



MAGYAR AGRÁR- ÉS ÉLETTUDOMÁNYI EGYETEM
GEORGIKON CAMPUS

**BROJLERCSIRKÉK AMINOSAV- ÉS ENERGIA-ELLÁTÁSÁT
CÉLZÓ TAKARMÁNYOZÁSI VIZSGÁLATOK CSÖKKENTETT
NYERSFEHÉRJE-TARTALMÚ TÁPOK ESETÉN**

DOI: 10.54598/006880

Strifler Patrik

Keszthely

2025

A doktori iskola

megnevezése: Festetics Doktori Iskola

tudományága: Állattenyésztési tudományok

vezetője: Dr. habil. Anda Angéla, DSc

egyetemi tanár

MATE, Georgikon Campus

Növénytermesztés-tudományok Intézet, Agronómia Tanszék

Témavezető: Dr. Pál László, PhD

egyetemi tanár

MATE, Georgikon Campus

Élettani és Takarmányozástani Intézet,

Takarmányozástani és Takarmányozás-élettani Tanszék

.....
Az iskolavezető jóváhagyása

.....
A témavezető jóváhagyása

Tartalomjegyzék

Jelölések, rövidítések jegyzéke	5
1. BEVEZETÉS	7
2. CÉLKITŰZÉSEK	9
3. IRODALMI ÁTTEKINTÉS.....	11
3.1. Brojlercsirkék növekedése és testösszetétele.....	11
3.2. Brojlercsirkék energia-ellátása	15
3.3. Brojlercsirkék fehérje- és aminosav-ellátása	18
3.4. Csökkentett nyersfehérje-tartalmú takarmánykeverékek alkalmazása	22
3.4.1. A csökkentett nyersfehérje-tartalmú keverékek alkalmazásának előnyei	22
3.4.2. A nyersfehérje-tartalom csökkentésének mértéke, a keverékek összetétele	23
3.4.3. Az ammónia emisszió csökkentésének lehetősége.....	25
3.4.4. A csökkentett nyersfehérje-tartalom hatása az aminosavak emészthetőségére	29
3.4.5. A takarmánykeverék energia- és keményítőtartalmának jelentősége.....	31
3.4.6. A treonin, a glicin és a szerin jelentősége	34
3.4.7. Az elágazó szénláncú és aromás aminosavak jelentősége.....	37
3.4.8. Takarmány adalékanyagok használata	38
4. ANYAG ÉS MÓDSZER	40
4.1. Csökkentett nyersfehérje-tartalmú, probiotikummal kiegészített takarmányok hatásai brojlercsirkék termelési eredményeire és a bél morfológiai állapotára (1. kísérlet)	40
4.1.1. Kísérleti állatok és elhelyezésük	40
4.1.2. Kísérleti takarmányok	40
4.1.3. Mérések és mintavételi eljárások.....	43
4.1.4. Analitikai módszerek.....	44
4.1.5. Statisztikai analízis	44
4.2. Különböző energia-fehérje arányú, csökkentett nyersfehérje-tartalmú takarmánykeverékek hatása brojlercsirkék termelésére, vágóértékére, húsfelhígítésére és nitrogén-forgalmára (2. kísérlet)	44
4.2.1. Kísérleti állatok és elhelyezésük	44
4.2.2. Kísérleti takarmányok	44
4.2.3. Mérések és mintavételi eljárások.....	48
4.2.4. Analitikai módszerek és számítások.....	49
4.2.5. Statisztikai analízis	49
4.3. Brojlercsirkék eltérő treonin- és glicin-ellátásának hatása csökkentett nyersfehérje-tartalmú takarmánykeverékek esetén (3. kísérlet).....	50
4.3.1. Kísérleti állatok és elhelyezésük	50
4.3.2. Kísérleti takarmányok	50
4.3.3. Mérések és mintavételi eljárások.....	56

4.3.4. Analitikai módszerek és számítások.....	57
4.3.5. Statisztikai analízis	57
5. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK.....	58
5.1. Csökkentett nyersfehérje-tartalmú, probiotikummal kiegészített takarmányok hatása brojlercsirkék termelési eredményeire és a bél morfológiai jellemzőire (1. kísérlet)	58
5.1.1. Termelési paraméterek	58
5.1.2. Vágóérték vizsgálata	63
5.1.3. A bél morfológiájának és a béltartalom állapotának vizsgálata	64
5.2. Különböző energia-fehérje arányú, csökkentett nyersfehérje-tartalmú takarmánykeverékek hatása brojlercsirkék termelésére, vágóértékére, húsmínőségére és nitrogén-forgalmára (2. kísérlet)	68
5.2.1. Termelési paraméterek	68
5.2.2. Vágóérték és a mellhús minőségi jellemzői	72
5.2.3. Nitrogén-retenció és a brojlerürülék nitrogéntartalmú vegyületeinek koncentrációja	75
5.2.4. A keményítő és az aminosavak látszólagos ileális emészthetősége	78
5.3. Brojlercsirkék eltérő treonin- és glicin-ellátásának hatása csökkentett nyersfehérje-tartalmú takarmánykeverékek esetén (3. kísérlet).....	82
5.3.1. A kísérleti állatok aminosav-felvétele	82
5.3.2. Termelési paraméterek	82
5.3.3. Vágóérték és mellhús-minőségi vizsgálat eredményei.....	86
5.3.4. Nitrogén-retenció és a brojlerürülék nitrogéntartalmú vegyületeinek koncentrációja	90
5.3.5. A keményítő és az aminosavak látszólagos ileális emészthetősége	92
6. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK	96
7. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK.....	99
8. ÖSSZEFOGLALÁS	100
9. SUMMARY.....	102
10. MELLÉKLETEK.....	104
M1. Irodalomjegyzék	104
11. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	124

Jelölések, rövidítések jegyzéke

AMEn	zéró nitrogénretencióra korrigált látszólagos metabolizálható energia
Arg	arginin
BA	Bacillus amyloliquefaciens
BW ^{0,75}	anyagcsere testsúly
CP	nyersfehérje (crude protein)
FCR	fajlagos takarmányértékesítés (feed conversation ratio)
GLUT-12	glükóztranszporter-12
GLUT-4	glükóztranszporter-4
Gly	glicin
Gly _{equi}	glicin ekvivalens ($\text{Gly}_{\text{equi}} (\text{g/kg}) = \text{glicin} (\text{g/kg}) + [0.7143 \times \text{szerin} (\text{g/kg})]$)
Ile	izoleucin
LP	csökkentett nyersfehérje-tartalom (low protein)
Lys	lizin
Met	metionin
N	nitrogén
NE	nettó energia
NH ₄ ⁺ -N	ammónium nitrogén
NSP	nem keményítő eredetű szénhidrát (non starch polysaccharide)
Ser	szerin
SGLT-1	nátrium glükóz kotranszporter-1
SID	standardizált ileális emészthetőség (standardized ileal digestibility)
TAN	ammónia- és ammónium-N összege (total ammoniacal nitrogen)
TDH	treonin-3-dehidrogenáz
TA	treonin aldoláz

Thr	treonin
TiO ₂	titán-dioxid
Val	valin

1. BEVEZETÉS

A csirkehús az emberiség egyik legértékesebb fehérjeforrása. Ennek háttérében a fehérje jó biológiai hasznosulása és kedvező aminosav-összetétele áll. Alacsony energia-, nátrium- és zsírtartalma, valamint a kedvező, többszörösen telítetlen zsírsavösszetétel miatt könnyű beilleszteni még speciális étrendekbe is. Számos vizsgálat igazolja a csirkehús fogyasztás prevenciós jelentőségét a különböző szív- és érrendszeri megbetegedések, a cukorbetegség és egyes tumoros betegségek között (Jilo és Hasan, 2022).

Világszinten a baromfihús előállítása 139 millió tonnával (2021-23) a legnagyobb volumenű a húsfélék között, meghaladva a sertéshús (122 millió tonna) és egyéb fajok húsának előállítását (OECD/FAO, 2024). A brojlerhús előállítása ezen belül dominánsan kb. 103 millió tonnát tett ki 2024-ben, amelyből az USA vezető termelőként 23,3 millió tonnát állított elő (USDA, 2025). Az EU országai kb. 13,8 millió tonna baromfiterméket állított elő 2024-ben, ennek részeként kb. 11,4 millió tonna volt a brojler termék. A vezető csirkehús előállító az EU-ban Lengyelország, 2023-ban évi 2,2 millió tonnával, míg hazánk 378 000 tonna brojlerhúst állított elő (Európai Bizottság, 2025). Magyarország a teljes takarmánykeverék előállításának 23,7%-át, 936 000 tonnát gyártott a brojlerek részére a 2021-es évben (AKI, 2022). A baromfihús ágazat termelése a hatékonysága és a termékek sok szempontból kedvező elfogadottsága miatt jelenleg is növekszik, az előrejelzések szerint 2033-ra világszinten elérheti a 160 millió tonnát. A baromfihús fogyasztása az EU-ban növekszik, 2023-ban egy főre vetítve 23,8 kg volt, míg hazánkban 34,0 kg/fő fogyasztást mértek (AVEC, 2024).

A víz-, talaj- és levegőminőséget károsító szennyező anyagok egyik forrása az állattenyésztés, az ammónia emisszió esetében az egyik legjelentősebb kibocsátó. Az intenzív baromfihús-előállítás során is szabadul fel ammónia, amely a felszíni- és felszín alatti vizeket is károsítja, továbbá hozzájárul a talajok savanyodásához (Webb et al., 2005). A bélrendszerben nem emésztődő takarmányfehérje, illetve a szervezet N-anyagforgalmában nem hasznosuló N-tartalmú vegyületekből keletkező húgysav kiválasztódik és az ürülékkel a környezetbe kerül, ahol a baktériumok közreműködésével ammónia, majd dinitrogén-oxid (üvegház-hatású gáz) szabadul fel (Nahm, 2003). Számos technológia eljárást kidolgoztak a baromfiágazat nitrogén és ammónia emissziójának csökkentése érdekében. A takarmányozási módszerek közül a leghatékonyabb megoldást a csökkentett nyersfehérje-tartalmú ("low protein", LP) takarmányok etetése jelenti. A takarmány nyersfehérje-tartalmának 1%-kal történő csökkentése az ürülékkel távozó nitrogén, illetve ammónia kb. 10%-os csökkenését eredményezheti (Santonja et al., 2017). A kisebb nitrogénbevitel hatására a brojlerek vízfelvétele is csökkenhet, amelynek következtében javul az

alomminőség (szárazabb alom), kisebb a lábfekély, a bőrirritáció és a mellizom felhólyagosodásának a kockázata (Swiatkiewicz et al., 2017). A fehérjecsökkentett takarmányozás révén kevesebb emésztetlen fehérje kerül az utóbélbe, ami a diszbiózis és az elhalásos bélgyulladás előfordulásának, a felhasznált antibiotikumok mennyiségének csökkenését eredményezheti (Wu, 2014). A csökkentett fehérjeszintű tápokban általában kisebb az import szója, illetve nagyobb a kristályos aminosav-kiegészítők részaránya, ezért gazdasági és ökológiai szempontból is jelentős előnyök realizálhatók: előtérbe helyezhető a helyi, európai fehérjehordozók használata, csökkenthető az esőerdők irtása, az alapanyagok szállítási távolsága és így a takarmány-előállítás széndioxid-lábnyoma (Gasparri et al., 2013). A szójatermékek, a kristályos aminosavak és a helyi fehérjehordozó alapanyagok áraitól függően a tápok árai csökkenhetnek, a termelés gazdaságosabbá válhat.

Napjainkban az emésztőtraktus egészségének megőrzésével, mikrobiótájával, az antibiotikum-használat csökkentésével kapcsolatos kutatásokban nagy szerepet kap a különböző probiotikum készítmények vizsgálata. A brojlercsirkére vonatkozóan az LP takarmánykeverékek és a probiotikumok vizsgálatát külön-külön számos kutatócsoport vizsgálta már, az együttes vizsgálatra viszont jóval kevesebb példát találunk a szakirodalomban. További kevésbé vizsgált tématerület az LP takarmányok energia (AMEn) szintjének beállítása, ugyanis a fehérjeszint csökkentés mellett szinten tartott AMEn tartalom (izokalorikus LP tápok) általában energiafelesleget hoz létre és megnöveli a csirkék hasúri zsír depozícióját (Swennen et al., 2006). Az aminosav-ellátás szempontjából lényeges, hogy az LP tápok nyersfehérje tartalmának csökkentése esetén minél több esszenciális aminosav standardizált ileálisan emészthető (SID) értékét a szükségesleti (kontroll) értéknek megfelelő „szinten” tartsuk a szintetikus aminosav kiegészítők arányának emelésével. Az utóbbi években előtérbe került a nem esszenciális aminosavak szerepének kérdése is, a glicin, mint elsőként limitáló nem esszenciális aminosav szintjének vizsgálata (Siegert és Rodehutschord, 2019). A brojlercsirkék glicin-ellátásának kutatását nehezíti, hogy az számos tényezőtől függ (pl. treonin, szerin, metionin, cisztein, betain, kolin elérhetősége). A gyakorlat szempontjából fontos, hogy a szintetikus glicin az EU-ban aromaanyagként, maximálisan 25 mg/kg koncentrációban használható a teljes értékű állati takarmányokban, azonban takarmány adalékanyagként nem engedélyezett (EFSA, 2014). A jövőben megnövekedhet az igény olyan takarmány alapanyagok iránt, amelyek természetes glicin forrásként szolgálhatnak az LP keverékek etetése során.

2. CÉLKITŰZÉSEK

Doktori kutató munkám során az eltérő nyersfehérje- és energiaszintű brojlertakarmányok csirkékre kifejtett hatásának vizsgálatával kapcsolatban a következő célkitűzéseket fogalmaztam meg:

1. Első kísérletemben *Eimeria* fertőzéstől mentes brojlerállományban a *Bacillus amyloliquefaciens* CECT5940 törzs és a csökkentett nyersfehérje tartalmú takarmányok együttes hatását vizsgálom. A kontrolltakarmány konvencionális nyersfehérje-tartalmát a nevelő- (-1,5%) és a befejező fázisban (-2%) csökkentem, és mindkét fehérjeszintű takarmányt probiotikummal kiegészítve, tehát összesen négy kezelést alkalmazva tanulmányozom. Az eltérő fehérjeszintek mellett összesen hat esszenciális aminosav esetében (lizin, metionin, treonin, arginin, valin, izoleucin) azonos SID értékeket állítok be az állatok életkorának megfelelő aminosav-szükséglet figyelembevételével. A kísérlet során össze kívánom hasonlítani a fehérjeszint hatását, a probiotikum hatást, illetve az esetleges fehérje- probiotikum interakciókat a termelési eredmények, a vágóérték, valamint a bélrendszer morfológiai állapotának vonatkozásában.

2. A második modellkísérlet során a nyersfehérje csökkentett (LP) takarmányozás (-1,5%) hatását kívánom megvizsgálni, a takarmány különböző AMEn/nyersfehérje arányai mellett. Egy, a kontroll (C) nyersfehérje-tartalmú táppal izokalorikus keverék mellett (LP1) az LP2 és LP3 keverékekben az AMEn relatív csökkenése kisebb mértékű (1,5 illetve 3,0%), mint a nyersfehérje-tartalom relatív csökkenése, ami újdonságot jelent a brojlertakarmányozás jelenlegi ismereteihez képest. Ennek megfelelően vizsgálni szeretném a különböző AMEn/nyersfehérje arányú fehérjecsökkentett takarmányok hatásait a brojlerok termelési paramétereire, a hasított test összetételére, a mellhús minőségére, a nitrogén retencióra és az ürülék N-összetételére, a keményítő és aminosavak látszólagos ileális emészthetőségére.

