

# **DIPLOMADOLGOZAT**

**SZENTE ÁKOS DÁNIEL**  
**Takarmányozási-, és Takarmánybiztonsági mérnök MSc**

**Georgikon Campus, Keszthely**  
**2025**



**Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem**  
**Georgikon Campus**  
**Takarmányozási-, és Takarmánybiztonsági mérnök**  
**Szak**

**Rovarfehérje etetésének hatása tojótyúkok termelésére és az**  
**étkezési tojás minőségére**

**Belső konzulens:** **Dr. Dublec Károly**  
Egyetemi tanár

**Készítette:** **Szente Ákos Dániel**  
IDHD54  
Levelező

**Intézet/Tanszék:** **Élettani és**  
**Takarmányozástani Intézet**

**Keszthely**  
**2025**

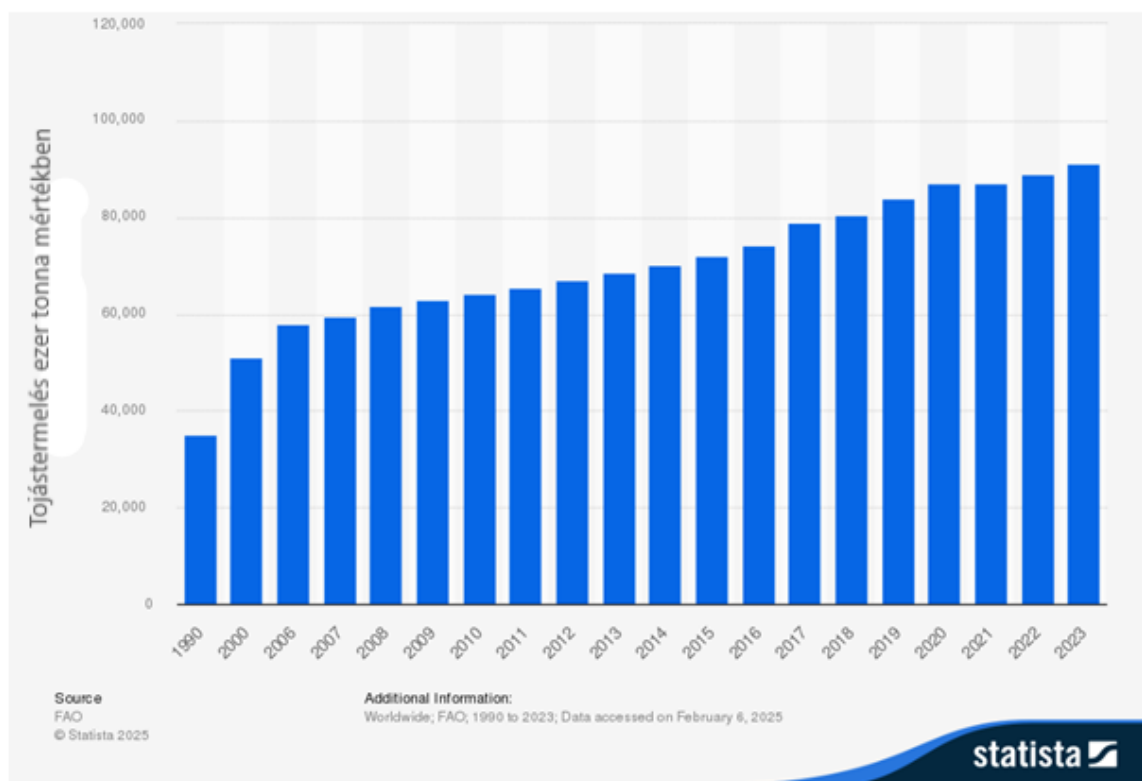
## Tartalomjegyzék

<b>I. Bevezetés</b> .....	<b>2</b>
<b>II. Szakirodalmi áttekintés</b> .....	<b>5</b>
1. A tojótyúkok termelésének élettani háttere.....	5
2. A tojásminőségi paraméterek takarmányozás útján történő befolyásolása...	9
3. Rovarfehérje, mint alternatív takarmány .....	11
4. Rovarfehérje előállítás .....	13
5. Jogszabályi háttér.....	15
6. Rovarfehérjék felhasználásának fogyasztói megítélése.....	16
7. A rovarkomponensek energiatartalma .....	17
8. A rovarfehérje, mint baromfitakarmány.....	19
9. Ökonómiai szempontok .....	23
<b>III. Anyag és módszer</b> .....	<b>25</b>
1. Kísérleti körülmények .....	25
2. Kísérleti tápok .....	25
3. Mérések, vizsgálatok.....	27
4. Statisztikai analízis.....	29
<b>IV. Eredmények</b> .....	<b>30</b>
1. A rovarfehérje liszt és a kísérleti tápok mért táplálóanyag-tartalma.....	30
2. Termelési paraméterek.....	31
3. A tojásminőségi paraméterek alakulása .....	32
<b>V. Az eredmények értékelése</b> .....	<b>35</b>
<b>VI. Összefoglalás</b> .....	<b>40</b>
<b>VII. Irodalmi jegyzék</b> .....	<b>42</b>
<b>Szakirodalom</b> .....	<b>42</b>
<b>Internetes források</b> .....	<b>54</b>
<b>Mellékletek</b> .....	<b>56</b>
I. Ábrák jegyzéke.....	56
II. Táblázatok jegyzéke.....	57
<b>Függelékek</b> .....	<b>58</b>

# I. Bevezetés

Napjainkban az árutermelő baromfi előállítás kapcsán egyre fajsúlyosabb kérdés az állatok táplálóanyag-igényeinek biztosítása mellett a felhasznált takarmányok ökológiai lábnyomának figyelembevétele is. Elsősorban a szója-import csökkentésére törekednek, ennek kapcsán pedig kutatások folynak új, alternatív fehérjehordozók takarmányozási célra történő hasznosítására is. A 2023–2024-es gazdasági évben az Európai Unióban a szántóföldi növénytermesztésben 64 millió tonna növényi fehérjét termeltek, ami nem fedezi az unió takarmányágazatának teljes igényét, ennek nagyrészt pedig a szalastakarmányok, a gabonafélék, valamint az olajos magvak adják, a hüvelyesek pedig csak ennek töredékét, 1,1 millió tonnát tesznek ki, ezért bizonyos növényi termékek esetén pedig importra szorult, ez összesen 19 millió tonna nyersfehérjét jelentett (Internet1).

A szója-import aggályosnak tekinthető környezeti szempontból is, mind a termőterületek növelésének következtében végzett erdőirtások, mind pedig a szén-dioxid kibocsátás tekintetében, amelyet maga a behozatal is növel (Ercin et. al., 2012). Ezen tényezőkhöz társul még a takarmánykomponensek árának növekedése is, például a kukorica és a szójabab, amely különösen a fejlődő országokban érezhető, ahol a mezőgazdasági infrastruktúra sem az önellátás biztosításához, sem pedig a korszerű végtermékelőállítási technológiák alkalmazásához nem elég fejlett. Kijelenthető tehát, hogy nemzetközi szinten is fontos, hogy önellátóbb legyen a mezőgazdaság, mind a növényi, mind pedig az egyéb fehérjeforrások tekintetében, ugyanakkor a madarak táplálóanyag-igényeinek fedezéséhez szükséges fehérje szempontjából nehéz feladat a szója import jelleggel történő kiváltása is, ennek fő oka pedig a magas fehérje (35%), illetve jelentős olajtartalma (18%) miatt, ehhez hozzátevéődik a népességnövekedésből eredő egyre nagyobb mértékű globális igény az állati eredetű ételek, termékek, valamint az ennek kielégítésére alkalmas intenzíven termelő fajták igényeit maradéktalanul kielégítő olcsó takarmányok iránt. Az 1. ábra a tojástermelés volumenének globális szintű változásait szemlélteti az elmúlt évtizedekben.



1. ábra: A világ tojástermelése 1990-2023 között (1000 tonna)

(Forrás: internet2, <https://www.statista.com/statistics/263972/egg-production-worldwide-since-1990/>)

A grafikon alapján látható, hogy az 1990-es évekhez képest több mint kétszeres termelésbeni növekedés történt csak az étkezési tojás termelés tekintetében. Az állati eredetű fehérjék hasznosítása alternatíva lehetne, ugyanakkor vélt vagy valós hátrányai miatt korlátozás alá esnek, bizonyos állatfajok esetén pedig használatuk tiltott, elég csak példának okáért a szarvasmarha szivacsos agyvelőgyulladás (BSE) kockázataira gondolni (Szendrő et. al., 2018).

Már a múltban is foglalkoztak az ún. rovarfehérjének a gazdasági állatok takarmányozásában való felhasználásának lehetőségeivel, napjainkra pedig a fenntartható takarmánykomponensek iránt való egyre növekvő igények következtében remek alternatívát nyújthat, hiszen a rovar maga sokféle takarmányon, melléktermékeken, sőt akár korhadékon is él, ezért olcsón, viszonylag nagy mennyiségben előállítható takarmány lehet, melynek ökológiai lábnyoma jelentősen kisebb a szója, illetve a hallisztéhoz képest, nagymennyiségű zsír és fehérjetartalma pedig akár ezen fehérjekomponensek részleges, illetve teljes kiváltására is lehetséges alternatívát nyújthat.

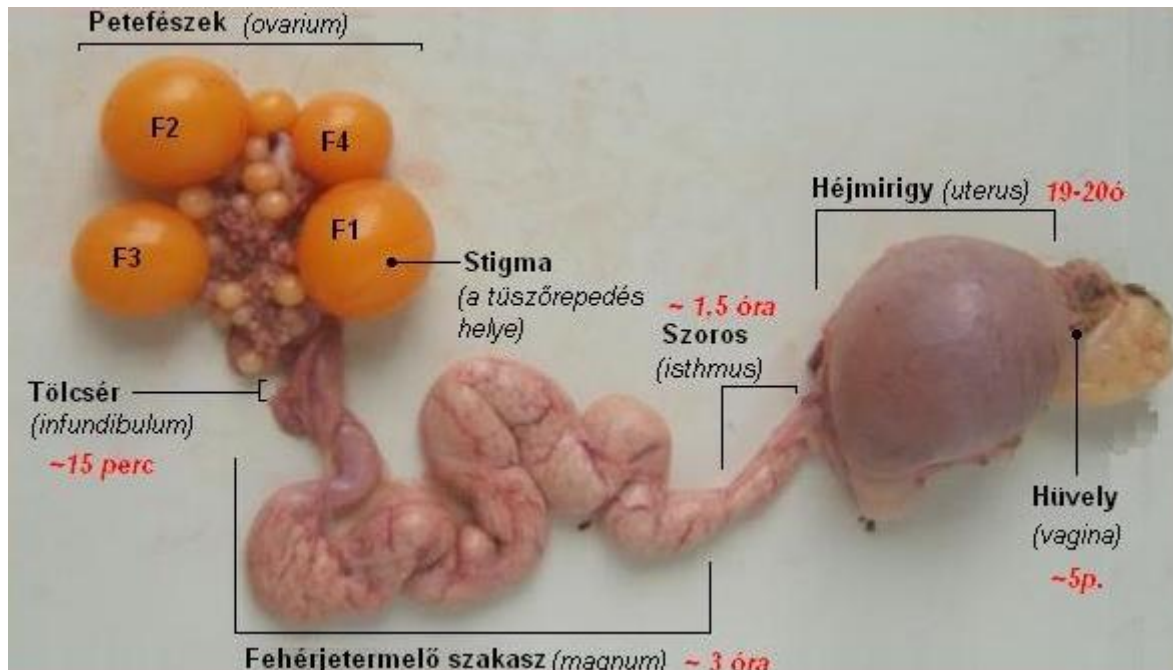
Diplomadolgozatomban egy, jelenleg is vizsgált, jelentős potenciállal bíró fehérjeforrásnak, a rovarfehérjének az étkezési tojás minőségére gyakorolt hatását vizsgálták. A kísérletet az

*Alphitobius diaperinus* lárva (ADM) felhasználásával végeztük. A kísérlet célja az ADM etetésének a különböző termelési, (testsúlygyarapodás, takarmányfelvétel, takarmányértékesítés, tojástermelési százalék) illetve tojásmínőségi paraméterekre (tojástömeg, tojástömeg, tojánhéj szilárdsága, albumin magassága (elhelyezkedése), Haugh-egység, a tojássárgájának színe, a tojássárgájának magassága (elhelyezkedése), tojássárgájának átmérője, yolk index, valamint a tojánhéj vastagsága) gyakorolt hatás meglétének, irányának, illetve mértékének meghatározása volt.

## II. Szakirodalmi áttekintés

### 1. A tojótyúk termelésének élettani háttere

A tojás (ovum) alapvetően a madarak szaporodásbiológiájához köthető, nagy méretű petesejt, viszont mint végtermék, az árutojás napjainkban a humán táplálkozás egyik alapvető elemének számít, mind zsírsavösszetétele -magas telítetlen zsírsav aránya miatt-, mind pedig teljes értékűnek tekinthető fehérjetartalma (minden esszenciális aminosav megtalálható benne), valamint D-, és B12 vitamin, illetve szelén és kolin tartalma miatt. Ezek mellett antioxidánsokat is tartalmaz. (Benedé & Molina, 2020) A következő ábrán (2. ábra) a tojás termelésének folyamata látható, egy házityúk petefészken szemléltetve.

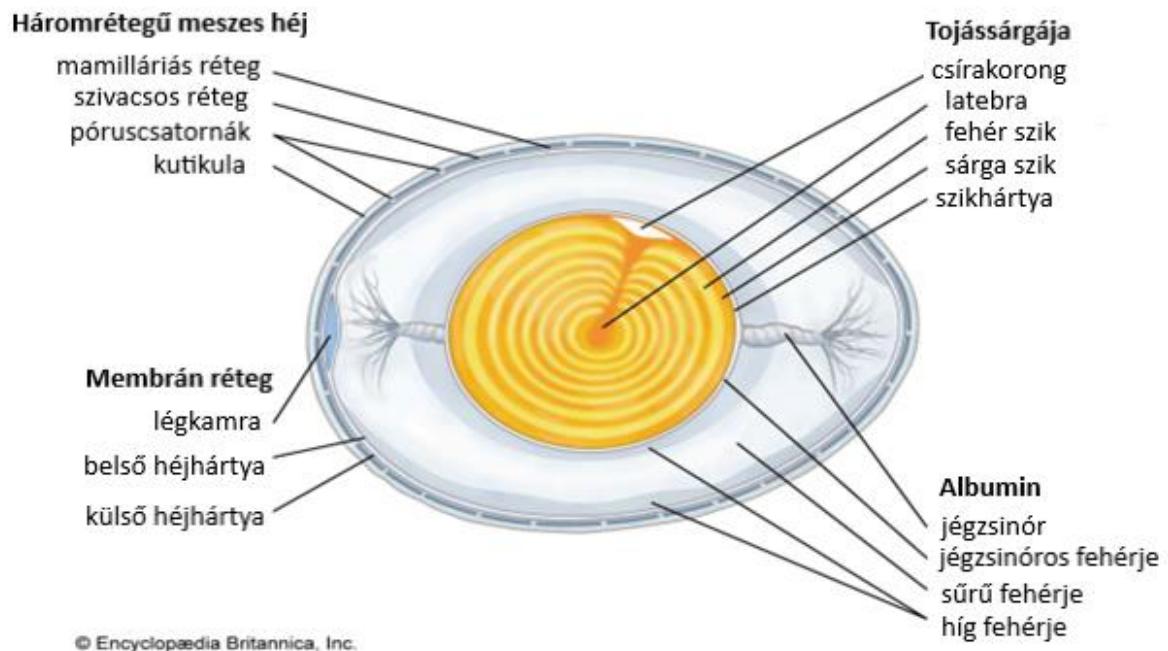


2. ábra: A tojásképződés folyamata

Forrás: internet3, <https://wendelin-essencia.hu/tojopulykak-es-tojotyukok-tojocsor-eloreesese-h110>

A tojás, mint előbbieken is megemlítettem, egy nagy méretű petesejtnak tekinthető, mely a termékenyülés megvalósulásától függően lehet tenyész anyag, illetve végtermék. A képződés első szakasza a petefészkekben (*ovarium*) zajlik, mely során a későbbiekben a sárga sziket, vagy tojássárgáját (*yolk*) adó folliculusok fejlődése zajlik. A tüsszörepedést követően a levált petesejt a tölcsérbe (*infundibulum*) jut, ahol 15 percet tartózkodik hozzávetőlegesen, az ovuláció idején szabadul fel, funkcióját tekintve a termékenyülés helye, illetve a fehérje ráépülése is itt kezdődik meg, mely nagy részének a fehérjetermelő szakaszban (*magnum*) megy végbe. A külső és belső héjmembránok kialakulása a szorosban (*isthmus*) töltött átlagosan 1.5 óra alatt

megy végbe. A tojás képzés utolsó állomása a héjmirigy (*uterus*), itt képződik a meszes héj, illetve a fajtól, fajtától függő pigmentáció is, valamint ebben a szakaszban megy végbe a kutikula lerakódás, összesen átlagosan 19-20 óra alatt, tehát ezen szakasz a leghosszabb. (Hrabia et. al., 2014) A tojás felépítését a következő ábrán (3. ábra) szemléltetem.



3. ábra: A tojás felépítése

(Forrás: internet4, *The Editors of Encyclopædia Britannica* (2024, december 31). egg, *Encyclopedia Britannica*. <https://www.britannica.com/science/egg-biology>, saját fordítás)

A tojáshéj szerepe elsősorban az embrió fizikai hatásokkal, illetve mikrobiális szennyeződésekkel szembeni védelme, melyet a héjmembránban található különböző bakteriolitikus enzimekkel biztosít (lizozim, N-acetilglükózaminidáz) (Nakano et. al., 2003), emellett a felszínén található pórusokon keresztül szabályozza metabolikus gáz-, valamint a víz anyagcserét, ezáltal az embrió légzését-, méisztartalma révén pedig az embrió kalciumellátását is biztosítja (Hincke et. al., 2012). A tojáshéj kémiai összetételét az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat: A tojáshéj kémiai összetétele  
 (Forrás: Saját szerkesztés, Chumlong et. al., 2007 alapján)

Elem	Tömeg (%)	
	Tojáshéj (natúr)	Tojáshéj (főtt)
CaCO <sub>3</sub>	96.48	96.48
S	2.31	3.59
Mg	0.404	0.440
P	0.501	0.469
Al	-	-
K	-	-
Sr	0.0737	0.0734

Ahogy a táblázatban is látható, a héj nagyrészt kalcium-karbonátból (CaCO<sub>3</sub>) tevődik össze, illetve ként tartalmaz jelentősebb mennyiségben, emellett magnézium és foszfortartalmát érdemesebb megemlíteni. Ezek mellett tartalmaz különböző fehérjéket, illetve poliszacharidokat is.

A tojásfehérje (albumin) négy részre tagolható, név szerint, sűrű-, illetve hígfehérje, valamint a jégzsinór, illetve a hozzá kapcsolódó jégzsinóros réteg. Az albumin legnagyobb részt (84-89%) vízből áll, szárazanyagának legnagyobb részét pedig a fehérje (10-11%) adja, illetve kis mennyiségben tartalmaz szénhidrátokat (0.9%), lipideket (0.03%), vitaminokat és ásványi anyagokat is (Guhan et. al., 2018). A pontosabb fehérjeösszetételt a következő táblázattal szemléltetem (2. táblázat).

2. táblázat: A tojásfehérje fehérjeösszetétele

(Forrás: Saját szerkesztés, Guhan et. al., 2018 által készített táblázat alapján)

Fehérje	Albumin száraz tömege (g/kg)
<b>Jelentősebb fehérjék</b>	
Ovalbumin	540
Ovotranszferrin	120
Ovomucoid	110
Ovomucin	35
Lizozim	34
<b>Kevésbé jelentős fehérjék</b>	
Ovoglobulin	
G <sub>2</sub> globulin	40
G <sub>3</sub> globulin	40
Ovoinhibitor	15
Ovoglikoprotein	10
Ovoflavoprotein	8
Ovomacroglobulin	5
Cistatin	0.5
Avidin	0.5

A tojásfehérje teljesértékűnek tekinthető, mintegy összehasonlítási alapot szolgáltatva az egyéb élelmiszerfehérjék számára. Funkciójukat tekintve antioxidáns, gélképző, emulzifikációt elősegítő, illetve antimikrobiális hatásúak, a már említett tápértékük mellett (Meng et. al., 2021).

