, már részben elemzett kutatások (Keshavarz, 1998ab; Lee és Ohh, 2002; Waldroup és Hellwig, 2000) a N-, Ca- és P-retencióra és környezeti emisszióra vonatkozóan nem végeztek méréseket. Olyan osztott etetési vizsgálatot, ahol egy hagyományos (kontroll) és egy osztott rendszer összehasonlítása történik meg, szintén nem találtunk az említett eredménykörre. A szabadon válogató etetés lehetőséget biztosít, hogy a tojótyúkok az élettani szükségleteikhez jobban igazodva elégítsék ki energia, fehérje és Ca-igényüket. A válogató rendszerben etetett csoport tyúkjainak átlagos N- és Ca-felvétele, valamint emissziója szignifikánsan ($p < 0,05$) kisebb volt, mint a hagyományos kontroll keveréket fogyasztó állatoknak (Chah és Moran, 1985). A kísérlet válogató rendszerében szignifikánsan nőtt a N- és Ca-retenció értéke is. Ebben a kísérletben sem lehet azonban külön értékelni a Ca hatását, mert itt is egyszerre több fontos takarmányozási tényező (energia, nyersfehérje, aminosav szintek) különbözött a két kezelés között.

Eredményeink alapján a délelőtti és délutáni takarmány Ca-tartalmak közötti nagyobb különbség pozitív hatásúnak bizonyult a tojótyúkok N-retenciójára, az ürülék N-tartalmára és összetételére. Tojótyúkok osztott etetési rendszerének vonatkozásában kísérletünket megelőzően nem voltak még erre vonatkozóan eredmények. Brojlercsirkékkel végzett kutatások alapján nem teljesen egyértelmű, hogy a takarmány Ca-tartalmának változása hogyan hat a N retenciójára. A kutatások többsége a növekvő takarmány Ca-koncentrációknak a N retenciójára kifejtett negatív hatásáról számolt be. A nagyobb takarmány Ca-tartalom eléréséhez használt megnövelt takarmánymész arány hatására lúgos irányban változik a béltartalom kémhatása, amely csökkentheti a N felszívódását és retencióját. Ez lehet az élettani magyarázata annak, hogy pl. Shafey és McDonald (1991), illetve Donato és mtsai (2013) kísérleteiben a takarmány nagyobb Ca-koncentrációja csökkentette a N-retenciót. Gautier és mstai (2017) tanulmánya két kísérletet is ismertet, amelyek közül az elsőben a takarmány növekvő Ca-koncentrációja az előzőekkel ellentétben szignifikánsan növelte a N-retenciót, a másodikban pedig nem volt rá szignifikáns hatással. Ha elfogadjuk a nagyobb béltartalomban mérhető Ca-koncentráció negatív hatását a N-retencióra, akkor a kísérletünkben alkalmazott CA kezelés eredményeképpen a délelőtti időszakban szignifikánsan létrejövő kisebb Ca-felvétel és ennek eredményeként a kisebb Ca-tartalom a bélben valószínűleg hozzájárult a megnövekedett N-retencióhoz és kisebb N-emisszióhoz. A délutáni időszakban az ellentétes irányú Ca-hatás szintén ér-

vényesülhetett, de valószínűleg kisebb mértékű volt. Tojótyúkok osztott etetési rendszerének vonatkozásában kísérletünket megelőzően nem voltak még erre vonatkozóan eredmények. Baromfiban a szükségletet meghaladó takarmány Ca-tartalmak általában negatívan befolyásolják a táplálóanyagok és a Ca retencióját, a P emészthetőségét és felszívódását (Selle és mtsai, 2009; Gautier és mtsai, 2017). Eredményeink alapján a napszaki takarmány Ca-koncentráció eltérések kísérletünkben alkalmazott mértékben nincsenek szignifikáns hatással a Ca- és P-retencióra és emisszióra.

A kapcsolódó osztott etetést vizsgáló szakirodalmak között nem találtunk olyan tanulmányt, amelyben kifejezetten a kísérletünkhöz hasonlóan az eltérő takarmány Ca-koncentrációknak a sápcsontról paramétereire kifejtett hatásairól számolt volna be. A hagyományos és osztott etetési rendszert összehasonlító korábbi modell kísérletünkben a hagyományos etetés hatására szignifikánsan nagyobb sápcsontról hamu tartalmat mértünk az osztott etetéssel összehasonlítva, ami viszont nem járt együtt a törésszilárdság igazolható különbségével (Horváth és mtsai, 2024). Korábbi kísérletek a hamu tartalomra vonatkozó eredményt nem tudták megerősíteni. Molnár és mtsai (2018b) nem mutattak ki szignifikáns különbséget a két takarmányozási rendszer között idős tojótyúkok (75. és 92. élethét között) sápcsontról Ca- és P-tartalmában ($p > 0,05$). Poudel és mtsai (2022) vizsgálatában sem voltak szignifikáns különbségek a sápcsontról törésszilárdságában, átmérőjében, hosszában és súlyában a kontroll és az osztott kezelési csoportok között, a termelés előzőekben jelzett késői fázisában.

5. Következtetések és javaslatok

Modell kísérletünk lehetővé tette az osztott etetési technológián belül két eltérő Ca-ellátás összehasonlítását a korábbi vizsgálatokhoz viszonyítva pontosabb módon, az eltérő energia, fehérje és P-ellátás befolyásoló hatásainak kiküszöbölésével. A délelőtti és délutáni takarmány Ca-koncentrációk között a kontrollnál nagyobb különbséget biztosító CA keverék kombináció nem befolyásolta szignifikánsan a tojástermelési jellemzőket, a tojáshéj vastagságát és a héj törésszilárdságát, a sápcsontról összetételét ($p > 0,05$), de jobb N-retenciót, így kisebb N-emissziót és az ammónia emisszió szempontjából kedvezőbb N-összetételű ürüléket eredményezett. Az eredmények alapján javasoljuk a CA kezelés nagyüzemi kísérletben történő tesztelését.

6. Köszönetnyilvánítás

Jelen kutatás az Innovációs és Technológia Minisztérium Kooperatív Doktori Program doktori hallgatói ösztöndíj programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs alapról Finanszírozott szakmai támogatásával készült (KDP-6-3/PALY-2021).

7. Felhasznált irodalom

- Bregendahl, K. - Sell, J.L. - Zimmerman, D.R. (2002): Effect of low-protein diets on growth performance and body composition of broiler chicks. *Poult. Sci.*, 81. 1156–1167. doi: 10.1093/ps/81.8.1156
- Chah, C.C. - Moran, E.T. (1985): Characteristics of high-performance hens at the end of lay when given cafeteria access to energy, protein, and calcium. *Poult. Sci.*, 64 (9). 1696–1712. doi: 10.3382/ps.0641696
- Donato, D.C.Z. - Ribeiro, P. de A.P. - Magalhães, J.D. - Polycarpo, G. do V. - Garcia, P.D.S.R. - Burbarelli, M.F. de C. - Albuquerque, R. (2013): Nutritional balance of broilers fed diets containing two calcium levels and supplemented with different phytase levels. *Braz. J. of Poult. Sci.*, 15 (4). 353-363. doi: 10.1590/S1516-635X2013000400010
- Emous van, R.A. - Mens, A.J.W. (2021): Effects of twice a day feeding and split feeding during lay on broiler breeder production performance, eggshell quality, incubation traits, and behavior behavior. *Poult. Sci.*, 100 (11). doi: 10.1016/j.psj.2021.101419
- Ferguson, N.S. - Gates, R.S. - Taraba, J.L. - Cantor, A.H. - Pescatore, A.J. - Ford, M.J. - Burnham, D.J. (1998): The effect of dietary crude protein on growth, ammonia concentration, and litter composition in broilers. *Poult. Sci.*, 77. 1481–1487. doi: 10.1093/ps/77.10.1481
- Gautier, A.E. - Walk, C.L. - Dilger, R.N. (2017): Influence of dietary calcium concentrations and the calcium-to-non-phytate phosphorus ratio on growth performance, bone characteristics, and digestibility in broilers. *Poult Sci.*, 96. 8. 2795-2803. doi: 10.3382/ps/pex096.
- Jahan, A.A.; Dao, T.H.; Morgan, N.K.; Crowley, T.M.; Moss, A.F. (2024) Effects of AM/PM Diets on Laying Performance, Egg Quality, and Nutrient Utilisation in Free-Range Laying Hens. *Appl. Sci.*, 14 (5). 2163. doi:10.3390/app14052163
- Horváth, B. - Striffler, P. - Such, N. - Wágner, L. - Dublec, K. - Baranyay, H. - Bustyaházai, L. - Pál, L. (2024): Developing a more sustainable protein and amino acid supply of laying hens in a split feeding system. *Animals*, 14 (20). 3006. doi: 10.3390/ani14203006
- Keshavarz, K. (1998a): Investigation on the possibility of reducing protein, phosphorus, and calcium requirements of laying hens by manipulation of time of access to these nutrients. *Poult. Sci.*, 77. 1320-1332. doi: 10.1093/ps/77.9.1320
- Keshavarz, K. (1998b): Further investigations on the effect of dietary manipulation of protein, phosphorus, and calcium for reducing their daily requirement for laying hens. *Poult. Sci.*, 77. 1333-1346. doi: 10.1093/ps/77.9.1333
- Lee, K.H. - Ohh, Y.S. (2002): Effects of nutrient levels and feeding regimen of a.m. and p.m. diets on laying hen performances and feed cost. *Korean J. Poult. Sci.*, 29. 195–204.
- Leeson, S. - Summers, J.D. (1978): Voluntary food restriction by laying hens mediated through dietary self-selection. *British Poult. Sci.*, 19(4). 417–424. doi: 10.1080/00071667808416496
- Marquardt, R.R. - Ward, A.T. - Campbell, L.D. (1983): A rapid high-performance liquid chromatographic method for the quantitation of uric acid in excreta and tissue samples. *Poult. Sci.*, 62(10). 2099-2105. doi: 10.3382/ps.0622099
- Molnár, A. - Kempen, I. - Sleenckx, N. - Zoons, J. - Maertens, L. - Ampe, B. - Buyse, J. - Delezie, E. (2018a): Effects of split feeding on performance, egg quality, and bone strength in brown laying hens in aviary system. *J. Appl. Poult. Res.*, 27. 401–415. doi: 10.3382/japr/pfy011
- Molnár, A. - Maertens, L. - Ampe, B. - Buyse, J. - Zoons, J. - Delezie, E. (2018b): Effect of different split-feeding treatments on performance, egg quality, and bone quality of individually housed aged laying hens. *Poult. Sci.*, 97(1). 88-101. doi: 10.3382/ps/pex255
- Mongin, P. - Sauveur, B. (1974): Voluntary food and calcium intake by the laying hen. *British Poult. Sci.*, 15. 349-359. doi:10.1080/00071667408416118
- Pécze, P. (1987): A madarak szaporodásbiológiája. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 102-108.