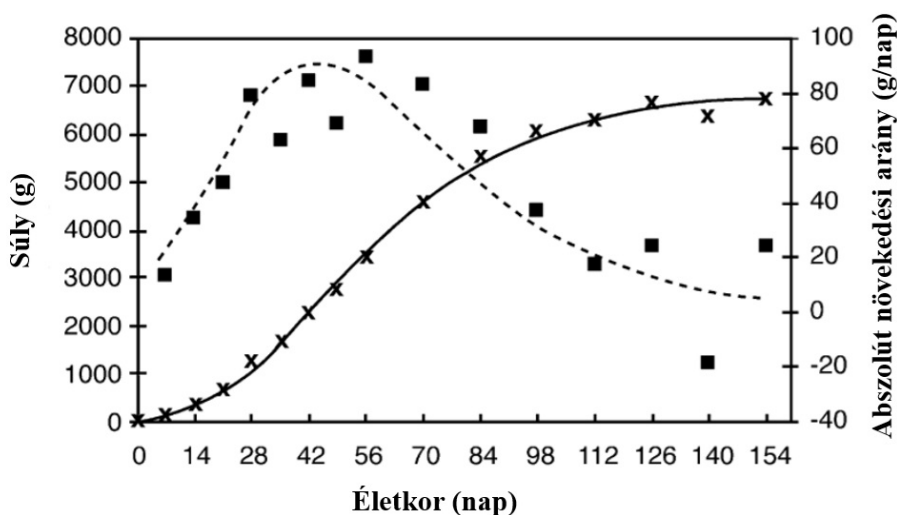
3. A harmadik modellkísérletben célom, hogy olyan gyakorlatban alkalmazott „hagyományos” és kisebb nyersfehérje-tartalmú (-2%) takarmánykeverékeket állítsak össze, amelyek segítségével a glicin, mint elsődlegesen limitáló nem esszenciális aminosav jelentőségét és termelésre, illetve nitrogén emisszióra kifejtett hatását tudom vizsgálni. A korábbi kísérletekben alkalmazott elvek mentén összeállított kontroll és csökkentett fehérje-tartalmú keverék (LPS) mellett az egyik LP tápban a glicin ekvivalens érték (Gly_{equi}) szinten tartására glicinben gazdag sertés húslisztet használunk (LPM). A sertés húsliszt felhasználását a kristályos glicin, mint adalékanyag alkalmazásának EU-n belüli tilalma indokolja. A treonin a glicin prekürzora, ennek megfelelően az egyik nyersfehérje csökkentett takarmányban (LPST) emelt kristályos treonin kiegészítést

tervezek alkalmazni. A kísérletben vizsgálni kívánom a takarmány kezelések hatásait a brojlerek termelési paramétereire, a hasított test összetételére, a mellhús minőségére, a nitrogén retencióra és ürülék N-formáinak arányára, a keményítő és aminosavak látszólagos ileális emészthetőségére.

3. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

3.1. Brojlercsirkék növekedése és testösszetétele

A brojlercsirkék növekedése általánosan egy szigmoid görbével írható le, ahol a Gompertz-modell alapján három fontos, biológiai jelentéssel bíró paraméter az aszimptota, a növekedési ütem és az inflexiós pont (Winsor, 1932). Az aszimptota a kifejlett kori maximális testsúly, a növekedési ütem a napi súlygyarapodás értéke, az inflexiós pont pedig az az életkor, ahol a növekedési ütem maximális. Winsor (1932) korai tanulmányában a növekedési görbe inflexiós pontjaként a kifejlett kori testsúly 37%-os értékét jelölte meg, ami a modern brojlercsirkék növekedési görbéje esetében még mindig helytállónak bizonyul. A Cobb 500-as hibrid hímivarával végzett 2003-as kísérletben a csirkék növekedési görbéje a 44. napon érte el az inflexiós pontot (90,4 g/nap) 2516,4 g testsúllyal, ami a kifejlett kori maximális 6870,2 g-os testsúly 36,6%-a (1. ábra; Goliomytis et al., 2003).



1. ábra Brojlercsirkék testsúlyának (g) szigmoid növekedési görbéje az abszolút növekedési ütem (g/nap) feltüntetésével (becsült testsúly görbe: folyamos vonal, mért testsúly: x, becsült növekedési ütem: szaggatott vonal, mért növekedési ütem: ■; Goliomytis et al., 2003)

Az inflexiós ponthoz kötődő hizlalási nap az 1957-es évben az AMC (University of Alberta Meat Control) genotípus esetében 53,5 nap volt, ami a genetikai előrehaladás hatására a Ross 308-as hibrid esetében 40,4 nap volt 2005-ben (Zuidhof et al., 2014). Tizennégy évvel később, Caldas et al. (2019) vizsgálatában a Cobb hibrid hímivarú brojlereinek növekedési görbéje az inflexiós pontot a hizlalás 33. napján érte el 4,7%-os maximális növekedési ütemmel, amikor a kifejlett kori maximális 5465 g-os testsúlynak ebben az esetben is a korábbiakhoz hasonlóan 37,4%-át, 2044 g-os testsúlyt értek el az állatok.

A hizlalás 42. napján mért testsúly az AMC genotípus 1957-es és 1978-as változatában 586 illetve 1205 g volt, amely paraméter a Ross 308-as hibrid esetében vegyes ivarban 2022-ben elérte a 2998 g-ot (Zuidhof et al., 2014; Aviagen, 2022). Ugyanezen genotípusok esetében a 0-42. napos teljes hizlalásra számolt takarmányértékesítés 2,88 kg/kg (1957), 1,90 kg/kg (1978) és 1,53 kg/kg (2022) volt (Zuidhof et al., 2014; Aviagen, 2022). Az adatok alapján 1957 és 2022 között a brojlerek növekedése több mint 500%-kal nőtt, és egyidejűleg közel 50%-os csökkenés volt megfigyelhető a takarmányértékesítésben. A takarmányértékesítés javulása összefügg a brojlerek életfenntartási igényének csökkenésével is, mivel a növekedési erély fokozódásával az energia nagyobb arányban kerül felhasználásra a növekedéshez, mint az életfenntartáshoz (Zuidhof et al., 2014). A mai gyors növekedésű modern genotípusok teljes hizlalásra számított növekedési erélye meghaladja a 60 g/nap értéket, ami együtt jár számos egészségügyi problémával is, mint pl. a csont és ízületi rendellenességek gyakoribbá válása, a mozgásképeség csökkenése, a talpfekély kialakulásának nagyobb valószínűsége. A gyorsabb növekedés a szív- és érrendszeri betegségek (pl. hirtelen szívhalál szindróma, ascites), a mellizom myopathiák nagyobb gyakoriságával, a hőstresszel szembeni fokozott érzékenységgel is összefüggésbe hozható (Rayner et al., 2020; Riber és Wurtz, 2024). A felsorolt egészségügyi problémák, az állatjóléti szempontok előtérbe kerülése és különböző régió-specifikus fogyasztói trendek hatására megjelentek az ún. lassan növvő brojlerek, amelyek jelenleg a piacnak csak kis hányadát teszik ki (az Egyesült Királyságban kb. 11%; Rayner et al., 2020). A növekedési ütem nagysága alapján több kategória létezik, de a terminológia nem egységes. A 60 g/nap feletti növekedési ütemmel rendelkező brojlereket „gyors”, a 45 és 60 g/nap növekedési ütem esetén „köztes” (intermediate), a 35 és 45 g/nap kategóriában „lassúbb” (slower), a 35 g/nap alatti növekedési ütemmel rendelkezőket pedig „lassú” (slow) növekedésűnek nevezzük (de Jong et al., 2022).

A genetika kb. 85-90%-ban, a takarmányozás pedig kb. 10-15%-ban járult hozzá a jelenlegi brojler típusú csirke létrehozásához (Havenstein et al., 2003a,b). A modern hibridek azonban jóval érzékenyebbek a táplálóanyag-ellátás minőségére, mint a múlt század közepén használt genotípusok. Ezt nagyon szemléletesen alátámasztotta Havenstein et al. (2003a,b) kísérlete, amelyben két genotípust és kétféle takarmánykeverék-sort használtak. Az egyik általuk használt törzs az 1957-es genetikai potenciált képviselte (Athens-Canadian Random-bred Control, ACRC), a másik pedig a Ross 308 modern hibrid 2001-es törzse volt. A kísérletben mindkét genotípus fogyasztotta az 1957-es és a 2001-es évekre jellemző takarmánykeverékeket. A takarmányok elsősorban kukorica-szója alapúak voltak, de tartalmaztak állati melléktermékeket is. Az 1957-es keverékekben azonban nem használtak kristályos aminosavakat, valamint egyéb takarmány-

adalékanyagokat, például kolin-kloridot vagy enzimeket, mivel ezek akkoriban nem álltak rendelkezésre. A kísérlet eredményeit az 1. táblázat mutatja be.

1. táblázat: Hímivarú brojlercsirkék testsúlya, takarmányértékesítése és mellhús aránya az 1957-es és 2001-es genotípus, illetve takarmányozás esetén (Havenstein et al., 2003a,b)

Genotípus	Takarmány	Testsúly (g; 42. nap)	Takarmány- értékesítés (kg/kg)	Mellhús arány (%)
1957	1957	591	2,28	11,5
	2001	641	2,05	11,2
2001	1957	2271	1,88	17,0
	2001	2903	1,58	19,5

A 2001-es genetikai potenciállal rendelkező madarak 1957-es típusú takarmányozása a 42. napos, hizlalás végi testsúly jelentős csökkenését idézte elő, míg a takarmányértékesítési arány 0,3 kg/kg értékkel romlott, illetve a mellhús kihozatal aránya erőteljesen, 2,5 százalékponttal csökkent a 2001-es típusú takarmányokkal elért teljesítményhez képest. Bár a 2001-es takarmányozás az 1957-es törzs paramétereit javította az 1957-es takarmányozáshoz képest, ez a mérték sokkal kisebb volt a 2001-es genotípus megfelelő kezeléseinek hatásaihoz képest. Ez egyértelműen bizonyítja a jelenleg használt brojler genotípusok nagyobb táplálóanyag-igényét és a táplálóanyagok, köztük az aminosavak sokkal hatékonyabb felhasználását a korábbi genetikához képest. A kísérlet rámutat arra, hogy a takarmányok táplálóanyag-tartalmát rendszeresen ellenőrizni kell, és hozzá kell igazítani a madarak növekvő teljesítménypotenciáljához.

Az 1. táblázat mellhús arányainak adataiból is jól látszik az elmúlt közel öt évtized genetikai előrehaladása a legfontosabb termék tekintetében. A mellhús arányában az 1957-es és 2005-ös évek között a hímivar esetében 79%-os, a nőivarban pedig 85%-os volt az előrehaladás (Zuidhof et al., 2014). A 2. táblázat a Ross 308-as hibrid 2022-es adatait tartalmazza, amely alapján látható, hogy a mellhús kihozatal a 2000-es évek elején jellemző 19-21%-os mellhús arányról (élőtömeghez képest, csont és bőr nélkül) a 25-28%-os értékre nőtt egy 3 kg-os állat esetében (Scheuermann et al., 2003; Aviagen, 2022). A 2. táblázat adatai bemutatják a mellhús arányban megmutatkozó ivari különbségét azonos életkorban a jércék javára. Bizonyos genotípusok között azonos életkorra és ivarra vonatkoztatva kimutathatók szignifikáns különbségek a mellhús arány tekintetében (Scheuermann et al., 2003). A 2022-es technológiai adatok alapján a 2950 g-os Cobb 500-as hibrid esetében a kakasoknál 25,8 %, a jércéknél 27,2 % a csont nélküli mellhús arány értéke az élőtömeghez képest, ami a jércék esetében jelent kb. 0,8%-os különbséget a Ross 308 hibrid javára (Aviagen, 2022; Cobb-Vantress, 2022).

2. táblázat: Ross 308 hibridek vágóértéke hím- és nőivarban (Aviagen, 2022)

Élősúly (kg)	Vágási kihozatal ¹ (%)	Mell kihozatal ² (%)	Comb kihozatal ³ (%)	Alsócomb kihozatal ⁴ (%)	Szárny kihozatal ⁵ (%)
Kakasok					
2	71,34	23,39	13,33	9,88	7,61
3	73,42	25,86	13,96	9,79	7,50
4	74,46	27,09	14,27	9,74	7,45
Jércék					
2	71,78	25,15	13,32	9,36	7,57
3	74,06	28,06	13,69	9,17	7,46
4	75,20	29,52	13,88	9,07	7,40

¹ Vágási kihozatal: kizsigerelt hasított test nyak, hasúri zsír és belső szervek nélkül az élősúly százalékában megadva

² Mell kihozatal: mellizomzat bőr és csont nélkül az élősúly százalékában megadva

³ Comb kihozatal: a teljes comb bőrrel és csonttal az élősúly százalékában megadva

⁴ Alsócomb kihozatal: a teljes alsócomb bőrrel és csonttal az élősúly százalékában megadva

⁵ Szárny kihozatal: a teljes szárny bőrrel és csontokkal az élősúly százalékában megadva

A mai brojlerek testsúlya és testösszetétele közötti összefüggést a 3. táblázat szemlélteti.

3. táblázat: Brojlerek testtömege és testösszetétele 1-60 napos kor között (Caldas et al., 2019)

Életkor (nap)	Testsúly (g)	Víz (g/kg)	Testösszetétel			
			Fehérje (g/kg)	Zsír (g/kg)	Ásványi anyagok (g/kg)	Egyéb (g/kg)
1	56	724	166	55	17,9	38,2
4	98	741	154	62	18,5	24,9
7	154	746	154	53	20,1	26,8
12	388	751	146	61	21,6	21,2
17	571	739	154	71	20,6	15,3
22	985	724	155	82	20,7	18,3
27	1402	719	172	75	22,5	11,5
33	2044	707	173	90	20,8	10,3
39	2560	692	177	100	21,1	10,8
47	3094	686	180	98	21,8	14,0
54	3770	687	180	95	20,9	17,3
60	4184	683	182	101	21,0	13,4

A brojlerok esetében a kelés utáni néhány napban még jelen lévő szik lipid tartalma miatt előfordulhat, hogy a teljes test víztartalma növekszik, majd utána lineárisan csökken (Perreault és Leeson, 1992). Mivel az életkor előrehaladtával a test szárazanyag-tartalma nő, a nedves tömegre vonatkoztatott fehérje- és zsírtartalom is növekszik (Caldas et al., 2019). A szárazanyagra vonatkoztatott fehérjetartalom a 21. és 60. nap között csökkenhet (51,7% vs. 47,4%; Perreault és Leeson, 1992) vagy nem változik (56,3% vs. 57,4%; Caldas et al., 2019). A két vizsgálat értékei mutatják, hogy 1992-től 2019-ig lezajlott növekedést a test fehérjetartalmában. A test zsírtartalma a víztartalommal ellentétben változik a kor előrehaladtával, a növekedés a 21. és 60. nap között szárazanyagra vonatkoztatva a zsigerelt vágott test esetében nagyobb mértékű (44,7 % vs. 47,8%), mint a teljes test esetében (41,4% vs. 42,3%) (Perreault és Leeson, 1992). A 2019-es genotípus esetében a teljes test zsírtartalma szárazanyagra számítva a 22. és 60. nap között 29,6%-ról emelkedik 31,7%-ra, ami mutatja, hogy 1992-től 2019-ig kb. 10%-ot csökkent a teljes test zsírtartalma ebben az életkor intervallumban (Caldas et al., 2019).