A Haugh-egység fogalmát Raymund Haugh határozta meg, mely „az albumin minőségének egyik legfőbb jellemző paramétere, amely a sűrűfehérje magasságát, illetve a tojás grammban mért tömegét összesíti”. Képlete a következő: „ $HU = 100 \log [H + 7.57 - 1.7W - 37]$ ”, ahol a H az albumin magasságát, a W pedig a tojás tömegét jelöli (Haugh, 1937). Továbbá a belső, sűrű fehérje (albumin) magassága a tojás frissességének egyik legjellemzőbb indikátora (Silversides & Budgell, 2004).

A tojássárgája nagyrészt vízből (50.1%-ban) és lipidekből (30.1%-ban) áll, ezek mellett tartalmaz fehérjét (17%-ban), szénhidrátokat és ásványi anyagokat is, melyek elengedhetetlenek az embrionális fejlődés során (Patil et. al., 2022). Fehérjéi elsősorban a lipovitellin és a lipovitillin, melyek a tojás emulzifikációs tulajdonságait biztosítják.

Napjainkban az étkezési tojássárgája minőségének egyik legjellemzőbb paramétere maga a zsírsavösszetétel, melyben mind telített (SFA)-, mind pedig egyszeresen telítetlen (MUFA)-, és többszörösen telítetlen (PUFA) zsírsavak megtalálhatóak, az adott tojás humán étrendi értékét

pedig ezek aránya határozza meg (Chen & Liu, 2020). Bondoc et. al., (2022) kutatása alapján az étkezési tojásban legnagyobb arányban megtalálható zsírsavak a következők voltak: olajsav (C18:1 n-9) (30.6–43.9%), palmitinsav (C16:0) (22.2–54.4%), linolénsav (C18:2 n-6) (0.4–16.6%), valamint sztearinsav (C18:0) (4.0–12.1%). Ezen paramétereket ugyanakkor nagyban befolyásolja a genetika, illetve maga az etetett takarmány, melyet később részletezek.

## 2. A tojásminőségi paraméterek takarmányozás útján történő befolyásolása

A következő részben néhány példán keresztül igyekszem szemléltetni a tojások minőségi paramétereinek befolyásolásának lehetséges okait, céljait, valamint lehetőségeit, illetve az ezzel kapcsolatos eddigi eredményeket.

Bizonyított tény, hogy az árutermelő állatfajok estén egyes minőségi paraméterek módosíthatók/javíthatók takarmányozással. Az elmúlt évtizedek kutatásai jelentős változásokat jelentettek a baromfifajok takarmányozása tekintetében. A takarmányösszetételt több tényező befolyásolta, gondoljunk akár a termelési cél, vagy az időjárási tényezők változására, melyet az ökonómiai viszonyok árnyalhatnak. Ezért a szükségleti értékek minél alacsonyabb költségen történő kielégítése -a profit maximalizálása érdekében- mellett fontos vizsgálandó tényező az egyes komponensek egyéb termelési, illetve élettani paraméterekre gyakorolt hatását vizsgálunk. Például a takarmányba kevert emészthető fehérje mennyiségének növelésével általában növelhető a tojások mérete, ugyanakkor nem ismert a lehetséges legnagyobb tojásméret eléréséhez szükséges fehérjemennyiség értéke (Shim et. al., 2013).

Shim et. al. 2013-ban végzett kísérletében például három, eltérő fehérjetartalmú takarmányt etettek (21.62-, 19.05-, 16.32% nyersfehérje) 18 hetes tojótyúkokkal, 74 hetes korig, 4 fázisban, melynek eredményeként a kiegyensúlyozott fehérjeellátás limitáló tényezőt jelentett a testtömeg, a takarmányfelvétel, a tojástömeg, a napi tojástermelés, illetve a takarmányértékesítés szempontjából, ugyanis a fehérje növelése lineárisan csökkentette a tojások tömegét illetve a takarmányfelvételt, bár utóbbi a teremhőmérséklet csökkentésével számottevően nőtt az egyéb tojásminőségi paramétereket ugyanakkor nem befolyásolta.

Egy másik kísérlet során, melyet Parenteau et. al., végeztek 2021-ben, Shaver white tojótyúkokokat etettek alacsony nyersfehérje tartalmú kukorica szója alapú takarmányt, szintetikus izoleucin (Ile) különböző Ile:Lys arányú hozzáadásával, két fázisban. Az kísérlet során a nyersfehérjetartalom csökkentése negatívan hatott napi tojástermelésre, melyet az izoleucin kiegészítéssel állítottak helyre, melyből az izoleucin limitáló szerepére következtettek

az alacsony nyersfehérjetartalmú tápok esetén, az átlagos tojástömeg pedig egyedül a 100%-os Ile keverék etetésekor csökkent, ugyanakkor a tojások uniformitását jelentősen befolyásolta az Ile:Lys arány. A 90%-os izoleucin tartalmú takarmány esetén mérték a legmagasabb nagy méretű tojás számot, tehát izoleucin bekeveréssel módosítható a tojástömeg, a napi tojástermelés rovására. A kísérlet eredményeképp megállapították, hogy két százalékkal csökkenthető a tojótyúk takarmányában a nyersfehérjetartalom, megfelelő szintetikus aminosav-kiegészítés mellett (metionin, cisztin, lizin, treonin, triptofán, izoleucin), a legoptimálisabb eredményt pedig 82-88% ileálisan emészthető (SID) Ile:Lys aránynál érték el (Parenteau et. al., 2021). Ez alapján limitáló tényezőként tekinthetünk is az izoleucin, illetve lizin arányára.

Kutatások bizonyítják, hogy bizonyos növényi és állati eredetű komponensek alkalmazásával hatás gyakorolható az étkezési tojás zsírtartalmának, zsírsavösszetételének, illetve egyéb, ezekhez köthető, a humán táplálkozás szempontjából releváns paramétere. (Dajnowska et. al., 2023; Vlaicu et. al., 2021; Filardi et. al., 2005; Baucells et. al., 2000; Güclü et. al., 2008) Azonban a különböző kutatási eredmények igen nagy szórást mutatnak, hiszen ismert, hogy a különböző alapanyagok eltérhetnek zsírsavprofiljukat, ezen belül az egyes zsírsavak arányát, a fizikai tulajdonságaikat illetően, amelyet például a növényi komponensek tekintetében befolyásolhat többek között a térségre jellemző éghajlat, a termőtalaj, az adott növény vegetatív stádiuma és maga a genotípus. (Bossio et. al., 1998; Chernova et. al., 2021; Zhivet'ev et. al., 2010, Güclü et. al., 2008)

Sutama & Lindawati 2008-ban végzett kísérletükben a fokhagymának az étkezési tojás koleszterinszintjére gyakorolt hatását vizsgálták, 38 hetes Hysex Brown tojókon. Az állatokat négy csoportra osztották, csoportonként 0-, 2-, 4-, illetve 6% fokhagyma tartalmú keverékekkel etettek öt ismétlésben, ismétlésenként négy darab állatot. A keverékek 2.900,01 ME kcal/kg-nyi energiát, illetve 16.5% fehérjét tartalmaztak, melyet a kísérlet ideje alatt az ivóvízzel együtt ad libitum kaptak a madarak. A kísérlet eredményeként a fokhagyma 4%-ban történő hozzáadása már szignifikánsan ( $P < 0.05$ ) csökkentette a tojások koleszterinszintjét 14.23%-l anélkül, hogy a termelési mutatókat befolyásolta volna.

Güclü et. al. 2008-ban végzett kísérletük során 192db, 12 hetes japán fürjet nyolc csoportra osztották, csoportonként 12 ismétléssel. A kísérlet ideje alatt, -10 héten keresztül- 4%-nyi, különböző komponensekből származó olajokat tartalmazó keverékeket etettek a madarakkal. A kísérlet eredményeként az olíva olaj pozitívan hatott a tojások tömegére, illetve a

héjszilárdságra, a hal-, valamint a szója olaj megnövelte a sárgája omega-3 zsírsavtartalmát, illetve utóbbi pozitívan befolyásolta a szérum lipid koncentrációt.

A fogyasztó számára továbbá fontos paraméter a tojássárgájának színe, színének intenzitása is. Ennek befolyásolására sokféle lehetőség kínálkozik, például a különböző színanyagokat tartalmazó növények, zöldségek, illetve egyéb komponensek használata, ám ezek nem csak pozitívan, hanem negatívan is befolyásolhatják a tojásminőség ezen paraméterét. Mérésének legelterjedtebb eszköze az ún. „*Roche Yolk Colour Fan*” (RYCF). Sünder et. al., (2022) spenót és bársonyvirág alkalmazásával érték el kedvező eredményeket eredményeket (8.0-9.3 RYCF). Payne (1921) feljegyzései alapján a pásztortáska etetése pedig olíva-szerű színárnyalatot eredményezett, tehát bizonyított, hogy nem csak a tojássárgájának színintenzitása növelhető, illetve gyengíthető bizonyos komponensek szerepeltetésével, hanem maga a sárgája színe is változtatható takarmányozás útján.

### 3. Rovarfehérje, mint alternatív takarmány

Jelen részben a rovarokat, mint a haszonállatok takarmányozásának lehetséges alternatívája, igyekszem bemutatni. Szendrő et. al., (2018) szerint az alternatív takarmánykomponensek feltárásakor a legfontosabb elsősorban megvizsgálni azt, hogy az adott kémiai összetétele (pl. aminosav-, zsírsavösszetétel, fehérje-, illetve zsírtartalom) mennyire képes fedezni az adott állatfaj igényeit, illetve mekkora mértékben fedi le a részlegesen/teljesen helyettesítendő komponensét, jelen esetben a szója, illetve az állati eredetű fehérjeforrások, elsősorban a hallisztét. Mindkettő komponens ugyanis jelentős fehérjetartalommal (extrahált szójadara: 45-56%, halliszt: 61-77 %), illetve zsírtartalommal (11-17 %, illetve 3%) rendelkezik, erre a rovarliszt pedig alternatívát jelenthet, elég csak figyelembe venni a szójával többé-kevésbé egyező, a hallisztét megközelítő fehérjetartalmát (35-, de akár 76% is lehet rovarfajtól, illetve fejlődési stádiumtól függően), vagy zsírtartalmát (4%-l akár 50%-g is terjedhet). Ugyanakkor aminosav-, illetve zsírsavösszetételét, valamint a kitin emészthetőségének korlátozó tényezőit figyelembe véve elsősorban monogasztrikusok takarmányozásában célszerű alkalmazni (Mézes, 2018).

Általánosságban elmondható, hogy a rovarok hárompár ízeltlábbal és exoskeletonnal (külső váz) rendelkező fajok, mely a legtöbb fajnál lemezekből felépülő kitin-páncélt alkot, a latin *insecta*, avagy bevágottak elnevezés alapján pedig három testtájra tagolhatók, név szerint fej, tor és potroh. Fej részén a szájszerv található, a tor részén elsősorban a mozgáshoz kapcsolódó tagok, a hárompár ízeltláb, illetve a kétpár szárny található. A potroh tartalmazza a rovarok

zsigeri szerveit, a legnagyobb felületen is ezt a részt védi a kitinpáncél (Triplehorn & Norman, 2005).

Annak meghatározásához, hogy a rovarfehérje alkalmas-e, és ha igen, akkor teljesen, vagy csak részlegesen válthatóak ki vele a vitatott fehérjeforrások, nem árt megvizsgálnunk az adott komponensek táplálóanyag összetételét is, ezt a 3. táblázat tartalmazza.

3. táblázat: Különböző rovarkomponensek főbb táplálóanyagtartalmainak összehasonlítása az extrahált szójadara-, valamint hallisztével

(Forrás: Saját szerk., G.P.A Gutierrez et. al., (2004); St. Hilaire et. al., (2007); E. Chala & V. Verkhoturov (2023) által szerk. táblázatból)

Táplálóanyagtartalom, %	Házilégylárva	Selyemhernyó báb	Fekete katonalégylárva	Halliszt	Extrah. Szójadara
Nyersfehérje	50.4-62.1	60,70-81-7	42,1 ± 1	70,6	51,8
Lipid	18,9	25,7	26 ± 8	9,9	2
Ca	0,47	0,38	5,6 ± 17,1	4,34	0,39
P	1,67	0,6	9 ± 4	2,79	0,69

Ahogy a táblázat is mutatja, a különböző rovarkomponensek többé kevésbé helyettesíthetik a szóját, mint fő fehérje forrást, ugyanakkor a már említett EU-s szabályok miatt, az engedélyezett rovarfajok fehérjetartalom szempontjából a halliszté alatt vannak (70.6 %).

Zsírtartalmuk bőven meghaladja a szójadaráét és a hallisztét, viszont kalcium tartalmuk jóval elmarad a szója-, illetve hallisztétől. Ami talán még fajsúlyosabb kérdés ebből a szempontból, hogy az rovarkomponens vajon képes-e aminosav-, illetve zsírsavösszetétele révén helyettesíteni a már említett fehérje összetevőket, hiszen a baromfi takarmányozásban kulcsfontosságúak az esszenciális aminosavak (EAA-k) ahhoz, hogy minél rövidebb idő alatt érjük el a kívánt vágótömeget, illetve minél nagyobb tojásmennyiséget tudjunk egy időszak alatt előállítani. A szója és halliszt együttes használata képes lefedni ezt az aminosav összetételi igényt (van Huis, 2015). Néhány rovarfaj esszenciális aminosavtartalmát a 4. táblázat tartalmazza.

4. táblázat.: Néhány rovarfaj esszenciális aminosavtartalma a szójáéhoz képest

(Forrás: Saját szerk., Mézes M. (2018) által készített táblázat)

Aminosav	Fekete katonalégylárva	Liszt kukac	Házitücsök	Házilégylárva	Szójadara
Lizin	1.93	3.89	3.48	6.04	2.62
Metionin	0.49	0.81	0.93	2.28	0.52
Treonin	1.37	2.64	3.05	2.03	1.66
Triptofán	0.45	0.76	0.38	0.41	0.65

Ahogy a táblázat is mutatja, az aminosavtartalom szempontjából a fekete katonalégy esetén megközelíti, a többi három rovarfaj esetén pedig meg is haladja a szójadarához képesti esszenciális aminosav összetételt, viszont fontos figyelembe venni a komponensek ileális aminosav emészthetőségét is, például a fekete katonalégy lárvájának esetében ez csupán 68 %, ellenben a kísérletben is vizsgált lisztkukac lárvával, mely aminosavtartalmának ileális emészthetősége 86 % (De Marco et. al., 2015), ugyanakkor tojótűkók esetében ajánlott metionin kiegészítést biztosítani, mivel az állat ez irányú szükségletét nem fedezi (Mézes, 2018) akár már 10 %-os bekeverési arány mellett is képes az extrahált szójadara helyettesítésére (De Marco et. al., 2015).

#### 4. Rovarfehérje előállítás

Az utóbbi időkben, főként napjainkban egyre inkább emlegetett téma a rovarok takarmányalapanyagként történő felhasználása, ehhez kapcsolódóan pedig lényeges ezen takarmánykomponens előállításának körülményeiről, illetve lehetőségeiről is beszélni.

A folyamat maga az ehető rovarok előállításával, szaporításával kezdődik, angol kifejezéssel *insect farming*. Ez egy teljes mértékben szabályozott körülmények között végzett termelési folyamat, mely során a fenntarthatóság az egyik legfőbb szempont, melyet mind a szerves hulladéknak a rovarok nevelése során történő úgymond tápként történő felhasználása, mind pedig a takarmánykomponensként hasznosítható végtermék, illetve a melléktermékként keletkező, növénytermesztésben szintén hasznosítható rovartrágya, az ún. *frass* biztosít. Az előállításban többnyire három rovarfaj terjedt el Európa szerte, ezek a fekete katonalégy, a lisztkukac, valamint a tücsök. Az előállítási folyamat automatizált, a rovarokat, ezres nagyságrendekben, ládákból tárolják, és akár néhány nap leforgásával magas táplálóanyagértékű takarmány nyerhető belőlük. (internet5, internet6)

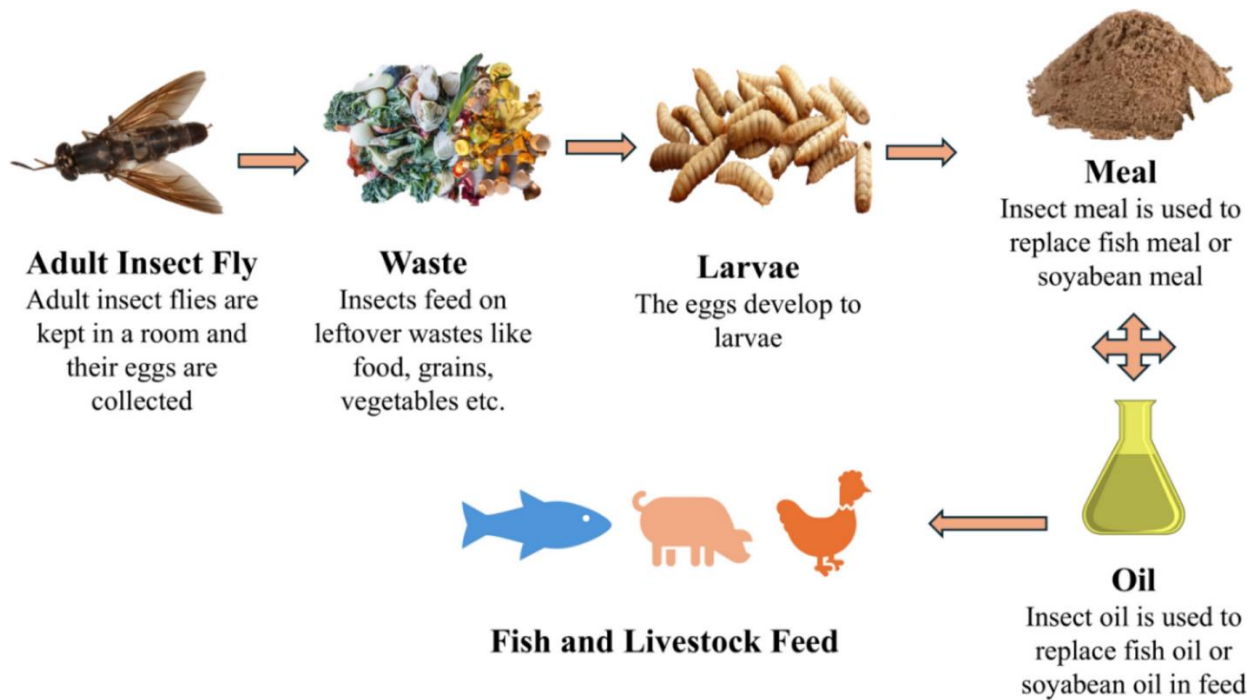
Mézes 2018-ban megjelent cikke szerint a rovarok takarmányozásnál érdemes figyelembe venni, hogy a felhasznált alapanyagok függvényében a rovar alapú takarmány táplálóanyagtartalma szignifikánsan befolyásolható. A szerves trágya, bár olcsó alapanyag lehet, ugyanakkor az esetleges benne található patogének jelenlétének okán használatát jogszabály tiltja, ennek kiküszöbölésére pedig az egyes hőkezelési eljárások sem javallottak, hiszen a rovarok komponensek viszonylag magas zsírtartalma miatt könnyen avasodnak (Mézes, 2018). A következő táblázatban (5. táblázat) a különböző takarmányoknak a rovarok fehérjetartalmára gyakorolt hatását szemléltetem.