- Peganova, S. - Eder, K. (2002): Studies on requirement and excess of isoleucine in laying hens. *Poult. Sci.*, 81(11). 1714–1721. doi: 10.1093/ps/81.11.1714
- Peters, J. - Combs, S. - Hoskins, B. - Jarman, J. - Kovar, J. - Watson, M. - Wolf, A. - Wolf, N. (2003): Recommended methods for manure analysis. In: *Proceedings of the ASA-CSSA-SSSA Annual Meeting*, Denver, CO, USA, 2–6 Nov. - Madison, WI, USA - 25–29.
- Poudel, I. - McDaniel, C.D. - Schilling, M.W. - Pflugrath, D. - Adhikari, P.A. (2022): Role of conventional and split feeding of various limestone particle size ratios on the performance and egg quality of Hy-Line® W-36 hens in the late production phase. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 283. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2021.115153
- O'dell, B.L. - Woods, W.D. - Laerdal, O.A. - Jeffay, A.M. - Savage, J.E. (1960): Distribution of the major nitrogenous compounds and amino acids in chicken urine. *Poult. Sci.*, 39. 426–432. doi:10.3382/ps.0390426.
- Selle, P.H. – Cowieson, A.J. – Ravindran, V. (2009): Consequences of calcium interactions with phytate and phytase for poultry and pigs. *Livest. Sci.*, 124. 126–141. doi: 10.1016/j.livsci.2009.01.006
- Shafey, T.M. - McDonald, M.W. (1991): The effects of dietary calcium, phosphorus, and protein on the performance and nutrient utilisation of broiler chickens. *Poult. Sci.*, 70. 548–553. doi: 10.3382/ps.0700548
- Umar Faruk, M. - Bouvarel, I. - Mème, N. - Rideau, N. - Roffidal, L. - Tukur, H.M. - Bastianelli, D. - Nys, Y. - Lescoat, P. (2010): Sequential feeding using whole wheat and a separate protein-mineral concentrate improved feed efficiency in laying hens. *Poult. Sci.*, 89. 785-796. doi:10.3382/ps.2009-00360
- Waldroup, P.W. - Hellwig H.M. (2000): The potential value of morning and afternoon feeds for laying hens. *J. App. Poult. Res.*, 9(1). 98-110. doi: 10.1093/japr/9.1.98

Érkezett: 2025. január

Szerzők címe: Horváth, B. - Baranyay, H. - Such, N. - Wágner, L. - Dublec, K. - Pál, L. *
Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Georgikon Campus
Authors' address: Hungarian University of Agriculture and Life Sciences, Georgikon Campus
H-8360 Keszthely, Deák Ferenc utca 16.
*levelező szerző, e-mail: pal.laszlo@uni-mate.hu

A béta-kazein genotípus hatása magyar tarka tehénállomány első laktációs tejtermelésére

The effect of beta casein genotype on first lactation milk production in Hungarian Simmental cows

KOVÁCS Ákos Péter – BENE Szabolcs – ABELLA Dorina – ASBÓTH Zoé –
POLGÁR J. Péter

ÖSSZEFOGLALÁS

A hazai kettőshasznú magyar tarka állományok tejtermelése az utóbbi 25 évben jelentős mértékben nőtt. A tejtermelés növelésére irányuló szelekció mellett a Magyartarka Tenyésztők Egyesülete (MTE) törekszik a hústermelési és fitness tulajdonságok javítására is. A tejtermelés gazdasági pozícióinak javítását szolgálhatja olyan minőségi tulajdonságra történő szelekció is, mint az A2 tej előállítására szolgáló homozigóta tehénállomány előállítása. Vizsgálati adatainkat a MTE genom szelekciós adatbázisából, valamint a telep termelésellenőrzési adatbázisából gyűjtöttük ki. A telepi adatbázisban, a telepmenedzsment rendszerben tárolt információkból az ENAR azonosítás alapján 1452 egyed esetében kaptunk genom tenyészérték (TÉ) adatokat, amihez 2023. évi legyűjtéssel 1010 egyednél sikerült lezárni, 305 napra korrigált laktációs termelési adatot párosítani. Az egyedek közül 599 egyed volt A2A2 homozigóta. A genotípus és évjárat hatások egytényezős varianciaanalízis segítségével értékeltük. A vizsgált magyar tarka tehénállomány esetében az A2A2 genotípus és az A2A1 genotípus is több, mint 40%-os részarányal volt jelen, így az A2 státuszra történő szelekció üzemi szinten rövid időn belül megvalósítható lenne. Az A2 homozigóta egyedek első, 305 napra korrigált laktációs tejtermelése csak kis mértékben, statisztikailag nem bizonyított arányban maradt el a jelenlegi teljes populáció átlagos tejtermelésétől. A fejt magyar tarka tehének tej TÉ adatai a tehének születési évjáratára szerint bizonyítottan eltértek. A trend emelkedő volt, az érték évente átlagosan 0,7 ponttal nőtt.

Kulcsszavak: magyar tarka, tenyészérték, laktációs termelés, A2 tej

SUMMARY

Objective: The milk production of domestic dual-purpose Hungarian Simmental (HS) herds has increased significantly in the last 25 years. In addition to selection aimed at increasing milk production, the Association of Hungarian Simmental Breeders also strives to improve meat production and fitness traits. Selection for quality traits such as homozygous cow herds for A2 milk production can improve the economic position of dairy production.

Methods: Our study data were collected from the genome selection database of the Association and from the production control database of the farm. From the information stored in the farm database and farm management system, we genomic obtained breeding value data for 1452 individuals based on ENAR identification, to which we managed to match closed lactation production data corrected to 305 days for 1010 cows with the collection in 2023. Of the individuals, 599 were A2A2 homozygotes. The genotype and year effects were evaluated using a one-way analysis of variance using SPSS 29.0 software.

Results: In the case of the examined HS cow population, both the A2A2 genotype and the A2A1 genotype are present with a proportion of more than 40%, so selection for A2 status can be implemented at the farm level within a short time. The first lactation milk production of A2 homozygous individuals, corrected for 305 days, is only slightly, statistically unproven, lower than the average milk production of the current entire population.

Conclusions: The milk breeding value data of the Hungarian variegated cows differ demonstrably according to the year of birth of the cows, the trend is increasing, the value increases by an average of 0.7 points per year.

Keywords: Hungarian Simmental, breeding value, milk yield, A2 milk

1. Bevezetés és irodalmi áttekintés

A hazai kettőshasznú magyar tarka (MT) állományok tejtermelése az utóbbi 25 évben jelentős mértékben nőtt. A tejtermelés növelésére irányuló szelekció mellett a Magyartarka Tenyésztők Egyesülete (MTE) törekszik a hústermelési és fitness tulajdonságok javítására is. A tejtermelésben a fajta versenyhelyzetének javítására olyan tulajdonságok figyelembe vétele is perspektivikus lehet, amelyek az értékesített nyerstej egységnyi volumenére jutó átlagárát növelni tudják (Horn, 1977). Ilyenek a tejsír és a tejfehérje koncentráció növelése, a feldolgozási hatékonyság irányában pozitívan ható kappa-kazein polimorfizmus bizonyos változatai, és jelenlegi vizsgálatunk tárgya, a béta-kazein polimorfizmus A2 változata (Csapó és mtsai, 2014). A polimorfizmusnak mintegy 8 változata ismert (Baranyai, 2000), de az A1 és A2 van jelen a legnagyobb arányban. Az A2 volt az eredeti, míg az A1 vélhetően egy mutáció során jött létre, és az intenzív tejtermelésre történő szelekció során terjedt el. A béta-kazein változat homozigóta állapot esetében nem eredményez olyan emésztés-élettani negatív hatásokat, mint amit az A1 változat esetében számos esetben leírtak (Jeong és mtsai, 2024; Kay és mtsai, 2021; KErn, 2019; Jianqin és mtsai, 2016). A β -CN A1 variáns emésztése során, az aminosav csere hatására egy 7 aminosav hosszúságú peptid szakasz, a β -kazomorfín-7 (BCM-7) keletkezik (Bell és mtsai, 2006; Yoshikawa, 2013). A BCM-7 peptidet számos kutatás összefüggésbe hozta egyes emésztési problémákkal, tejcukor érzékenységgel, 1-es típusú cukorbetegség és bizonyos szívbetegségek kialakulásával.