3.2. Brojlercsirkék energia-ellátása

A baromfi energiaszükségletének és a baromfitakarmányok energiatartalmának kifejezésére világszerte legelfogadottabb a zéró N-retencióra korrigált látszólagos metabolizálható energia (AMEn) használata (NRC, 1994; GfE, 1999; Magyar Takarmánykódex, 2004). Az egyes takarmány alapanyagok és a teljes értékű takarmányok energiatartalmát a napi beviteli ajánlásokat általában kJ-ban vagy MJ-ban, bizonyos országokban még mindig kcal-ban, fejezik ki. A baromfi energiát igényel a létfenntartási és a növekedési életfolyamatok biztosításához, a teljes napi energiaszükséglet e két szükséglet összege. A létfenntartáshoz kapcsolódó szükségletet elsősorban a baromfi anyagcsere testsúly ($BW^{0,75}$) határozza meg. A létfenntartás energia igényét egyéb tényezők, mint pl. a mozgás, aktivitás (az alternatív szabad tartásban nagyobb igény, mint zárt mélyalom esetében) vagy a baromfi termoneutrális zónáján kívüli, hideg vagy hőstresszt előidéző környezeti hőmérséklet is befolyásolják. A növekedés energiaszükségletét elsősorban a napi testsúlygyarapodás során a fehérje- és zsír formájában deponált energia mennyisége határozza meg.

A létfenntartás szükséglete az energiaszükséglet számítására használt faktoriális módszer alapján a termoneutrális hőmérsékleti tartományban 480 kJ AMEn/ kg $BW^{0,75}$ (GfE, 1999). A növekedéshez kötődő energiaszükséglet számításához először meg kell határozni a napi súlygyarapodás során a testbe beépült (visszatartott) fehérje, illetve zsír energiatartalmát, majd ezeket az értékeket meg kell szorozni a metabolizálható energia átalakítási hatásfokával a fehérje, illetve zsír formájában beépült energia esetében. A testben fehérje formájában beépült energia

esetében az átalakítás hatékonysága 0,52 (1,94 kJ ME/kJ fehérje formában visszatartott energia), a zsír formájában visszatartott energia esetében pedig 0,84 (1,19 kJ ME/kJ zsír formájában visszatartott energia).

Mindezek alapján a brojlersirkék napi energiaszükségletét a következő egyenlet alapján számíthatjuk:

$$\text{AMEn (KJ/nap)} = (480 \times \text{BW}^{0,75} + (1/0,52) \times \text{RPE} + (1/0,84) \times \text{RFE}$$

$\text{BW}^{0,75}$: anyagcsere testsúly

RPE: Fehérje formában visszatartott energia (kJ/nap) =

A tollak és a test fehérjenövekménye (g/nap) x 23,86

RFE: Zsír formában visszatartott energia (kJ/nap) =

A test zsírnövekménye (g/nap) x 39,77

A gyakorlatban is alkalmazott 5-6 hetes hizlalás során a növekedés energiaszükséglete dominál, de életkor előrehaladtával az életfenntartás energiaszükséglete növekszik és kb. a 8. héten meghaladja a teljes energiaszükséglet 50%-át (Jeroch et al., 2020). A fenti egyenlet a hímivar és a nőivar esetében az azonos korban eltérő napi súlygyarapodás és a test különböző zsírtartalmából adódóan eltérő energiaszükségletet eredményez. A két ivar energia-szükséglete közötti különbség a hímivar javára az életkor előrehaladtával növekszik, pl. két hetes korban csak 0,03 MJ/nap (0,65 / 0,62 MJ/nap a hím-, illetve nőivarban), míg hat hetes korban már 0,3 MJ/nap (2,24 / 1,94 MJ/nap a hím-, illetve nőivarban) (Jeroch et al., 2020).

A különböző hibridek számára a gyakorlati takarmánykeverékek energiatartalmát általában vegyes ivarra adják meg, feltüntetve a hizlalási végsúly tartományt. A 4. táblázat a Ross 308 és a Cobb 500 brojler hibridek takarmánykeverékeinek ajánlott energiatartalmát (AMEn) mutatja be a nevelés egyes fázisaiban, 2-3,5 kg hizlalási végsúly eléréséhez, vegyes ivarban történő hizlalás esetén.

4. táblázat: A Ross 308 és a Cobb 500 brojler hibridek takarmánykeverékeinek ajánlott energiatartalma (AMEn; MJ/kg) a nevelés egyes fázisaiban, 2-3,5 kg hizlalási végsúly eléréséhez, vegyes ivarban

Hibrid	Indító	Nevelő	Befejező
Ross 308 ¹	12,40	12,80	13,00
Cobb 500 ²	12,13	12,34	12,76

¹ Aviagen (2022): indító: 1- 10. nap, nevelő: 11-24 nap, befejező: 25-39. nap;

² Cobb-Vantress (2022): indító: 1- 12. nap, nevelő: 13-28 nap, befejező: 29-39. nap

A lassú növekedésű brojlerekre vonatkozóan az ajánlott takarmánykeverék energiatartalmának (AMEn) értékei azonos életkorban kisebbek, általában az 1-4. héten 11,0-12,0 MJ/kg, az 5-8. héten 11,5-12,5 MJ/kg (Jeroch et al., 2020).

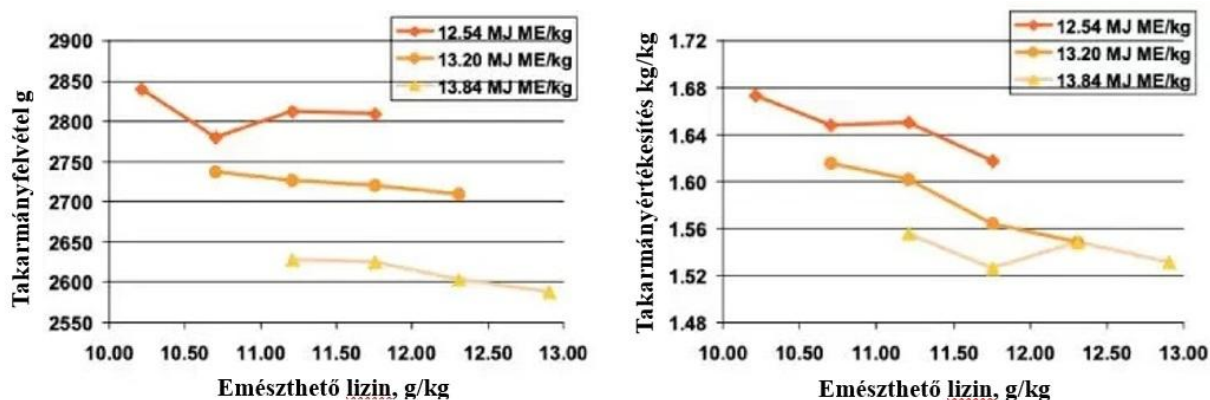
A brojlercsirkék növekedési erélye meglehetősen hasonló lehet még a takarmány AMEn tartalmának nagy különbségei esetén, mivel a modern brojlerek is képesek a takarmányfelvétel változtatására a takarmány AMEn-tartalmának függvényében. Az 5. táblázatban látható, hogy az 1-49. nap között etetett takarmányok AMEn tartalmának 22%-os csökkentése esetén a brojlerek a takarmányfelvétel kompenzációja révén hasonló energiafelvételt és hizlalás végi (49. nap) testsúlyt mutattak (Leeson és Summers, 2001). A számokból kitűnik, hogy a kompenzáció az energiafelvétel tekintetében nem tökéletes. A kísérletben a takarmány nyersfehérje- és aminosav-tartalma minden kezelés esetében azonos volt, azokat nem módosították a változó energiaszint függvényében. A nagyobb takarmányfelvétel hatására nőtt az állatok fehérjefelvétele és ezzel párhuzamosan csökkent a hasúri zsír %-os aránya.

5. táblázat: Brojlercsirkék reakciója a takarmány eltérő AMEn tartalma hatására (1-49. nap)¹

Takarmány AMEn (MJ/kg)	Testsúly (49. nap - g)	Hasúri zsír (%)	Takarmány- felvétel (g/állat)	Fehérje- felvétel (g/állat)	Energia- felvétel (MJ/állat)
13,80	2772	3,10	4470	339	22,29
12,97	2738	3,05	5100	391	24,17
12,13	2699	2,39	5200	405	23,41
11,30	2711	1,93	5590	433	23,28

¹ Leeson és Summers (2001)

A takarmányok eltérő energiaszintjének a takarmányfelvételre kifejtett hatása az energia-ellátással együtt változó aminosav-ellátás (azonos aminosav/energia arány) esetén is kifejezett. Lemme et al. (2003) hím ivarú Ross 308 brojlerekkel az ideális fehérje elv mentén kialakított takarmányt etetett növekvő fehérjekoncentráció mellett alacsony, közepes vagy magas energiatartalmú takarmánykeverékben a 14. és 35. életnap között. A takarmánykeverékeket minden energiaszinten azonos aminosav/energia arány jellemezte. A növekvő energiaszintű keverékek etetése csökkentette a csirkék takarmányfelvételét, de javította a takarmányértékesítésüket (2. ábra).



2. ábra Brojlercsirkék takarmányfelvétele- és hasznosítása eltérő kiegyensúlyozott fehérje (emészthető lizinben kifejezve) és energia szintű tápok esetén (Lemme et al., 2003)

A takarmányok emészthető lizin koncentrációjának (az ideális fehérje elv betartása mellett) növelése csak kismértékben befolyásolta a takarmányfelvételt, a növekvő aminosav-ellátással párhuzamosan azonban a súlygyarapodás sokkal nagyobb mértékben változott, ami a takarmányhasznosítás (g takarmány/g súlygyarapodás) javulását eredményezte, különösen az alacsony (12,54 MJ ME/kg) és közepes (13,2 MJ ME/kg) energiaellátás mellett.

3.3. Brojlercsirkék fehérje- és aminosav-ellátása

A brojlercsirkék napi fehérjeszüksége az energiaszükséglethez hasonlóan kiszámítható a faktoriális módszer alapján, ahol a napi teljes fehérjeszükséglet a létfenntartáshoz és a növekedési folyamatokhoz kötődő fehérjeszükségletből tevődik össze (GfE, 1999). A létfenntartás fehérjeszüksége az anyagcsere testsúlytól ($BW^{0,75}$) függően $2,8 \text{ g} \times BW^{0,75}$, amely érték független a tartástechnológiától. A növekedés fehérjeszükségletének egyik részét a tollak nélküli test gyarapodása adja, másik része a tollazat növekedéséhez kötődik. A két rész különválasztását a tollak nélküli test és a tollazat lényegesen eltérő fehérjetartalma, illetve fehérjéiknek eltérő aminosav-összetétele (testfehérjék: lizinben, metioninban gazdag; toll fehérjéi: ciszteinben gazdag) indokolja. A növekedéshez kötődő napi fehérjeszükséglet számításához először meg kell határozni a napi súlygyarapodás során a testbe, illetve a tollazatba beépült fehérje mennyiségét, majd ezeket az értékeket meg kell szorozni a takarmány nyersfehérje-tartalmának 60%-os transzformációs hatásfokával. Az összes fehérjeszükséglet a fentiek alapján a következő képlet alapján számítandó, amely ideális esszenciális aminosav-összetételű fehérjére vonatkozik (GfE, 1999):

$$\text{Fehérje-szükséglet (g/nap)} = 2,8 \times BW^{0,75} + (CP_{to} + CP_{te}) \times 0,6$$

$BW^{0,75}$: anyagcsere testsúly

CP_{to} : a tollazat fehérjetartalmának növekedése (g/nap)

CP_{te}: a tollak nélküli test fehérjetartalmának növekedése (g/nap)

A súlygyarapodás minden 100 g-jára vetítve a hizlalás 6. hetében pl. a tollazat fehérjetartalmának gyarapodása 4,3 g, míg a test fehérjetartalmának növekedése 16,4 g (Jerocch et al., 2020). A fenti egyenlet alapján egy 2000 g testsúlyú brojler napi nyersfehérje-szükséglete 25,7 g/nap.

6. táblázat: A Ross 308 és a Cobb 500 brojler hibridek takarmánykeverékeinek ajánlott nyersfehérje tartalma (%) a nevelés egyes fázisaiban, 2-3,5 kg hizlalási végsúly eléréséhez, vegyes ivarban

Hibrid	Indító	Nevelő	Befejező
Ross 308 ¹	23,0	21,5	19,5
Cobb 500 ²	21,0-22,0	19,0-20,0	18,0-19,0

¹ Aviagen (2022): indító: 1- 10. nap, nevelő: 11-24 nap, befejező: 25-39. nap;

² Cobb-Vantress (2022): indító: 1- 12. nap, nevelő: 13-28 nap, befejező: 29-39. nap

A mai modern brojlerhibridek esetében a nyersfehérje-szükséglet kielégítése mellett az aminosav-ellátás talán még nagyobb szerepet játszik a magas szintű teljesítmény elérésében. A baromfifajok az aminosavak egy részét nem vagy nem megfelelő mennyiségben képesek előállítani a szükséges fehérjék szintéziséhez. A baromfifajokban az esszenciális aminosavak a következők: arginin, lizin, leucin, izoleucin, valin, treonin, triptofán, fenilalanin, hisztidin és metionin (Wu, 2009). Az esszenciális aminosavakat a madaraknak a takarmányból kell felvenniük. Az ún. feltételesen esszenciális aminosavak az esszenciális aminosavakból szintetizálódhatnak. A cisztein metioninból, a tirozin pedig fenilalaninból képződhet. A nem esszenciális aminosavakat a brojlerek is képesek szintetizálni. Ezek közül legfontosabbak a glicin, szerin, prolin, alanin, glutaminsav, glutamin, aszparaginsav. A baromfitápoknak elegendő nyersfehérjét kell tartalmazniuk ahhoz, hogy nitrogént biztosítsanak ezen nem esszenciális aminosavak szintéziséhez. Brojlercsirkénél az intenzív növekedés és tollképződés időszakában, illetve csökkentett nyersfehérje tartalmú tápok etetésénél előfordulhat, hogy az endogén szintézis a glicin és a prolin esetében nem fedezi a teljes szükségletet, így ezek az aminosavak is limitálónak válhatnak (Wu, 2009).

A faktoriális módszer alapján a napi nyersfehérje-szükséglethez hasonlóan minden esszenciális aminosav esetében kiszámítható a napi szükséglet a következő egyenlet szerint:

Aminosav szükséglet (g/nap) = (AA_m + AA_{to} + AA_{te}) / AA-hasznosulás

AA_m: létfenntartás aminosav-szükséglete

AA_{to}: a tollazat aminosav-tartalmának növekedése (g/nap)

AA_{te}: a tollak nélküli test aminosav-tartalmának növekedése (g/nap)

AA-hasznosulás: az adott aminosav átlagos hasznosulása a takarmányból a növekedés számára.