5. Táblázat: Különböző takarmányokon nevelt fekete katonalégy lárva nyersfehérje tartalma (Forrás: Saját szerk., Mézes M. (2018) táblázatából)

Takarmány	Nyersfehérje tartalom (%)	Forrás
Baromfitakarmány	37.86	Diener et. al. (2009)
Gyümölcs hulladék	37.80	Mutafela (2015)
Zöldség hulladék	39.90	Spranghers et. al. (2017)
Baromfi trágya	37.90	A Gutiérrez et. al. (2004)

A táblázat alapján jól kivehető, hogy a különböző szubsztrátumok akár szignifikánsan is képesek befolyásolni a kinyerhető rovarfehérje mennyiségét is, elég csak példának okáért összehasonlítani a gyümölcshulladéknak (37.8%), illetve a zöldség hulladéknak (39.9%) etetésével nyert nyersfehérje mennyiségét, ugyanakkor fontos ügyelni arra, hogy az etetett szubsztrát fehérje, illetve zsírtartalma ne legyen se túl magas, sem pedig túl alacsony, (Rieckeken et., al., 2022) ezt pedig egy Van Broekhoven et. al. által 2015-ben, liszt kukacokon végzett kísérlet is alátámasztja, melyben az alacsonyabb fehérje tartalmú szubsztrát etetése visszavetette a fejlődésüket, míg a magasabb fehérjetartalom növelte a húgysav szekréciót, egy Alves et. al. által, 2016-ban végzett kísérletben pedig a túl magas zsírtartalmú szubsztrát állománypusztulást eredményezett a kifejlett sárga liszt kukacok esetén. Az előbb említett kutatások tökéletesen alátámasztják azt a tényt, hogy a rovarok felnevelésekor nem csak az lényeges, hogy mivel etetjük, hanem minden esetben fontos az adott szubsztráton belüli kémiai komponensek arányának, mennyiségének figyelembevétele is kiemelt fontossággal bír.

Egy Huang et. al. (2024) által készített tanulmány a szubsztrátnak a kinyert rovarolaj zsírsavösszetételére gyakorolt hatását ismertette, tizenkettő ehető rovarfaj esetén, példának okáért a lenmag  $\alpha$ -linolénsav tartalomnövelő, a mikroalgákból származó hulladékok dokozahexénsav, vagy akár a magas szénhidrát tartalmú szubsztrátoknak C12:0 zsírsavmennyiségre gyakorolt hatását (Georgescu et. al., 2022; El-Dakar et. al., 2020; Danieli et. al., 2019). A következő ábrán (4. ábra) a rovarfehérje előállításának egyszerűsített folyamata látható.



4. ábra: Rovarfehérje előállítás

Forrás: Yadav et. al., 2025

A kifejlett rovarokat, valamint sok üzemben már a takarmányelőállításra alkalmas lárvákat előkezelésnek vetik alá, ez mosásból, illetve szárításból áll, a szennyeződések bejutásának elkerülése érdekében történik. Ezután zsírtalan alá az alapanyagot, melyet először szárítanak, majd présgéppel kinyerik a bennmaradt olajmennyiséget, mely rovarolajként akár a takarmányba visszajuttatva, akár más módokon értékesíthető, az így visszamaradt rovarpogácsa finomra őrlésével pedig a rovarfehérje előállítása történik. (internet5)

## 5. Jogszabályi háttér

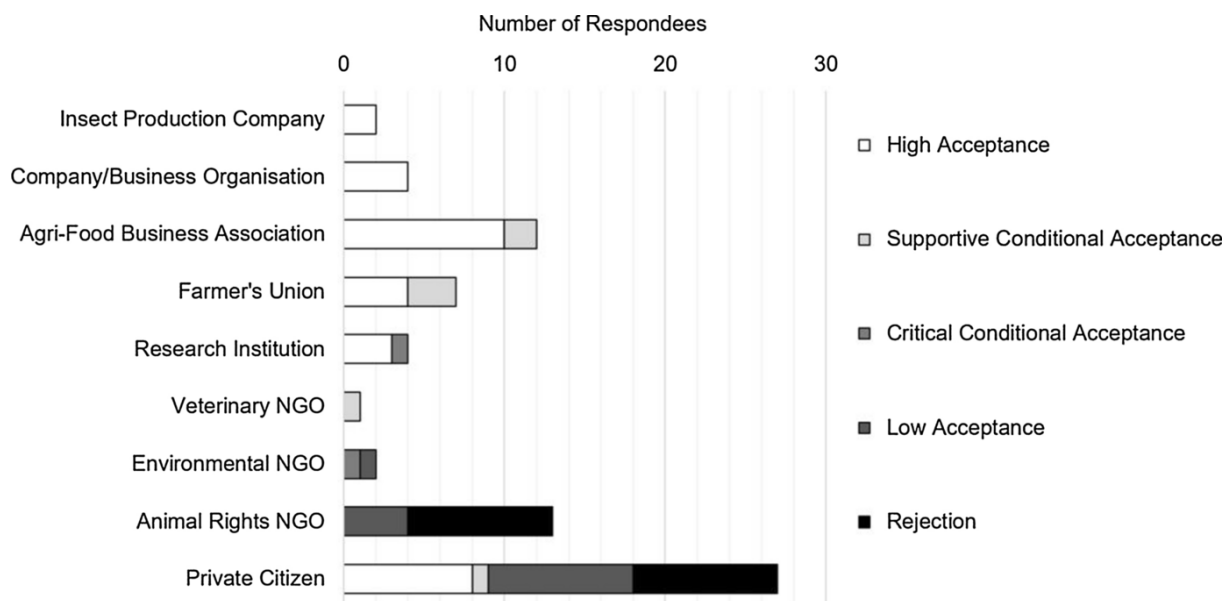
Az Európai Uniós szabályok értelmében a rovaralapú takarmányok kereskedelmi forgalomba hozatala, illetve felhasználása jelenleg csak a vízi állatok (halfajok), a prémes állatok, a társállatok (kutya, házimacska) valamint egyes monogasztrikus fajok esetén (sertés, baromfi) engedélyezett, ugyanakkor élelmiszer előállítás céljából nevelt állatok esetén kizárólag csak a feldolgozott formában (pl.: kinyert fehérje, fehérje hidrolizátum) van lehetőség (internet7)

Az EU-n belül, részletes toxikus vizsgálatok alapján az EFSA (2015) által, a már előbb említett fajok esetén takarmányozási célra alkalmasnak ítélt/engedélyezett rovarfajok listája: fekete katonalégy (*Hermetia illucens*, HI), házi légy (*Musca domestica*, MD), közönséges lisztkukac (*Alphitobius diaperinus*, AD), közönséges lisztbogár (*Tenebrio molitor*, TM) házi tücsök (*Acheta domesticus*, ADM), csíkos tücsök (*Grylloides sigillatus* (GS), valamint a földi

tücsök (*Gryllus assimilis*, GA), illetve ezek különböző fejlődési stádiumai. (Szendrő K. et. al., 2018) Továbbá uniós szabályok vonatkoznak ezen rovarfajok tartására, illetve takarmányozására is, (internet8) utóbbin belül a felhasználható állati eredetű takarmányok köre is szabályozott. Ezek: a halliszt, nem kérődző állatokból származó porított hemoglobin, vérszérum, hidrolizált fehérje, illetve zselatin és kollagén, a tojás és belőle származó termékek, a tej, tejalapú készítmények, illetve feldolgozásából származó melléktermékek, a méz, a kolosztrum, valamint állati zsír (internet9).

## 6. Rovarfehérjék felhasználásának fogyasztói megítélése

Napjainkban is elég megosztó téma a rovarok, mint takarmánykomponensek felhasználása, ennek pedig számos vélt, illetve valós oka van, közvéleménykutatások is készültek világszerte jelen témában. Egy 2025-ben megjelent, Bunker & Zscheischler által 2023-ban végzet közvéleménykutatás, illetve annak eredményéből készített tanulmányuk alapján, melyben a rovaroknak, a monogasztrikus állatfajok takarmányaként történő felhasználásának elfogadottságát vizsgálták a különböző társadalmi csoportok esetén, az EU-n belül. Az eredmények vegyes eloszlásúak voltak, a megkérdezettek körülbelül fele támogatta, ezek nagyrésze pedig az egyes kutatóintézetekből, gazdasági vállalatokból, illetve termelőkől tevődnek össze, a különböző civilszervezetek, illetve a fogyasztók nagyrésze nem támogatta, vagy csak kritikus feltételek megtartása mellett mutatott hajlandóságot. Ennek okai többnyire a fenntarthatóságával, illetve az állatjóléti kockázatokkal, mint például a különböző patogének, melyek a rovarok, mint potenciális vektorok által való terjedésével kapcsolatosak, ennek eredményét az 5. ábra részletezi.



5. ábra: Rovarfehérje takarmányozási célra történő felhasználásának általános megítélése (Forrás: Bunker & Zscheischler 2023)

Egy másik közvéleménykutatás eredményei, melyet Szendrő et. al. végeztek 2020-ban Magyarországon a következők voltak. A rovarkomponenst tartalmazó takarmánnyal etetett-, illetve szabad tartásban tartott állatok között elfogadottságbéli különbséget vizsgálták, 1-7-ig terjedő skálán kellett értékelniük. Az eredmény a résztvevők kora, illetve iskolázottsága alapján mutatott szignifikáns eltérést, ugyanakkor a szabad tartásban tartott állatokból előállított végtermékek fogyasztására való hajlandóság magasabb volt (5,11) a rovarkomponenssel etetett állatokéhoz képest (3,96). A legmagasabb hajlandóságot a 30-as korosztályba tartozó, magasabb végzettséggel rendelkező férfiak körében mérték. Az alacsony elfogadottság okaként többnyire az egészségügyi kockázatokat, illetve a résztvevőknek a rovarokkal kapcsolatos, visszas érzését jelölték meg (Szendrő et. al., 2020).

## 7. A rovarkomponensek energiatartalma

A megfelelő fehérjeemésztéshez - ahogy a többi állatfajnál, úgy a baromfi fajoknál is - elengedhetetlen a megfelelő energiaellátás, amelynek egyik legfőbb forrásai a zsírok. Ugyanakkor minőségüket döntően a zsírsavösszetételük határozza meg, melyek egyre nagyobb jelentőségűek az omega 3-, illetve omega 6 zsírsavak. A növényi olajok utóbbit tartalmazzák nagyobb mennyiségben, ezáltal a baromfi takarmányokban jellemző a magas omega 6: omega 3 arány beviteli arány, (Salem Jr. et. al., 1996) melyet számos publikáció károsnak ítélt, ezáltal kijelenthető, hogy a zsírsavak megfelelő arányának fenttartásának nagyobb jelentősége lehet, mint mennyiségüknek (Richardson et. al., 2022; Alagawany, 2019). Például a magas omega 6 zsírsav arány gyulladáskeltő hatású lehet, míg az alacsonyabb akár csökkentheti a lipidekhez

köthető táplálkozási betegségek előfordulásának valószínűségét. (Salem Jr. et. al., 1996) Továbbá, az omega ( $\omega$ ) – 3 zsírsavak pozitív hatást gyakorolnak a sejtmembránok biokémiai tulajdonságaira, a sejt-transzformációs folyamatokra, illetve az ingerreakciókra (Gutiérrez et. al., 2004). További kutatások bizonyítják az emésztőkészülék morfológiájára, illetve a táplálóanyagemésztésre gyakorolt hatásukat, magas stresszhatásnak kitett tojótyúk esetén (Berenjian et. al., 2021). A következő táblázatban (6. táblázat) ismertetem a vonatkozó zsírsavösszetételeket.

6. táblázat: Néhány rovarkomponens zsírsavösszetétele %-os arányban  
(Forrás: Saját szerkesztés Harinder et. al., 2014; Szendrő et. al., 2018; táblázatából)

Zsírsav	Fekete katonalégy-lárva	Liszt kukac	Házilégy		Házi tücsök
			Lárva	Báb	
Telített zsírsavak					
Dodekánsav C12:0	21-49	0.1-1.0		0.2-0.6	
Tetradekánsav C14:0	2.6-6.9	2.3-6.4	4.1-6.8	2.6-3.2	0.6-0.7
Hexadekánsav C16:0	11-16	16-29	27-38	26-35	22-25
Oxadekánsav C18:0	1.3-5.7	2.3-3.1	2.3-4.4	2.2-4.8	9.3-10
Egyszeresen telítetlen zsírsavak					
Palmitoleinsav C16:1	3.5	2.8-6.1	6.1-26	5.6-21	1.1-1.4
Olajsav C18:1 $\omega$ -9	12-32	27-43	22-28	18-19	23-25
Többszörösen telítetlen zsírsavak					
Alfa-linolénsav C18:3 $\omega$ -3	0.2-3.0	1.1-1.4	2	2.1	1.1-1.4
Eikozapentaénsav C20:5 $\omega$ -3	0.0-1.7				
Dokozahexaénsav C22:6 $\omega$ -3	0.0-0.6				
Linolsav C18:2 $\omega$ -6	3.6-4.5	23-31	16-26	15-18	36-40

A táblázat alapján kijelenthető, hogy a különféle rovar komponensek nagyon változatos zsírsavösszetételt mutatnak, tartalmaznak telített, illetve egy-, és többszörösen telített zsírsavakat is. Ugyanakkor az omega 6: omega 3 zsírsav arány a fekete katonalégy-lárva kivételével az összes többi rovarkomponens esetén előnytelenül magas, főképp a linolsav tartalmuk, illetve kiemelhető a magas olajsav, valamint hexadekánsav tartalmuk. Ezek alapján kijelenthető, hogy a rovar-takarmányok bár zsírban gazdag komponensnek minősülnek, ugyanakkor zsírsavösszetételük, illetve a hőkezelés okozta lehetséges veszteségek miatt kiegészítésük előnyösebb ebből a szempontból, főleg omega 3 zsírsavakat tartalmazó komponensekkel (pl. halliszt).

## 8. A rovarfehérje, mint baromfitakarmány

Számos tanulmány megjelent a rovarfehérjéknek, -mint alternatív fehérjeforrás- a baromfitakarmányozásban történő használatával kapcsolatban. A különböző rovar alapú takarmányok fehérjetartalmát összehasonlítva, az arány 41 és 68 % között változik. A legalacsonyabb értéket a fekete katonalégy-, a legmagasabb értéket pedig a kisebb lisztféreg esetén mérték. Nagyobb eltérés tapasztalható a tápok esetén az emészthető aminosav tartalmuk között is. A látszólagos ileális aminosav-emészthetőség a közönséges lisztkukac-, (*Tenebrio molitor*, TM) és a fekete katonalégy (*Hermetia Illucens*, HI) lárva esetén 86-, illetve 68 % volt. A rovar alapú tápok zsírtartalma szintén magas, tehát mint energiaforrás is jelentős. A nyerszsír tartalma a már előbb említett TM-, valamint HM tápoknak 28.0-, és 34.3 %, az AMEn tartalmuk 24.4-, valamint 23.8 MJ/kg volt. Bizonyos esetekben a takarmányokat „zsírtalaníthatják”, ilyen formában bár kevesebb energiát, ugyanakkor magasabb fehérje, illetve aminosav tartalmú takarmány nyerhető. (Bovera et. al., 2018)

A tanulmányok nagyrésze ugyanakkor a brojlercsirkére vonatkozóan jelent meg, többnyire TM-, illetve HI tápok alkalmazásával. A metabolikus energia-, és az aminosav-emészthetőséggel kapcsolatos kutatások mellett a termelési paraméterekre-, a bél bakterióta-összetételére-, valamint a húsminőségekre vonatkozóan is történtek vizsgálatok (Waithaka et. al., 2022; Hartinger et. al., 2022; Salahuddin et. al., 2024) Ugyanakkor kevesebb eredmény áll rendelkezésre a tojótyúkokkal kapcsolatban, ezek jórésze pedig ellentmondásos. Néhány tanulmány ugyan bizonyítja a rovar-alapú takarmányok hatását az étkezési tojások tömegére vonatkozóan, (Al-Quazzaz et. al., 2016; Bovera et. al., 2018) a termelési paraméterekre gyakorolt hatásokra vonatkozó vizsgálatok sok esetben sajnos ellentmondásosak.

Tekintve, hogy a rovarfehérje elsősorban monogasztrikusok takarmányozásában alkalmazható (Mézes, 2018), ezért a kísérletek nagyobb részét is sertés, illetve a baromfifajok esetén végezték. Magáról az emészthetőségről kevés adat született, ezek is többnyire az ürülékből mért adatok. Továbbá fontos kiemelni az emészthetőséggel kapcsolatban, hogy a szabadtartású baromfik alapvető táplálékának tekinthetőek az innen-onnan felcsipegetett rovarok, így alapvető, természetes tápláléknak tekinthetőek. (

Például egy Culler et. al., által 2016-ban végzett kísérlet keretein belül véletlenszerűen kiválasztottak 15 db 28 napos broiler fürjet melyeket, ún. „emészthetőségi ketrecekbe” (digestibility cage) helyeztek el, egyénileg mérlegelve, három takarmányozási próbára felosztva testsúly, illetve szórás alapján. A kísérlet során a fekete katonalégy lárva (HI)

emészthetőségét vizsgálták. A csoportokat C (kontroll), H1 (10% HI), illetve H2 (15% HI,) névvel jelölték. Egy hetes adaptációs időszakot követően újramérték, majd egy egynapos takarmánymegvonást követően három napig a csoportjuknak megfelelő kísérleti keveréket etették velük, melyet újabb egynapos takarmánymegvonás követett. Az exkrétumokat naponta gyűjtötték minden ketrecből, letisztítva, fagyasztva tárolták, +4°C-on. A kísérletet 10 napig végezték, a takarmányt és a vizet ad libitum módon adagolták. A kísérlet eredményeként a szárazanyag-, a nyersfehérje-, a keményítő-, illetve az energia látható emészthetősége azonosnak tekinthető a kezeléseket tekintve, ugyanakkor a nyerszsír emésztés magasabb volt a kontroll, illetve a H2 kezelés esetén.

Egy másik kísérletben Sedgh-Goya et. al., 2022-ben a közönséges lisztkukac (*Tenebrio Molitor*, TM) etetésének beélmorfológiára gyakorolt hatását vizsgálták, brojlercsirkékkel. A kísérlet során 181 db, naposcsibét három kezelésre osztottak, kezelésként öt ismétléssel (12 csibe csoportonként elkerítve). A kontrol keverék mellett, egy 2.5%-, illetve 5% TM tartalmú keveréket etettek az indító-(1-10nap), illetve nevelő (11-25nap) fázisban, a befejező fázisban viszont az általános befejező keveréket etették mindegyik csoporttal. A kísérlet eredményeként nem fedeztek fel szignifikáns különbséget az emésztőkészülék morfológiáját tekintve.

A tojótyúkok esetén azonban nem áll rendelkezésre ekkora mennyiségű szakirodalom. Al-Quazzaz et. al., vizsgálatai alapján -melyet tojótyúkokkal végeztek- a HI-lárva különböző arányú bekeverése nem befolyásolta a takarmányfelvételt, a súlygyarapodást, a Haugh-egységet, illetve a keltethetőséget, viszont a napi tojástermelést szignifikánsan növelte, illetve befolyásolta a takarmányértékesítést (FCR-Feed Conversion Ratio), a tojáshéjvastagságot, a héj tömegét, a tojássárgája színét, a termékenységet, illetve a tojásmennyiséget. Ezek mellett javította a megjelenését a textúrát, az ízt, illetve az általános elfogadottságot az 50g/kg<sup>-1</sup> mennyiséggel etetett tojók tojásai esetén.

Egy másik kísérletben, melyet Linus K. Wamai et. al., végeztek, napos kortól 60 hetes korig vizsgálták a HI-lárva hatását tojótyúkok esetén, három fázisban, öt, különböző HI-arányú ismétléssel (0-, 25-, 50-, 75%). A vizsgálat eredményei alapján a 75%-ban HI-vel etetett madarak átlagos napi testtömeggyarapodása magasabb volt, ugyanakkor az arányoktól függően, az egyes fázisokban eltérő FCR-t, illetve napi takarmányfelvételt figyeltek meg. a tojótyúkok, illetve csibék esetén ezek az értékek a nagy arányú bekeveréseknél (75-, 100%) alacsonyak voltak, ellenben a nevelő fázissal, ahol 50 %-os bekeverési arány mellett jelentkeztek ezek a problémák. A tojótyúkok esetén az első, illetve második termelési ciklusban figyeltek meg szignifikánsan magasabb tojástermelést (87.41-, illetve 83.05%) 75 % HI mellett. A tojásrakási

százalék a HI-t tartalmazó takarmányok esetén 3-10%-l nőtt. Ezek alapján hasznosítási iránytól, illetve a madarak életkorától függően az ajánlott bekeverhetőségi arány jelentősen fluktuál, számos tényező módosíthatja.