A hazai piac esetében a feldolgozó-üzemi felvásárlás jelenleg nem vásárol fel célzottan A2A2 genotípusú állatoktól származó tejet, így számos termelő maga állít elő ebből tejtermékeket (Pl.: <https://zilda.hu/a2-tej>). Ezeknek forgalmazása pozitív, növekvő pályára állt, már a hipermarketek polcain is megjelentek a termékek. Az állományok erre irányuló szelekciója egyszerű, hiszen a nőivarú állomány A2 státuszra történő tesztelése már számos genomikai laborban lehetséges. A tejből történő hazai vizsgálat az MTKI laborjában már elindult (Buzás, 2022; Buzás és mtsai, 2022). A tenyészbikák kiválasztásánál mind a külföldi, mind a hazai forgalmazott termékenyítőanyag választékban (Pl.: <https://www.semex.hu/a2a2>) feltüntetésre kerül a béta-kazein változat. Az állományok esetében változó arányban, de jelentős mértékben van jelen az A2A2 homozigóta státuszú állat.

Amennyiben a tejtermelő állományunkban a tenyésztésre kijelölt tehénállományban favorizáljuk az A2A2 genotípust, mindkét ivari partner ismert genotípusa alapján gyors szelekciós előrehaladásra számíthatunk. A jelenlegi termelésben lévő állomány adatainak beazonosítása a magyar tarka állományokban a genomszelekciós eljárás alkalmazásával együtt vált lehetségessé, mivel az erre vonatkozó adatokat a genetikai minta értékelése során minden, a programba bekerülő egyednél rögzítik. A genomszelekciós eljárás felgyorsítja a szelekciós folyamatokat, a fiatal bikák tenyésztésbe történő bevonása a tenyészérték becsléséhez szükséges lényegesen rövidebb idő miatt drasztikusan gyorsulhat.

Vizsgálati célunk egy olyan állomány adatainak értékelése volt, amely a hazai MT tenyésztés egyik zászlóshajója. Mind tenyészbika előállításban, mind tejtermelésben az élvonalat képviseli. Nagy létszámú fejt tehénpopulációjára rendszeresen alkalmazzák a termékenyítésben külföldi, javító kategóriájú tenyészbikák termékenyítőanyagát is.

2. Anyag és módszer

Adatainkat a MTE genomszelekciós adatbázisából, valamint a telep termelés-ellenőrzési adatbázisából gyűjtöttük ki. Az állomány genetikai mintái egy európai közös hegyi tarka adatbázisban kerülnek értékelésre. A farokszőr, majd jelenleg már fülporc eredetű minták egy genetika laborban kerülnek szekvenálásra. A kijelölt tulajdonságokat örökítő gének SNP polimorfizmusainak azonosítása után (Heins, 2022) a nyers adatok a bajor feldolgozóközpontban német, osztrák, cseh és magyar közös tenyésztéértébecslési adatbázisba kerülnek. A tenyésztéértékek (TÉ) becslése egylépcsős (*single-step*) eljárással történt, ahol a genetikai minták adatait a tenyésztők által küldött fenotípusos adatokkal összevetve értékelik ki. Ennek a közös adatbázisnak az átlagos - 100 pontra beállított - értékét a 4-5 éves tehenek átlagadatai alapján sztenderdizálják. Ehhez az átlaghoz viszonyítva történik meg az egyes állatok esetében az adott tulajdonságra becsült TÉ pontszám kalkulációja.

A telepi gyakorlatban a tenyészűszők vemhesítése 16-18 hónapos korban történik, így az első laktációs termelések az egyedek 25-28 hónapos korában zárulnak le. A telepi adatbázisban, a telepmenedzsment rendszerben tárolt információkból az ENAR azonosítás alapján 1452 egyed esetében kaptunk TÉ adatokat, amihez 2023. évi legyűjtéssel 1010 egyednél sikerült lezárni, 305 napra korrigált laktációs termelési adatot párosítani.

A vizsgált hatásokat (genotípus, évjárat) egytényezős varianciaanalízis segítségével értékeltük, melyhez az SPSS (2020) szoftvert használtuk. A modellben Tukey-teszt statisztika próba alkalmazásával állapítottuk meg a bizonyítottság mértékét.

3. Eredmények és értékelésük

A vizsgált paraméterek a TÉ becslési eljárásban közölt genom alapú tenyésztéértékek, amelyeket a tehenek 305 napos első laktációs tejtermelésével vetettünk össze (1. táblázat).

Az állományt 7000 kg fölötti éves, átlagos tejtermelése a hazai legjobb tenyészetek sorába emeli. Érzékelhető, hogy a TÉ vizsgált állományra vonatkozó átlagai a fejési sebesség kivételével elmaradnak az teljes adatbázis átlagos, 100 pontos értékétől. A bajor és osztrák hegyi tarka tenyésztés (*Fleckvieh*) eredményei sok évtizedes, kifejezetten a tejtermelés erősítését célzó munka nyomán alakultak ki, de mára a cseh tenyésztés is kifejezetten erőssé vált. A hazai egyesületi szemlélet a klasszikus kettős haszonvétel megőrzésére helyezi a hangsúlyt úgy, hogy a tejtermelés erőteljes javítására történő törekvés mellett a hústermelő-képesség legalább szinten tartása elvárás. A fitness tulajdonságokra történő szelekció térnyerése az európai tenyésztői munkában az utóbbi időben jelentős mértékű, lényegesen nagyobb hangsúlyt kap, mint korábban.

Így tejtermelési paraméterek mellett a tőgyegészség, szomatikus sejtszám, fejési sebesség, tőgygyulladás és a tőgy küllemi összpontszám adataira is figyelmet fordítanak.

Az A2 státusz felmérése alapján megállapítottuk, hogy a vizsgált magyar tarka tehénállományban 14,6% A1A1 homozigóta, 44,01% heterozigóta és 41,39% A2A2

1. táblázat: A vizsgált adatbázis leíró statisztikája

Paraméterek (1)	N	Min.	Max.	Átlag (2)	Szórás (3)	cv%
Összevont TÉ (4)	1448	66	130	95,13	10,33	10,86%
Tej TÉ (5)	1448	71	127	97,91	9,13	9,32%
Hús TÉ (6)	1448	75	121	98,11	6,73	6,86%
Fitnessz TÉ (7)	1448	66	126	97,24	8,59	8,83%
Tőgyegészség TÉ (8)	1448	69	127	96,24	7,92	8,23%
Szomatikus sejttség TÉ (9)	1448	75	125	96,67	7,79	8,05%
Fejési sebesség TÉ (10)	1448	74	128	100,51	8,30	8,26%
Tőgygyulladás TÉ (11)	1448	70	124	98,22	8,03	8,17%
Tőgypont TÉ (12)	1448	65	130	95,34	9,01	9,45%
305 napos tejtermelés kg (13)	1010	2353	11107	7328,31	1509,76	20,60%
305 napos zsír kg (14)	1010	77,40	496,30	283,54	64,46	22,73%
305 napos fehérje kg (15)	1010	77,50	390,70	261,70	51,47	19,67%

TÉ = tenyésztési érték (16)

Table 1: Descriptive statistic of the examined database

parameters (1); mean (2); standard deviation (3); merged BV (4); milk yield BV (5); meat BV (6); fitness BV (7); udder health BV (8); somatic cell count BV (9); milking speed BV (10); mastitis BV (11); udder score BV (12); 305 day milk yield (kg) (13); 305 day milk fat yield (kg) (14); 305 day milk protein yield (kg) (15); BV = breeding value (16)

2. táblázat: A béta-kazein genotípus TÉ-re gyakorolt hatása

Vizsgált paraméter (1)	Béta-kazein genotípus (2)	N	Átlag (3)	Szórás (4)	Minimum	Maximum
Összevont TÉ** (5)	A1A1	212	96,58	10,15	69	126
	A1A2	639	95,52	10,60	68	130
	A2A2	601	94,09	10,09	66	128
	Összesen (9)	1452	95,08	10,36	66	130
Tej TÉ (6)	A1A1	212	99,05	9,35	72	123
	A1A2	639	97,86	9,13	70	122
	A2A2	601	97,41	9,18	71	127
	Összesen (9)	1452	97,85	9,19	70	127
Hús TÉ (7)	A1A1	212	97,75	7,33	75	121
	A1A2	639	98,38	6,79	81	120
	A2A2	601	97,95	6,41	79	119
	Összesen (9)	1452	98,11	6,72	75	121
Fitnessz TÉ** (8)	A1A1	212	98,06	8,64	75	121
	A1A2	639	97,94	8,62	75	126
	A2A2	601	96,24	8,45	66	122
	Összesen (9)	1452	97,25	8,59	66	126

** = 1%-os szinten bizonyított hatás (10); TÉ = tenyésztési érték (11)

Table 2: The effect of beta-casein genotype on BV

parameters (1); beta-casein genotype (2); mean (3); standard deviation (4); merged BV (5); milk yield BV (6); meat BV (7); fitness BV (8); total (9); proven effect at 1% level (10); BV = breeding value (11)

homozigóta egyed található. Az A2 gének aránya a populáció adott lókuszaiban 63,4%-kal jelentős fölényben van.

Az összevont TÉ pontszám és a fitness TÉ pontszám esetében az A2A2 genotípus bizonyítottan kisebb értéket ért el. A hús TÉ-nél a heterozigóta egyedek, a tej TÉ-nél az A1A1 genotípus kisebb előnye érzékelhető, de a különbség nem bizonyított a vizsgált hatás esetében (2. és 3. táblázat). A fenotípusos termelési adatok esetében lényegesen nagyobb szórás mellett az A1A1 genotípus előnye számszakilag látható, de az eltérések mértéke itt sem szignifikáns. Az A1A1 genotípus esetében a 305 napra korrigált laktációs tejtermelés 7407 kg/év, míg az A2A2 genotípusnál 7278 kg/év. Ez a különbség 129 kg, azaz arányát tekintve 1,74%, míg a heterozigóta állomány 7352 kg-mal a két érték között helyezkedik el.