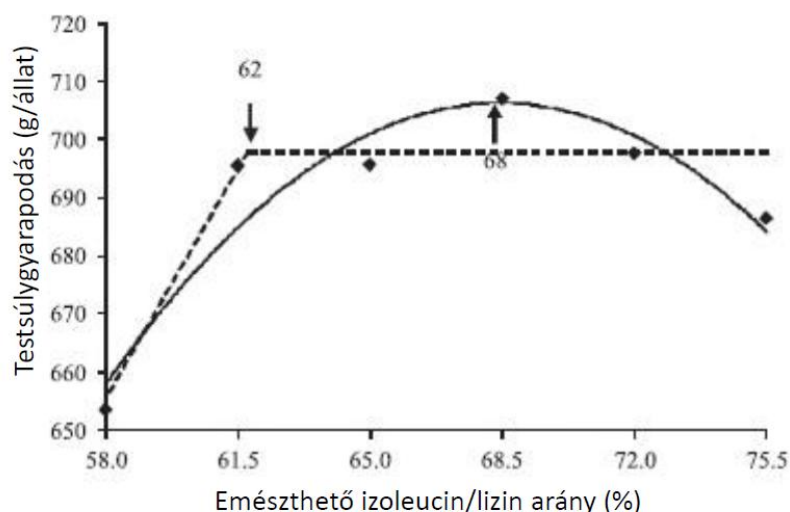
A legfontosabb esszenciális aminosavak esetében a számításhoz használható kiindulási adatokat a következő, 7. táblázat foglalja össze.

7. táblázat: Kiindulási adatok egyes esszenciális aminosavak napi szükségletének számításához (GfE, 1999)

Aminosav	Létfenntartási szükséglet (mg/kg)	Aminosav összetétel (g/100 g nyersfehérje)		Átlagos hasznosulás (%)
		Tollak nélküli test	Tollazat	
Lizin	41	7,0	1,8	68
Metionin	38	2,5	0,6	70
Metionin + Cisztein	72	3,8	8,8	66
Treonin	65	3,9	4,8	65
Triptofán	10	1,0	0,7	66

A brojlersirkék aminosavigénye a faktoriális számításon túl empirikus úton, ún. dózis-válasz („dose-response”) kísérletekkel is meghatározható (Jeroch et al., 2020). A kísérletbe bevont állatok a takarmányból különböző mennyiségben veszik fel az adott aminosavat, amelynek egy bizonyos vizsgálni kívánt termelési paraméter (pl. testsúlygyarapodás, takarmányértékesítés, mellhús-arány stb.) szempontjából optimális szintje egy telítődési vagy kvadratikus függvény alapján határozható meg. Termelési paraméterenként az adott esszenciális aminosav optimális koncentrációja a takarmányban eltérő, illetve nem mindegy, hogy milyen modell szerint történik az optimális koncentráció számítása. Corzo et al. (2005) vizsgálatában a brojlersirkék számára a 0-18. nap hizlalási időszakban a súlygyarapodás szempontjából az emészthető lizin optimális szintje a takarmányban 1,10%, míg a takarmány-értékesítés alapján 1,13% volt. A takarmány optimális aminosav koncentrációját általában a maximális válaszárték (aszimptota) 95%-ánál szokták megadni. A módszer nem csak egyetlen aminosav optimális szintjének, hanem egyes aminosavak optimális arányainak a megállapítására is alkalmas. A 3. ábrán látható, hogy a brojleretek számára a 7. és 21. hizlalási nap között a maximális súlygyarapodást biztosító emészthető izoleucin/lizin arány a takarmányban a lineár-plató („broken-line”) modell alapján 62%, míg a nem-lineáris, kvadratikus modell szerint 68% (a 95%-os optimum szint 65%) volt (Tavernari et al., 2012).

Az ún. ideális fehérje elvéneknek alkalmazását Mitchell (1964) javasolta az állatok aminosav-ellátásának pontosítására, amit első alkalommal Nagy-Britanniában sertéstakarmányok összeállításánál alkalmaztak (ARC, 1981). Az állatok optimális teljesítménye az elv szerint a takarmány esszenciális aminosavainak ideális aránya révén érhető el, ahol a lizint tekintjük referencia aminosavnak, és az összes többi aminosav szintjét a lizinszinthez viszonyítva állítjuk be.



3. ábra A takarmány különböző emészthető izoleucin/lizin arányának hatása a brojlerok testsúlygyarapodására a hizlalás 7. és 21. napja között. Szaggatott vonal: lineár-plató (broken-line) modell, maximális válasz 62%-nál. Folyamatos vonal: kvadrátikus modell, maximális válasz 68%-nál (Tavernari et al., 2012)

Az elv előnyének tekinthető, hogy amíg a genetikai vagy környezeti tényezők az abszolút aminosavigényt befolyásolják, hatásukra az aminosav-arányok csak kisebb mértékben változnak. Amennyiben a lizinre vonatkozóan állatkísérlet segítségével megállapítjuk a szükségletet egy adott genetika és környezet esetében, utána az összes többi aminosavra vonatkozó szükséglet az ideális arányokból számolható. A tenyésztő szervezetek ajánlásai ma már külön az egyes hizlalási fázisokra kidolgozott ideális aminosav-arányokat is tartalmazzák (8. táblázat).

8. táblázat: Az esszenciális aminosavak ideális aránya (%) a Ross 308-as hibrid hizlalásának egyes szakaszaiban (Aviagen, 2022)

Aminosavak	Indító (1 - 10 nap)	Nevelő (11 - 24 nap)	Befejező (25 – 39 nap)
Lizin	100	100	100
Metionin és cisztein	76	78	80
Metionin	42	43	44
Treonin	67	67	67
Valin	76	77	78
Izoleucin	67	68	69
Arginin	106	108	108
Triptofán	16	16	16
Leucin	110	110	110

A baromfira vonatkozó NRC (1994) a sertésekre vonatkozó NRC-vel (1998) ellentétben nem ad meg ideális aminosav arányokat a brojlercsirkék aminosav ellátásához, hanem empirikusan

meghatározott értékeket mutat be, amelyek azonban alkalmasak a brojlerok számára ideális aminosav arányok kiszámítására. A tudományos kutatások és a technológiai ajánlások az aminosavak abszolút szükségletét megadhatják a takarmányból mérhető összes aminosavszintre vonatkozóan. Ennél pontosabb aminosav-ellátást tesz lehetővé az ileálisan emészthető aminosav alapú szükségleti értékek használata. Az aminosav emészthetőség kifejezésére jelenleg a gyakorlatban is általánosan használt és javasolt az aminosav standardizált ileális emészthetősége (SID) rendszer (Lemme et al., 2004; Adedokun et al., 2008). Az ileális emészthetőségi értékek használata élettani szempontból pontosabb, mint a fekális, mivel az aminosavak és a peptidek poszt-ileális abszorpciója jelentéktelen. A SID alapú rendszer ezen túlmenően korrekciót tartalmaz az endogén aminosavak alapvesztéseire vonatkozóan, azaz pontosítja a látszólagos ileális emészthetőségi értékeket (Lemme et al., 2004; Adedokun et al., 2008). A SID rendszer segítségével nem csak a madár aminosav-ellátása javulhat, hanem csökkenthető a nem felszívódott és így a környezetbe jutó aminosavak mennyisége, valamint a nitrogén és ammónia emisszió is (Lemme et al., 2004). A Ross 308-as hibrid SID aminosav-szükségleti értékeit a hizlalás egyes fázisaiban a 9. táblázat mutatja be (Aviagen, 2022).

9. táblázat: A Ross 308 hibrid SID* aminosav szükségleti értékei (%) a nevelés egyes fázisaiban (Aviagen, 2022)

Aminosavak	Indító (1 - 10 nap)	Nevelő (11 - 24 nap)	Befejező (25 – 39 nap)
Lizin	1,32	1,18	1,08
Metionin és cisztein	1,00	0,92	0,86
Metionin	0,55	0,51	0,48
Treonin	0,88	0,79	0,72
Valin	1,00	0,91	0,84
Izoleucin	0,88	0,80	0,75
Arginin	1,40	1,27	1,17
Triptofán	0,21	0,19	0,17
Leucin	1,45	1,30	1,19

*SID – standardizált ileálisan emészthető

3.4. Csökkentett nyersfehérje-tartalmú takarmánykeverékek alkalmazása

3.4.1. A csökkentett nyersfehérje-tartalmú keverékek alkalmazásának előnyei

A víz-, talaj- és légszennyezés egyik jelentős forrása az állattenyésztés. A brojlersirke előállítás során nagymértékben szabadul fel ammónia, amely eutrofizációt és a talajok savanyodását idézheti elő (Webb et al., 2005). Az emésztés során nem hasznosuló takarmányfehérje, valamint a csirkék nitrogén anyagcseréjéből származó húgysav az ürülékkel a környezetbe kerül. Ezt követően bakteriális folyamatok következtében ammónia és dinitrogén-oxid (üvegház-hatású gáz) szabadul

fel (Nahm, 2003). Számos technológiát és eljárást kidolgoztak már, hogy csökkentsék a baromfiágazat ökológiai lábnyomát, azonban a takarmányozás oldaláról az egyik legjelentősebb megoldás a csökkentett nyersfehérje tartalmú takarmányozás, amely alkalmazásával csökkenthető a baromfiágazat nitrogén- és ammónia emissziója. A takarmány nyersfehérje-tartalmának 1%-kal történő csökkentése az ürülékkel távozó nitrogén, illetve ammónia 10%-os csökkenését eredményezheti (Santonja et al., 2017). A fehérje emésztése jelentős mennyiségű vizet igényel, ezért (Lemme et al., 2019). A csökkentett nitrogénbevitel hatására a brojlerek vízfelvétele csökkenhet, amely szárazabb, jobb minőségű almot eredményezhet, valamint közvetetten is csökkenti az ammónia emissziót, mivel a nitrifikációs folyamatok nedves környezetben fokozottabban működnek. A szárazabb alomnak és a csökkent ammóniaszintnek köszönhetően alacsonyabb a lábfekély, a bőrirritáció és a mellizom felhólyagosodásának a kockázata (Swiatkiewicz et al., 2017). Van Harn et al. (2019) kísérletükben kukorica-búza-szója alapú kísérleti takarmányok nyersfehérje tartalmát egészen 30 g/kg szintig csökkentették. Ennek hatására szignifikánsan megnőtt az alom szárazanyag tartalma, továbbá csökkent az alomban lévő nitrogén mennyisége, amelyek hatására a madarak kisebb mértékben voltak érintettek talpfekélyben. További élettani előnye a fehérjecsökkentett takarmányozásnak, hogy kisebb mértékű emésztetlen fehérje kerül az utóbélbe, ami a diszbiózis és a *Clostridium perfringens* okozta elhalásos bélgyulladás előfordulásának, a felhasznált antibiotikumok mennyiségének csökkenését eredményezheti (Wu, 2014). A felsorolt előnyökön túl gazdasági és ökológiai szempontból is jelentős hatással van a baromfihús előállításra a nyersfehérje csökkentett takarmányozás: alkalmazásával csökkenthető az ágazat szójafüggősége, ugyanis a csökkentett nyersfehérje-tartalmú takarmányokba általában kisebb arányban kerül bekeverésre a zömében import szójadara. A brojler hizlalás szójafüggőségének csökkenése mérsékli a dél-amerikai esőerdők irtását, előtérbe helyezi a helyi, európai fehérjehordozók használatát, csökkenti a szállítási távolságokat és így a széndioxid-lábnyomot (Gasparri et al., 2013). A kisebb nyersfehérje-tartalmú keverékekben a csökkenő szójadara részaránnyal párhuzamosan egyre nagyobb arányban kerülnek felhasználásra a különböző kristályos aminosav-készítmények (Selle et al., 2020). A szójadara és a kristályos aminosavak árának viszonyától függően a csökkentett nyersfehérje-tartalmú takarmányok olcsóbbak is lehetnek a normál nyersfehérje-tartalmú keverékekhez képest (Selle et al., 2020).

3.4.2. A nyersfehérje-tartalom csökkentésének mértéke, a keverékek összetétele

Az elmúlt évek kutatásai bizonyították, hogy a brojler hibridek technológiai ajánlásaiban szereplő értékeknél kisebb nyersfehérje-tartalmú takarmánykeverékek is hatékonyan alkalmazhatók a hizlalás során. Ennek alapfeltétele az állatok fehérje- és aminosav-szükségletének pontos

kielégítése az „ideális fehérje” elv alapján, az emészthető aminosav alapú receptúrázás és a gyakorlatban széles körben elterjedt kristályos aminosav-kiegészítők használata. A csökkentett nyersfehérje-tartalmú brojler takarmánykeverékekben összességében növekszik a felhasznált gabona részaránya, míg a fehérjehordozó alapanyagoké, elsősorban a szójadaráé csökken, így az állatok aminosav-szükségletének kielégítése a kristályos aminosavak nagyobb arányú alkalmazása révén valósulhat meg. Az ilyen típusú formulázás egyik következménye, hogy a keményítőtartalom, a keményítő/fehérje arány növekszik. A táp nyersfehérje-tartalmának csökkentése esetén minél több esszenciális aminosav SID értékét a szükségleti értéknek megfelelő „szinten” kell tartani a szintetikus aminosav-kiegészítők arányának emelésével. A kukorica-szója alapú keverékek esetében a metionin, a lizin és a treonin az első három limitáló aminosav, de ezek kiegészítése mellett a szintetikus valin, izoleucin és arginin pótlása is célszerű. A 2000-es évek elején és az azt megelőzően végzett számos kísérlet során a fehérjecsökkenett takarmányok esetében csupán a lizin, metionin+cisztein és treonin szintjét állították be a kontrollkezelésnek megfelelő szintre, amely már abban az időben is gyengébb termelési eredményekhez vezetett. Ez a depresszív hatás valószínűleg elkerülhető lett volna a kristályos valin-, arginin- és izoleucin-kiegészítések alkalmazásával (Leitgeb et al., 2003; Khajali és Moghaddam, 2006; Guaiume, 2007). A szakirodalmi eredmények alapján, az előbbi elvek figyelembevételével a takarmánykeverékek nyersfehérje-tartalmának a technológiai ajánláshoz viszonyított 2%-os csökkentése a teljes hizlalás során a termelési mutatók romlása nélkül megvalósítható (Belloir et al., 2015; Chrystal et al., 2020c). A nevelő és befejező fázisra vonatkozó fehérjeszint csökkentések mértéke a 2 és 3% között is sikeres lehet a termelési eredmények visszaesése nélkül. Van Harn et al. (2019) a nevelő és a befejező fázisban csökkentette a Ross 308-as kakasok takarmánykeverékének nyersfehérje-tartalmát 2,2 és 2,3 %-kal, ami nem befolyásolta szignifikánsan a testsúlygyarapodást és a takarmányfelvételt, de jelentősen, 3,5%-kal javította a takarmányértékesítést (1,55-ről 1,50-re; $P < 0,05$). Belloir et al. (2017) kísérletében nem romlott a csirkék súlygyarapodása a hizlalás 21-35. napja között, amikor a kontrollkeverék 19%-os nyersfehérje tartalmát 3%-kal, 16%-ra csökkentették. Arra is van példa, hogy a 2%-os nyersfehérje-tartalom csökkentés hatására javultak egyes termelési paraméterek a kontrollkezeléshez képest. Dublec et al. (2018) szója alapú takarmánykeverékekkel végzett kísérletében az átlagosan 2%-os nyersfehérje csökkentés alkalmazásával a brojlerek súlygyarapodásának és takarmányértékesítésének szignifikáns javítása is sikerült a kontroll kezeléssel szemben. A kutatási eredmények alapján a sertés és a baromfi fajok esetében különbség van a takarmánykeverékek fehérjeszintjének csökkentési lehetőségében. Sertésnél több kutatási eredmény is arról számolt be, hogy kristályos esszenciális aminosav-kiegészítőkkel akár 4%-os nyersfehérje-tartalom csökkentés is megvalósítható a hizlalási jellemzők romlása nélkül, amit a fajok eltérő aminosav metabolizmusa magyarázhat és

összefüggésben lehet a nem esszenciális aminosavak elérhetőségével (Figuerola et al., 2003; Kerr et al., 2003). Egyes szerzők szerint a jövőben a jelenleginél nagyobb, kb. 3-5%-os nyersfehérje csökkentés a brojler tápok esetében is megvalósítható lesz a termelési eredmények fenntartása mellett (Selle et al., 2020). Ennyivel kisebb fehérjetartalomnál azonban már nagy jelentőséggel bír egyes nem esszenciális aminosavak, mint például a madaraknál a húgysavsintézishez szükséges glicin megfelelő koncentrációjának biztosítása is (Siegert et al., 2015; Siegert és Rodehutschord, 2019). A nyersfehérje-csökkentés mértékén túl a takarmányozási technológia jellegzetességei és befolyásolják a hizlalás eredményességére kifejtett hatásokat. A szakirodalmi eredmények alapján úgy tűnik, hogy a modern hibridek gyorsan változó igényei és a megfelelő táplálóanyag-ellátás érdekében legalább háromfázisú takarmányozást kell alkalmazni (Khajali és Moghaddam, 2006). Ezen túlmenően dercés formájú csökkentett fehérje szintű takarmánnyal nagyban sérül a szükségletek megfelelő kielégítése, szükség van a keverékek granulálására (Leitgeb et al., 2003). Brojlercsirkék takarmányában a nyersfehérje-tartalom csökkentésének mértékét három kategóriába lehet sorolni a szakirodalom és a tenyésztői ajánlások alapján (Bittman et al., 2014; Dublec et al., 2023; 10. táblázat). A 10. táblázat az egyes fehérjecsökkentési szintekhez tartozó nyersfehérje koncentrációk, un. indikatív értékek mellett az ajánlott aminosav-kiegészítéseket is tartalmazza.