Romero et. al., 2024-es kísérletükben szintén a HI lárvák etetésének hatásait vizsgálták, ugyanakkor szabad tartásban nevelt tojótyúkokkal. A kísérlet nyolc hétig tartott, 36 hetes 126 Bovans Brown tojókkal. Három csoport került kialakításra, csoportonként hat ismétléssel, kezelésként hét madárral. A kontroll csoport 210g/kg extrahált szójadara-, az első kezelt 105g/kg szója-, és 80g/kg HI-, a második kezelt csoport pedig 160g/kg, HI tartalmú keveréket kapott, utóbbi szója nélkül. A kísérlet nem befolyásolta a madarak termelését, illetve a tojássárgájának paraméterei közül egyedül a színre, a cink koncentrációra, valamint a többszörösen telítetlen omega-3 zsírsavtartalomra gyakorolt negatív hatást, illetve a Haugh-értéket is csökkentette, megerősítve egy Lokaewmanee et. al., (2023) által végzett kísérlet eredményeit, így joggal feltételezhető, hogy a tojásminőségre a HI használata negatívan hathat.

Ahhoz, hogy jól látható képet kapjunk arról, hogy az adott komponens felhasználása lehetséges-e, és ha igen, akkor milyen mértékben, illetve milyen eredményességgel az adott állatfaj számára készített receptúrában, - jelen esetben a rovarfehérje – akkor érdemes megvizsgálni, hogy az állatfaj azt milyen hatékonysággal képes emészteni, annak előnyeivel és hátrányaival egyaránt. Tekintve, hogy a rovarfehérje elsősorban monogasztrikusok takarmányozásában alkalmazható (Mézes, 2018), ezért a kísérletek nagyobb részét is sertés, illetve a baromfifajok esetén végezték. Magáról az emészthetőségről kevés adat született, ezek is többnyire az ürüleből mért adatok. Továbbá fontos kiemelni az emészthetőséggel kapcsolatban, hogy a szabad tartású baromfik alapvető táplálékának tekinthetők az innen-onnan felcsipegetett rovarok, így alapvető, természetes tápláléknak tekinthetők.

Egy Culler et. al., által 2016-ban végzett kísérlet keretein belül véletlenszerűen kiválasztottak 15 db 28 napos broiler fürjet melyeket, ún. „emészthetőségi ketrecekbe” (digestibility cage) helyeztek el, egyénileg mérlegelve, három takarmányozási próbára felosztva testsúly, illetve szórás alapján. A kísérlet során a fekete katonalégy lárvá (HI) emészthetőségét vizsgálták. A csoportokat C (kontroll), H1 (10% HI), illetve H2 (15% HI,) névvel jelölték. Egy hetes adaptációs időszakot követően újramérték, majd egy egynapos takarmánymegvonást követően három napig a csoportjuknak megfelelő kísérleti keveréket etették velük, melyet újabb egynapos takarmánymegvonás követett. Az exkrétumokat naponta gyűjtötték minden ketrecből, letisztítva, fagyasztva tárolták, +4°C-on. A kísérletet 10 napig végezték, a takarmányt és a vizet ad libitum módon adagolták. A kísérlet eredményeként a szárazanyag-, a

nyersfehérje-, a keményítő-, illetve az energia látható emészthetősége azonosnak tekinthető a kezeléseket tekintve, ugyanakkor a nyerszsír emésztés magasabb volt a kontroll, illetve a H2 kezelés esetén.

Egy másik kísérletben Sedgh-Goya et. al., 2022-ben a közönséges lisztkukac (*Tenebrio Molitor*, TM) etetésének a bélmorfológiára gyakorolt hatását vizsgálták, brojlercsirkékkel. A kísérlet során 181 db, naposcsibét három kezelésre osztottak, kezelésként öt ismétléssel (12 csibe csoportonként elkerítve). A kontroll keverék mellett, egy 2.5%-, illetve 5% TM tartalmú keveréket etettek az indító-(1-10nap), illetve nevelő (11-25nap) fázisban, a befejező fázisban viszont az általános befejező keveréket etették mindegyik csoporttal. A kísérlet eredményeként nem fedeztek fel szignifikáns különbséget az emésztőkészülék morfológiáját tekintve.

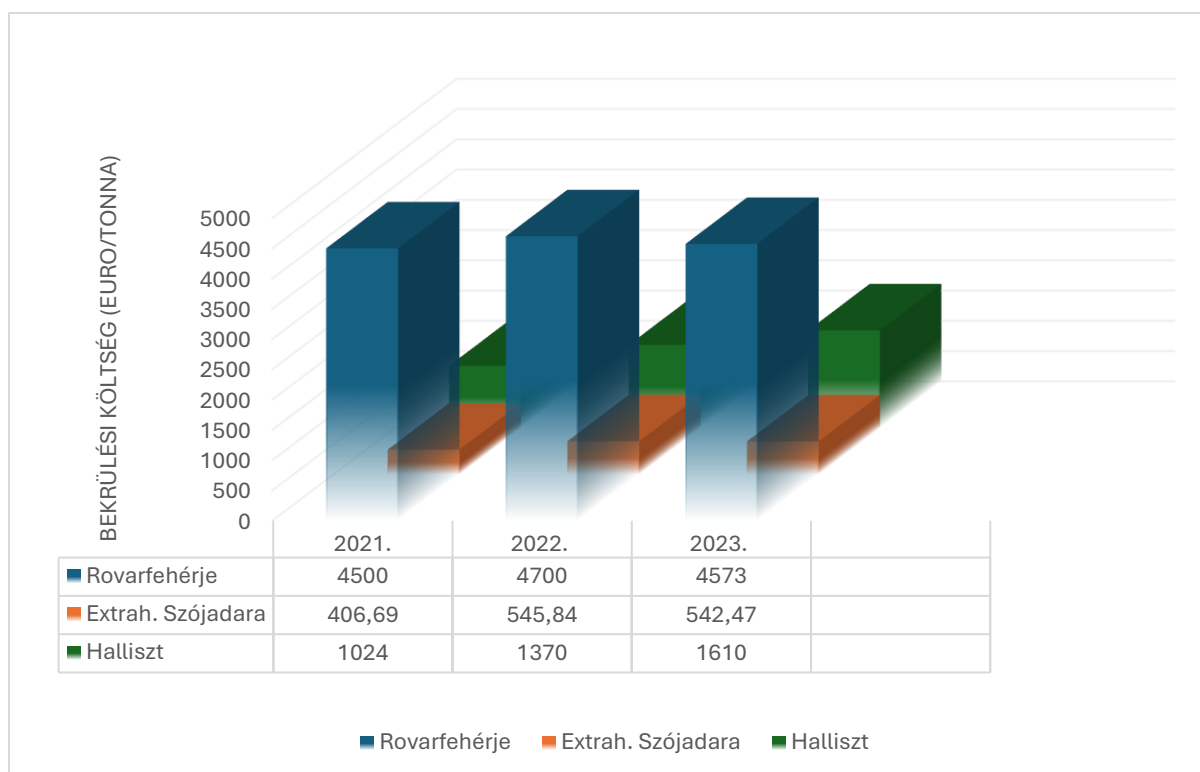
A rovarfehérje emészthetőségének értékelésekor fontos korlátozó tényező lehet továbbá a kitin, mint rostanyag. A kitin az rovarok mellett a gerinctelenek, rákok, és az ízeltlábúak külső vázának, illetve a gombák sejtfalának egyik legfontosabb alkotóeleme, emellett jelentős forrást jelenthet az oldhatatlan rostok szempontjából, ennek viszont negatív hozadéka, hogy enzim nélkül (kitináz) nem emészthető. (Bryne & Austin, 1981) Razdan & Peterson egy 2007-ben végzett kísérlet keretein belül a kitin, illetve annak deacetylált formájának, a kitozának emészthetőségét vizsgálták brojlercsirkékkel. Az állományt három csoportra osztották, a kontroll csoport kukorica, illetve kukorica keményítő alapú keveréket, míg az egyik csoport kitin, a többi pedig 90-, 82-, illetve 76% kitozán kiegészítést kapott, csoportonként eltérő viszkozitással, 30g/kg mennyiségben. A kísérlet 21 napig tartott, eredményeképp a kitin tartalmú keverékeket-, illetve a kontroll keveréket fogyasztó csoportok nagyobb testtömeget, illetve takarmányfogyasztást mutattak, ugyanakkor a takarmányértékesítésük elmaradt a kitozánt fogyasztó csoportokéhoz képest. Továbbá a kitin kiegészítéssel ellátott csoport duodenális emésztése szignifikánsan alacsonyabb volt, a kontroll-, illetve kitozán-tartalmú keverékekéhez képest. Ezek alapján kikövetkeztethető, hogy a kitin tartalom negatív tényező lehet a rovarfehérje emészthetősége szempontjából.

Ezen kísérleti eredmények megerősítik tehát, azt a fennebbi állítást, miszerint az eddigi kutatások általánosságban nem egységesek a rovarfehérjére vonatkozóan, hiszen befolyásoló tényező lehet mind a maga az alkalmazott rovarfaj, illetve ahogy már előbbi pontokban részleteztem, a rovarok nevelésekor alkalmazott takarmány és maga a kitinnek még a monogasztrikusok számára is részlegesen fennálló emészthetőségi korlátjai is, és bár napjainkban egyre több kísérlet zajlik tojótúrákokkal is, ezen rendelkezésre álló szakirodalmi

adatok mennyisége még így is lényegesen kevesebb a brojlercsirkékre vonatkozó kutatási eredményekhez viszonyítva.

## 9. Ökonómiai szempontok

Ahhoz, hogy egy alternatív takarmánykomponens alkalmazása széles körben is elterjedjen, elengedhetetlen szempont, hogy annak szerepeltetése a felhasználót (takarmánygyártó cégek, állattartó telepek, kisüzemi keverők stb.) ne terhelje meg anyagilag ne jelentsen jelentősebb plusz költséget, jelen esetben a rovarfehérje. Dobermann et. al. által, 2017-ben végzett kutatás alapján, még jelentősen nagyobb plusz költséget jelentett a rovarfehérje a halliszt-, illetve az extrahált szójadara költségéhez képest, ez a tendencia pedig az utóbbi években sem változott. Biteau et. al., 2024-ben végzett kutatása is ezt igazolja. Ökonómiai szempontból kihívást jelent a gyártók számára az előállítás költségeinek csökkentése, amelyre bár kidolgozásra kerültek bizonyos megoldások, ugyanakkor ezek hosszabb távú következménye inkább hátrányos, mint előnyös, ehhez társulnak a befektetők egyre növekvő aggályai, érdekeltségük ezzel arányosan csökken. összességében tehát megállapítható, hogy a közeljövőben nem valószínű, hogy nagyobb arányban is képes lesz helyettesíteni a rovarfehérje sem a szóját, sem pedig a hallisztet. Az alábbi diagramon (6. ábra) ezeket a költségmutatókat szemléltetem.



6. ábra: Fehérjetakarmányok árának alakulása 2021-2023 között  
(Forrás: Saját szerk., internet10; internet11; Biteau, et. al., 2024; Bryne, 2021; adatai alapján)

Ahogy a diagram is mutatja, óriási árkülönbségek vannak a már elterjedtebb fehérjekomponensek, illetve a rovarkomponens között, ez a tendencia pedig valószínűleg a közeljövőben sem fog megváltozni, (Biteau et. al., 2024) illetve az előbbieken bemutatott, a rovarfehérjének a monogasztrikus állatfajok takarmányozásában történő felhasználásának társadalmi elfogadottságáról készült közvélemény kutatások megosztó eredményeit figyelembevéve joggal feltételezhető, hogy a rovarkomponens teljes mértékben a közeljövőben nem lesz képes leváltani a széleskörben elterjedt komponenseket, még ha akadnak ennek ellentétéről készült kalkulációk, előrejelzések is.

### III. Anyag és módszer

#### 1. Kísérleti körülmények

A kísérlet a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Georgikon Campusának Élettani és Takarmányozástani tanszékének kísérleti telepén zajlott. A kísérlet 2023. november 7.-én kezdődött, és 2023. december 22.-én fejeződött be, az intézeti Etikai Bizottság (Állatjóléti Bizottság, Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Georgikon Campus) előzetes jóváhagyásával. A kísérlethez összesen 48 db, 35 hetes Tetra SL tojótyúk beszerzése történt meg egy kereskedelmi vállalattól (Fuchs Kft., Bakonygyepes, Magyarország) melyek elhelyezése egyénileg, ketrecekben történt, 1056 cm<sup>2</sup> felületen. A ketrecek szópókás itatókkal, valamint egyedi kialakítású, specifikus etetőkkal voltak ellátva, amelyek megakadályozták a takarmány kiszóródását. A tyúkok az első kettő napban az addig is használt, telepi tápot etették, a kísérleti tápokra való áttérés pedig fokozatosan, három napos adaptációs periódus alatt történt. Mind a takarmány, mind az ivóvíz ad libitum állt az állatok rendelkezésére. A napi sötét szakasz hossza nyolc óra volt. Az épületen belül 20°C teremhőmérsékletet, és 50%-os páratartalmat biztosítottunk az állatok részére. A környezeti hőmérséklet 0-, és 5 °C fok között változott a kísérlet idején. A termen belüli légmozgás értéke 130 m<sup>3</sup>/h volt. Az összes környezeti paramétert központi vezérlő egység állította be.

#### 2. Kísérleti tápok

A kontroll csoport részére biztosított táp (C) mellett, egy 10, és egy 15 % *Alphitobius diaperinus* lárva liszt (ADM10, ADM15) tartalmú tápot etettünk, 16 ismétlésben, 6 héten keresztül. A kísérletben vizsgált ADM, egy kereskedelmi forgalomban levő élelmiszeripari termék volt (AdalbaPro (forgalmazó: Ynsect NL processing b. v.Hollandia). Az ADM készítmény standardizált ileálisan emészthető (SID) aminosavtartalmát, és a zéró nitrogénretencióra korrigált látszólagos metabolizálható energiatartalmát (AMEn) egy korábbi kísérlet során határoztuk meg. A rovarliszt AMEn tartalma 10-, valamint 15 %-os bekeverési ráta mellett, 23 MJ/kg volt. Az SID lizin, metionin, threonin, valin, izoleucin és arginin tartalom pedig 34,8, 8,9, 18,1, 28,5, 23,1, valamint 31,5 g/kg volt. A kísérleti tápok azonos energia és fehérjetartalmúak voltak.

A kísérleti tápok összetételét és becsült táplálóanyag-tartalmát a 7. és 8. táblázatok tartalmazzák. Ezen jól látható, hogy a rovar komponens nagyobb részt a szójadarát

helyettesítette, emellett megnövelte a kukorica bekeverési arányát, azonban a napraforgóolaj mennyiségére nem gyakorolt hatást az alkalmazása. Annak érdekében, hogy az AMD komponenst tartalmazó keverékek és a kontroll keverék izokalóriás, illetve izonitrogén legyen, cellulóz került bekeverésre, ballasztként. A takarmányok táplálóanyagtartalma a tenyésztői ajánlás alapján, a madarak korának, valamint a termelés intenzitásának figyelembevételével került meghatározásra.

7. táblázat: A kísérleti tápok összetétele (g/kg)

	C	ADM10	ADM15
Kukorica	306	396	394
Búza	200	200	200
Extrahált szójadara	284	133	65
ADM <sup>1</sup>		100	150
Kukorica olaj	49		
Mészke gríz	23.0	30.0	33.0
Mészke grit	67.5	67.5	67.5
MCP	6.7	6.7	6.7
DL-Metionin	1.0	1.0	2.0
NaCl	3.0	3.0	3.0
Premix <sup>2</sup>	5.0	5.0	5.0
Cellulóz	55.0	58.0	74.0
Összesen	1000	1000	1000

(C) kontroll keverék, (ADM10) 10 %-ban ADM-et tartalmazó keverék, (ADM15) 15 %-ban ADM-et tartalmazó keverék, 1 Alphitobius diaperinus komponens; 2 A premixet az UBM Kft. (Pilisvörösvár, Magyarország) biztosította. Az premix a következő aktív komponensekből tevődött össze (1 kg takarmány mennyiségben): Premix összetétele (NE vagy mg/kg takarmány): A vitamin 8000 NE, D3 vitamin 3000 NE, E vitamin 30 mg, K vitamin (menadion) 3.0 mg, tiamin 2.0 mg, riboflavin 6.0 mg, pyridoxin HCL 4.0 mg, cyanocobalamin 0.040 mg, niacin 30 mg, pantoténsav 8 mg, folsav 1.0 mg, biotin 0.20 mg, kolin klorid 147 mg, betain 180 mg, Zn 80 mg, Cu 8 mg, Fe 30 mg, Mn 100 mg, I 1.5 mg, Se 0.3 mg, AxtraPhy 20,000 TPT fitáz 15 mg (300 FTU), Danisco Xylanase 40,000 TPT xilanáz 50 mg, Xanthophyll 5012 mg, Apoester 8,17 mg, Canthaxanthin 6,8 mg, Carophyll Yellow 87 mg, BHT 25.05 mg.

A maximális bekeverési arány az ADM esetén, magas energiatartalma miatt 15 % volt. Már ez a mennyiség is 0.4 MJ/kg-al növelte a takarmány ME tartalmát, a további két kezeléshez viszonyítva.

8. táblázat: A kísérleti tápok táplálóanyagtartalma (g/kg)

	C	ADM10	ADM15
AMEn (MJ/kg)	11.5	11.5	11.9
Nyers fehérje	165	165	165
Nyers rost	60	60	60
Ca	36	36	36
hasznosítható P	3.7	3.7	3.7
SID <sup>1</sup> MET	3.6	3.7	3.8
SID M+C	5.9	5.9	5.9
SID LYS	7.8	7.9	8.0
SID THR	5.2	5.1	5.1
SID VAL	6.6	7.1	7.3
SID TRY	1.9	1.6	1.5
SID ILE	6.3	6.2	6.2
SID ARG	9.9	9.0	8.6

(C) kontroll keverék, (ADM10) 10 %-ban ADM-et tartalmazó keverék, (ADM15) 15 %-ban ADM-et tartalmazó keverék, 1 SID standardizált ileálisan emészthető

### 3. Mérések, vizsgálatok

Az etetés ad libitum módon történt. A napi takarmányadag 140g volt (70g a reggeli, valamint 70g a délutáni órákban), a visszamaradt takarmány mennyiségének mérése pedig heti rendszerességgel történt. A madarak tojástermelését naponta mértük, ezekből az adatokból került meghatározásra a takarmányértékesítés (FCR). Emellett meghatároztuk a termelési mutatókat a teljes, hat hetes periódusra vonatkozóan is.

Minden héten állatonként egy tojás különböző minőségi paramétereinek vizsgálatára is sor került, specifikus digitális mérőműszer segítségével (DET6500, Nabel CO., Kyoto 601-8444 Japán). A következő paramétereket vizsgáltuk: tojástömeg, tojáshéj szilárdsága, albumin magassága (elhelyezkedése), Haugh-egység, a tojássárgájának színe, a tojássárgájának magassága (elhelyezkedése), tojássárgájának átmérője, tojássárgája index, valamint a tojáshéj vastagság.

A kísérlet végén a tojássárgájából vett mintából meghatározásra került a zsírtartalom, valamint a zsírsavösszetétel is, a madarak által az utolsó két napon tojt összes tojás (16 tojás/kezelés)

vizsgálatával. A nyerszsír-tartalom meghatározása Randal-féle extrakciós módszerrel (ISO 11085:2015 B), a zsírsav összetételé pedig gázkromatográfiával (Thermo Finnigan Trace 2000) történt az ISO 12966-4:2015 szabványnak megfelelően (oszlop típus: Omegawax 320, 30 m x 0,32 mm x 0,25 µm; Supelco). Az utolsó napon gyűjtött tojásokat 4 °C-on tároltuk, illetve az aromaanyagok vizsgálatára is sor került (aromatic profile analysis). Minden egyes kezeléssel négy darab tojást választottak ki, melyet az ADEXGO Kft. vizsgált be Budapesten. Az ún. „elektromos orr” analízist egy Alpha MOS Heracles NOE műszerrel végezték (Alpha MOS, Toulouse, Franciaország). Ez egy ultragyors sebességű gáz kromatográf készülék, amely a levegőből, automatikusan képes meghatározni a különböző szilárd, illetve folyadék halmazállapotú minták illékony összetevőit.