3. táblázat: A béta-kazein genotípus 305 napos tejtermelésre gyakorolt hatása

Vizsgált paraméter (1)	Béta-kazein genotípus (2)	N	Átlag (3)	Szórás (4)	Minimum	Maximum
305 napos tej kg (5)	A1A1	164	7407,38	1577,40	3203	10606
	A1A2	438	7352,47	1554,93	2353	11060
	A2A2	410	7278,49	1435,79	3016	11107
	Összesen (8)	1012	7331,40	1510,79	2353	11107
305 napos zsír kg (6)	A1A1	164	289,53	68,98	129,2	496,3
	A1A2	438	283,57	66,40	77,4	491,3
	A2A2	410	281,59	60,64	87,2	464,7
	Összesen (8)	1012	283,73	64,56	77,4	496,3
305 napos fehérje kg (7)	A1A1	164	264,27	53,77	115,1	359,2
	A1A2	438	262,04	53,09	77,5	380,6
	A2A2	410	260,59	48,92	98,1	390,7
	Összesen (8)	1012	261,81	51,52	77,5	390,7

** = 1%-os szinten bizonyított hatás (9); TÉ = tenyésztérték (10)

Table 3: The effect of beta-casein genotype on 305 day milk yield

parameters (1); beta-casein genotype (2); mean (3); standard deviation (4); 305 day milk yield (kg) (5); 305 day milk fat yield (kg) (6); 305 day milk protein yield (kg) (7); total (8); proven effect at 1% level (9); BV = breeding value (10)

A tejtermeléssel összefüggő, genom alapján becsült TÉ néhány egyéb tényezőjét kiemelten is értékeltük (4. táblázat).

A tőgyegészség, a szomatikus sejtszám, a tőgygyulladás és a fejési sebesség esetében 1%-os, míg a tőgy küllemi összesített pontszáma esetében 5%-os szinten bizonyított a vizsgált hatásnak tulajdonítható eltérés.

Amennyiben az állomány A2A2 homozigóta genotípusra történő szűkítését elvégezzük, a jelenlegi állomány 41,39%-a marad fenn, ezen egyedek esetében a tej összetétele alapján az értékesítés már ebben a kategóriában történhet. Az állomány A2A2 genotípusú egyedei – ezen állományban 559 tehén – esetében összevetettük a születési évjáratonkénti tej TÉ és a 305 napos tejtermelés muta-

4. táblázat: A béta-kazein genotípus hatása tőgy és tőgyegészség paraméterekre

Paraméterek (1)	Béta-kazein genotípus (2)	N	Átlag (3)	Szórás (4)	Min.	Max.
Tőgyegészség TÉ** (5)	A1A1	212	97,34	7,84	75	123
	A1A2	637	96,86	7,78	78	121
	A2A2	599	95,20	7,98	69	127
	Összesen (9)	1448	96,24	7,92	69	127
Szomatikus sejttség TÉ** (6)	A1A1	212	97,36	7,88	77	124
	A1A2	637	97,26	7,66	76	121
	A2A2	599	95,80	7,82	75	125
	Összesen (9)	1448	96,67	7,79	75	125
Tőgygyulladás TÉ** (7)	A1A1	212	99,35	7,74	79	124
	A1A2	637	98,61	7,91	79	120
	A2A2	599	97,40	8,18	70	121
	Összesen (9)	1448	98,22	8,03	70	124
Fejési sebesség TÉ** (8)	A1A1	212	102,57	8,96	74	128
	A1A2	637	100,41	8,11	77	127
	A2A2	599	99,88	8,17	77	125
	Összesen (9)	1448	100,51	8,30	74	128

* 5%-os szinten bizonyított hatás (10); ** 1%-os szinten bizonyított hatás (11); TÉ = tenyészték (12)

Table 4: The effect of beta-casein genotype on udder and udder health parameters

parameters (1); beta-casein genotype (2); mean (3); standard deviation (4); udder health BV (5); somatic cell count BV (6); mastitis BV (7); milking speed BV (8); total (9); proven effect at 5% and 1% level (10, 11); BV = breeding value (12)

tóinak alakulását (5. táblázat). A tej TÉ esetében a tehenek születési éveinek növekedését követi a TÉ pontszám növekedése. A 2019. és 2020. években a tehenek átlagos tej TÉ pontszáma meghaladja az össz-európai populáció átlagos, 100 pontos középértékét.

A 305 napos korrigált laktációs termelés esetében a 7000 kg körüli érték a jellemző, néhány év eredménye kiugróan magas (2011, 2012, 2016). A fenotípusos tejtermelési adatok alakulása nem követi a tej TÉ esetében tapasztalható, egyértelműen emelkedő trendet. Az évjáratokhoz illesztett lineáris regressziós egyenes a tej tenyészték esetében emelkedő (0,7 pont/év), míg a 305 napos tej kg esetében sokkal egyenletlenebb, enyhén csökkenő (-30 kg/év) trendet mutat (1. ábra).

A teljes állomány és a csak A2 homozigóta állományhányad esetében a tej TÉ pontszám 97,91 és 97,47 ponttal szinte teljesen azonos, míg a 305 napra korrigált tej kg 7328 és 7277 kg értékkel minimálisan tért el a teljes állomány előnyére.

5. táblázat: Az A2A2 homozigóta genotípus paramétereinek alakulása a tehenek születési éve szerint

Paraméter (1)	Születési év (2)	N	Átlag (3)	Szórás (4)	Minimum	Maximum
Tej TÉ** (5)	2010	3	95,33	10,02	84	103
	2011	4	92,00	6,06	88	101
	2012	11	89,73	7,79	79	102
	2013	18	97,17	14,83	72	122
	2014	19	95,68	10,39	78	118
	2015	33	93,76	7,87	81	109
	2016	59	95,86	9,52	71	118
	2017	116	95,97	8,21	74	118
	2018	116	96,26	7,74	76	114
	2019	84	100,56	10,83	73	124
	2020	136	100,59	7,50	82	127
305 napos tej kg** (6)	2010	2	6462,00	872,57	5845	7079
	2011	3	7680,33	569,08	7117	8255
	2012	8	8528,00	1752,40	6489	11031
	2013	13	7410,62	1551,89	5280	9760
	2014	13	7146,23	1482,99	4715	10087
	2015	24	7385,33	1367,82	4629	9880
	2016	49	7864,29	1466,02	4814	10521
	2017	86	7168,45	1474,02	3856	11107
	2018	76	7353,62	1447,59	3016	10671
	2019	63	6981,57	1395,24	4046	10443
	2020	72	7017,35	1257,37	3089	10848

** 1%-os szinten bizonyított hatás (7); TÉ = tenyészték (8)

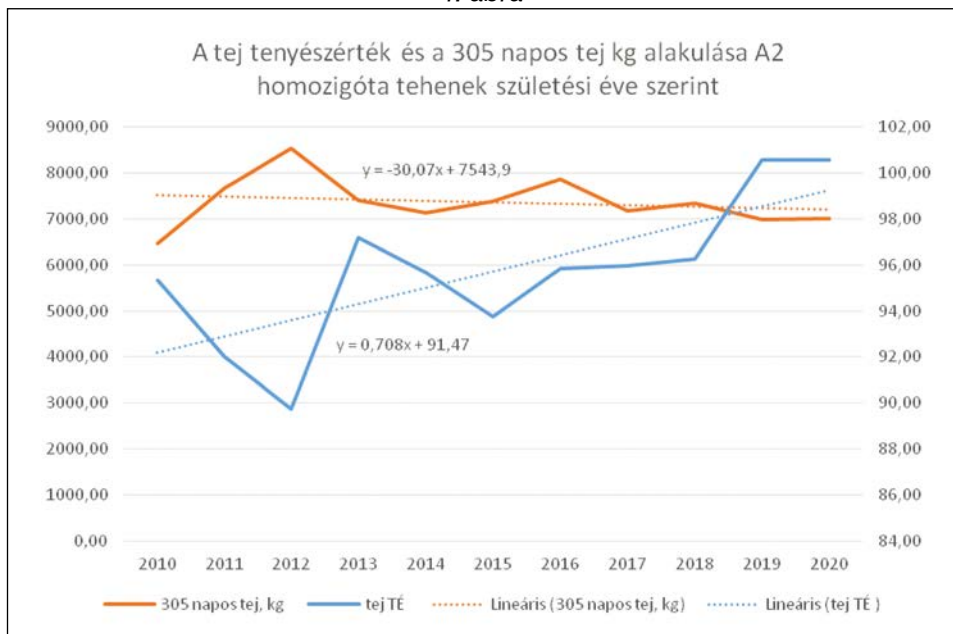
Table 5: The parameters of A2A2 genotype according to birth year

parameters (1); birth year of cow (2); mean (3); standard deviation (4); milk yield BV (5); 305 day milk yield (kg) (6); proven effect at 1% level (7); BV = breeding value (8)

4. Következtetések és javaslatok

A vizsgált magyar tarka tehenállomány esetében az A2A2 genotípus és az A2A1 genotípus is több, mint 40%-os részaránnyal van jelen, így az A2 státuszra történő szelekció üzemi szinten rövid időn belül megvalósítható. Az A2 homozigóta egyedek első, 305 napra korrigált laktációs tejtermelése csak kis mértékben, statisztikailag nem bizonyított arányban marad el a jelenlegi teljes populáció átlagos tejtermelésétől. A fejt magyar tarka tehenek tej TÉ adatai a tehenek születési évjárata szerint bizonyítottan eltérnek, a trend emelkedő, évente átlagosan 0,7 ponttal nő. A 305 napra korrigált laktációs termelés adatai stagnáló, a vizsgált 11

1. ábra



éves időszak második felében enyhe csökkenő trendet mutatnak. Az eredmények vélhetően nem genetikai, inkább környezeti hatásra (takarmányozás, klimatikus tényezők) vezethetők vissza. Az A2 tej felvásárlásának üzemi feltételei megte-remthetők, a felvásárlásban kismértékű, az A2 tej mint funkcionális élelmiszer piacra juttatását célzó felár alkalmazása elvárható.