10. táblázat: Brojlercsirke takarmánykeverékek fehérjecsökkentésének indikatív értékei és az ajánlott aminosav kiegészítések (Bittman et al., 2014; Dublec et al., 2023)

	Fázis	Fehérjecsökkentés mértéke		
		Kismértékű	Közepes mértékű	Nagymértékű
Takarmány nyersfehérje-tartalom (%)	indító	22-23	21-22	20-21
	nevelő	21-22	20-21	19-20
	befejező	20-21	19-20	18-19
Szükséges aminosav-kiegészítés¹	indító	MET, LYS, THR, VAL	MET, LYS, THR, VAL	MET, LYS, THR, VAL, ILE, ARG
	nevelő	MET, LYS, THR, VAL	MET, LYS, THR, VAL	MET, LYS, THR, VAL, ILE, ARG
	befejező	MET, LYS, THR, VAL	MET, LYS, THR, VAL	MET, LYS, THR, VAL, ILE, ARG

¹ MET=metionin, LYS=lizin, THR=treonin, VAL=valin, ILE=izoleucin, ARG=arginin

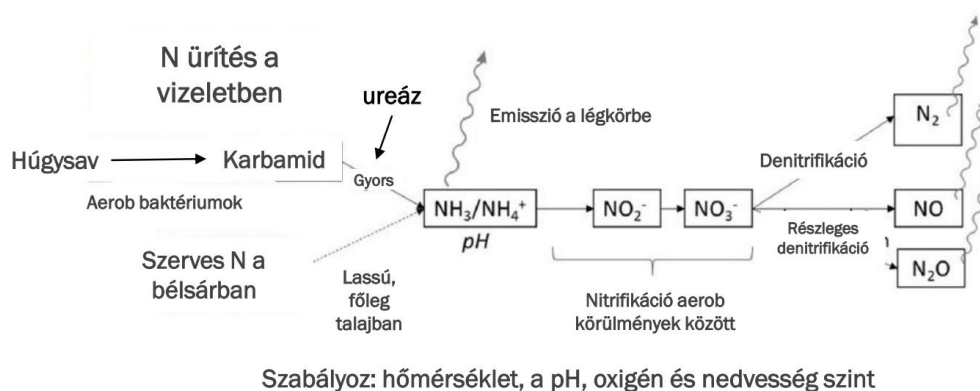
3.4.3. Az ammónia emisszió csökkentésének lehetősége

A légkörbe kerülő ammónia fő forrása világszinten és hazánkban is a mezőgazdaság (Bittman et al., 2014). Az állattartás, a trágya kezelése és tárolása, valamint a szántóföldekre való kijuttatása egyaránt az emisszió forrása lehet (Krupa, 2003). Országunk 2022. évi légszennyező leltárjelentése szerint az országos ammónia kibocsátás 92%-a mezőgazdasági eredetű volt,

melynek közel felét tette ki (49%) a trágyakezelés közben képződő ammónia, 16%-a a szervestrágyák szántóföldi kijuttatása, 31%-a pedig a műtrágyázás során jutott a levegőbe. A baromfi fajok tartásához kötődő ammónia kibocsátás 13%-át adta az egyes gazdasági állatfajok trágyakezelésével összefüggő kibocsátásnak (IIR, 2022).

Nagyon régóta ismert, hogy az istállóban felszabaduló ammónia közvetlen negatív hatásokat fejt ki az állatok egészségére, csökkenti a termelési eredményeket és egyes vírusos betegségekkel szembeni ellenálló-képességet (Anderson et al., 1964; Charles és Payne, 1966). Az állatgondozóknál már a 12 ppm koncentrációban jelen lévő ammónia irritálta a szemet, a légutak nyálkahártyáját és a légzési funkciók csökkenését idézte elő egy műszak alatti munkavégzés során (Donham et al., 2000). A légkörbe jutó ammónia nagy távolságokra eljuthat, az atmoszféra különböző savas karakterű anyagaival ammónium sókat képezhet, majd száraz és nedves ülepedés révén lerakódhat a vízi és szárazföldi ökoszisztémákban (Krupa, 2003; Bittman et al., 2014). Ezek a lerakódások a talaj elsavasodását okozhatják az ammónium-nitráttá történő átalakulása során, illetve csökkenthetik a biodiverzitást az őshonos ökoszisztémákban, és ha az NH_3 -lerakódás többlet nitrogén-bevitelt eredményez, hozzájárulhat a talaj- és felszíni vizek nitrátokkal való szennyezéséhez, az eutrofizációhoz (Krupa, 2003; Bittman et al., 2014). Az ammónia a légkörben hozzájárul az úgynevezett 2,5 mikrométernél kisebb átmérőjű kis szilárd vagy folyadék részecskék ($\text{PM}_{2,5}$) képződéséhez. A $\text{PM}_{2,5}$ részecskék világszerte hozzájárulhatnak az emberek korai haláleseteket is okozó légúti megbetegedéseikhez (pl. súlyosbodó asztma, krónikus hörghurut) és a homályos látás kialakulásához (WHO, 2013; Schraufnagel et al., 2019).

A brojler istállóban keletkező ammónia elsősorban az ürülék és az alomba jutó kiszórt takarmány N-tartalmából származik (Mitran et al., 2008). A baromfi által ürített N biokémiai átalakulását a 4. ábra mutatja be vázlatosan.



4. ábra A baromfi által ürített N biokémiai átalakulása (Mitran et al. (2008) alapján)

Az ürülék N-tartalmát egyrészt a vizelet eredetű N, másrészt a bélsárban megjelenő szerves eredetű N, főleg az emésztetlen fehérjék N-tartalma adja, melyeket bakteriális tevékenység alakít át ammóniává (Mitran et al., 2008). A baromfi vizeletében a N-forgalom végtermékei közül a húgysav fordul elő a legnagyobb mennyiségben (70-80%), a kevert ürülék húgysavtartalmából következtetni lehet a vizelettel ürülő nitrogén mennyiségére (O'dell et al., 1960; Juhász és Schmidt, 2002). A húgysav és az ammónia N-tartalmának összege O'dell et al. (1960), valamint Tasaki és Okumura (1964) szerint is szoros korrelációt mutat a vizelet összes N-tartalmával. A húgysav hidrolízisét az urikáz enzim végzi, amely allantoint hoz létre és ez utóbbi tud karbamidra és glioxisavra tovább hidrolizálni. Csak ezen a ponton kapcsolódhat be az ureáz, ammniát fejlesztve. A húgysav eredetű nitrogénvegyületekből történő ammónia felszabadulás jóval gyorsabb folyamat, mint a bélsár eredetű szerves N átalakulása ammóniává (Zhang et al., 1991). Utóbbi elsősorban már a trágya szántóföldre juttatása után, a talajban történik (Zhang et al., 1991). Az NH_3 képződését közvetlenül olyan tényezők szabályozzák, mint a pH, a hőmérséklet és az alom nedvességtartalma (Elliott és Collins, 1982). Az ammóniaképződés szempontjából optimális a 35°C és 8-as pH-érték (Elliott és Collins, 1982). Az ürülék szárazanyag-tartalmának növekedése javíthatja az alomminőséget és csökkentheti a talpfekélyek előfordulását, valamint az ammónia felszabadulását (Brouček és Čermak, 2015). Az ürülék NH_3 tartalmából NH_4^+ ion is képződhet, amely egy kevésbé illékony forma, az ammónia emisszió szempontjából kedvezőnek tekinthető. Savas kémhatású környezetben, 5,5-nél kisebb pH-értéknél az ammónium forma dominál az ammóniával szemben. Sims és Wolf (1994) mérései alapján a baromfitrágya N tartalmának több mint 50%-a NH_3 formájában elpárologhat. Patterson et al. (1998) N-egyensúly módszeren alapuló becslése szerint a takarmány N-tartalmának brojlereknél körülbelül 18%-a, a jércéknél 32%-a, a tojótyúkoknál pedig 40%-a jut a légkörbe NH_3 -ként. Az ammónia- és az ammónium-N összegét TAN („Total Ammoniacal Nitrogen”) értéknek nevezzük, amely a trágyából keletkező ammónia fő forrása. Mitran et al. (2008) brojlerhizlalási kísérletében a napi TAN-kibocsátás állandó volt (kb. 0,18 g TAN/madár/nap) a korai életkorban (0-21 nap), amit lassú növekedés követett a 21. naptól a 42. napig. A hizlalás során mért maximum érték 0,78 g, az átlag pedig 0,37 g TAN/madár/nap volt. A TAN nagy része, 77%-a a 21-42. napig terjedő időszakban, a hizlalás második felében került kibocsátásra. Az utolsó négy hét során bekövetkezett nagyobb TAN ürítés a madarak életkorával fokozódó nagyobb N-kiválasztási aránynak, valamint az alom pH-érték és nedvességtartalom növekedésének tulajdonítható. A teljes TAN-kibocsátás 42 nap alatt átlagosan $15,3 \pm 0,5$ g TAN/madár volt. Az ammónia emissziós leltár készítésekor az EU-ban a sertés és a baromfi fajok esetében egyaránt általánosan 70%-os TAN ürítési „default” értékkel számolnak. Dublec et al. (2021) vizsgálatai szerint ez az érték baromfi fajok esetében felülvizsgálatra szorul, mivel saját kísérleteikben a brojlercsirkék átlagos TAN ürítését 45%-nak, a jércékét és a

tojótyúkakat pedig 40%-nak találták. A csökkentett nyersfehérje-tartalmú takarmánykeverékek esetében az esszenciális aminosavak koncentrációját kristályos aminosav-kiegészítővel ajánlott a normál fehérjetartalomhoz tartozó szinten tartani, mert ellenkező esetben, bár a N-ürítés csökkenhet, a fehérje hasznosulása romlik és emiatt az ürített nitrogén TAN-tartalma és az ammónia emisszió növekedik (Dublecz et al., 2023).

A brojlerek N-retenciójának hatékonysága a fehérjecsökkentett takarmányok alkalmazásával javult a technológiában javasolt nyersfehérje-tartalmú takarmányhoz képest (2-13%) (Jackson et al., 1982; Aletor et al., 2000; Mansilla, 2023). Siegert et al. (2016) és Belloir et al. (2017) kísérleteikben a takarmány nyersfehérje csökkentésének hatására a N-retenció értéke elérte, illetve meg is haladta a 70%-ot. A 16%-os nyersfehérje koncentrációval rendelkező tápokkal a jövőben akár 75 vagy 80% N-retenció is elérhető, miközben a N-ürítés mértéke akár 60%-kal is csökkenhet (Siegert, 2023). A N retenció növekedésének megfelelően csökken a szervezetben feleslegben lévő N mennyisége, ezáltal csökkenhet a húgysavsztézis (Goldstein és Skadhauge, 2000; Hofmann et al., 2019). A baromfitrágyából keletkező NH₃ jelentős része a húgysav lebontásából származik (Santoso et al., 1999). A fehérjecsökkentett takarmányok alkalmazása csökkentheti a csirkék vérplazmájának húgysavszintjét (Star et al., 2021), valamint az ürülék húgysav, összes- és vizelet-N koncentrációját (Belloir et al., 2017; Such et al., 2021b).

Számos vizsgálat bizonyította, hogy a brojlercsirke takarmánykeverékek nyersfehérje-tartalmának csökkentésével hatékonyan mérsékelhető a N-ürítés. Blair et al. (1999) a nevelő tápok nyersfehérje-szintjét 20%-ról 18%-ra mérsékeltek lizin-, metionin- treonin- és triptofán-kiegészítések mellett, így a napi N-ürítésben 27%-os csökkenést sikerült elérniük, miközben a kezelések nem befolyásolták a kísérleti állatok testsúlyát. Rezaei et al. (2004) a nevelő fázisban 2,4%-os, a befejező fázisban pedig 1,7%-os nyersfehérje-csökkentést hajtottak végre a takarmányokban, így a brojlerek N ürítését sikerült 13%-kal csökkenteni a kontrollcsoport eredményeihez képest. Kísérletükben viszont a csökkentett fehérjeszintű kezelések hatására szignifikánsan kisebb lett a napi súlygyarapodás és takarmányfelvétel, amit valószínűleg az magyarázhat, hogy csak a lizin pótlására került sor a fehérjecsökkentett tápok esetében. Malomo et al. (2013) drasztikusan, 22%-ról (kontroll) 16%-ra mérsékelte vizsgálatában a tápok nyersfehérje-tartalmát. A metionin- és lizinkiegészítés a 6%-os fehérjecsökkentéshez nem volt elegendő, így kisebb lett a csirkék testsúlya és takarmányfogyasztása, bár a N-ürítés mértéke 65%-ban csökkent a kontrollhoz képest. A hizlalás mindhárom fázisában végrehajtott 1,8-1,9%-os nyersfehérje csökkentés (lizin- és arginin-kiegészítéssel) 15,2%-os csökkenést eredményezett a N ürítésben, illetve szignifikánsan javult a brojlerek testsúlya (Ullrich et al., 2018). Such et al. (2021b) brojlercsirkékkel végzett kísérletük során azt figyelték meg, hogy az összes-N mellett

(23%-os N ürítés csökkenés) a vizelet-N kiválasztásának aránya is mérsékelhető csökkentett nyersfehérje-tartalmú takarmányok (átlagosan 2%-os nyersfehérje csökkentés a nevelő és a befejező tápokban) etetésével, a termelési eredmények romlása nélkül. Ehhez hozzájárulhatott, hogy hatféle esszenciális aminosav (lizin, metionin, treonin, valin, arginin, izoleucin) kiegészítését végezték el a tápokban. Általánosságban megállapítható, hogy ha a nyersfehérje csökkentés mellett megfelelő szintű aminosav-kiegészítéseket hajtanak végre, a takarmány nyersfehérje-tartalmának 1%-kal történő mérséklése átlagosan kb. 10%-kal kevesebb ürülékkel távozó nitrogén, illetve ammónia kibocsátást eredményezhet (Santonja et al., 2017).