A nyers tojásokat homogenizálták, ebből  $2.0 \pm 0.1$  g mennyiségű mintát mértek ki 20 ml-es üvegsékbe. A tíz perces hőkezelést követően, 50 °C-n 5 ml gáz állapotú minta került begyűjtésre, majd injektálásra a mérőeszközbe. A kromatogramokat értékelésére az AlphaSoft adatkezelő szoftvert használtuk. Az alkánhossz C6-ól C16-ig terjedt. A különböző gázok a retenciós idejük alapján (Kováts-féle retenciós index) kerültek beazonosításra, az intenzitásukat pedig a csúcserőterek terjedelme alapján határozták meg. A molekulákat az AroChemBase adatbázisból azonosították. A szag-profil adatbázisokon főkomponens analízist végeztek (PCA). A PCA-módszer széleskörben elterjedt rengeteg tudományterületen, a populációgenetikától a mikroba-evolúciós vizsgálatokig alkalmazzák a nagyobb adatbázisok dimenzióinak csökkentésére. Minden tojásmintából három ismétlésben végezték el a méréseket.

Továbbá érzékszervi bírálatot is végeztünk tizenegy önként jelentkező egyetemi dolgozó közreműködésével. A tojásokat különválogattuk (külön tartókban, alkoholos filctollal megjelölve) a kezeléseknél megfelelően (kontroll, AMD10, AMD15). Főzés előtt a tojásokat jelöléssel ellátott pamuthálókba csomagoltuk. Az összes tojást egyszerre helyeztük a főzővízbe. A tíz perces főzést, majd a csapvíz-hőmérsékletre történő lehűlésüket követően a tojásokat meghámoztuk, félbevágtuk, végül külön kóddal jelölt (A-B-C) tálcákra felszolgáltuk a résztvevőknek. Az érzékszervi analízis az élelmiszer értékelés standard metodikájának megfelelően, az ISO 4121:1987 szabvány szerint került megszervezésre-, valamint lebonyolításra. A próba elkezdése előtt a résztvevőket tájékoztatták az UHSCQ (Unstructured Hedonic Scale Questionnaire) kitöltésének szabályairól, menetéről. Az érzékszervi bírálat eredményeit a 15. Táblázat tartalmazza.

#### 4. Statisztikai analízis

A takarmányfelvétel, a tojástermelést és a tojásrakási rátát, a takarmányértékesítést (FCR), valamint a tojásmínőségi-paraméterek változásainak értékelésére kétirányú ANOVA (variancia-analízis) végeztünk, a fő faktorokként a takarmányozási kezelések, valamint a kezelés idejét megadva, melyre az SPSS 29.0 for Windows (IBM Corp., Armonk, NY, USA) programot használtuk,  $p < 0.05$  szignifikancia értéken. Az elektromos orr szenzorral meghatározott illékony komponensek eredményeit fő komponens analízissel (PCA) vizsgáltuk.

## IV. Eredmények

### 1. A rovarfehérje liszt és a kísérleti tápok mért táplálóanyag-tartalma

A tesztelésre szánt termék, illetve a kísérleti keverékek táplálóanyag-tartalmi adatait a 3. Táblázat tartalmazza. A kísérlethez használt lárva komponens (ADM) gazdag volt mind nyers fehérjében, mind pedig nyers zsírban. Hasonlóság figyelhető meg a különböző kezelések táplálóanyag-tartalmait, valamint aminosav-tartalmukat illetően. Az ADM tartalmú keverékek 1.0-2.4 %-l több nyerszsírt, valamint 3.4-4.4 %-l több keményítőt tartalmaztak a kontroll csoporthoz képest. Az elsődleges limitáló aminosavak közül az izoleucin tartalma alacsonyabb volt az ADM-keverékek esetén, ugyanakkor a ADM10, illetve ADM15 0.72-, valamint 0.73 %-os izoleucin tartalma fedezte a tojóhibridek igényeit, melynek értéke a 19. és 45. hét között 0.67 %-ra tehető (Tetra Ltd., Nutritional guide). Az alábbi táblázatban olvasható a részletes táplálóanyag-összetétel (9. táblázat)

9. táblázat: Az ADM, illetve a kísérleti tápok mért táplálóanyag-tartalma

	ADM	C	ADM10	ADM15
Nyers fehérje	57.96	18.07	17.90	17.87
Nyers zsír	28.14	6.42	4.03	5.42
Nyers rost	0.95	5.99	5.85	6.15
Kitin	0.66	0.00	0.07	0.09
Nyers hamu	4.16	14.22	14.01	13.42
Ca	0.16	4.02	3.96	3.91
P	0.90	0.46	0.49	0.45
Keményítő	0.00	34.98	39.41	38.38
Cukor	1.54	3.96	3.03	2.89
CYS	0.63	0.31	0.29	0.27
MET	0.92	0.38	0.39	0.44
THR	2.48	0.71	0.70	0.68
VAL	3.28	0.88	0.88	0.90
ILE	2.58	0.80	0.73	0.72
LEU	4.13	1.35	1.47	1.41
LYS	4.02	0.99	0.98	0.96
ARG	3.41	1.14	1.11	1.06

(ADM) *Alphitobius diaperinus* komponens, (C) kontroll keverék, (ADM10) 10 %-ban ADM-et tartalmazó keverék, (ADM15) 15 %-ban ADM-et tartalmazó keverék, 1 SID standardizált ileálisan emészthető

A rovarfehérje liszt zsírsavösszetételét a 10. táblázat tartalmazza. Az alkalmazott rovarlárva komponens csak kis mennyiségű laurinsavat, tartalmaztak a fekete katonalégy lárvojához képest (Kim et. al., 2020). A zsírsavösszetételben az ADM esetén a palmitinsav, az olajsav,

valamint a linolénsav domináltak. Ez a zsírsavprofil hasonlít az állati eredetű zsírokéhoz, ugyanakkor az ADM kevesebb sztearin-, illetve olajsavat tartalmaz, ugyanakkor a linolén-, illetve  $\alpha$ -linolénsav tartalma magasabb.

10. táblázat: A rovarfehérje liszt zsírsavösszetétele (g/100 g nyers zsír)

Zsírsav	Hétköznapi név	(g/100g nyers zsír)
C12:0	laurinsav	0.87
C14:0	mirisztinsav	0.94
C16:0	palmitinsav	25.11
C18:0	sztearinsav	8.53
C18:1n9	olajsav	31.37
Cis-11 C18:1	vakcénsav	0.17
C18:2n6	linolénsav	26.75
C18:3n6	$\gamma$ -linolénsav	0.23
C18:3n3	$\alpha$ -linolénsav	1.73
C20:4n6	arachidonsav	0.64
C20:5n3	EPA <sup>1</sup>	0.05
C22:6n3	DHA <sup>2</sup>	0.02
Teljes		96.41

<sup>1</sup> eikozapentaénsav; <sup>2</sup> dokozahexaénsav

## 2. Termelési paraméterek

A tyúkok kezdeti és a kezelés végi testtömege, illetve testtömeggyarapodása nem változott a kezelés ideje alatt (11. táblázat) A termelési paraméterek alakulását a 12. táblázat mutatja be.

11. táblázat. A tyúkok élősúlya, illetve testtömeggyarapodása

	Kezdeti testtömeg (g)	Testtömeg a kezelés végén (g)	Súlygyarapodás (g/42 nap)
C	1902 ± 34.4	1958 ± 37.9	56 ± 23.2
ADM10	1913 ± 37.7	1974 ± 37.3	61 ± 24.2
ADM15	1911 ± 29.6	1982 ± 34.3	71 ± 26.3
P-értéke	0.967	0.897	0.918

A táblázat tartalmazza az átlag-, valamint a hozzájuk tartozó standard hiba értékeket; (C) kontroll keverék, (ADM10) 10 %-ban ADM-et tartalmazó keverék, (ADM15) 15 %-ban ADM-et tartalmazó keverék

A madarak tojástermelése magas volt. Az első heti adaptációs időszak után a tojásrakás intenzitása majdnem minden csoport esetén 95 % volt. A heti tojástermelés bár kis mértékben fluktuált a hetek folyamán, de a takarmányfelvétellel, a FCR, a tojástermelési %-ra, és az átlagos tojástartalomra nem volt hatással a kezelés. A kezelés egyedül a tojástartalom (p=0.000), illetve a tojástermelés (p=0.003) tekintetében eredményezett szignifikáns eltérést. A kezelés harmadik hetében a tojástartalom, illetve a tojástermelés szignifikánsan alacsonyabb mértékű volt az

ADM15 madarak esetében a kontroll csoporthoz képest. A kezelés utolsó hetén szintén szignifikáns mértékben csökkent az ADM15 madarak tojástermelése. Átlagosan a tojások tömege 2.3-4.2 %-l volt alacsonyabb ( $p=0.000$ ) az ADM10, valamint az ADM15 csoportok esetén a kontroll csoportéhoz képest

12. táblázat: A termelési eredmények alakulása

Etetett keverék	Kísérleti hét	Tojástermelés (g/hét)	Takarmány felvétel (g/hét)	FCR (g tojás/g takarmány)	Tojástermelés (%)	Tojástömeg (g)
Kísérleti hét						
	1. hét	421.7 <sup>b</sup>	879.6	2.11 <sup>a</sup>	94.4	64.0
	2. hét	441.4 <sup>ab</sup>	879.4	2.01 <sup>ab</sup>	97.1	64.9
	3. hét	448.0 <sup>a</sup>	882.4	1.98 <sup>ab</sup>	97.9	65.7
	4. hét	450.4 <sup>a</sup>	859.9	1.92 <sup>b</sup>	95.9	65.7
	5. hét	438.2 <sup>ab</sup>	873.9	1.92 <sup>b</sup>	95.9	65.4
	6. hét	448.1 <sup>a</sup>	855.4	1.92 <sup>b</sup>	97.5	65.4
Kezelés						
	C	431.8 <sup>a</sup>	838.3	1.95	97.1 <sup>ab</sup>	66.6 <sup>a</sup>
	ADM10	414.2 <sup>b</sup>	825.5	1.97	94.8 <sup>b</sup>	65.1 <sup>b</sup>
	ADM15	413.9 <sup>b</sup>	829.4	2.02	97.5 <sup>a</sup>	63.8 <sup>c</sup>
	Pooled SEM	61.550	121.764	0.255	0.075	3.613
P-érték						
	Kezelés	0.003	0.461	0.140	0.024	0.000
	Kísérleti hét	0.000	0.000	0.000	0.191	0.163
	Kezelés x Kísérleti hét	0.478	0.849	0.491	0.488	0.978

(C) kontroll keverék, (ADM10) 10 %-ban ADM-et tartalmazó keverék, (ADM15) 15 %-ban ADM-et tartalmazó keverék. <sup>a,b</sup> az eltérő felsőindexel jelölt átlagok szignifikáns eltérést mutatnak ( $p<0.05$ ).

### 3. A tojásminőségi paraméterek alakulása

A tojásminőségi eredményeket a 13. táblázat foglalja össze. Ahogy várható volt, az eltelt idő (Kísérleti hét) nagyobb hatást gyakorolt a vizsgált paraméterekre. Az albumin magassága (Ht), a Haugh-egység (Hu), a yolc index (Yi) és a tojásbél vastagságának (Thk) változása nem követett semmilyen tendenciát, habár esés figyelhető meg a 4. héten a tojásbél színében (Yc), ez a paraméter növekvő tendenciát mutatott az idő előrehaladtával, valamint szignifikánsan magasabb is volt az utolsó két hétben a kezelés kezdetéhez képest ( $p<0.01$ ). Az etetett keverék és a kísérleti hét közötti interakció (etetett keverék x kísérleti hét) oka a tojásbél színe esetén az volt, hogy ez a paraméter nem változott a kontroll csoport esetén, ellenben az ADM-l 10-, illetve 15 %-l etetett csoportok esetén az

idő múlásával növekedést mutatott. A kezelés kizárólag a tojások tömegére gyakorolt hasonló hatást, ahogy már a termelési tulajdonságoknál említésre került. Az ADM mind 10-, mind pedig 15 %-os arányban történő etetése szignifikánsan csökkentette a tojások tömegét, ( $p < 0.01$ ) a kontroll csoportéhoz képest.

13. táblázat: A tojásminőségi paraméterek alakulása

Táp	Kísérleti hét	Wt <sup>1</sup>	Str	Ht	Hu	Yc	Yh	Yd	Yi	Thk
Kísérleti hét										
	1. hét	66.05	4.63	7.49 <sup>ab</sup>	84.73 <sup>abc</sup>	14.59 <sup>c</sup>	18.04	39.89	0.45 <sup>ab</sup>	0.45 <sup>a</sup>
	2. hét	64.60	4.79	7.27 <sup>b</sup>	82.93 <sup>bc</sup>	14.93 <sup>ab</sup>	18.25	40.03	0.46 <sup>ab</sup>	0.38 <sup>c</sup>
	3. hét	66.06	4.54	7.52 <sup>ab</sup>	85.28 <sup>abc</sup>	14.90 <sup>ab</sup>	18.49	40.23	0.46 <sup>a</sup>	0.45 <sup>a</sup>
	4. hét	65.60	4.58	7.02 <sup>b</sup>	81.46 <sup>c</sup>	14.62 <sup>bc</sup>	18.10	41.12	0.44 <sup>b</sup>	0.44 <sup>a</sup>
	5. hét	65.30	4.45	8.14 <sup>a</sup>	87.91 <sup>a</sup>	15.02 <sup>a</sup>	18.21	40.12	0.46 <sup>ab</sup>	0.42 <sup>b</sup>
	6. hét	65.58	4.58	7.77 <sup>ab</sup>	86.21 <sup>ab</sup>	15.00 <sup>a</sup>	18.45	40.02	0.46 <sup>a</sup>	0.41 <sup>b</sup>
Kezelés										
C		67.40 <sup>a</sup>	4.49	7.46	83.87	14.80	18.21	40.56	0.45	0.43
ADM10		64.55 <sup>b</sup>	4.66	7.49	84.95	14.85	18.35	40.08	0.46	0.42
ADM15		64.62 <sup>b</sup>	4.63	7.63	85.17	14.85	18.18	40.14	0.46	0.43
Pooled SEM		0.240	0.060	0.080	0.480	0.030	0.060	0.16	0.002	0.003
P-értékek										
Kezelés		< 0.01	0.425	0.624	0.453	0.855	0.433	0.466	0.046	0.778
Kísérleti hét		0.47	0.726	< 0.01	< 0.01	< 0.01	0.192	0.241	0.010	< 0.01
Kezelés x Kísérleti hét		0.767	0.871	0.930	0.913	< 0.01	0.984	0.935	0.998	0.218

(C) kontroll keverék, (ADM10) 10 %-ban ADM-et tartalmazó keverék, (ADM15) 15 %-ban ADM-et tartalmazó keverék. <sup>a,b</sup> az eltérő felsőindexel jelölt átlagok szignifikáns eltérést mutatnak ( $p < 0.05$ ). Wt – tojástömeg, Str – tojánhéj szilárdsága, Ht – albumin magassága, Hu – Haught egység, Yc – tojássárgája színe, Yh – tojássárgája magassága, Yd tojássárgája átmérője, Yi – yolk index, Thk – tojánhéj vastagsága.

A rovarkomponens nem okozott változást a tojássárgája zsírtartalmában (14. táblázat), ugyanakkor hatással volt a zsírsavösszetételre. Az ADM etetése megnövelte a tojássárgájában laurénsav ( $p < 0.001$ ), a sztearinsav ( $p = 0.040$ ), illetve csökkentette az olajsav ( $p < 0.001$ ) és az  $\alpha$ -linolénsav koncentrációt. Ez alapján kijelenthető, hogy vizsgálati az eredmények és az etetett keverékek zsírsavösszetétele nem teljesen egyezett. A kontroll csoporttal etetett keverékben a fő zsírsavforrás a kukoricaolaj volt, mely több olajsavat és sztearinsavat, ellenben kevesebb  $\alpha$ -linolénsavat tartalmazott az ADM-hez képest. Ebből a szempontból az  $\alpha$ -linolénsavval kapcsolatos eredmények a várthoz képest ellenkező módon alakultak. Habár szignifikáns, de mégis marginálisnak tekinthető különbségek fedezhetők fel a hosszú szénláncú omega 3 zsírsavak arányát illetően.

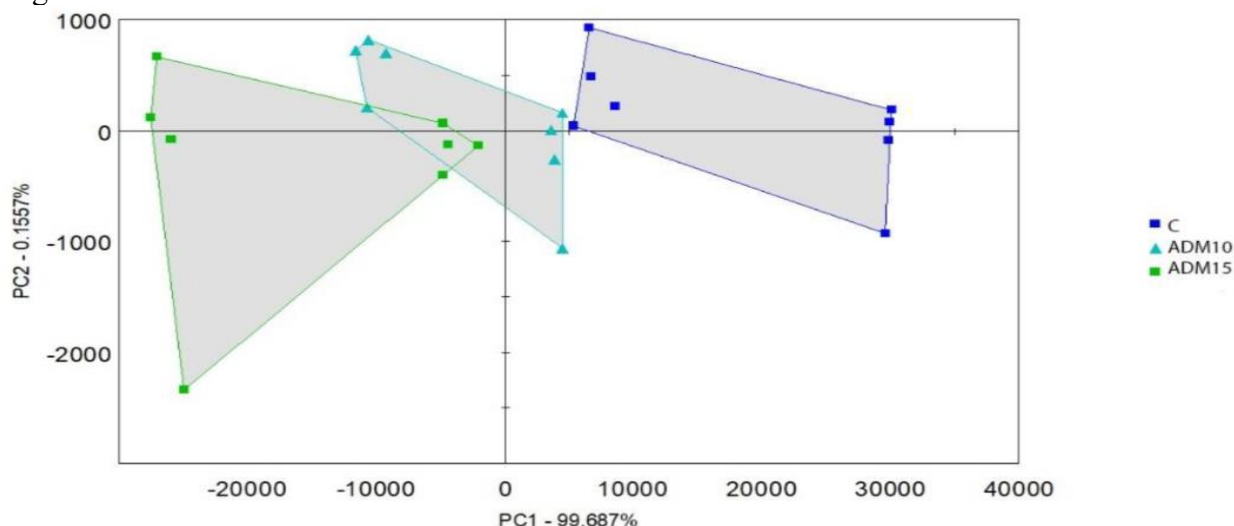
14. táblázat. A kezelések hatása a tojássárgája zsírtartalmára illetve zsírsavösszetételére

Zsírsav	Hétköznapi név	C	ADM10	ADM15	SEM	P-érték
Nyerszsír		30.64	30.61	31.35	0.191	0.243
C12:0	laurinsav	-	0.45 <sup>b</sup>	0.61 <sup>a</sup>	0.259	< 0.001
C14:0	mirisztinsav	0.32	0.34	0.32	0.008	0.383
C16:0	palmitinsav	22.53 <sup>a</sup>	22.69 <sup>a</sup>	21.73 <sup>b</sup>	0.172	0.045
C16:1n7	palmitolénsav	5.05	4.79	5.19	0.766	0.085
C18:0	sztearinsav	7.51 <sup>b</sup>	7.63 <sup>ab</sup>	7.83 <sup>a</sup>	0.054	0.040
C18:1n9	olajsav	42.44 <sup>a</sup>	40.30 <sup>b</sup>	41.01 <sup>b</sup>	0.228	< 0.001
cis-11						
C18:1	vakcénsav	0.23	0.23	0.25	0.007	0.434
C18:2n6	linolénsav	15.92 <sup>b</sup>	17.94 <sup>a</sup>	17.62 <sup>a</sup>	0.212	< 0.001
C18:3n6	γ-linolénsav	0.18	0.19	0.16	0.006	0.138
C18:3n3	α-linolénsav	0.91 <sup>a</sup>	0.82 <sup>ab</sup>	0.77 <sup>b</sup>	0.020	0.013
C20:4n6	arachidonsav	0.81	0.84	0.85	0.013	0.363
C20:5n3	EPA <sup>1</sup>	0.07 <sup>a</sup>	0.04 <sup>ab</sup>	0.05 <sup>b</sup>	0.005	0.022
C22:5n3	DPA <sup>2</sup>	0.23 <sup>a</sup>	0.18 <sup>b</sup>	0.24 <sup>a</sup>	0.008	0.001
C22:6n3	DHA <sup>3</sup>	0.57 <sup>a</sup>	0.45 <sup>b</sup>	0.52 <sup>ab</sup>	0.016	0.002

C) kontroll keverék, (ADM10) 10 %-ban ADM-et tartalmazó keverék, (ADM15) 15 %-ban ADM-et tartalmazó keverék. <sup>1</sup> eikozapentaénsav; <sup>2</sup> dokozapentaénsav; <sup>3</sup> dokozahexaénsav; <sup>a,b</sup> az eltérő felsőindexel jelölt átlagok szignifikáns eltérést mutatnak ( $p < 0.05$ ), \* a laurénsav tartalmat t-próbával értékelték.