5. Felhasznált irodalom

- Baranyai M. (2000): Tejfehérje genetikai vizsgálatok hazai szarvasmarha fajtákban, Doktori értekezés, Gödöllő, Szent István Egyetem
- Bell, S. J. – Grochoski, G. T. – Clarke, A. J. (2006): Health implications of milk containing β -casein with the A2 genetic variant. Crit. Rev. Food Sci. Nut., 46. 93–100. <https://doi.org/10.1080/10408390591001144>
- Buzás H. (2022): Tejfehérje frakciók és genetikai variánsainak vizsgálata. <https://www.mtki.hu/tejfeherje-frakciok-es-genetikai-variantsainak-vizsgalata-az-mtki-kft-nel/>
- Buzás H. – Szafner G. – Kovács A. J. (2022): A tehéntej fő kazein és savófehérje frakcióinak kvalitatív és kvantitatív meghatározásának lehetőségei elektroforetikus módszerekkel és nagyhatású folyadék-kromatográfiával, Acta Agr. Óváriensis, 62. 98–125. https://real.mtak.hu/193157/1/62_1.pdf
- Csapó, J. – Csapó-Kiss Zs. – Csanádi J. – Fenyvessy J. (2014): Tejipari technológia. Scientia Kiadó, Kolozsvár.
- Heins, B. (2022): A2 milk and A2 genetics. University of Minnesota Extension. <https://extension.umn.edu/dairy-milking-cows/a2-milk-and-a2-genetics>
- Horn A. (1977): A tejtermelés növelésének biológiai és genetikai feladatai. Agrártud. Köz., 36. 131–141.
- Jeong, H. – Park, Y. S. – Yoon, S. S. (2024): A2 milk consumption and its health benefits: an update. Food Sci. Biotechnol., 33. 491–503. <https://doi.org/10.1007/s10068-023-01428-5>

- Jianqin, S. – Leiming, X. – Lu, X. – Yelland, G. W. – Clarke, A. J.* (2016): Effects of milk containing only A2 beta casein versus milk containing both A1 and A2 beta casein proteins on gastrointestinal physiology, symptoms of discomfort, and cognitive behavior of people with self-reported intolerance to traditional cows' milk. *Nutr. J.*, 15. 35. <https://doi.org/10.1186/s12937-016-0147-z>
- Kay, S. – Delgado, S. – Mittal, J. – Eshraghi, R. S. – Mittal, R. – Eshraghi A. A.* (2021): Beneficial effects of milk having A2 B-Casein protein: myth or reality? *J. Nutr.*, 151. 1061–1072. <https://doi.org/10.1093/jn/nxaa454>
- KErn* (2019): A1- Versus A2-milk. Kompetenzzentrum für Ernährung an der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft. https://www.kern.bayern.de/mam/cms03/wissenschaft/dateien/kurzpublikation__a1-_versus_a2-milch.pdf
- SEMEX Génbank Kft*: <https://www.semex.hu/a2a2>
- Yoshikawa, M.* (2013): Handbook of biologically active peptides. Academic Press, 1571–1572. eBook ISBN: 9780123850966
- Zilda Kft.*: <https://zilda.hu/a2-tej>

Érkezett: 2025. május

Szerzők címe: Kovács, Á. P. - Bene, Sz.* - Abella, D. - Asbóth, Z. - Polgár, J. P.
Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Georgikon Campus

Authors' address: Hungarian University of Agriculture and Life Sciences Georgikon Campus
H-8360 Keszthely, Deák Ferenc utca 16.
*levelező szerző, e-mail: bene.szabolcs.albin@uni-mate.hu

A 2024-BEN SIKERESEN MEGVÉDETT PHD DISSZERTÁCIÓK ÖSSZEFOGLALÓI - MÁSODIK RÉSZ

(SUMMARIES OF PHD DISSERTATIONS IN THE YEAR OF 2024 - PART TWO)

A fumonizin B1 toxin *N*- és *O*-palmitoil származékainak előállítása és toxicitásuk *in vitro* és *in vivo* vizsgálata

Preparation of *N*- and *O*-palmitoyl derivatives of fumonisin B1 toxin and their toxicity *in vitro* and *in vivo*

ANGELI Cserne

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
(Hungarian University of Agriculture and Life Sciences)
Állattenyésztési tudományok Doktori Iskola
(Doctoral School of Animal Science)

Kaposvár, 2024.

Témavezetők (supervisors): BARTÓK Tibor DSc és KOVÁCS Melinda az MTA
rendes tagja

ÖSSZEFOGLALÁS

A FB1 toxin a humán- és állategészségügyi szempontból legveszélyesebb mikotoxinok közé tartozik. Élelmiszerbiztonsági kockázattal főleg a kukoricából készült termékek esetén kell számolni, mivel a legjelentősebb fumonizin-termelők a *Fusarium verticillioides* és a *Fusarium proliferatum*, elsősorban a kukoricát fertőzik. Hazánkban a kukorica ugyan nem tartozik az alapvető táplálékok közé, azonban magasabb fogyasztással számolhatunk liszt érzékenyek és kisgyermekek körében, akik humán egészségügyi szempontból eleve a nagyobb kockázatnak kitett fogyasztók körébe tartoznak. A problémát tovább súlyosbítja a tény, hogy az elmúlt évtizedben újonnan felfedezett acilezett FB1-származékok közül az *N*-palmitoil-FB1sejttenyészetekben toxikusabbnak bizonyult a FB1 toxinnál.

Doktori munkám egyik legfontosabb részét a FB1 toxin palmitinsavval acilezett származékainak toxicitási vizsgálatai jelentették. A kísérletek elvégzéséhez megfelelő mennyiségű tiszta FB1 toxinra volt szükség. A FB1 toxin előállításához szilárd fázisú fermentációt alkalmaztunk, Fumizol 977/13-as törzsszámú *Fusarium verticillioides* izolátum felhasználásával. A FB1 toxin tisztán történő kinyerésére preparatív flash- és folyadékkromatográfiás eljárásokat alkalmaztunk.

A toxicitási vizsgálatok elvégzéséhez az acilezett FB1-származékokat a fermentációs mintákból kinyert és megtisztított FB1 toxin palmitoil-kloriddal történő szintetikus acilezésével állítottuk elő. Az így kapott komponensek azonosítására a fermentáció során előállított gombakivonatot felhasználva adalékolási kísérletet végeztünk. Vizsgálatunk eredménye arra enged következtetni, hogy a korábban

3-O-pal-FB1-nak vélt acilezett FB1-származék (Bartók és mtsai, 2013a) valójában 10-O-pal-FB1 volt.

Kísérleteket végeztünk az acilezett FB1-származékok, valamint a FB1 és FB4 toxin humán szérumalbuminnal történő kölcsönhatására. A FB1 és FB4 toxin alacsonyalbumin kötődési affinitásával ellentétben a FB1 toxin palmitoil-származékai (N-pal-FB1 és 5-O-pal-FB1) stabil komplexeket képeztek az albuminnal. Emellett feltételezhető, hogy az N-pal-FB1 és 5-O-pal-FB1 több nagy affinitású kötőhelyet foglal el az albuminon.

Először mi vizsgáltuk az N-pal-FB1, az 5-O-pal-FB1 és a FB4 toxin in vivo toxicitását, mely során a FB1 toxint használtuk kontrollként. Mivel a 3-O-palmitoil-FB1 még preparatív HPLC-vel végzett tisztítás után sem volt stabil, valamint a preparatív HPLC oszlopról eluáló frakciókban a bepárlás és a liofilizálás során O→N-acil-vándorlás volt megfigyelhető, a 3-O-palmitoil-FB1 toxin toxicitásának megállapítására nem végeztünk kísérletet. Az általunk vizsgált mikotoxinok zebradánió embriókra gyakorolt toxikus hatása alapján a következő toxicitási sorrendet állítottuk fel: N-pal-FB1 > 5-O-pal-FB1 > FB4 > FB1.

Summary

The FB1 toxin is one of the most dangerous mycotoxins in terms of human and animal health. A food safety risk must be taken into account mainly in the case of products made from corn, since the most important fumonisin producers (*Fusarium verticillioides* and *Fusarium proliferatum*) primarily infect corn. In our country, corn is not a staple food, but we can count on a higher consumption among people with celiac disease and children, who are already among the consumers exposed to a higher risk. The problem is further aggravated by the fact that among the newly discovered acylated FB1 derivatives, N-palmitoyl-FB1 proved to be more toxic than the FB1 toxin in cell cultures.

The most important part of my doctoral research was the toxicity studies of derivatives of FB1 toxin acylated with palmitic acid. Adequate amounts of pure FB1toxin were required to perform the experiments. For the production of the FB1 toxin, solid-phase fermentation was performed, using the *Fusarium verticillioides* isolate with strain number Fumizol 977/13. After the incubation period, preparative flash and liquid chromatography procedures were used to purely extract the FB1 toxin.

To perform the toxicity tests, the acylated FB1 derivatives were prepared by the synthetic acylation of the previously extracted and purified FB1 toxin with palmitoyl chloride. In order to identify the obtained components, a spiking experiment was carried out using the fungal extract. The results of our study suggest that the acylated FB1 derivative previously hypothesized to be 3-O-pal-FB1 (Bartók et al., 2013a) was actually 10-O-pal-FB1.

Experiments were carried out to study the interaction of acylated FB1 derivatives and FB1 and FB4 toxins with human serum albumin. In contrast to the low albumin binding affinity of FB1 and FB4 toxins, the palmitoyl derivatives of FB1 toxin (N-pal-FB1 and 5-O-pal-FB1) formed stable complexes with the albumin. In addition, it is assumed that N-pal-FB1 and 5-O-pal-FB1 occupy several high-affinity binding sites on albumin.