A csökkentett nyersfehérje-tartalmú takarmányok alkalmazásán túl egyéb takarmányozási módszerek is alkalmasak a N- és ammóniaürítés csökkentésére a brojlercsirke hizlalás során, de hatékonyságuk elmarad az előbbieken részletesen tárgyalt módszer mögött (Dublecz et al., 2023). A brojlercsirke esetében a gyakorlatban és a kísérletek során is 3-4 fázisú tápokat alkalmaznak, a hizlalás rövidege miatt a fázisok számának további növelésében az ammónia emisszió csökkentés szempontjából nincs jelentős potenciál, illetve limitálóak a takarmánygyártási és logisztikai kapacitások. A takarmány adalékanyagok közül a proteázok, a fitázok és az NSP-bontó enzimek (xilanázok, glükánázok, cellulázok) átlagosan 2-5%-kal növelhetik az esszenciális aminosavak emészthetőséget, és így képesek a N-retenció hasonló mértékű javítására és a N-ürítés csökkentésére (Siegert, 2023). A probiotikumok alkalmazásának segítségével csökkenhet a patogének elszaporodásának, a gyulladásos immunválasz reakcióknak az esélye az emésztőcsőben, ezáltal javulhatnak a termelési eredmények és az állatok N-retenciója (Reis et al., 2017). A probiotikumok és szimbiotikumok összetevői növelhetik továbbá az ammónia átalakulásának arányát bakteriális fehérjévé a vakbélben, ami a vizelet N arányának csökkenéséhez vezethet (Such et al., 2021a).

3.4.4. A csökkentett nyersfehérje-tartalom hatása az aminosavak emészthetőségére

Az eddigi vizsgálatok alapján a nyersfehérje csökkentett takarmányozás az aminosav látszólagos emészthetőségére gyakorolt hatásával eddig kevés tanulmány foglalkozott. Awad et al. (2016) kísérletében 27 g/kg-mal csökkentették brojlercsirkék nevelő és befejező fázisában a kukorica-szója alapú takarmánykeverék nyersfehérje-tartalmát, amelynek következtében 17 aminosav ileális emészthetősége átlagosan 6,05%-kal növekedett meg. Liu et al. (2021) szemle cikkükben számos kísérlet eredményeit dolgozták fel az aminosav emészthetőség vonatkozásában, kukorica és búza alapú nyersfehérje csökkentett takarmányok esetében (Hilliar et al., 2019; Hilliar et al., 2020; Moss et al., 2018; Yin et al., 2020; Greenhalgh et al., 2020; Chrystal et al., 2020b; Chrystal et al., 2020c). Hilliar et al. (2019) kísérletében 3,63%-os átlagos aminosav emészthetőségbeli csökkenést figyeltek meg 16 aminosav esetében, a 21. napon vizsgálva, kukorica alapú

takarmánykeverékek és 3,6% fehérjecsökkentés mellett. Második kísérletükben, ahol a takarmánykeverék búza alapú, a fehérjecsökkentés mértéke pedig 3,0% volt, a hízlalás 35. napján vizsgálva átlagosan 9,1%-os emészthetőség növekedést publikáltak 16 aminosav esetében, amelyből 12 esetében a különbség szignifikánsnak bizonyult (Hilliar et al., 2020). Az aminosav emészthetőségi eredmények ugyanebben a kísérletben a 21. napon vizsgálva egészen más értékeket mutattak: 8 aminosav esetében növekedés volt megfigyelhető, míg a másik 8 vizsgált aminosav esetében csökkent az emészthetőség értéke (a különbségek többsége nem volt szignifikáns). Az elemzett hét kísérletben a disztális jejunumban mért átlagos aminosav emészthetőségi koefficiensek tekintetében a 8,21%-os csökkenés és a 29,4%-os növekedés között változtak az értékek. A disztális ileumra vonatkozó átlagos emészthetőségi együtthatók a 8,36%-os csökkenés és a 7,43%-os növekedés között változtak. A jejunumra vonatkozó több pozitív eredmény azzal is összefüggésben állhat, hogy fehérjecsökkentett takarmányozás során nagyobb arányban alkalmazták a kristályos szabad aminosavakat, amelyeket közel 100%-os felszívódás jellemzi ebben a bélszakaszban (Lemme et al., 2005). A vizsgálatok eredményei arra is rámutatnak, hogy a takarmány nyersfehérje koncentrációjának csökkentése fluktuációt okoz az aminosav emészthetőségi együtthatókban. Valószínű, hogy egyes esetekben az aminosav látszólagos emészthetőségi együtthatójának növekedése az endogén aminosavak csökkent hányadából ered. A több szabad aminosavat és kevesebb „ép” fehérjét tartalmazó csökkentett nyersfehérje-tartalmú takarmányok csökkentik a pepszin, a tripszin és egyéb proteolitikus enzimek, valamint a mucin szekrécióját, amelyek az endogén aminosavak fontos forrásai (Lien et al., 2001). Az így létrejövő csökkent endogén aminosavhányad növelheti a látszólagos emészthetőségi együtthatókat. Az aminosavak felszívódása a sokféle, egymással kapcsolatban lévő folyamat miatt nagyon összetett. Az aminosavak versenghetnek egymással a bélrendszerből történő felszívódásért (Sheerin és Bird, 1972; Riley et al., 1989) a számos átfedő sajátosságokkal rendelkező Na^+ -függő és Na^+ -független transzporter révén (Hyde et al., 2003). A kristályos aminosavak sokkal gyorsabban felszívódnak a vékonybélből, mint a fehérjékben megkötött aminosavak (Wu, 2009). A keményítő emésztési dinamikájának szintén szerepe van a csökkentett nyersfehérje-tartalmú takarmányok aminosav emészthetőségének alakulására (Chrystal et al., 2021). Az eredmény háttérében valószínűsíthetően az áll, hogy a glükóz és az aminosavak versengenek a vékonybélből történő felszívódásért. Moss et al. (2018) a közelmúltban kimutatták, hogy a keményítő proximális csípőbéli emészthetőségi együtthatói negatív korrelációt mutatnak a csökkentett nyersfehérje tartalmú takarmányt fogyasztó brojlerek proximális csípőbelében mért tizenkét aminosav emésztési együtthatójával. A glükóz abszorpciója főként az SGLT-1 (nátrium-glükóz kotranszporter-1) transzporterén keresztül történik, amely egy Na^+ -függő

transzporter (Röder et al., 2014); míg az aminosavakat számos Na^+ -függő transzportrendszer szállíthatja át a sejtmembránon, amelyek specifikitása átfedésben van (Hyde et al., 2003).

3.4.5. A takarmánykeverék energia- és keményítőtartalmának jelentősége

A SID aminosav-szükségleteknek megfelelő, kiegyensúlyozott aminosavprofilú nyersfehérje-csökkentett takarmányozás negatívan befolyásolhatja a testösszetételt. Korábbi kutatások eredményei szerint, ha a fehérjecskökkentett takarmányokban az AMEn-tartalmat állandó szinten tartják (izokalorikus takarmányozás), pozitív energiamérleg jön létre, amely növelheti a hasúri zsír mennyiségét és ronthatja a takarmányértékesítést (Rosebrough és Steele, 1985; Swennen et al., 2006; Liu et al., 2017; Chrystal et al., 2020a). A leírt negatív hatások oka nagy valószínűséggel a csökkentett nyersfehérje-tartalmú takarmányok hatására létrejövő megváltozott aminosavhasznosulásban keresendő. Az aminosavakat a bélnyálkahártya elsősorban szekréciós aktivitáshoz, valamint szerkezeti fehérjeszintézisre hasznosítja, azonban egy bizonyos hányaduk energiatermelés céljából lebontásra is kerül a bélhámsejtekben. A takarmánnyal felvett aminosavak körülbelül 18%-a katabolizmuson megy keresztül a sertések bélnyálkahártyájában (Stoll et al., 1998), de ezt a folyamatot baromfi esetében még nem vizsgálták. Lehetséges, hogy gyors felszívódásuk miatt a szabad aminosavak esetében a bélnyálkahártyában lezajló katabolizmus kevésbé valószínű a vékonybél elülső részén, ahol több keményítő/glükóz áll rendelkezésre alternatív energiaszubsztrátként (Truong et al., 2017). Az aminosavak metabolizálható energiaként (AMEn) történő hasznosításának hatékonysága baromfiban a becslések szerint 85%-os a zsírmentes testsúlygyarapodás és 60%-os a dezamináció és katabolizmus esetén. Emellett az aminosavak nettó energiaként (NE) történő hasznosításának hatékonysága 70%-nak tekinthető a fehérjedepozíció és 30%-nak a dezamináció és a katabolizmus irányába, míg az NE értékét az AMEn 77,5%-aként adták meg a kutatások (Rostagno et al., 2011; Tillman, 2019). A fehérjecskökkentett takarmányok nagyobb mennyiségű szabad aminosavat tartalmaznak a kristályos aminosav-kiegészítések miatt. A bélben energiaként kisebb arányban hasznosuló, a portális keringésbe felszívódó és a fehérje depozícióban közvetlenül felhasznált szabad aminosavak kevesebb hőt termelnek az emésztés során. Így elméletileg a kisebb hőtermelés növeli a csökkentett nyersfehérje-tartalmú takarmányok NE-jét és ez részben megmagyarázhatja a hasúri zsír nagyobb mértékű keletkezését. További magyarázat lehet, hogy a csökkentett nyersfehérje-tartalmú takarmányok etetésének hatására kisebb a felesleges, kiválasztandó nitrogén mennyisége és így a húgysavsztézis energiaigénye (Goldstein és Skadhauge, 2000; Hofmann et al., 2019). Az előbbieken leírt folyamatoknál az energiafelesleg hasúri zsír formájában jelenhet meg.

A kiegyensúlyozott aminosavprofilú fehérjecsökkentett brojler takarmányok ideális metabolizálható energia / nyersfehérje (AMEn/CP) aránya mindaddig még nem tisztázott. Amikor a kísérletekben a nyersfehérje koncentráció csökkentésével párhuzamosan az AMEn értékét is hasonló arányban csökkentették, azaz állandó AMEn/CP arányt alkalmaztak, a kezelések nem befolyásolták a brojlerek vágóérték paramétereit és a hasúri zsír mennyiségét (Hidalgo et al., 2004; Kamran et al., 2008). Az izokalorikus fehérjecsökkentett tápoknál leírt megnövekedett hasúri zsír depozíció így elkerülhető volt, azonban a takarmány nyersfehérje- és AMEn tartalmának párhuzamos csökkentése, azonos AMEn/CP arány kialakítása szignifikánsan csökkentette a brojlerek testtömeg-gyarapodását és takarmány-értékesítést (Hidalgo et al., 2004; Kamran et al., 2008). Hidalgo et al. (2004) kísérletében a Ross 308-as hibridek összesített növekedési teljesítménye szignifikánsan romlott, amikor a takarmány nyersfehérjetartalmát 1,2-1,5%-kal csökkentették és állandó AMEn/CP arányt alkalmaztak. A gyengébb termelési eredményekhez az is hozzájárulhatott, hogy a kísérlet során alkalmazott takarmányokban eltérő volt az emészthető aminosav-tartalom, illetve az összes-lizin és metionin+cisztein koncentrációja a takarmányok nyersfehérje-tartalmával együtt párhuzamosan változott. Kamran et al. (2008) vizsgálatukban a takarmányok nyersfehérje koncentrációját több lépésben 200 g/kg-ról 170 g/kg-ra csökkentették, megőrizve az AMEn/CP arányt. A brojlerek 1-35 napos korában etetett fehérjecsökkentett tápok hatására a testsúlygyarapodás 13,4%-kal romlott (610 vs. 704 g/madár), illetve 29,2%-kal kedvezőtlenebb lett a takarmány-értékesítés (2,97kg/kg vs. 2,10 kg/kg).

A csökkentett nyersfehérje-tartalmú tápok fejlesztése során az aminosavak és az energia/nyersfehérje arány egyensúlya mellett a fő táplálóanyagok, a keményítő, a lipidek és a fehérjék emésztési dinamikáját sem szabad figyelmen kívül hagyni (Liu et al. 2017). A brojlertakarmányok legfőbb energiaforrása a keményítő, és ennek a táplálóanyagnak a koncentrációja jellemzően növekszik a takarmány nyersfehérje tartalmának csökkentésével (Liu et al., 2021). Ezzel ellentétben a takarmány nyerszsírtartalma általában a fehérjeszinttel együtt csökken. A nagyobb keményítő/nyersfehérje arány ronthatja a fajlagos takarmány-értékesítést (Chrystal et al. 2020ab). Kimutatták, hogy a takarmányban lévő keményítőtől az emésztés során képződő glükóz, valamint az aminosavak vékonybélből történő felszívódása között kompetíció figyelhető meg, amely befolyásolhatja az aminosavak elérhetőségét a szöveti fehérjeszintézishez (van der Meulen et al., 1997; Li et al., 2008). Ebből a szempontból a „szűkebb” keményítő/nyersfehérje arányú takarmányok előnyösebbek lehetnek brojlercsirkék számára. A lipidek, mint a brojlertakarmányok másik fontos energiaforrásai befolyásolhatják a pellet minőségét, a takarmány gyomorban eltöltött idejét és a takarmányfelvételt (Awad et al., 2016; Greenhalgh et al., 2020; Yin et al., 2020). A takarmány zsírtartalmának növelése fokozza a gasztro-

duodenális refluxot és a bél antiperisztaltikus aktivitását, ami lassíthatja a gyomor ürülését és növelheti a retenciós időt (Martinez et al., 1995). A takarmány keményítő/lipid arányának növekedése negatívan befolyásolta 21-35 napos kor között a brojlercsirkék takarmányértékesítését (Liu et al., 2019). Egy másik, eltérő nyersfehérje koncentrációjú takarmánykeverékeket vizsgáló kísérletben a csirkék súlygyarapodását a takarmány emelt nyerszsírtartalma negatívan befolyásolta (Liu et al., 2017).