A kontroll-, illetve az ADM-et tartalmazó keverékek illó vegyület összetételének értelmezése fő komponens analízissel történt. (7. ábra)

7. ábra Az illékony vegyületek 50 °C-on történő inkubálás utáni állapotáról készült loading plot diagram.



C) kontroll keverék, (ADM10) 10 %-ban ADM-et tartalmazó keverék, (ADM15) 15 %-ban ADM-et tartalmazó keverék

A kísérleti keverékek 50 °C-os inkubációt követően egyértelműen elkülönültek egymástól, még a kétféle ADM tartalmú keverék is egymástól eltérő vegyület-struktúrát mutatott. Az illatot befolyásoló legfontosabb molekulák közül néhányat összehasonlítva az ADM tápok

csökkentették a dimetil-szulfid-, az etil-acetát-, valamint az acetaldehid intenzitását a kontroll tojásokkal szemben. Az érzékszervi bírálat eredményeit a 15. Táblázat összegzi. Egyedül a sárgája színe ( $p = 0.009$ ) és a preferencia esetén volt tapasztalható szignifikáns eltérés az önkéntesek részéről. Mindkettő ADM-t tartalmazó kezelést magasabb pontszámmal értékelték. Összességében a bírálók magasabb értékeléssel illették az ADM tojásokat, de a különbségek nem voltak szignifikánsak.

15. Táblázat: Az érzékszervi bírálat eredményei a kezelések függvényében

	C	ADM10	ADM15	SEM	p-érték
Tojásfehérje színe	73.09	85.36	80.09	2.496	0.131
Tojássárgája színe	66.82 <sup>b</sup>	87.86 <sup>a</sup>	85.32 <sup>a</sup>	3.205	0.009
Tojásfehérje illata	85.32	75.45	78.50	2.317	0.210
Tojássárgája illata	77.59	71.06	72.50	2.779	0.677
Tojásfehérje íze	70.36	70.82	70.82	3.040	0.998
Tojássárgája íze	73.91	72.00	76.73	2.366	0.727
Tojásfehérje textúrája	85.36	82.59	86.64	2.128	0.742
Tojássárgája textúrája	65.14	69.32	65.95	4.422	0.924
Teljes benyomás	78.18	79.32	82.32	2.532	0.799
Átlag	75.1	77.1	77.7		

(C) kontroll keverék, (ADM10) 10 %-ban ADM-et tartalmazó keverék, (ADM15) 15 %-ban ADM-et tartalmazó keverék. <sup>a,b</sup> az eltérő felsőindexel jelölt átlagok szignifikáns eltérést mutatnak ( $p < 0.05$ ).

## V. Az eredmények értékelése

Az *Alphitobius diaperinus* egy széleskörben ismert rovar, melyet általánosságban, mint kártevőt tartanak számon. (M. Hosen et. al., 2004; T. J. Spilman et. al., 1991) Napjainkig a baromfitelepek, illetve háztáji gazdaságokban fellépő problémák egyik forrásaként kezelték, ahol mind a lárva-, mind pedig a kifejlett rovar gyakran fordulnak elő (Francisco O. et. al., 2001; Lambkin T. A. 2001) és potenciális vektorokat jelenthetnek számos, madarakra veszélyes patogén kórokozó számára. Ugyanakkor napjainkra az AD a rovarfajok gyártásának egyik potenciális alapanyaga lehet, emellett azon nyolc rovarfaj közé tartozik, amelynek ilyen célú EU-n belüli felhasználása engedélyezett. (Richli, 2023) Ugyanakkor csak csekély mennyiségű tanulmány áll rendelkezésre a rovarféléknek, mint a baromfi fajok takarmányaként történő

felhasználásának lehetőségeiről, ezek nagyrésze is a fekete katonalégy felhasználásáról készültek (M. Müller Richli 2023). A rovar alapú takarmányokról készült kutatási eredmények nagy arányban ellentmondásosak, illetve függenek a felhasznált rovar típusától, a lárva előállításához felhasznált szubsztráttól, a bekeverési arányuktól, valamint attól, hogy milyen fajú, és milyen korú állattal etetjük. Míg például Al-Quazzaz szerint az 5-, és 10 %-os bekeverési arány negatívan hat a brojlercsirkék takarmányértékesítésére, addig Sajjad megállapítása az volt, hogy mind az AD-, illetve HI komponensek 12 %-ban történő bekeverése szignifikánsan megnövelte a vágáskori testtömeget, az átlagos napi testsúlygyarapodást, illetve javította a FCR-t ( $P < 0.05$ ). A napi takarmányfelvétel nem mutatott szignifikáns változást a kezelés során ( $P < 0.05$ ). Eddig még nem jelentek meg publikációk a tojótyúk ADM-1 való etetésével kapcsolatos kísérleti eredményekről, a HI eredményei pedig nem adaptálhatók az ADM-re, a fehérje tartalom-, illetve az aminosav és zsírsavösszetételbeni különbségek miatt.

A kísérlet során törekedtünk az ADM lehető legnagyobb arányban történő szerepeltetésére, az izokalóriás, illetve izonétrogén állapot megtartása mellett. Ennek okán az ADM maximum 15 % arányban történő szerepeltetése volt lehetséges. Al-Quazzaz eredményeihez hasonlóan a mind a 10-, mind pedig a 15 % rovarfehérjét tartalmazó keverék etetése a madaragnál kisebb tojástömeget, illetve a tojássárgája eltérő zsírsavösszetételét eredményezte, a takarmányfelvétel, a testsúly és a FCR befolyásolása nélkül.

Maurer et. al. 2016-ban hasonló eredményeket értek el a fekete katonalégy lárva etetésével, ahol a szójapogácsát helyettesítették részlegesen, illetve teljesen a zsírtalanított lárvakomponenssel (12-, illetve 24 %), ugyanakkor hatást itt sem értek el a takarmányfelvételre vonatkozóan.

Jelen kísérletben viszont az ADM depresszív hatást gyakorolt a heti tojástermelésre és a tojások átlagos tömegére. Ennek lehetséges oka a kontroll, illetve az ADM tartalmú keverékek közötti zsírsavösszetételbeni különbség. Az ADM zsír kevesebb linolén, valamint több palmitinsavat tartalmaz a kontroll csoportban domináns zsír forráshoz, a kukorica olajhoz képest. Köztudott, hogy a tojótyúk magasabb linolénsav szintet igényelnek reprodukciós tevékenységükhöz. A kísérletben vizsgált Tetra SL tojók linolénsav szükséglete 1.8 % volt a 19. és 45. hét között. A kísérleti keverékek összetevőinek zsírsavtartalmával kapcsolatos számítások alapján (AminoDat 6.3) az ADM 10-, illetve az ADM 15 linolénsav tartalma 1.53-, illetve 1.69 % volt. A kontroll keverék ezzel szemben 3.2 % linolénsavat tartalmazott.

Általánosságban véve a rovarok sokféle, többszörösen telítetlen, telített és egyszeresen telítetlen zsírsavakat tartalmaznak. A domináns telített zsírsav a palmitinsav (C16:0), míg a sztearinsav (C18:0) változó mennyiségben található meg. A domináns egyszeresen telített zsírsav az olajsav (C18:1). Habár, a legfőbb befolyásoló tényező a mikroelem-, illetve vitamin tartalom esetén a rovarok faji-, illetve rendenkénti változatossága, melyet szintén befolyásolhat az adott évszak, illetve a rovarokkal etetett takarmány. (Barker et. al., 1998). Rumbos et. al. értékelték az *A. diaperinus* lárva lipidösszetételét. A lipid frakcióban a telített- (SFA), illetve az egyszeresen telítetlen (MUFA) zsírsavak domináltak, kisebb arányban szerepeltek a többszörösen telítetlen (PUFA) zsírsavak. A palmitinsav (16:0) (a teljes zsírsavösszetétel 15-26%-a) és az olajsav (18:1n-9) (20-44%) voltak a legnagyobb arányú telített-, illetve egyszeresen telítetlen zsírsavak. A PUFA nagyrészt linolénsavból (18:2n-6), és nagyon kis mértékű  $\alpha$ -linolénsav (18:3n-3), valamint egyáltalán nem tartalmaztak az n-3 nagymértékben telítetlen zsírsavakból (HUFA), mint például a 20:5n-3 és a 22:6n-3. Megállapításra került, hogy az ADM teljes zsírsavprofilja nem tekinthető ideálisnak az emberi táplálkozás szempontjából. Méréseink igazolták ezeket az értékeket.

Az ADM tartalmú keverékek etetése kismértékű változást okozott a tojássárgája zsírsavösszetételében. A laurinsav mérhető volt az ADM tojásokból. Emellett az olajsav-szint kismértékű, de szignifikáns csökkenést, míg a linolénsav-szint szignifikáns növekedést mutatott az ADM tartalmú keverékek esetén. A linolénsav mennyiségének növekedése nehezen magyarázható, tekintve, hogy az ADM kevesebbet tartalmazott ebből a zsírsavból.

Egyes tanulmányokban a tojástömeg, a tojáshéj tömege, a tojássárgája színe, a termékenység, és a tojástömegre negatívan hatottak az 5-, illetve 10 % rovartartalmú takarmányokkal végzett kezelések (Al-Quazzaz et. al., 2016). A rovar komponenszt tartalmazó tápok kitin tartalma szintén negatívan hathat a tojásminőségre (Al-Quazzaz et. al., 2016; Bovera et. al., 2018). Secci (2016) feljegyzései alapján, néhány metabolikus útvonal, mint például a karotinoid akkumulációs, illetve a deszaturációs/elongáz aktivitások kis mértékben gátolhatók a rovarkomponensek bekeverésével. A kísérlet során a hagyományosan vet tojásminőségi paramétereket a kezelés nem befolyásolta, leszámítva a tojástömeget, ahogy a termelési jellemzőknél már említésre került.

Matiella & Hsieh (1991) szerint a tojás íze, illetve szaga az függ illékony vegyületek mennyiségétől, illetve minőségétől, ugyanis míg egyes molekulák negatívan, addig más molekulák kedvezően hatnak a tojás élvezeti értéke szempontjából, ízletessé téve azt. Az illékony komponensek (VOCs) azonosítására élelmiszerek esetében az elektromos orr a

leginkább alkalmazott műszeres analitikai módszerek egyike (Wang et. al., Az illékony komponensek vizsgálatának eredménye segítette a különböző komponensek megkülönböztetésében, ezáltal az egyes élelmiszerekben és takarmányokban könnyebben értelmezhetőek. A PCA eredményei alapján, az ADM etetése a specifikus illóvegyület-profil eredményezett, az elektromos orr segítségével pedig ezek megkülönböztethetőek voltak. Az 50 °C-os inkubáció után, a dimetil-szulfid és etil-acetát voltak a főbb illóvegyületek a friss tojásokban. Mindkettő vegyület intenzitása csökkenő tendenciát mutatott az ADM-tartalmú keverékek etetésének hatására. A dimetil-szulfid és az egyéb kén komponensek a fehérjék, illetve aminosavak degradációjának végtermékei (Wang et. al., 2020) Wang et. al. (2014) kísérletük során a különböző baromfifajok illóvegyület-struktúráját hasonlították össze. Tanulmányukban a benzotiazol volt a leggyakrabban előforduló kénmolekula. A dimetil-szulfidot a merkaptánokhoz hasonló szag jellemzi. Kis mennyiségben kívánatos lehet egyes sörtyípusokban, valamint megtalálható a főtt, édeskukoricában, a savanyú káposztában vagy a paradicsomszószban, azonban magasabb koncentrációban rossz ízt eredményezhet (Balduş et. al., 2018; Tenkrat et. al., 2010; Stafisso et. al., 2011). Brown et. al., (1986) korrelációt véltek felfedezni a dimetil-szulfid jelenléte, valamint az enyhét savanyú illat érzékelése között a tojás mintákban. Arra a következtetésre jutottak, hogy a dimetil-szulfid tartalom mérése objektív módszerként alkalmazható a tojástermékek emberi fogyasztásra való alkalmasságának meghatározásakor.

Wang et. al. (2014) alapján az etil-acetát általában a domináns illó észter a tojótyúkok által termelt tojásokban (Továbbá, mint élelmiszeripari adalék is alkalmazzák, mivel finom, gyümölcsös illatot, és jó ízt kölcsönöz az ételnek). Alacsonyabb koncentrációban kedvező hatású lehet, édes illata és az általa kölcsönzött íz miatt, azonban a magasabb koncentráció kellemetlen, acetonos ízt és illatot eredményez (Matiella, 1991; Cerny et. al., 2004). Az acetaldehid intenzitása alacsony volt jelen kísérletben, de az ADM az említett molekula tendenciáját. Az aldehidek főképp a telítetlen zsírsavak degradációs vegyületei, tehát a rovar takarmánykomponensek antioxidáns tulajdonságai védhetik a telítetlen zsírsavakat, azonban jelen tanulmány eredményei alapján ez nem jelenthető ki teljes bizonyossággal, a téma további vizsgálatokat igényel.

Az elektromos orr vizsgálat eredményei befolyásolták a főtt tojások érzékszervi bírálatát is. Az átlag pontszámok 2.0-, illetve 2.6-l voltak magasabbak az ADM10-, illetve ADM15 tojások esetén. A tojássárgája színe volt az egyetlen paraméter, ahol az önkéntesek véleményei szignifikánsan eltértek, 20 %-l magasabb értékelést kapott a rovarkomponenssel etetett tyúkok

tojásai esetén. Az eredmény egyezik azokéval, akik szintén sárgábbnak ítélték meg a rovarkomponens etetése által termelt tojásokat. (Al-Quazzaz et. al., 2016; Secci et. al., 2018)

## VI. Összefoglalás

Napjainkban az árutermelő baromfi előállítás kapcsán egyre fajsúlyosabb kérdés az állat táplálóanyag-igényének biztosítása mellett a felhasznált takarmányok ökológiai lábnyomának figyelembevétele is. Elsősorban a szója-import csökkentésére törekednek, ennek kapcsán pedig kutatások folynak új, alternatív fehérjehordozók takarmányozási célra történő hasznosítására is. A téma a különböző közvéleménykutatások alapján társadalmilag megosztó, ez többnyire az emberek tájékozatlanságához, illetve a rovarfajokhoz társuló úgymond visszás érzethez, köthető, illetve befolyásoló tényezőként hatnak a különböző állategészségügyi szempontokkal kapcsolatos aggályok is. A rovarkomponensek értékesek takarmányozási szempontból, magas fehérje-, illetve zsír tartalmuk miatt, ezt számos, több rovarfaj alkalmazásával végzett kísérlet, illetve próbaetetés bizonyítja, ezáltal remek alternatívát nyújthatnak, mint etetett takarmányok a monogasztrikus állatfajok számára, ugyanakkor az egyes hasznosítási irányokra vonatkozó kutatási eredmények hiánya negatív tényezőként hathatnak, illetve érdemes figyelembe venni a kitin emészthetőségének korlátait is, amelyet még a monogasztrikus fajok sem képesek teljes mértékben leküzdeni. Talán az egyik legfajsúlyosabb kérdésnek az alkalmazásával kapcsolatosan a rovarkomponensek jelenleg a szója-, illetve a hallisztét messzemenően meghaladó költsége jelenti, melynek csökkenése egyáltalán nem tekinthető valószínűleg a közeljövőre vonatkozóan. A jelen kísérletben alkalmazott termék (ADM) 58 % nyersfehérjét és 28 % nyerszsírt tartalmazott. A maximális bekeverési ráta a tojótápok esetén 15 % volt, ugyanis a keverékek energiatartalma a magasabb arányú bekeverés esetén meghaladta volna a madarak szükségleti értékeit, 10-, valamint 15 %-os arány esetén sem módosította a termelési paramétereket a tojástömeg kivételével, amely szignifikáns mértékű csökkenést eredményezett mindkét ADM-bekeverési aránynál. Ennek, bár pontos oka nem világos, ugyanakkor feltételezhető, hogy az ADM zsírsavösszetétele, valamint a kukorica olajé közötti különbség lehetett. A tojások tömegén kívül más, rutin-szerűen is vizsgált tulajdonságban (héjszilárdság és vastagság, Haugh-egység, tojássárgája színe, magassága és átmérője, yolk index) a kezelés nem okozott változást. A tojássárgája zsírtartalmát nem befolyásolta a kezelés, azonban néhány zsírsav arányát igen. Az ADM tojások aroma profilja különbözött a kontroll csoport tojásaitól. Ez okozhatta azt, hogy az önkéntesek az érzékszervi bírálat során jobban preferálták az ADM tojásokat. Ezen vizsgálat során az ADM tojások sárgájának színe szignifikánsan magasabb értékelést kapott a kontroll csoport tojásaihoz viszonyítva. Összességében a rovar lárva komponensek eredményesen alkalmazhatók a tojótyúkok takarmányozásában, azonban, mivel a lárva kevesebb linolénsavat tartalmaz a növényi olajokhoz képest, emiatt ennek elérhetősége

limitáló faktor lehet a tojástermelés szempontjából. Továbbá limitálhatja felhasználásának lehetőségeit és mértékét a magas ára, a rovarkomponensek alkalmazásának megosztónak tekinthető társadalmi megítélése, valamint az egyes szakemberek által megfogalmazott állategészségügyi aggályok.

## VII. Irodalmi jegyzék

### Szakirodalom

**Ercin, E.A., Mayte A.M., Hoekstra A. J., (2011)** The water footprint of soy milk and soy burger and equivalent animal products, *Ecological Indicators*, Volume 18, 2012, Pages 392-402, ISSN 1470-160X, <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.12.009>

**Bossio, D., Scow, K., Gunapala, N., Graham, K.J., (1998)** Determinants of Soil Microbial Communities: Effects of Agricultural Management, Season, and Soil Type on Phospholipid Fatty Acid Profiles. *Microb Ecol* **36**, 1–12 (1998). <https://doi.org/10.1007/s002489900087>

**Stafisso, A., Marconi O., Perretti, G., Fantozzi P. (2019)**, Determination of dimethyl sulphide in brewery samples by headspace gas chromatography mass spectrometry (HS-GC/MS), *Italian Journal of Food Science*, 23 (2011) 19–27.

**Alagawany, M., Elnesr, S. S., Farag, M. R., Abd El-Hack, M. E., Khafaga, A. F., Taha, A. E., Tiwari, R., Yattoo, M. I., Bhatt, P., Khurana, S. K., & Dhama, K. (2019)** Omega-3 and Omega-6 Fatty Acids in Poultry Nutrition: Effect on Production Performance and Health. *Animals*,9(8), 573. <https://doi.org/10.3390/ani9080573>

**Alves, A.V., Sanjinez-Argandoña, E.J., Linzmeier, A.M., Cardoso, C.A.L., Macedo, M.L.R. (2016)** Food value of mealworm grown on *Acrocomia aculeata* pulp flour. *PLoS ONE* **2016**, *11*, e0151275.

**Berenjian, A., Sharifi, S.D., Mohammadi-Sangcheshmeh, A., Bakhtiarizadeh, M.R., (2021)** Omega-3 fatty acids reduce the negative effects of dexamethasone-induced physiological stress in laying hens by acting through the nutrient digestibility and gut morphometry, *Poultry Science*, Volume 100, Issue 3, 2021, 100889, ISSN 0032-5791, <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.12.002>.