We were the first to investigate the toxicity of *N*-pal-FB1, 5-*O*-pal-FB1 and FB4 toxin *in vivo*, using the FB1 toxin as a control. Since 3-*O*-palmitoyl-FB1 was not stable even after purification by preparative HPLC, and *O*→*N*-acyl migration was observed in the fractions eluting from the preparative HPLC column during evaporation and lyophilization, we did not conduct an experiment to study the toxicity of 3-*O*-pal-FB1. Based on the toxic effects of the mycotoxins examined on zebrafish embryos, we established the following order of toxicity: *N*-pal-FB1 > 5-*O*-pal-FB1 > FB4 > FB1.

Forrás (source): https://phd.mater.uni-mate.hu/298/1/PhD-%C3%A9rtekez%C3%A9s_Angeli_Cserne_DOI.pdf

Kisemlősök tartástechnológiájának fejlesztési lehetőségei

Development of keeping technology of small mammals

BÁRDOS Boróka

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
(Hungarian University of Agriculture and Life Sciences)
Állattenyésztési tudományok Doktori Iskola
(Doctoral School of Animal Science)

Kaposvár, 2024.

Témavezetők (supervisors): ALTBÄCKER Vilmos DSc és NAGY István DSc

ÖSSZEFOGLALÁS

A kisemlősök természetes ökológiai igényeiről számos ismerettel rendelkezünk a szakirodalom alapján, de arról kevésbé, hogy milyen hatással van a zárttérben tartott kisemlősök viselkedésére az ökológiai szemléletű környezetgazdagítás. Az ökológiai környezetgazdagítás alapja, hogy az állat természetes igényeit veszi alapul. Az egyik legegyszerűbb, de az állat számára kifejezetten hasznos környezetgazdagító eszköz a megfelelő fészekanyag megválasztása. A kisemlősök nagy része fészket épít, ezzel védve magukat és az utódaikat a külső környezeti hatásoktól. A jó minőségű fészek a téli hónapokban kifejezetten fontos a hőmegtartás végett. Zárttéri tartásban a fészekanyag, mint környezetgazdagító eszköz fontos lehet, hiszen a fészkepítés segít csökkenteni az állat stressz szintjét és menedékként szolgál. A másik fontos tényezője a vad kisemlősök zárttéri tartásának a megfelelő takarmányozás. A kereskedelmi forgalomban kapható takarmányok nem minden esetben elégítik ki a fajok természetes igényeit, hiszen a legtöbb kisemlős mindenevő, a magvakon és más növényi részeken kívül férgekkel és rovarokkal is táplálkoznak. Az állati fehérjéknek fontos szerepe lehet a vemhesülésnél majd az utódgondozásnál is. Kutatásaink során az ökológiai környezetgazdagítás egy kis részét vizsgáltuk a megfelelő fészekanyaggal és takarmányozással kapcsolatban, hogy a vad kisemlős fajoknak akár *ex situ* fajvédelmi program keretén belül, akár egyéb etológiai vizsgálatok végett finomítani tudjuk a tartástechnológiáját.

A vad egérfajok fészekanyag vizsgálata. A két Magyarországon őshonos egérfajt, a güzüegeret és a háziegeret vizsgáltuk laboratóriumi tartási körülmények között, hogy hogyan választanak a különböző fészekanyag típusok közül. Három utas tesztben választhattak az egerek, hogy hosszú fűszálakból, vagy nem szálas szerkezetű gyapotból, vagy papírcsíkokból készítik a fészkeiket. Azt is megvizsgáltuk, hogy a választás hogyan befolyásolja az elkészült fészkek minőségét. A tesztet standard laboratóriumi (21 Celsius-fok) és alacsonyabb (10 Celsius-fok) hőmérsékleten futtattuk le, arra számítva, hogy a hőmérséklet befolyásolja a választást. A három utas választási tesztekben kiderült, hogy a mindkét vad egérfaj a szénafészkepítő anyagot választotta legnagyobb arányban, az is kiderült, hogy a fészkek annál jobb minőségűek voltak, minél több szénát tartalmazott. A hidegebb helyen tartott egerek a fészkeikhez több szénafészekanyagot használtak és jobb minőségű fészkeket építettek. Eredményeinkből kiderül, hogy a vad egérfajok la-

boratóriumi körülmények között is az ökológiai igényeiknek megfelelő, természetes fészeképítő anyagokat részesítik előnyben és ez jó minőségű fészket eredményez.

A vad egérfajok takarmány választása. Magyarországon a két őshonos *Mus* nemzetségbe tartozó vad egérfaj, a gűzüegér és a háziegér takarmány preferenciáját vizsgáltuk. Az egereket 25 generáció óta laboratóriumi körülmények között tartjuk, arra voltunk kíváncsiak, hogy a három takarmányból az egerek a természetes táplálékukhoz legközelebb álló takarmánytípust választják-e. A kapott eredmények alapján megállapítottuk, hogy mindkét vad egérfaj a természetes takarmánykeveréket preferálta, a két másik granulált takarmánnyal szemben. A valós takarmányfogyasztásból is az derült ki, hogy legtöbbet a természetes takarmánykeverékből fogyasztották. A két granulált takarmány analitikai összetételben minimálisan tért el egymástól, ezzel szemben a természetes takarmánykeverék nyerszsír és nyersrost tartalma magasabb volt, továbbá a három takarmány közül összetételben csak itt volt megtalálható a rovarfehérje. Az 5 napos vizsgálat alatt kiderült, hogy a természetes takarmánykeverék fogyasztása napról napra nőtt, míg a granulált labortakarmány fogyasztása szignifikánsan csökkent. Az átlag takarmányfogyasztást befolyásolta továbbá a hőmérséklet is, a hidegebb szobában tartott egerek több takarmányt vettek fel, mint a 21 Celsius-fokon tartott társaik.

A közönséges ürge fészekanyag vizsgálata. A közönséges ürge fajvédelmi program keretein belül a zárttéri tartástechnológia egyes elemei közül a megfelelő fészeképítő anyag kiválasztását vizsgáltuk. Európában a közönséges ürge populáció drasztikusan lecsökkent, védelme nem oldható meg csak az élőhelyük védelmével, szükség van az állatok *ex situ* védelmére is. A zárttéri tartás és szaporítás sikerességéhez elengedhetetlen az állatok igényeinek ismerete, vizsgálatainkban az állatok szabadon választhattak a fészeképítő anyagok közül. A fészekanyag preferencia vizsgálatban az állatok három különböző szerkezetű anyag közül választhattak, mint a papír, a Lignocel és a széna. Az ürgék a fészekanyagok közül a természetes életmódjukhoz legközelebb álló szénát választották. A szénából jobb minőségű fészkeket tudtak építeni az ürgék.

A közönséges ürge takarmány választása. A közönséges ürge fajvédelmi program keretein belül a zárttérben tartott ürgék megfelelő takarmányozását vizsgáltuk. A sikeres zárttéri szaporításhoz elengedhetetlen a megfelelő takarmány megválasztása. A takarmány preferencia vizsgálatban három takarmánytípus közül választhattak az állatok, egy kereskedelmi forgalomban kapható nyúltakarmány, egy komplett nyúltakarmány és egy természetes takarmánykeverék közül. Az első két takarmány granulált formátumú, a harmadik pedig szemes takarmánykeverék volt. Az ürgék a takarmányok közül a természetes életmódjukhoz legközelebb állót választották. A preferált szemes takarmánykeverék összetétele állt a legközelebb a természetes táplálékukhoz, továbbá csak ez tartalmazott állati fehérjét is. Az 5 napos takarmány választás tesztben az ürgék szemes takarmánykeverék fogyasztása fokozatosan nőtt, míg a nyúltakarmány fogyasztása csökkent.

Az üregi és házi nyúl fészekanyag vizsgálata. A vadnyúlfészkek összetételét és a házi nyúl anyák laboratóriumi körülmények között történő fészekanyag választását hasonlítottuk össze, ezáltal próbáltuk feltárni a nyulak fészekanyag választását befolyásoló tényezőket. Az üregi nyulak természetes élőhelyéről összegyűjtött fészkek elemzése során kiderül, hogy 85%-ban száraz fűvet tartalmaztak, többnyire *Calamagrostis* sp. (siska nádtippán) hosszú leveleit. Két

utas választási tesztek segítségével kimutattuk, hogy a házi nyúl anyák szintén a száraz fűféléket preferálják fészeképítéshez a friss zölddel szemben, továbbá, hogy a hosszú fűszálakat választják a rövidekkel szemben. A vizsgálatok során arra a következtetésre jutottunk, hogy a házasított nyulak fészekanyag választása nem tér el a vad üregi nyulak fészkeiktől, attól függetlenül, hogy az életmódjuk jelentősen megváltozott.

Summary

Based on the literature, we have a lot of knowledge about the natural ecological needs of small mammals but less about the effect of ecological enrichment on the behavior of small mammals kept indoors. Ecological environmental enrichment is based on the animal's natural needs. One of the simplest but particularly useful environmental enrichment tools for the animal is the choice of the right nesting material. Most small mammals build nests to protect themselves and their offspring from external environmental influences. A high-quality nest is especially important for heat retention in the winter months. In indoor housing, nesting material can be important as an environmental enrichment tool since nest building helps reduce the animals' stress levels and serves as a shelter. Another important factor in keeping wild small mammals indoors is proper feeding. The commercially available feeds do not always satisfy the natural needs of the species since most small mammals are omnivorous and feed on worms and insects in addition to seeds and other plant parts. Animal proteins can play an important role in pregnancy and caring for offspring. During our research, we examined a small part of ecological environmental enrichment about suitable nesting material and feeding so that we could refine the keeping technology of wild small mammal species either within the ex situ species protection program or for other ethological studies.