A búza- és a kukorica-keményítő emésztési dinamikája eltérő lehet brojlercsirkék esetében és egyes lassan emésztődő keményítők igazoltan kedvező hatásúak a brojlertápokban. Herwig et al. (2019) tanulmányában a búzából (gyorsan emészthető) vagy borsóból (lassan emészthető) származó tisztított keményítő ideális aránya 75:25 (gyors:lassú) volt, ezzel eredményezve a legjobb takarmányértékesítést. Az eredményekből arra következtethetünk, hogy a lassan emészthető keményítő megóvjaa az aminosavak egy részét a katabolikus folyamatoktól a bélnyálkahártyában. (Enting et al., 2005). A búzakeményítő *in vitro* emészthetősége (0,035/perc) csaknem kétszerese a kukoricáéhoz képest (0,017/perc) (Giuberti et al., 2012). *In vivo* körülmények között, brojlerekkel végzett vizsgálatokban kiderült, hogy a keményítő emésztési sebessége nem tér el ilyen mértékben az alapanyagok függvényében (Selle et al., 2021). A fehérjecsökkentett tápokban a kukorica használata több kísérlet alapján előnyösebb lehet a búzához képest (Greenhalgh et al., 2020; Yin et al., 2020; Chrystal et al., 2021). A 222 g/kg nyersfehérje-tartalomról a 165 g/kg-ra való átállás nem befolyásolta a kukoricaalapú takarmánykeveréket fogyasztó brojlerek teljesítményét (Chrystal et al., 2021). Ezzel szemben az őrölt búza alapú tápok fogyasztó madarak súlygyarapodása 38,1%-kal (1549 vs. 2503 g/madár), a takarmányfelvétel 18,5%-kal (2843 vs. 3487 g/madár) és a takarmány-értékesítés 26,6%-kal (1,840 vs. 1,453 g/madár) romlott az átállást követően. A kukorica alapú keverékek esetében ez a fehérjeszint csökkentés 8,51%-os növekedést eredményezett a takarmányfelvételben, míg az őrölt búza alapú keveréknél ugyanez az átmenet 18,5%-os csökkenést okozott. A keményítő ileális emészthetősége (96,7%) lényegében állandó maradt a kukorica alapú takarmányoknál, ezzel szemben a keményítő emészthetősége négyzetesen ($r = 0,808$; $P < 0,001$) 16,6%-kal (72,2% vs. 88,7%) csökkent a búza alapú takarmányoknál a nyersfehérje csökkentést követően. Lehetséges, hogy a 165 g/kg nyersfehérjét tartalmazó, nagy búzatartalmú keverékekben (751 g/kg) az oldható NSP-anyagok jelenléte is szerepet játszott az eredmények alakulásában, mivel a kísérleti takarmányok nem tartalmaztak semmilyen exogén enzimet.

Elméletileg a keményítő emésztési dinamikája határozza meg a glükóz felszívódást és a hasnyálmirigy inzulinszekrécióját. A lassan emésztődő keményítő egy időben hosszabban elhúzódó glükóz felszívódást, emelkedett vérplazma inzulinszintet és ennek hatására

kiegyenlítettebb szöveti aminosav beépülést eredményezhet (Weurding et al., 2003). A baromfi fajok vérplazmájában az emlősökénél nagyobb glükózsintek jellemzőek és rezisztensek az inzulinra, amelynek hátterében az inzulinfüggő glükóztranszporter GLUT-4 valószínűsíthető hiánya állhat (Tesseraud et al., 2007). A GLUT-12, egy brojlereknél felfedezett transzporter viszont valószínűleg analóg lehet a GLUT-4-el (Coudert et al., 2015). Érdekes módon Kulcsár et al. (2016) arról számolt be, hogy a vérplazma inzulin koncentrációja szignifikánsan nagyobb volt a kukorica alapú takarmányt fogyasztó csirkékben szemben, a búzaalapú takarmánnyal. Ez bizonyíthatja, hogy a kukorica keményítő lassabb emésztése egy hosszabban tartó inzulinválaszt hoz létre a búza keményítőjével összehasonlítva.

3.4.6. A treonin, a glicin és a szerin jelentősége

A treonin (Thr) általában a harmadik limitáló aminosav a brojlertakarmányokban, és a takarmányminőségű L-Thr a kereskedelemben az 1980-as évek óta kapható (Fernandez et al., 1994). A treonin elsősorban a fehérjék, specifikusan a mucin és az immunglobulinok szintézisének szubsztrátjaként szolgál, és döntő szerepet játszik a stresszválaszban és a bélhám integritásának fenntartásában (Kidd et al., 2000). Az ideális emészthető treonin/lizin arányt 65%-ra növelték a modern brojlerek takarmányaiban, amely tovább módosítható a megcélzott teljesítmény jellemzőknek, a stressz szintjének és az immunrendszer kihívásainak megfelelően (Star et al., 2012; Dozier et al., 2015).

Brojlerek fehérjecsökkentett takarmányai kapcsán érdekes kiugró értékeket figyeltek meg a szabad Thr plazmakoncentrációkat illetően. A lehetséges élettani mechanizmusokat figyelembe véve úgy gondolták, hogy a megemelkedett Thr plazmakoncentráció a csökkentett nyersfehérje-tartalmú takarmányozásban részesült csirkék gyenge növekedési teljesítményének az indikátora lehet. Fancher és Jensen (1989) arról számoltak be, hogy brojler jércék vérplazmájának szabad Thr koncentrációja 124%-kal növekedett meg, miután a takarmány nyersfehérje-tartalmát 183 g/kg-ról 159 g/kg-ra csökkentették. Fontos megjegyezni, hogy hasonló csúcsokat fedeztek fel a treonin vérplazma koncentrációjában nyersfehérjecsökkentés hatására kukoricaalapú- (Chrystal et al., 2020a; Chrystal et al., 2020b; Chrystal et al., 2020c; Chrystal et al., 2021), és búzaalapú takarmányozás esetén (Moss et al., 2018; Yin et al., 2020; Chrystal et al., 2021). A megemelkedett plazmaszint nem alakulhat ki bioszintézis miatt, mivel a Thr esszenciális aminosav (Malinovsky, 2018a), ezért az emelkedett Thr szint hátterében valószínűleg a Thr-bontó folyamatoknak a csökkenése állhat. Elméletileg a treonin három különböző lebontási útvonalon alakulhat át. A treonin-dehidratáz (TH) a treonint α -ketobutiráttá bontja; a treonin-aldoláz (TA) acetaldehiddé és glicinné (Gly); a treonin-3-dehidrogenáz (TDH) acetyl-CoA-vá és glicinné (Davis és Austic, 1982). A treonin lebontása megváltozott a gerincesek evolúciója során: míg madaraknál a treonint

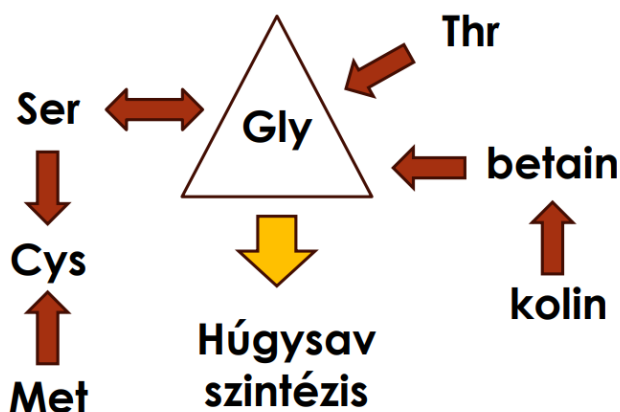
főleg a TDH bontja le, addig az emlősöknél elsősorban a TH felelős a treonin lebontásáért. (Malinovsky, 2018b).

A Gly baromfiban a húgysavszintézis aminosav prekursora (Sugahara és Kandatsu, 1976; Meléndez-Hevia et al., 2009). Egy molekula húgysav *de novo* szintéziséhez egy molekula glicinre van szükség. A treoninon kívül a Gly létrejöhet szerinből (Ser), amely reakció megfordítható (Sugahara és Kandatsu, 1976; Meléndez-Hevia et al., 2009). A Gly és a Ser metabolikus interkonverziója folyamatos, és a Ser ekvimoláris alapon ugyanazokkal a hatásokkal rendelkezik, mint a Gly (Sugahara és Kandatsu, 1976). Ezért javasolták a takarmány Gly-ekvivalens (Gly_{equi}) értékének kiszámítását úgy, hogy a Ser moláris egyenértéke 0,7143 (Dean et al., 2006).

Az összefüggés alapján az egyenlet:

$$Gly_{equi} \text{ (g/kg)} = Gly \text{ (g/kg)} + (0,7143 \times Ser \text{ (g/kg)})$$

A glicin kialakulása többféle prekursor molekulából lehetséges, amelyet vázlatosan az 5. ábra foglal össze.



5. ábra A glicin (Gly) és lehetséges prekursorai

(Ser: szerin, Cys: cisztein, Met: metionin, Thr: treonin; Siegert et al. (2015) alapján)

Elméletileg a treonin át tud alakulni glicinné, ennek ellenére a gyakorlatban az átalakulás korlátozott is lehet (D'Mello, 1973). Szerin szükséges a metionin ciszteinné történő átalakulásához. A takarmány nyersfehérje-tartalmának csökkentése során általában növelik a DL-metionin-kiegészítést, de figyelmen kívül hagyják a ciszteinre vonatkozó speciális igényeket. Minden metionin molekula, amely nem alakul át ciszteinné, csökkenti a Gly_{equi} iránti igényt (Siegert et al., 2015). A Thr és a Ser után harmadik molekulaként a kolin is kiindulási alapanyaga lehet a Gly szintézisnek egy öt lépéses folyamat révén, amennyiben az L-homocisztein elérhető (Siegert et al., 2015).

Jelentős mennyiségű kutatási adat született a csökkentett nyersfehérje-tartalmú brojlertakarmányok glicin- és szerinszintjének vonatkozásában a Hohenheimi Egyetemen (Siegert et al., 2015; 2015; Siegert et al., 2016; Hoffmann et al., 2019) ahogyan arra Siegert és Rodehutschord (2019) szemlelik is rámutat. A kutatások szerint a Gly az első limitáló nem esszenciális aminosav a baromfi takarmányokban, ezért koncentrációjának emelésével nagyobb mértékű nyersfehérjecsökkentés is végrehajtható a termelési eredmények csökkenése nélkül. Fiatal brojlercsirkék részére a Gly_{equi} ajánlott koncentrációja 11-20 g/kg. Az ajánlások igen széles skálán mozognak, amelyet a takarmány cisztein-, treonin-, kolintartalma, illetve a metionin/metionin+cisztein arány is befolyásolnak. A táplálék Gly+Ser szintje nagymértékben csökken és limitálóvá válik, ha a növényi eredetű alapanyagokból álló keverékekben a nyersfehérje-tartalom 19% alatt van a hizlalás 7-21. napja között, illetve amennyiben 17% alatt van a csirkék 21-35 napos életkorában (Siegert et al., 2016; Belloir et al., 2017). A Thr és a Gly_{equi} összetett kapcsolatát számos szerző tanulmányozta (Waldroup et al., 2005; Corso et al., 2009; Ospina-Rojas et al., 2013ab; Siegert et al., 2015; Star et al., 2021). Az ajánlottnál nagyobb Thr-szint csökkentheti a takarmány Gly_{equi} szükséges értékét, ezáltal elősegítve a termelési mutatók javulását (Siegert et al., 2015). Ez az ún. megtakarító vagy helyettesítő hatás részben a Thr Gly-né való átalakulásának tulajdonítható (Siegert és Rodehutschord, 2019). Ezenkívül a takarmánnyal felvett nagyobb mennyiségű Thr mérsékli más aminosavak katabolizmusát, ezáltal kisebb mennyiségű Gly_{equi} kell húgysavképzéshez (Siegert et al., 2015). Másrészt Gly-kiegészítéskor a Thr lebontásában szerepet játszó Thr-aldoláz és Thr-dehidrogenáz enzimek kisebb aktivitása miatt az élettani Thr-szükséglet könnyebben kielégíthetővé válik (Ospina-Rojas et al., 2013b).

A Thr és a Gly_{equi} közötti kölcsönhatást a brojlerek teljesítményét illetően leginkább a brojler életének első három hetében vizsgálták. A takarmányhoz adott minden 0,2 vagy 0,4% Gly hatása a 0. naptól a 21. napig etetett takarmány nyersfehérje-tartalmától függött Waldroup et al. (2005) tanulmányában. Amikor Gly-t adtak a 16 vagy 18% nyersfehérjét tartalmazó takarmányokhoz (1,30 vagy 1,62% Gly+Ser), a madarak 21 napos korban mért testsúlya jelentősen javult. Azonban a Gly hozzáadása a 20, 22 vagy 24% nyersfehérjét tartalmazó keverékekhez (1,86, 2,08 és 2,28% Gly+Ser) nem, vagy csak csekély hatást mutatott. A szerzők nem észleltek teljesítményjavulást a a tápokhoz adott 0,2 vagy 0,4% Thr-kiegészítés esetén (kontroll tápban 0,80-0,98% Thr), illetve nem tapasztaltak a Gly és a Thr között interakciót. Ospina-Rojas et al. (2013a) 19% nyersfehérje-tartalmú tápot etettek a 0. naptól a 21. napig, két Thr-szinttel (0,93 és 1,07% Thr) és négy Gly+Ser koncentrációval (1,84-2,26%). A növekvő Gly+Ser-kiegészítés 0,93%-os Thr-szinten kvadratikusan javította a madarak takarmány-értékesítését, de 1,07%-os Thr koncentrációnál már nem volt szignifikáns hatása. A Thr és a Gly közötti kölcsönhatást a hizlalás nevelő-befejező

fázisában vizsgáló kutatások száma sokkal kisebb, és az eredmények további pontosítást igényelnek. A 21-35 napos brojlerok takarmány-értékesítése nagyobb mértékben javult a Gly kiegészítésre, amikor a takarmányok emészthető Thr-Lys aránya 65% volt, szemben a 72%-os emészthető Thr-Lys aránnyal (Ospina-Rojas et al., 2013b). Azok a brojlercsirkék, amelyek takarmányában kisebb volt az emészthető (Gly+Ser)/Lys arány, kifejezettebb takarmány-értékesítés reakciót mutattak a takarmány Thr-szintjére (Ospina-Rojas et al., 2013b). Corzo et al. (2009) hasonló kölcsönhatásokat figyeltek meg a 21-42 napos madarak testsúlygyarapodása esetében. Star et al. (2021) kísérletében a 7 és 28 napos brojlerok súlygyarapodásában csak akkor volt változás, ha mind a takarmány Gly, mind a Thr szintje nagyon alacsony volt. A takarmánykeverékhez adott nagyobb mennyiségű treonin (7,15-8,25 g/kg) és Gly_{eq} (8,37-12,7 g/kg) koncentráció hatását, önállóan, illetve együttes alkalmazásban Chrystal et al. (2020c) tanulmányozta. A takarmánykeverékek nyersfehérje-tartalma 158-161 g/kg, illetve 161-163 g/kg között változott. Az önállóan alkalmazott kezelés nem befolyásolta a növekedési teljesítményt, azonban a Thr és Gly_{eq} együttesen szignifikánsan növelte (7,82%-kal) a testsúlygyarapodást, 2,69%-kal javította a fajlagos takarmányértékesítést, és szignifikánsan csökkentette (12,5%) a hasúri zsír mennyiségét. Az eredményeket nehéz megmagyarázni, mivel arra lehetett számítani, hogy a nagyobb treoninszint csökkenti a Gly_{eq}-ra adott válaszokat, nem pedig fokozza azokat. Fontos megemlíteni, hogy a treonin és a Gly_{eq} együttes adagolása 16 aminosav esetében átlagosan 7,99%-kal növelte disztális csípőbélben mért emésztési együtthatót (0,838 vs. 0,776; P<0,01), illetve csökkentette a disztális csípőbélben mért keményítő:fehérje felszívódási arányt. A kísérleti tápokban lévő megfelelő koncentrációján kívül a takarmány Thr és Gly hatása függ a Met+Cys, a kolin, az arginin, a guanidino-ecetsav és a kreatin szintjétől is, amint azt Siebert és Rodehutscord (2019) megállapította.