**Güçlü, B.K., Uyanık, F., İçcan, K.M. (2008)** Effects of dietary oil sources on egg quality, fatty acid composition of eggs and blood lipids in laying quail, *South African Journal of Animal Science* 2008, 38 (2), page 91-100, <https://www.sasas.co.za/journals/effects-of-dietary-oil-sources-on-egg-quality-fatty-acid-composition-of-eggs-and-blood-lipids-in-laying-quail/>

**Basmacioglu, H.; Cabuk, M.; Unal, K.; Ozkan, K.; Akkan, S.; Yalcin, H., (2003)** Effects of dietary fish oil and flax seed on cholesterol and fatty acid composition of egg yolk and blood parameters of laying hens. *South Afr. J. Anim. Sci.*, 33 (4): 266–273

**Baucells, M., Crespo, N., Barroeta, A.C., Lopez-Ferrer, S. & Grashorn, M.A., (2000)** Incorporation of different polyunsaturated fatty acids into eggs. *Poult. Sci.* 79, 51-59.

**Benedé, S., Molina, E., (2020).** Chicken Egg Proteins and Derived Peptides with Antioxidant Properties. *Foods*, 9(6), 735. <https://doi.org/10.3390/foods9060735>

**Bovera F., Loponte R., Pero M.E., Cutrignelli M.I., Calabrò S., Musco N., Vassalotti G., Panettieri V., Lombardi P., Piccolo G., Di Meo C., Siddi G., Fliiegerova K., Moniello K., (2018)** Laying performance, blood profiles, nutrient digestibility and inner organs traits of hens fed an insect meal from *Hermetia illucens* larvae, *Res Vet Sci* 120 (2018) 86–93. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2018.09.006>.

**Bunker, I., Zscheischler, J. (2023)** Societal Acceptability of Insect-Based Livestock Feed: A Qualitative Study from Europe. *J Agric Environ Ethics* 36, 23 (2023). <https://doi.org/10.1007/s10806-023-09917-7>

**Cerny, C. Guntz, R., (2004)** Evaluation of potent odorants in heated egg yolk by aroma extract dilution analysis, *European Food Research and Technology* 219 (2004) 452–454. <https://doi.org/10.1007/s00217-004-1000-8>.

**Rumbos, C.I., Karapanagiotidis, I.T., Mente, E., Athanassiou, C.G., (2019)** The lesser mealworm *Alphitobius diaperinus*: a noxious pest or a promising nutrient source?, *Rev Aquac* 11 (2019) 1418–1437. <https://doi.org/10.1111/raq.12300>.

**Cabrera, M.C., Saadoun, A., Grompone, A., Pagana, T., Sami, M. Olivero, R., del Puerto, M., (2005)** Enriching the egg yolk in n-3 fatty acids by feeding hens with diets containing horse fat produced in Uruguay. *Food Chem.* 98, 767-773.

**Triplehorn, C.A., Johnson, N.F., (2005)** Borror and Delong's introduction to the Study of Insects, 2005, 7th edition, Page: 5-26, ISBN: 9780030968358, 0030968356

**Brine, C.J., Austin, P.R., (1981)** Chitin variability with species and method of preparation, *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Comparative Biochemistry*, Volume 69, Issue 2, 1981, Pages 283-286, ISSN 0305-0491, [https://doi.org/10.1016/0305-0491\(81\)90242-X](https://doi.org/10.1016/0305-0491(81)90242-X).

**Chumlong, A., Wanvisa, K., Acharaporn, K., Pokethitiyook, P., Patra, P., (2007).** Removal of lead from battery manufacturing wastewater by egg shell. *Songklanakarin Journal of Science and Technology.* 29.

**Biteau, C., Bry-Chevalier, T., Crummett, D., Ryba, R., St. Jules, M., (2024)** Insect-based livestock feeds are unlikely to become economically viable in the near future, *Food and Humanity*, Volume 3, 2024, 100383, ISSN 2949-8244,

<https://doi.org/10.1016/j.foohum.2024.100383>

**Barker, D., Fitzpatrick, M.P., Dierenfeld E.S. (1998)**, Nutrient composition of selected whole invertebrates, *Zoo Biol* 17 (1998) 123–134.

**Tenkrat, D., Hlincik, T., Prokes O., (2010)** Natural Gas Odorization. *Natural Gas. Sciyo.*

<http://dx.doi.org/10.5772/9825>

**Diener, S., Zurbrügg, C., Tockner, K. (2009)** Conversion of organic material by black soldier fly larvae: establishing optimal feeding rates. *Waste Management & Research*. 2009;27(6):603-610. doi:[10.1177/0734242X09103838](https://doi.org/10.1177/0734242X09103838)

**Edea, C., Verkhoturov, V., (2023)**. Insects as an alternative protein source in poultry nutrition: review. *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian Series*. 61. 305-313. [10.29235/1817-7204-2023-61-4-305-313](https://doi.org/10.29235/1817-7204-2023-61-4-305-313).

**Evonik Industries AG**, AminoDat 6.1, Hanau-Wolfgang, Germany, 2023.

**FAO. (2025)**. *Global egg production from 1990 to 2023 (in 1,000 metric tons)\**. Statista. Statista Inc., Accessed: May 12, 2025. <https://www.statista.com/statistics/263972/egg-production-worldwide-since-1990/>

**Secci, G., Bovera, F., Nizza, S., Baronti, N., Gasco, L., Conte, G., Serra, A., Bonelli, A., Parisi, G., (2018)** Quality of eggs from Lohmann Brown Classic laying hens fed black soldier fly meal as substitute for soya bean, *Animal* 12 (2018) 2191-2197.

<https://doi.org/10.1017/S1751731117003603>.

- Gutiérrez, G.P.A., Ruiz, R.A.V., Vélez H.M., (2004.)** Compositional, microbiological and protein digestibility analysis of larval meal of *Hermetia illucens* (Diptera:Stratiomyidae) at Angelópolis Antioquia, Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 57 (2): 2491-2499. [http://www.scielo.unal.edu.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0304-28472004000200009&lng=pt&nrm=](http://www.scielo.unal.edu.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0304-28472004000200009&lng=pt&nrm=)
- Güclü B.K., Uyanik F. Iscan K.M., (2008)** Effects of dietary oil sources on egg quality, fatty acid composition of eggs and blood lipids in laying quail. *South African Journal of Animal Science*, 38, 2, 91-100
- Guhan, S., Majumder, K., & Mine, Y., (2018)** Egg Proteins. 10.1016/B978-0-08-100596-5.21603-X.
- Makkar, H.P.S. Gilles Tran, Valérie Heuzé, Philippe Ankers,** State-of-the-art on use of insects as animal feed, *Animal Feed Science and Technology*, Volume 197, 2014, Pages 1-33, ISSN 0377-8401, <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.07.008>.
- Hrabia, A., Leśniak-Walentyn, A., Sechman, A., & Gertler, A. (2014).** Chicken oviduct-the target tissue for growth hormone action: effect on cell proliferation and apoptosis and on the gene expression of some oviduct-specific proteins. *Cell and tissue research*, 357(1), 363–372. <https://doi.org/10.1007/s00441-014-1860-6>
- Parenteau, I.A., Stevenson, M., Kiarie, E.G.** Egg production and quality responses to increasing isoleucine supplementation in Shaver white hens fed a low crude protein corn-soybean meal diet fortified with synthetic amino acids between 20 and 46 weeks of age, *Poultry Science*, Volume 99, Issue 3, 2020, Pages 1444-1453, ISSN 0032-5791, <https://doi.org/10.1016/j.psj.2019.10.064>.
- Ragazzo-Sanchez, J.A., Chalier, P., Chevalier-Lucia, D., Calderon-Santoyo, M., Ghommidh, C., (2009)** Off-flavours detection in alcoholic beverages by electronic nose coupled to GC, *Sens Actuators B Chem* 140 (2009) 29–34. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2009.02.061>.
- Apajalahti, J., Vienola, K., (2015)** Interaction between chicken intestinal microbiota and protein digestion, *Animal Feed Science and Technology*, Volume 221, Part B, 2016, Pages 323-330, ISSN 0377-8401, <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.05.004>.

**Byrne, J., (2023)** Insect protein trends: Segmented supply chains, gene editing and the quest for affordable feedstock, William Reed Ltd (2023) (Feednavigator.com)

<https://www.feednavigator.com/Article/2023/08/22/insect-protein-production-trends>

**Matiella, J.E., Hsieh T.C.-Y., (1991)** Volatile Compounds in Scrambled Eggs, *J Food Sci* 56 (1991) 387–390. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1991.tb05286.x>.

**Zhivet'ev, M.A., Graskova, I.A., Dudareva, L.V., Stolbikova, A.V. & Voinikov, V.K., (2010)** "Change of fatty-acid composition in plants during adaptation to hypothermia", *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*, vol. 6, no. 4, pp. 51-65.

**Lee, J.-W., Trinh, C.T., (2020)** Towards renewable flavors, fragrances, and beyond, *Curr Opin Biotechnol* 61 (2020) 168–180. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2019.12.017>.

**Hartinger, K., Fröschl, K., Ebbing, M.A., Bruscek-Pfleger, B., Schedle, K., Schwarz, C., Gierus, M., (2022)** Suitability of *Hermetia illucens* larvae meal and fat in broiler diets: effects on animal performance, apparent ileal digestibility, gut histology, and microbial metabolites, *J Anim Sci Biotechnol* 13 (2022) 50. <https://doi.org/10.1186/s40104-022-00701-7>.

**Kim, B., Kim, H.R., Baek, Y., Ryu, C.H., Ji, S.Y., Jeong, J.Y., Kim, M., Jung, H., Park, S.H. (2022)** Evaluation of microwave-dried black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal as a dietary protein source in broiler chicken diets. *Journal of Insects as Food and Feed*, 8(9), 977-988. <https://doi.org/10.3920/JIFF2021.0113>

**Wamai, L.K., Munga, L.M., Osuga, I.M., Munguti, J.M., Subramanian, S., Kidoido, M.K., Ghemoh, J.C., Mwendia, C.M., Tanga, C.M., (2024)** Big opportunities for tiny bugs: rush to boost laying hen performance using black soldier fly larvae meal, *Journal of Economic Entomology*, Volume 117, Issue 1, February 2024, Pages 58–72, <https://doi.org/10.1093/jee/toad230>

**Abd El-Hack, M., Shafi, M., Alghamdi, W., Abdelnour, S., Shehata, A., Noreldin, A., Ashour, E., Swelum, A., Al-Sagan, A., Alkhateeb, M., Taha, A., Abdel-Moneim, A-M., Tufarelli, V., Ragni, M., (2020)** Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Meal as a Promising Feed Ingredient for Poultry: A Comprehensive Review, *Agriculture* 10 (2020) 339. <https://doi.org/10.3390/agriculture10080339>.

**Al-Bachir, M., (2020)** Improvement of microbiological quality of hen egg powder using gamma irradiation, *International Journal of Food Studies* 9 (2020). <https://doi.org/10.7455/ijfs/9.SI.2020.a6>.

**Baldus, M., Klie, R., Biermann, M., Kreuschner, P., Hutzler, M., Methner, F.-J., (2018)** On the Behaviour of Dimethyl Sulfoxide in the Brewing Process and its Role as Dimethyl Sulfide Precursor in Beer, *BrewingScience* 71 (2018) 1–11.

**Cullere, M., Tasoniero, G., Giaccone, V., Miotti-Scapin, R., Claeys, E., De Smet, S., Dalle Zotte, A., (2016)** Black soldier fly as dietary protein source for broiler quails: apparent digestibility, excreta microbial load, feed choice, performance, carcass and meat traits, *animal*, Volume 10, Issue 12, 2016, Pages 1923-1930, ISSN 1751-7311, <https://doi.org/10.1017/S1751731116001270>.

**De Marco, M., Martínez, S., Hernandez, F., Madrid, J., Gai, F., Rotolo, L., Belforti, M., Bergero, D., Katz, H., Dabbou, S., Kovitvadhi, A., Zoccarato, I., Gasco, L., Schiavone, A., (2015)** Nutritional value of two insect larval meals (*Tenebrio molitor* and *Hermetia illucens*) for broiler chickens: Apparent nutrient digestibility, apparent ileal amino acid digestibility and apparent metabolizable energy, *Anim Feed Sci Technol* 209 (2015) 211–218. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.08.006>.

**Al-Qazzaz, M.F.A., Ismail, D., Akit, H., Idris, L.H., (2016)** Effect of using insect larvae meal as a complete protein source on quality and productivity characteristics of laying hens, *Revista Brasileira de Zootecnia* 45 (2016) 518–523. <https://doi.org/10.1590/s1806-92902016000900003>.

**Hosen, M., Khan, A.R., Hossain, M., (2004)** Growth and development of the lesser mealworm, *Alphitobius diaperinus* (Panzer) (Coleoptera: Tenebrionidae) on cereal flours, *Pakistan Journal of Biological Sciences* 7 (2004) 1505–1508.

**Waithaka, M.K., Osuga, I.M., Kabuage, L.W., Subramanian, S., Muriithi, B., Wachira, A.M, Tanga, C.M., (2022)** Evaluating the growth and cost–benefit analysis of feeding improved indigenous chicken with diets containing black soldier fly larva meal, *Frontiers in Insect Science* 2 (2022). <https://doi.org/10.3389/finsec.2022.933571>.

**Brown, M.L., Holbrook, D.M., Hoerning, E.F., Legendre M.G., St. Angelo, A.J., (1986)** Volatile Indicators of Deterioration in Liquid Egg Products, *Poult Sci* 65 (1986) 1925–1933. <https://doi.org/10.3382/ps.0651925>.

**Mézes, M., (2018)** A rovarfehérje, mint a fehérjeellátás új alternatívája, *Állattenyésztés És Takarmányozás* 67 (2018) 287–296.

**Richli, M.M., Weinlaender, F., Wallner, M., Pöllinger-Zierler, B., Kern J., Scheeder, M.R.L., (2023)** Effect of feeding *Alphitobius diaperinus* meal on fattening performance and meat quality of growing-finishing pigs, *J Appl Anim Res* 51 (2023) 204–211. <https://doi.org/10.1080/09712119.2023.2176311>.

**Shim, M.Y., Song, E., Billard, L., Aggrey, S.E., Pesti, G.M., Sodsee, P., (2013)** Effects of balanced dietary protein levels on egg production and egg quality parameters of individual commercial layers, *Poult Sci.* 2013 Oct;92(10):2687-96. doi: 10.3382/ps.2012-02569. PMID: 24046416.

**Sajjad, M., Binyameen, M., Sajjad, A., Sarmad, M., Abbasi, A., Khan, E.U., Haq, I.U., Subhan, M., Alhimaidi, A.R., Amran, R.A., (2024)** Replacing soybean meal with lesser mealworm *Alphitobius diaperinus* improves broiler productive performances, haematology, intestinal morphology and meat quality, *J Insects Food Feed* (2024) 1–22. <https://doi.org/10.1163/23524588-00001190>.

**Salahuddin, M., Abdel-Wareth, A.A.A., Hiramatsu, K., Tomberlin, J.K., Luza, D., Lohakare, J., (2024)** Flight toward Sustainability in Poultry Nutrition with Black Soldier Fly Larvae, *Animals* 14 (2024) 510. <https://doi.org/10.3390/ani14030510>

**Hincke, M.T., Nys, Y., Gautron, J., Mann, K., Rodriguez-Navarro, A.B., McKee, M.D., (2012)** The eggshell: structure, composition and mineralization. *Front. Biosci. (Landmark Ed)* 2012, 17(4), 1266–1280. <https://doi.org/10.2741/3985>

**Mutafela, R. N., (2015)** *High Value Organic Waste Treatment via Black Soldier Fly Bioconversion, Onsite Pilot Study* (Dissertation), <https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:kth:diva-176835>

**Salem Jr., N., Simopoulos, A.P., Galli, C., Lagarde, M., Knapp, H.R., (Eds.) (1996)** Fatty Acids and Lipids from Cell Biology to Human Disease, *Lipids*, 31 (Suppl) (1996), pp. S1-S326

**Newman, R.E., Bryden, W.L., Fleck, E., Ashes, J.R., Buttemer, W.A., Storlien, L.H., Downing, J.A., (2002).** Dietary n-3 and n-6 fatty acids alter avian metabolism: molecular-species composition of breast-muscle phospholipids. *Br J Nutr* 88:19–28.

**Francisco, O., do Prado, A.P. (2001)** Characterization of the larval stages of *Alphitobius diaperinus* (Panzer) (Coleoptera: Tenebrionidae) using head capsule width, *Rev Bras Biol* 61 (2001) 125–131.

**Patil, S., Rao, B., Matondkar, M., Bhushette, P., Sonawane, S.K., (2022)** “A REVIEW ON UNDERSTANDING OF EGG YOLK AS FUNCTIONAL INGREDIENTS”, *Journal of microbiology, biotechnology and food sciences*, 11(4), p. e4627. doi: 10.55251/jmbfs.4627.

**Pieterse, E., Erasmus, S. W., Uushona, T., Hoffman, L.C., (2019).** Black soldier fly (*Hermetia illucens*) pre-pupae meal as a dietary protein source for broiler production ensures a tasty chicken with standard meat quality for every pot. *Journal of the science of food and agriculture*, 99(2), 893–903. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9261>

**Dajnowska, A., Tomaszewska, E., Świątkiewicz, S., Arczewska-Włosek, A., Dobrowolski, P., Domaradzki, P., Rudyk, H., Brezwyn, O., Muzyka, V., Kotsyumbas, I., Arciszewski, M. B., Muszyński, S., (2023)** Yolk Fatty Acid Profile and Amino Acid Composition in Eggs from Hens Supplemented with  $\beta$ -Hydroxy- $\beta$ -Methylbutyrate. *Foods*, 12(20), 3733.

<https://doi.org/10.3390/foods12203733>

**Wang, Q., Jin, G., Jin, Y., Ma, M., Wang, N., Liu, C., He, L., (2014)** Discriminating eggs from different poultry species by fatty acids and volatiles profiling: Comparison of SPME-GC/MS, electronic nose, and principal component analysis method, *European Journal of Lipid Science and Technology* 116 (2014) 1044–1053. <https://doi.org/10.1002/ejlt.201400016>.

**Razdan, A., Pettersson, D., (1994)** ‘Effect of chitin and chitosan on nutrient digestibility and plasma lipid concentrations in broiler chickens’, *British Journal of Nutrition*, 72(2), pp. 277–288. doi:10.1079/BJN19940029.

**Richardson, C., Krishnan, S., Gray, I., Keim, N., Newman, J., (2022)** The Omega-3 Index Response to an 8 Week Randomized Intervention Containing Three Fatty Fish Meals Per Week Is Influenced by Adiposity in Overweight to Obese Women. *Frontiers in Nutrition*. 9. 810003. 10.3389/fnut.2022.810003.

**Vlaicu, P.A., Panaite, T.D. & Turcu, R.P., (2021)** Enriching laying hens eggs by feeding diets with different fatty acid composition and antioxidants. *Sci Rep* 11, 20707 (2021). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-00343-1>

**Riekkinen, K., Väkeväinen, K., Korhonen, J. (2022)** The Effect of Substrate on the Nutrient Content and Fatty Acid Composition of Edible Insects. *Insects*, 13(7), 590. <https://doi.org/10.3390/insects13070590>

**Romero, C., Cenalmor, J. C., Chamorro, S., & Redondo, C. (2024)** Effect of Different Dietary Doses of Black Soldier Fly Meal on Performance and Egg Quality in Free-Range Reared Laying Hens. *Animals*, 14(22), 3340. <https://doi.org/10.3390/ani14223340>

**Wang, S., Chen, H., Sun B., (2020)** Recent progress in food flavor analysis using gas chromatography–ion mobility spectrometry (GC–IMS), *Food Chem* 315 (2020) 126158. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.126158>.