Examination of the nest material of wild mouse species. The two species of mice native to Hungary, the mound-building mouse and the house mouse were studied under laboratory conditions to see how they choose between different types of nesting material. In a three-way test, the mice could choose to make their nests out of long blades of grass, non-fibrous cotton, or paper strips. We also examined how the choice affects the quality of the finished nest. The test was run at standard laboratory (21°C) and lower (10°C) temperatures, expecting temperature to influence the choice. The three-way choice tests revealed that both species of wild mice chose hay as the nest-building material in the highest proportion, and it was also revealed that the higher the quality of the nest, the more hay it contained. Mice kept in colder places used more hay nesting material for their nests and built better-quality nests. Our results show that wild mouse species prefer natural nest-building materials that meet their ecological needs even under laboratory conditions, resulting in high-quality nests.

Food selection of wild mouse species. In Hungary, we investigated the feed preference of the two native species of wild mice belonging to the genus *Mus*, the mound-building mouse and the house mouse. We have been keeping mice in laboratory conditions for 25 generations, so we were interested in whether the mice chose the type of feed closest to their natural food out of the three feeds. Based on the obtained results, we determined that both species of wild mice preferred

the natural feed mixture compared to the two other granulated feeds. The real feed consumption also revealed that most were consumed from the natural feed mixture. The analytical composition of the two granulated feeds differed minimally; on the other hand, the crude fat and crude fibre content of the natural feed mixture was higher and only this feed contained insect protein. During the 5-day study, it was found that the consumption of the natural feed mixture increased daily, while the consumption of the granulated laboratory feed decreased significantly. Average feed consumption was also influenced by temperature; mice kept in a colder room consumed more feed than their peers kept at 21°C.

Examination of the European ground squirrel nest material. Within the framework of the European ground squirrel species protection program, we examined the selection of the appropriate nest-building material from among the individual elements of the indoor housing technology. In Europe, the ground squirrel population has decreased drastically; its protection cannot be solved only by protecting its habitat; it is also necessary to protect the animals' *ex situ*. Knowledge of the needs of the animals is essential for the success of indoor housing and breeding, so in our tests, the animals were able to choose freely among the nest-building materials. In the nest material preference test, the animals could choose from three materials with different structures: paper, Lignocel and hay. The ground squirrels chose hay as the nesting material closest to their natural way of life. The ground squirrels were able to build better- quality nests from the hay.

Food selection of the ground squirrel. Within the framework of the European ground squirrel species protection program, we examined the appropriate feeding of ground squirrels kept indoors. Choosing the right feed is essential for successful indoor breeding. In the feed preference test, the animals could choose from three types of feed: a commercially available rabbit feed, a complete rabbit feed and a natural feed mixture. The first two feeds were in granulated format; the third was a grain feed mixture. The ground squirrels chose the food closest to their natural lifestyle. The composition of the preferred grain feed mixture is the closest to their natural food, and it was also the only one that contained animal protein. During the 5-day study, the ground squirrels' consumption of grain feed mixture gradually increased, while the consumption of rabbit feed decreased.

Examination of wild and house rabbit nest material. We compared the composition of wild rabbit nests and the choice of nesting material by domestic rabbit mothers under laboratory conditions, thereby trying to reveal the factors influencing the choice of nesting material by rabbits. During the analysis of nests collected from the natural habitat of wild rabbits, it was revealed that 85% contained dry grass, mostly *Calamagrostis sp.* long leaves. With the help of two-way choice tests, we showed that house rabbit mothers also prefer dry grass for nest building over fresh green and that they choose long leaves over short ones. During the tests, we concluded that the choice of nest material of domesticated rabbits does not differ from the nests of wild European rabbits, regardless of the fact that their lifestyle has changed significantly.

Forrás (source): https://phd.mater.uni-mate.hu/305/1/Doktori%20%28PhD%29%20%C3%A9rtekez%C3%A9s_DOI.pdf

Szelénnel dúsított tej és tejtermékek előállítása

Production of selenium enriched milk and dairy products

JUHÁSZNÉ TÓTH Réka

Debreceni Egyetem

(University of Debrecen)

Állattenyésztési Tudományok Doktori Iskola

(Doctoral School of Animal Science)

Debrecen, 2024.

Témavezető (supervisor): CSAPÓ János DSc

ÖSSZEFOGLALÁS

A szakirodalmi áttekintés során bemutattam a szelén táplálkozás-élettani jelentőségét és a szelén pótlásának lehetőségeit. Ez alapján megállapítottam, hogy a szelén az emberi szervezet számára nélkülözhetetlen mikroelem, melynek hiánya hiánybetegségek kialakulásához vezet. Mivel hazánk hiányos szelén-ellátottságú területnek számít, ezt a hatást fokozza a szelén alacsony fokú szervezetben történő hasznosulása, így mindenképpen fontos a szervezet megfelelő szelénutánpótlásának biztosítása. Ez a fogyasztó számára legegyszerűbb módon úgy történhet, ha a megfelelő mennyiségű szelént különböző alapélelmiszerek segítségével viszi be a szervezetbe. Ilyen alapélelmiszer lehet a tej. A takarmány szeléntartalmának növelése nemcsak a tej szeléntartalmát növelheti, de állategészségügyi szempontból is ideális lehet.

A kutatásban két gazdaságban (Bödönhat, Hajdúböszörmény) hat-hat holsteín-fríz szarvasmarha takarmányát egészítettük ki szerves szelénnel, szelénos premixet adagolva az állatoknak. Az alkalmazott dózisok 1, 2; 4; 6 mg/egyed/nap voltak. A kiválasztott egyedektől heti egy alkalommal történt tejminta vétel. Ezt követően ICP-MS-sel mértem meg a tej szeléntartalmát, valamint vizsgáltam a különböző mikroelemeket is. A dúsított szelént tartalmazó tejből különféle tejtermékeket készültek, melyek szeléntartalmát vizsgáltam.

A 4 mg/nap és a 6 mg/nap szelén kiegészítés adagolásának hatására a tej szeléntartalma megemelkedik, ez pedig a belőle készült tejtermékekben is kimutatható. A kontroll mintához képest, mind a 12 vizsgált tejtermék esetében növekedés állapítható meg. A szelénnel dúsított tejből készült tejtermékek elemzésének eredményei alapján megállapíthatom, hogy a legmagasabb szeléntartalommal a félkemény sajt, a sózott és a sótlan gomolya, valamint a túró rendelkezik. Az eredmények alapján az is látható, hogy a teljes tejhez viszonyítva a szelén bizonyos termékek esetében képes feldúsulni (pl. félkemény sajt), míg bizonyos termékek (pl. savó típusú termékek) készítése a szeléntartalom csökkenéséhez vezet. A statisztikai eredmények alapján megállapítható, hogy a szelén-kiegészítés hatására a vizsgált termékek közül hét termék esetében, mind a 4 mg/nap, mind a 6 mg/nap dózissal termék szignifikánsan magasabb szeléntartalommal jellemezhető, mint a kontroll. Ezek a termékek a teljes tej, a kefir, a joghurt, a túró savó, a félkemény sajt, a sótlan és sózott gomolya. Ezen termékek esetében egyértelműen bebizonyosodott,

hogy a takarmányozás során adagolt szelén részben megjelenik a tejben, a tejből pedig magas szeléntartalmú termékek készíthetők. A túró esetében csak a 6 mg/nap szelén-kiegészítés hatására emelkedett meg szignifikánsan a termékben a szeléntartalom. A félkeménysajt savó, a gomolya savó és az orda esetében a különbség a kontrollhoz képest nem szignifikáns.

Kutatásom fő kísérletében a különböző tejmintákat elemeztem. A tej átlagos szeléntartalmát a két vizsgált telep esetében külön-külön elemeztem. A bödönháti telep esetében megállapítható, hogy a tej szeléntartalma a szelén-kiegészítés időszakában a kontrollhoz képest fokozatos növekedett, a csúcst a 6 mg/nap kiegészítés időszakában érte el, majd pedig a kiürülés időszakában meredeken csökkent. A statisztikai elemzés kimutatta, hogy a kontroll mintához képest szignifikánsan magasabbak a 2 mg/nap, a 4 mg/nap és a 6 mg/nap szelén-kiegészítés időszakának átlagai. A kontrolltól nem tér el szignifikánsan az 1 mg/nap kiegészítés és a kiürülés időszaka. Az eredmények alapján megállapítható, hogy a 4 mg/nap és a 6 mg/nap dózis adagolása esetén a tej szeléntartalma nemcsak a kontroll értékektől, hanem a többi kezelés és a kiürülés időszakának értékeitől is szignifikánsan különbözik. A hajdúböszörményi telep esetében is megállapítható, hogy a tej szeléntartalma a csúcserőrtéket a 6 mg/nap szelén-kiegészítés időszakában érte el, ezt követően pedig csökkent. A statisztikai elemzés kimutatta, hogy a kontroll mintához képest szignifikánsan magasabbak az 1 mg/nap, a 2 mg/nap, a 4 mg/nap és a 6 mg/nap szelén-kiegészítés időszakának átlagai. A kontrolltól nem tér el szignifikánsan a kiürülés időszaka. Ez az eredmény is rámutatott arra, hogy a szelén képes a tejben feldúsulni, melynek érdekében leginkább a 4 és/vagy 6 mg/nap szelén-kiegészítés alkalmazása ajánlott.

Az egyedenkénti vizsgálat eredményei alapján megállapítható, hogy mind a bödönháti, mind a hajdúböszörményi telep esetében a vizsgált hat-hat egyed mindegyikénél emelkedett a tej szeléntartalma a szelén-kiegészítés időszakában, majd csökkent a kiürülés időszakában. A bödönháti telep esetében mind a hat vizsgált egyed tejének átlagos szeléntartalma a kontrollhoz képest szignifikánsan magasabb volt a 4 mg/nap és a 6 mg/nap kiegészítés időszakában. Az 1 mg/nap és a 2 mg/nap dózisú kezelések, valamint a kiürülés időszaka nem különböznek el szignifikánsan a kontrolltól, ami a telep téli takarmányváltásával magyarázható. A hajdúböszörményi telep esetében mind a hat vizsgált egyed tejének átlagos szeléntartalma a kontrollhoz képest szignifikánsan magasabb a 4 mg/nap szelén-kiegészítés időszakában, és egy egyed kivételével a 6 mg/nap szelén-kiegészítés időszakában is.

A szeléntartalom és az egyéb mikroelem-tartalom közötti összefüggés vizsgálatának eredményei alapján megállapítható, hogy a bödönháti telep esetében a vizsgált nyolc mikroelem közül három olyan van (réz, mangán, stroncium), ahol a szeléntartalom és a vizsgált mikroelem közötti kapcsolat 95%-os valószínűséggel valódi és nem a véletlen műve. A szelén pozitív irányú erős korrelációs kapcsolatot mutat a mangánnal és negatív irányú erős korrelációs kapcsolatot mutat a rézzel és a stronciummal. A hajdúböszörményi telep adatai alapján is megállapítható, hogy a szelén és mangántartalom közötti korreláció erős, pozitív irányú, a két mikroelem (szelén, mangán) közötti összefüggés szignifikáns.

Summary

During the literature review, I presented the importance of selenium in nutrition and physiology and the possibilities of selenium supplementation. Based on this, I can conclude that selenium is an essential microelement for the human body, the lack of which leads to the development of deficiency diseases. Since our country is deficient in selenium, this effect is enhanced by the low utilization of selenium in the body, so it is important to ensure adequate selenium supplementation. This can be done in the simplest way for the consumer by taking the appropriate amount of selenium into the body with the help of different foods. Milk can be excellent for this. Increasing the selenium content of feed can not only increase the selenium content of milk, but it can also have a beneficial effect on the health of the animal.

In my research, we supplemented the feed of six Holstein-Friesian cattle on two farms in the county of Hajdu-Bihar (Bödönhat, Hajdúböszörmény) by adding a selenium premix with organic selenium. The doses used are 1; 2; 4; 6 mg/individual/day. Milk samples were taken once a week from the selected cows. After that, I measured the selenium content of the milk with ICP-MS and examined the microelements. Various dairy products were made from milk with a higher selenium content, and I also determined their selenium content.

As a result of the administration of the 4 mg/day and 6 mg/day selenium supplements, the selenium content of milk increased, and this was also detectable in the milk products made from it. Compared to the control sample, an increase can be established for all 12 tested dairy products. Based on the results of the analysis of dairy products made from selenium-enriched milk, I can point out that semi-hard cheese, salted and unsalted curd and cottage cheese have the highest selenium content. Based on the results, it can also be seen that compared to whole milk, selenium can be enriched in certain products (e.g., semi-hard cheese), while the production of certain products (e.g., products made from whey) leads to a decrease in selenium content. Based on the statistical results, it can be concluded that due to selenium supplementation, in the case of seven products out of the examined products, both the 4 mg/day and the 6 mg/day products can be characterized by significantly higher selenium content than the control. These products are whole milk, kefir, yogurt, curd whey, semi-hard cheese, unsalted and salted dumplings. In the case of these products, it has been clearly proven that some of the selenium added during feeding appears in the milk, and products with a high selenium content can be made from the milk. In the case of cottage cheese, the selenium content in the product increased significantly only as a result of selenium supplementation of 6 mg/day. Compared to the control, the difference is not significant in the case of semi-hard cheese whey, lump cheese whey and orda.

In the main experiment of my research, I analyzed different milk samples. The average selenium content of the milk was analyzed separately for the two tested farms. In the case of the Bödönhat farm, it can be established that the selenium content of the milk gradually increased during the period of selenium supplementation compared to the control, the peak was reached during the period of supplementation of 6 mg/day, and then sharply decreased during the depletion period. The statistical analysis showed that compared to the control sample, the averages of the 2 mg/day, 4 mg/day and 6 mg/day selenium supplementation periods were

significantly higher. The 1 mg/day supplementation and the withdrawal period do not differ significantly from the control.

Based on the results, it can be concluded that the selenium content of the milk in the case of the 4 mg/day and 6 mg/day doses differs significantly not only from the control values, but also from the values of the other treatments and the emptying period. In the case of the Hajdúböszörmény farm, it can also be established that the selenium content of the milk reached its peak during the period of 6 mg/day selenium supplementation, and then decreased. The statistical analysis showed that compared to the control sample, the averages of the 1 mg/day, 2 mg/day, 4 mg/day and 6 mg/day selenium supplementation periods were significantly higher. The emptying period does not differ significantly from the control. This result also pointed out that selenium can be enriched in milk, for this purpose the use of selenium supplementation of 4 and/or 6 mg/day is recommended. Based on the results of the individual test, it can be established that in the case of both the Bődönhát and the Hajdúböszörmény farms, the selenium content of the milk increased during the period of selenium supplementation and then decreased during the period of emptying. In the case of the Bődönhát farm, the average selenium content of the milk of all six examined animals was significantly higher compared to the control during the period of 4 mg/day and 6 mg/day supplementation. Treatments with doses of 1 mg/day and 2 mg/day, as well as the period of emptying, are not significantly different from the control, which can be explained by the winter feed change. In the case of the Hajdúböszörmény farm, the average selenium content of the milk of all six tested individuals is significantly higher compared to the control during the period of 4 mg/day selenium supplementation, and, except for one individual, also during the period of 6 mg/day selenium supplementation.

Based on the results of the examination of the relationship between the selenium content and other microelement content, it can be concluded that in the case of the Bődönhát plant, there are three out of the eight microelements examined (copper, manganese, strontium) where the relationship between the selenium content and the microelement examined is real and not the accidental with a 95% probability. Selenium shows a strong positive correlation with manganese and a negative strong correlation with copper and strontium. Based on the data from the Hajdúböszörmény site, it can be established that the correlation between selenium and manganese content is strong and positive, and the correlation between the two microelements (selenium, manganese) is significant.

Forrás (source): <https://dea.lib.unideb.hu/server/api/core/bitstreams/4738512c-b14b-46ba-9925-da3d68110ba4/content>



- › VIDÉKFEJLESZTÉS
- › AGRÁRSZAKKÉPZÉS
- › TERMÉSZETMEGŐRZÉS

ÁLLATTENYÉSZTÉS ÉS TAKARMÁNYOZÁS

Főszerkesztő (Editor-in-chief): BENE Szabolcs (Keszthely)

Társfőszerkesztő (Co-editor): MÉZES Miklós (Gödöllő)

Szerkesztőbizottság (Editorial board):

ROSATI, Andrea (Róma, Olaszország),	HOLLÓ Gabriella (Kaposvár),	NAGY Szabolcs (Keszthely),
MANABE, Noboru (Osaka, Japán),	HULLÁR István (Budapest),	POLGÁR J. Péter (Keszthely),
ANTON István (Budapest),	HUSVÉTH Ferenc (Keszthely),	POSTA János (Debrecen),
DUBLECZ Károly (Keszthely),	KOMLÓSI István (Debrecen),	RÁTKY József (Budapest),
FÉBEL Hedvig (Budapest),	KOVÁCSNÉ Gaál Katalin (Mosonmagyaróvár),	SZABÓ Ferenc (Mosonmagyaróvár),
GÁSPÁRDY András (Budapest),	KUSZA Szilvia (Debrecen),	URBÁNYI Béla (Mosonmagyaróvár)

Technikai szerkesztő (Technical editor): BENE Szabolcs (Keszthely)

Szerkesztőség: Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Állattenyésztés Tudományok Intézet
(Editorial office): (Hungarian University of Agriculture and Life Sciences, Institute of Animal Sciences)

MATE Georgikon Campus
8360 Keszthely, Deák Ferenc utca 16.
Telefon: (+36) 83 545 398
Mobil: (+36) 30 633 3278
E-mail: bene.szabolcs.albin@uni-mate.hu

A cikkeket kivonatolja a CAB International (UK) a CAB Abstracts c. kiadványban

The journal is abstracted by CAB International (UK) in CAB Abstracts

Felelős kiadó (Publisher): FÜREDI Kornél ügyvezető, Herman Ottó Intézet Nonprofit Kft.

ISSN 0230-1814 (Nyomtatott) ISSN 3003-9932 (Online)

A lap az Agrárminisztérium tudományos folyóirata

This is a scientific quarterly journal of the Ministry of Agriculture founded in 1952 („Állattenyésztés”) by Prof. József CZAKÓ

A kiadást támogatja (sponsored by): Agrárminisztérium

MTA Könyv- és Folyóiratkiadó Bizottsága

Megjelenik évente négyszer

A folyóiratokra a kiadónál fizethet elő az alábbiak szerint.

Előfizetési szándékát kérjük, jelezze az info@agrarlapok.hu címen, vagy az alábbi postacímen:

Herman Ottó Intézet Nonprofit Kft., 1223 Budapest, Park u. 2.

A borítékra kérjük, írja rá: „Folyóirat-rendelés”.

Az előfizetési díjat a Herman Ottó Intézet Nonprofit Kft. 10032000-00286662-00000017 számlaszámára való utalással egyenlítheti ki. Az átutalás közlemény rovatában szíveskedjen a folyóirat és az előfizető nevét feltüntetni. Előfizetési díj: 8800Ft/év

Bármely más információért forduljon bizalommal kollégáinkhoz a lenti elérhetőségek bármelyikén:

e-mail: info@agrarlapok.hu, telefon: 06-1/362-8100

Nyomdai kivitelezés: Zemplén-Vektor Nyomda