**Sedgh-Gooya, S., Torki, M., Darbemamieh, M., Khamisabadi, H., Abdolmohamadi, A. (2022)** Growth performance and intestinal morphometric features of broiler chickens fed on dietary inclusion of yellow mealworm (*Tenebrio molitor*) larvae powder. *Veterinary Medicine and Science*, 8, 2050–2058. <https://doi.org/10.1002/vms3.881>

**Simopoulos, A. P., Norman, H. A., & Gillaspay, J. E. (1995).** Purslane in human nutrition and its potential for world agriculture. *World review of nutrition and dietetics*, 77, 47–74. <https://doi.org/10.1159/000424465>

**Snigdha, G., Kaustav, M., Yoshinori, M., Egg Proteins, Editor(s): Laurence M., Fereidoon S., Peter, V., (2019)** Encyclopedia of Food Chemistry, Academic Press, 2019, Pages 74-84, ISBN 9780128140451, <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.21603-X>

**Spranghers, T., Ottoboni, M, Klootwijk, C., Owyn, A., Deboosere, S., De Meulenaer, B., Michiels, J., Eeckhout, M., De Clercq, P., De Smet, S., (2016)** Nutritional composition of black soldier fly (*Hermetia illucens*) prepupae reared on different organic waste substrates. *J Sci Food Agric*. 2017 Jun;97(8):2594-2600. [doi: 10.1002/jsfa.8081](https://doi.org/10.1002/jsfa.8081). Epub 2016 Nov 14. PMID: 27734508.

**St-Hilaire, S.; Cranfill, K.; McGuire, M. A.; Mosley, E. E.; Tomberlin, J. K.; Newton, L.; Sealey, W.; Sheppard, C.; Irving, S., (2007)** Fish offal recycling by the black soldier fly produces a foodstuff high in omega-3 fatty acids. *J. World Aquacult. Soc.*, 38 (2): 309-313, <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2007.00101.x>

**Sutama, I., Lindawati, S., (2011)** The Effect of Garlic (*Allium sativum* L) Supplementation on Production and Egg Cholesterol Level of Hysex Brown Laying Hens. *ANIMAL PRODUCTION*, 10(3). Retrieved from <http://animalproduction.net/index.php/JAP/article/view/209>

**Szendró, K., Nagy, M. Z., & Tóth, K. (2020)** Consumer Acceptance of Meat from Animals Reared on Insect Meal as Feed. *Animals*, 10(8), 1312. <https://doi.org/10.3390/ani10081312>.

**Szendrő, Zs., Gyenis, J., Szendrő, K., (2018)** Rovarliszt 1. rész. 18.

**Lambkin, T.A., (2001)** Investigations into the management of the darkling beetle, Kingston, Australia, ISBN 0 642 58354 4 ISSN 1440-6845, Rural Industries Research and Development Corporation

**Spilman, T.J., (1991)** Darkling Beetles (Tenebrionidae, Coleoptera), in: Gorham JR (Ed.), Insect and Mite Pests in Food, United States Department of Agriculture, Washington DC, 1991: pp. 185–214.

**Nakano, T., Ikawa, N.L., Ozimek, L., (2003)** Chemical composition of chicken eggshell and shell membranes, Poultry Science, Volume 82, Issue 3, 2003, Pages 510-514, ISSN 0032-5791, <https://doi.org/10.1093/ps/82.3.510>.

**Maggonage., M.H.U., Manjula, P., Ahn, D.U., Abeyrathne, E.D.N.S., (2024) Ovalbumin: A potential functional protein. Food Sci. Preserv., 31(3), 346-359**  
<https://doi.org/10.11002/fsp.2024.31.3.346>

**Maurer, V., Holinger, M., Amsler, Z., Früh, B., Wohlfahrt, J., Stamer, A., Leiber, F., (2016)** Replacement of soybean cake by *Hermetia illucens* meal in diets for layers, J Insects Food Feed 2 (2016) 83–90. <https://doi.org/10.3920/JIFF2015.0071>.

**van Broekhoven, S., Oonincx, D.G.A.B., Van Huis, A., Van Loon, J.J.A., (2015)** Growth performance and feed conversion efficiency of three edible mealworm species (Coleoptera: Tenebrionidae) on diets composed of organic by-products. *J. Insect Physiol.* **2015**, 73, 1–10.

**van Huis, A. (2015)** Edible insects contributing to food security, *Agric & Food Secur* **4**, 20 (2015). <https://doi.org/10.1186/s40066-015-0041-5>

**Kim, Y.B., Kim, D.-H., Jeong, S.-B., Lee, J.-W., Kim, T.-H., Lee, H.-G., Lee, K.W., (2020)** Black soldier fly larvae oil as an alternative fat source in broiler nutrition, *Poult Sci* **99** (2020) 3133–3143. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.01.018>.

**Yadav, N.K., Deepti, M., Patel, A.B., Kumar, P., Angom, J., Debbarma, S., Singh, S.K., Deb, S., Lal, J., Vaishnav, R., Das, R., Kashyap, S., Meena, D.K., (2025)** Dissecting insects as sustainable protein bioresource in fish feed for aquaculture sustainability. *Discov Food* **5**, 47 (2025). <https://doi.org/10.1007/s44187-025-00318-5>

**Chernova, A.I., Gubaev, R.F., Singh, A., Sherbina K., Goryuniva, S., Martynova, E.U., Goryunov, D.V., Boldyrev, S.V., Vanyushkina, A.A., Anikanov, N.A., Stekolschikova,**

**E.A., Yushina, E.A., Demurin, Y.N., Mukhina, Z.M, Gavrilova, V.A., Anisimova, I.N., Karabitsina, Y.I., Alpetieva, N.V., Chang, P.L., Khaitovich, P., Mazin, P.V., Nuzhidin, S.V., (2021)** Genotyping and lipid profiling of 601 cultivated sunflower lines reveals novel genetic determinants of oil fatty acid content. *BMC Genomics* **22**, 505 (2021). <https://doi.org/10.1186/s12864-021-07768-y>

**Meng, Y., Qiu, N., Guyonnet, V., Mine, Y., (2022)** Unveiling and application of the chicken egg proteome: An overview on a two-decade achievement, *Food Chemistry*, Volume 393, 2022, 133403, ISSN 0308-8146, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133403>.

**Zhang, X., Akhtar, M., Chen, Y., Ma, Z., Liang, Y., Shi, D., Cheng, R., Cui, L., Hu., Y., Nafady, A.A., Ansari, A.R., Abdel-Kafy, E.-S.M., Liu., (2022)** Chicken jejunal microbiota improves growth performance by mitigating intestinal inflammation. *Microbiome* **10**, 107 (2022). <https://doi.org/10.1186/s40168-022-01299-8>

**Payne, L.F., (1925)** The Cause of Olive-Colored Egg Yolks, *Poultry Science*, Volume 4, Issue 3, 1925, Pages 102-108, ISSN 0032-5791, <https://doi.org/10.3382/ps.0040102>.

**Sünder, A., Wilkens, M., Böhm, V., Liebert, F., (2022)** Egg yolk colour in organic production as affected by feeding – Consequences for farmers and consumers, *Food Chemistry*, Volume 382, 2022, 131854, ISSN 0308-8146, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131854>.

**Bondoc, O., Ramos, A.R., Ebron A.O., (2023)** Fat Content, Fatty Acid Composition, and Fatty Acid-based Nutritional Indices/Ratios of Egg Yolks from Different Poultry Species and Breeds. *Philipp J Sci* **152(2)**: 605–619. <https://doi.org/10.56899/152.02.07>

**Lokaewmanee, K, Suttibak, S, Sukthanapirat, R, Sriyoha, R, Chanasakhatana, N, Baotong, S, Trithalen, U., (2023)** Laying hen performance, feed economy, egg quality and yolk fatty acid profiles from laying hens fed live black soldier fly larvae. *Czech J. Anim. Sci.* **2023;68(4)**:169-177. doi: 10.17221/174/2022-CJAS.

**Filardi, R.S., Junqueira, O.M., de Laurentiz, A.C., Casartelli, E.M., Rodrigues, E.A., Araújo, L.F., (2005)** Influence of Different Fat Sources on the Performance, Egg Quality, and Lipid Profile of Egg Yolks of Commercial Layers in the Second Laying Cycle<sup>1</sup>, *Journal of Applied Poultry Research*, Volume 14, Issue 2, 2005, Pages 258-264, ISSN 1056-6171, <https://doi.org/10.1093/japr/14.2.258>.



## Internetes források

**Internet1:** K.B.Z., Világgazdaság 2024.10.16., 08:04, <https://www.vg.hu/vilaggazdasag-magyar-gazdasag/2024/10/szoja-gmo-mentes-feherje>

(Utolsó megtekintés: Május 05., 2025)

**Internet2:** <https://www.statista.com/statistics/263972/egg-production-worldwide-since-1990/>

(Utolsó megtekintés: Május 05., 2025)

**Internet3:** <https://wendelin-essencia.hu/tojopulykak-es-tojotyukok-tojocsor-eloreesese-h110>

(Utolsó megtekintés: Május 05., 2025)

**Internet4:** The Editors of Encyclopaedia Britannica (2024, December 31). egg. Encyclopedia Britannica. <https://www.britannica.com/science/egg-biology>

(Utolsó megtekintés: Május 05., 2025)

**Internet5:** <https://www.agroloop.eu/technologia/>

(Utolsó megtekintés: Május 10., 2025)

**Internet6:** <https://flybox.bio/solutions/>

(Utolsó megtekintés: Május 10., 2025)

**Internet7:** Az Európai Parlament és a Tanács 999/2001/EK rendelete (2001. május 22.) egyes fertőző szivacsos agyvelőbántalmak megelőzésére, az ellenük való védekezésre és a felszámolásukra vonatkozó szabályok megállapításáról, *HL L 147., 2001.5.31, p. 1–40 (ES, DA, DE, EL, EN, FR, IT, NL, PT, FI, SV), ELI: <http://data.europa.eu/eli/reg/2001/999/oj>*

(Utolsó megtekintés: Május 05., 2025)

**Internet8:** Az Európai Parlament és a Tanács 1069/2009/EK rendelete ( 2009. október 21. ) a nem emberi fogyasztásra szánt állati melléktermékekre és a belőlük származó termékekre vonatkozó egészségügyi szabályok megállapításáról és az 1774/2002/EK rendelet hatályon kívül helyezéséről (állati melléktermékekre vonatkozó rendelet), *HL L 300., 2009.11.14, p. 1–33 (BG, ES, CS, DA, DE, ET, EL, EN, FR, GA, IT, LV, LT, HU, MT, NL, PL, PT, RO, SK, SL, FI, SV), ELI: <http://data.europa.eu/eli/reg/2009/1069/oj>*

(Utolsó megtekintés: Május 05., 2025)

**Internet9:** A Bizottság (EU) 2017/893 rendelete (2017. május 24.) a 999/2001/EK európai parlamenti és tanácsi rendelet I. és IV. mellékletének, valamint a 142/2011/EU bizottsági rendelet X., XIV. és XV. mellékletének a feldolgozott állati fehérjére vonatkozó rendelkezések tekintetében történő módosításáról (EGT-vonatkozású szöveg.), *C/2017/3399, HL L 138., 2017.5.25., 92–116. o. (BG, ES, CS, DA, DE, ET, EL, EN, FR, HR, IT, LV, LT, HU, MT, NL, PL, PT, RO, SK, SL, FI, SV) ELI: <http://data.europa.eu/eli/reg/2017/893/oj>*

(Utolsó megtekintés: Május 05., 2025)

**Internet10:** IndexMundi. (2024). Fishmeal – Monthly price – Commodity prices – Price chart s, data, and news IndexMundi. IndexMundi. <https://www.indexmundi.com/commodities/?commodity=fish-meal&months=60&currency=eur>

(Utolsó megtekintés: Május 05., 2025)

**Internet11:** IndexMundi. (2024). Soybean meal – Monthly price – Commodity prices – Price charts, data, and news IndexMundi. IndexMundi. <https://www.indexmundi.com/commodities/?commodity=soybean-meal&months=60&currency=eur>

(Utolsó megtekintés: Május 05., 2025)

## Mellékletek

### I. Ábrák jegyzéke

<b>1. ábra: A világ tojástermelése 1990-2023 között (1000 tonna)</b>	<b>3.oldal</b>
<b>2. ábra: A tojásképződés folyamata</b>	<b>5.oldal</b>
<b>3. ábra: A tojás felépítése</b>	<b>6.oldal</b>
<b>4. ábra: Rovarfehérje előállítás</b>	<b>15.oldal</b>
<b>5. ábra: Rovarfehérje takarmányozási célra történő felhasználásának általános megítélése</b>	<b>17.oldal</b>
<b>6. ábra: Fehérjetakarmányok árának alakulása 2021-2023 között</b>	<b>24.oldal</b>
<b>7. ábra: Az illékony vegyületek 50 °C-on történő inkubálás utáni állapotáról készült loading plot diagram.</b>	<b>34.oldal</b>

## II. Táblázatok jegyzéke

<b>1. táblázat: A tojáshéj kémiai összetétele</b>	<b>7.oldal</b>
<b>2. táblázat: A tojásfehérje fehérjeösszetétele</b>	<b>5.oldal</b>
<b>3. táblázat: Különböző rovarkomponensek főbb táplálóanyagtartalmainak összehasonlítása az extrahált szójadara-, valamint hallisztével</b>	<b>12.oldal</b>
<b>4. táblázat: Néhány rovarfaj esszenciális aminosavtartalma a szójáéhoz képest</b>	<b>12.oldal</b>
<b>5. táblázat: Különböző takarmányokon nevelt fekete katonalégy lárva nyersfehérje tartalma</b>	<b>14.oldal</b>
<b>6. táblázat: Néhány rovarkomponens zsírsavösszetétele %-os arányban</b>	<b>18.oldal</b>
<b>7. táblázat: A kísérleti tápok összetétele (g/kg)</b>	<b>26.oldal</b>
<b>8. táblázat: A kísérleti tápok táplálóanyagtartalma (g/kg)</b>	<b>27.oldal</b>
<b>9. táblázat: Az ADM, illetve a kísérleti tápok mért táplálóanyagtartalma</b>	<b>30.oldal</b>
<b>10. táblázat: A rovarfehérje liszt zsírsavösszetétele (g/100 g nyers zsír)</b>	<b>31.oldal</b>
<b>11. táblázat: A tyúkok élősúlya, illetve testtömeggyarapodása</b>	<b>32.oldal</b>
<b>12. táblázat: A termelési eredmények alakulása</b>	<b>32.oldal</b>
<b>13. táblázat: A tojásminőségi paraméterek alakulása</b>	<b>33.oldal</b>
<b>14. táblázat: A kezelések hatása a tojássárgája zsírtartalmára illetve zsírsavösszetételére</b>	<b>34.oldal</b>
<b>15. táblázat: Az érzékszervi bírálat eredményei a kezelések függvényében</b>	<b>35.oldal</b>

# Függelékek

## NYILATKOZAT

### a záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió<sup>1</sup> nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve: Szente Ákos Dániel  
A Hallgató Neptun kódja: IDHD54  
A dolgozat címe: Rovarfehérje etetésének hatása tojóttyúkrok termelésére és az étkezési tojás minőségére  
A megjelenés éve: 2025  
A konzulens intézetének neve: Élettani és Takarmányozástani Intézet  
A konzulens tanszékének a neve: Takarmányozási és Takarmányozás-élettani Tanszék

Kijelentem, hogy az általam benyújtott diplomadolgozat egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, és az irodalomjegyzékben szerepeltettem.

Ha a fenti nyilatkozattal valótlan állítottam, tudomásul veszem, hogy a záróvizsgabizottság a záróvizsgából kizár és a záróvizsgát csak új dolgozat készítése után tehetek.

A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

Tudomásul veszem, hogy az általam készített dolgozatra, mint szellemi alkotás felhasználására, hasznosítására a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem mindenkor szellemi tulajdon-kezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem MATER Hallgatói Dolgozatok repozitóriumába.

Tudomásul veszem, hogy a megvédett és

- nem titkosított dolgozat a védést követően
- titkosításra engedélyezett dolgozat a benyújtásától számított 5 év eltelte után

nyilvánosan elérhető és kereshető lesz az Egyetem MATER Hallgatói Dolgozatok repozitóriumában.

Kelt: 2025. év 10. hó 16. nap



Hallgató aláírása

<sup>1</sup> A megfelelő dolgozattípus meghagyása mellett a többi típus törlendő.


## NYILATKOZAT

Szente Ákos Dániel (név) (hallgató Neptun azonosítója: IDHD54) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a diplomadolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A záródolgozatot/szakdolgozatot/diplomadolgozatot/portfóliót a záróvizsgán történő védésre javaslom / nem javaslom<sup>1</sup>.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem\*<sup>2</sup>

Kelt: 2025. év 10. hó 16. nap

  
belső konzulens

**Hallgatók, doktoranduszok nyilatkozata mesterséges intelligencia (MI) alkalmazásáról**

**1. Általános adatok**

Hallgató neve:	Szente Ákos Dániel
Neptun-kódja:	IDHD54
Képzési szint (a megfelelőt jelölje X-szel):	<input type="checkbox"/> BSc/BA <input checked="" type="checkbox"/> MSc/MA <input type="checkbox"/> Doktori (PhD) <input type="checkbox"/> Egyéb: .....
Tantárgy neve/kódja*:	Diplomadolgozat készítés 3./ELTAK021L
A munka címe:	Rovarfehérje etetésének hatása tojótyúkok termelésére és az étkezési tojás minőségére

\* doktori értekezés esetén nem kitöltendő

**2. Nyilatkozat az MI használatáról**

Alulírott, etikai felelősségem teljes tudatában az alábbi nyilatkozatot teszem:

*(Kérjük, válasszon egyet az alábbi lehetőségek közül!)*

A) Nem alkalmaztam mesterséges intelligencia rendszert vagy szolgáltatást.

(Amennyiben ezt jelölte, a további táblázatok kitöltése nem szükséges.)

B) Alkalmaztam mesterséges intelligencia rendszert vagy szolgáltatást.

(Kérjük, töltsse ki a vonatkozó táblázatokat!)

**3. A mesterséges intelligencia használatának részletezése**

**I. TÁBLÁZAT: Asszisztensi vagy kisebb mértékű felhasználás (pl. fordítás, nyelvi korrektúra, ötletelés stb.)**

*(Ezen felhasználások esetében a konkrét promptok és válaszok csatolása nem szükséges.)*

A felhasználás célja	Alkalmazott MI-eszköz neve és verziója	Érintett rész (ha nem a szöveg egészére vonatkozik)

**II. TÁBLÁZAT: Jelentős tartalmi hozzájárulás (pl. egy teljes ábra vagy egy hosszabb szövegrész generálása)**

*(Ezekben az esetekben a felhasznált kulcsfontosságú promptok és az MI által adott nyers válaszok dokumentálása és a munka mellékletében való csatolása szükséges.)*

A felhasználás célja	Alkalmazott eszköz verziója, elérhetősége	MI-neve,	Az érintett fejezet / ábra / táblázat pontos sorszáma	A prompt-naplót tartalmazó melléklet bejegyzésének sorszáma

**3/A. Oktató által előírt kiegészítő szabályok (ha vannak)**

Amennyiben az adott tantárgy oktatója vagy témavezetője az MI-eszközök használatára vonatkozóan külön szabályokat vagy elvárásokat határozott meg, kérjük, az alábbi mezőben foglalja össze ezeket:

*Pl. az MI használatának tilalma bizonyos feladattípusokra; csak konkrét eszköz használata engedélyezett; eltérő hivatkozási elvárások; dokumentációs forma stb.*

Oktató vagy témavezető által előírt szabályok:

.....

.....

.....

.....

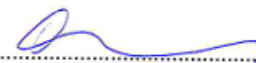
**4. Minden hallgatóra vonatkozó nyilatkozat:**

Kijelentem, hogy az MI által esetlegesen generált tartalmakat minden esetben kritikailag felülvizsgáltam, szerkesztettem és a munkába illesztettem. A leadott munka minden eleméért, annak eredetiségéért és tudományos helytállóságáért teljes körű felelősséget vállalok. Tudomásul veszem, hogy a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem a benyújtott munkát mesterséges intelligencia detektorral ellenőrizheti, és eljárást kezdeményezhet, amennyiben a nyilatkozatom valótlan vagy hiányos.

Kelt: 8360. Keszthely, 2025. 11. hó 03. nap



Hallgató aláírása



Konzulens/Témavezető aláírása