3.4.7. Az elágazó szénláncú és aromás aminosavak jelentősége

A gyakorlatban alkalmazott búza alapú brojler takarmányokban a leucin/lizin aránya meghaladja a minimálisan ajánlott ideális értéket, és ez még inkább teljesül a kukorica- és cirok alapú brojler tápoknál. A leucinban gazdag kukoricaglutént, kukorica DDGS-t, illetve vérlisztet tartalmazó keverékekben még további leucinfelesleg alakul ki (Waldroup et al., 2002; Rostagno et al., 2011). Az elágazó szénláncú leucin, valin és izoleucin lizinhez viszonyított optimális aránya 109, 80 és 69 (Wu, 2014). A nyersfehérje csökkentett tápokban a minimális „ideális” lizinhez viszonyított arány elérhető a valin és az izoleucin esetében, de a leucin általában feleslegben van jelen. A modern gyakorlati brojler takarmányokban a takarmány nyersfehérje koncentrációjának kismértékű, 10 g/kg-os csökkenésével a leucin/lizin arány 120 és 130 között van a búza-szója alapú keverékekben és 150-170 között a kukorica-szója alapú tápokban.

D'Mello (2003) a teljes fenilalanin + tirozin szükséglet legalább 58%-át javasolta fenilalanin formájában, és hasonló, 55%-os és 57%-os arányokat javasoltak más szerzők (Rostagno et al., 2011; Wu, 2014). A fenilalanin + tirozin javasolt ideális aránya a lizinhez képest 95% és 119% között mozgott a korai vizsgálatok során (Dean és Scott, 1965; Huston és Scott, 1968; Sasse és Baker, 1972). Újabb kutatások 115%-os (Dorigam et al., 2013) és 105%-os (Wu, 2014) ideális arányt javasoltak, míg Franco et al. (2017) 113%-os (10,5 g/kg emészthető lizin) arányt javasoltak a súlygyarapodás és a melltömeg maximalizálása érdekében Cobb 500 brojler kakasoknál. A kukorica-szója alapú takarmány nyersfehérje-tartalmát 210 g/kg-ról 165 g/kg-ra csökkentette a fenilalanin + tirozin mennyiségét 163%-ról 117%-ra csökkentette, ahol a fenilalanin a teljes mennyiség 57,6%-át adta, biztosítva ezáltal az optimális tartományon belüli szinteket (Chrystal et al., 2020a). A búza-szója alapú tápokban a nyersfehérje-tartalom drasztikus csökkentésekor előfordulhat, hogy nincs elegendő fenilalanin + tirozin a tápokban. Chrystal et al. egy nemrégiben végzett, nem publikált vizsgálatában búza-szója alapú takarmánykeverék nyersfehérje-tartalmának 222 g/kg-ról 165 g/kg-ra csökkentése jelentősen gyengítette Ross 308-as brojler növekedését a kelés utáni 7-35. nap közötti időszakban. A fenilalanin + tirozin / lizin arány mindössze 67% volt a tápokban, ami alapján valószínűleg e két aromás aminosav hiánya is hozzájárulhatott a megfigyelt gyenge teljesítményhez.

3.4.8. Takarmány adalékanyagok használata

A takarmány nyersfehérje-tartalmának csökkentését általában úgy érik el, hogy növelik a gabona-alapanyagok részarányát a fő fehérjehordozó szójadara rovására. A változás következményeként nő a takarmány keményítő-tartalma, illetve csökken a nyerszsírtartalom. A búza alapú kisebb fehérjetartalmú takarmánykeverékekben így módon megnő a nem-keményítő poliszacharidok koncentrációja, a xilanáz enzimek működése eredményeképpen létrejövő termékek megzavarhatják a vizsgálatokat, ezért általában NSP-bontó enzimek nem szerepelnek ezekben a kísérletekben (Chrystal et al., 2020b). Ez azonban korlátozza a kísérleti eredmények hasznos, közvetlen összehasonlítását a szokásos kereskedelmi brojler tápokkal, amelyekben a rostbontó enzimek használata általános.

Az exogén fitáz alkalmazásának kérdése talán még fontosabb az NSP-bontó enzimeknél, mivel a fitázhoz kötött foszfor felszabadításán túl a fehérjékre/aminosavakra, a kalciumra és a nátriumra gyakorolt ún. „extrafoszfor” hatást is kifejt (Shelton et al., 2004). Takarmányozási vizsgálatok során zavaró hatása a kisebb nyersfehérje-tartalmú takarmányok esetében a változó fitátszinttől függően nagymértékű is lehet. A fitát a környezeti pH-tól és a fehérjék izoelektromos pontjától függően többféle protein-fitát komplexet képezhet (Selle et al., 2000). Kidd et al. (2016) tanulmányukban a fitát és a treonin közötti kölcsönhatást, illetve és a fitát-lizin komplex

képződését elemezte. A takarmány fitát és fitáz ezen túlmenően befolyásolja a keményítő/glükóz és a fehérje/aminosavak emésztési dinamikáját (Chrystal et al., 2020). Az exogén fitáz valószínűleg pozitívan befolyásolja a glükóz és az aminosavak Na^+ -függő abszorpcióját a bélből (Moss et al., 2018). Érthető módon ezért a legtöbb, csökkentett nyersfehérje tartalmú takarmánnyal végzett vizsgálat nem tartalmaz exogén fitázt, bár ez az általános gyakorlat a kereskedelmi brojlertápok esetében. Ez viszont, ahogy az NSP-bontó enzimek használatánál is, problémát jelent az eredmények gyakorlati szempontú alkalmazhatóságára vonatkozóan.

A csökkentett nyersfehérje tartalmú takarmánykeverékek és a probiotikumok hatását külön-külön számos kutatócsoport vizsgálta már brojlercsirkék esetében. Az együttes vizsgálatra viszont jóval kevesebb példát találunk a szakirodalomban. Kifejezetten a *Bacillus amyloliquefaciens* (BA) baktérium törzsre vonatkozóan Naseri et al. (2021) végeztek kísérletet, ahol a teljes állományban elhalásos bélgyulladást indukáltak és így mutatták ki a BA törzs pozitív hatását a bél mikrobiótára és a táplálóanyagok emészthetőségére. A csökkentett nyersfehérje-tartalmú brojler takarmányok *Bacillus pumilus* kiegészítése javította a növekedési teljesítményt, a takarmány-értékesítést és csökkentette a mortalitást (Qureshi et al., 2024).

4. ANYAG ÉS MÓDSZER

4.1. Csökkentett nyersfehérje-tartalmú, probiotikummal kiegészített takarmányok hatásai brojlercsirkék termelési eredményeire és a bél morfológiai állapotára (1. kísérlet)

4.1.1. Kísérleti állatok és elhelyezésük

A kísérletet a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Élettani és Takarmányozástani Intézet Georgikon Campusán található telepen végeztük. Összesen 576 Ross 308 genotípusú napos kakassal indult a kísérlet, amelyeket a Gallus Kft. keltetőjéből szereztünk be (Gallus Kft., Devecser, Levente telep 1.). Az állatokat a keltetőben immunizálták fertőző bronchitis (Cevac Bron), Newcastle betegség (Cevac Vitapest) és fertőző bursitis (Cevac Ttransmune) ellen a Ceva (Ceva Santé Animale, 33500 Libourne, Franciaország) vakcinaival. A naposcsibéket egy számítógépes rendszerrel automatikusan vezérelt, az összes kísérleti fülke számára egységes, optimális környezeti feltételeket biztosító, zárt teremben helyeztük el. A madarakat véletlenszerűen osztottuk szét mélyalmos rendszerű kísérleti fülkékben, ahol egy fülkében 24 állat került elhelyezésre (14 madár/m²). Alomanyagnak szecskázott búzaszalmát használtunk. A csirkéknek az egész hizlalási periódus alatt *ad libitum* takarmány- és ivóvíz hozzáférést biztosítottunk. A világítási, fűtési és szellőztetési programot a tenyésztő Aviagen cég (Aviagen, Newbridge, Egyesült Királyság, 2019) előírásainak megfelelően állítottuk be. A kokcidiózis megelőzése érdekében a csirkéket 6 napos korban élő, legyengített kokcidiózis vakcinával (Evant[®], Hipra) kezeltük. A teremhőmérséklet a napos állatok szintjén a betelepítés 0. napján 32 C°-ra lett beállítva. Ezt követően fokozatosan csökkentettük a teremhőmérsékletet, amíg a 27. életnapon el nem értük a 20 C°-t, amelyet a kísérlet zárásáig folyamatosan biztosítottunk. Az istálló relatív páratartalma a hizlalás során 60-70% között mozgott. A kísérlet első hetében a fényintenzitás 30 lux volt, majd a 2. héttől a kísérlet végéig 10 lux fényerősséget állítottunk be. Az első héten a világítási program 23 óra világos- és 1 óra sötét szakaszt jelentett, amelyet a 2. héttől a kísérlet végéig 20 óra világos- és 4 óra sötétszakasz váltott fel. Az állatkísérletet az Intézményi Etikai Bizottság (Állatvédelmi Bizottság, Georgikon Campus, Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem) a MÁB-4/2022 engedélyszám alatt hagyta jóvá.

4.1.2. Kísérleti takarmányok

A kísérlet során háromfázisú takarmányozást alkalmaztunk: indító- (0-10 nap; dercés), nevelő- (11-24 nap; granulált) és befejező fázist (25-39 nap; granulált). Az indító fázis esetében egy kontroll (C) és egy probiotikummal (Ecobiol 500[®] 0,5 g/kg tak.; *Bacillus amyloliquefaciens* CECT 5940 (BA), min. 2 x 10⁹ CFU/g; Evonik Nutrition & Care GmbH, Németország) kiegészített

takarmánykeveréket etettünk (C+BA), kezelésenként 12 ismétlésben (fülkében). A C csoport kísérleti keveréke a Ross 308 hibrid előírt szükségleteit kielégítő takarmánykeverék volt (Aviagen, 2019). A nevelő- és befejező fázisban négy kísérleti keveréket etettünk, mindegyik esetében 6 ismétlést alkalmazva: kontroll (C; az indító kezelés 6 fülkéje), probiotikummal kiegészített keverék (C+BA; az indító C+BA csoport 6 fülkéje), fehérjecsökkentett takarmánykeverék (LP; az indító C kezelés 6 fülkéje), probiotikummal kiegészített fehérjecsökkentett keverék (LP+BA; az indító C+BA kezelés 6 fülkéje). Az LP csoportokban a kontrollhoz (C) viszonyítva a nyersfehérje-tartalom a nevelő szakaszban 1,5%-kal, a befejező szakaszban 2,0%-kal volt kisebb. A kísérleti keveréktakarmányokat a MATE Georgikon Campusán állítottuk össze. A kísérletben etetett takarmánykeverékek összetételét és számított táplálóanyag-tartalmát a 11. táblázat, egyes mért paramétereit a 12. táblázat mutatja be. Az LP és LP+BA csoportokban a nyersfehérje-tartalom csökkentést az extrahált szójadara arányának csökkentésével érték el. A keverékek mért nyersfehérje-tartalma nem tért el jelentősen a számított értékektől (12. táblázat). Hat esszenciális aminosav esetében kristályos aminosav-kiegészítést alkalmaztunk (lizin, metionin, treonin, valin, izoleucin, arginin). A különböző kezelések keverékeinek kiszámításakor törekedtünk arra, hogy a standardizált ileális emészthetőségi (SID) értékek azonosak legyenek ezen aminosavak esetében. Az esszenciális aminosavak SID-értékének és lizinhez viszonyított arányainak megállapításánál az Evonik cég AminoChick2.0[®] szoftverének ajánlásait vettük figyelembe (Evonik, 2014). A kísérletben etetett keveréktakarmányok egyike sem tartalmazott kokcidiosztatikumot. A tápokot száraz és hűvös helyen (<20°C) tároltuk.

11. táblázat: A kísérleti takarmánykeverékek összetétele és számított táplálóanyag-tartalma

Összetevők (g/kg)	Indító (0-10 nap)	Nevelő (11-24 nap)		Befejező (25-39 nap)	
	C és C+BA	C és C+BA	LP és LP+BA	C és C+BA	LP és LP+BA
Kukorica	375	406	431	430	463
Búza	100	100	100	100	100
Extrahált szójadara	345	239	119	215	76,9
Extrahált napraforgódara	50,0	100	150	100	150
DDGS	30,0	50,0	90,3	50,0	100
Napraforgó olaj	54,2	64,9	62,0	68,3	63,1
MCP	10,9	8,27	7,66	7,20	6,61
Takarmánymész	18,3	15,8	16,4	15,1	15,8
L-lizin (Biols®)	3,82	4,45	8,78	3,78	8,87
DL-metionin (MetAMINO®)	3,14	2,33	2,63	2,02	2,40
L-treonin (ThreAMINO®)	0,89	0,73	1,65	0,54	1,65
L-valin (ValAMINO®)	0,63	0,27	1,29	0,00	1,19
L-izoleucin	0,00	0,00	1,21	0,00	1,45
L-arginin	0,00	0,00	0,72	0,00	1,14
Premix ¹	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
Takarmánysó	2,85	2,68	2,41	2,67	2,36
Szódabikarbóna	0,61	0,57	0,27	0,59	0,18
Fitáz (Quantum Blue) ²	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Xilanáz (Econase XT25) ³	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Összesen	1000	1000	1000	1000	1000

Táplálóanyag-tartalom (g/kg)

AMEn (MJ/kg)	12,6	13,0	13,0	13,2	13,2
Nyersfehérje – számított	230	205	190	196	176
Nyerszsír	69,6	82,3	81,9	86,2	83,7
Nyersrost	41,7	48,6	55,9	47,8	55,0
Ca	10,5	9,0	9,0	8,5	8,5
P hasznosítható	3,5	3,0	3,0	2,7	2,7
SID Lizin	12,7	10,9	10,9	10,0	10,0
SID Metionin	6,2	5,3	5,5	4,9	5,2
SID Metionin+Cisztein	9,2	8,1	8,1	7,6	7,6
SID Treonin	8,0	7,0	7,0	6,5	6,5
SID Triptofán	2,5	2,2	1,8	2,0	1,6
SID Valin	10,0	8,7	8,7	8,0	8,0
SID Izoleucin	8,6	7,5	7,5	7,1	7,1
SID Arginin	14,1	12,5	11,3	11,8	10,6
Glicin ekvivalens	16,5	15,1	13,6	14,5	12,6

C – kontroll kezelés; C+BA – kontroll táp probiotikummal kiegészítve; LP – nyersfeh. csökkentés a kontrollhoz képest; LP+BA – LP táp probiotikummal kiegészítve; ¹ Premix beltartalma: Szárazanyag – 96,5%, Nyershamu – 5,84%, Ca – 1,4%, P_{összes} – 0,01%, Pelérhető – 0,01%, NaHCO₃ – 0,2%, Zn – 22000 mg/kg, Cu – 3000 mg/kg, Fe – 15000 mg/kg, Mn – 22000 mg/kg, I – 400 mg/kg, Se – 80 mg/kg, A vitamin – 3200000 IU, D₃ vitamin – 1160000 IU, E vitamin – 20000 mg/kg, K₃ vitamin – 1000 mg/kg, Tiamin – 800 mg/kg, Riboflavin – 2000 mg/kg, Piridoxin – 1220 mg/kg, B₁₂ vitamin – 10 mg/kg, Nikotinsav – 15400 mg/kg, Pantoténsav – 4800 mg/kg, Folsav – 540 mg/kg, Biotin – 48 mg/kg, kolin-klorid – 90000 mg/kg, Betain – 50000 mg/kg, Antioxidáns – 20000 mg/kg; ² Fitáz (Quantum Blue®; AB Vista, Marlborough, UK). ³ Xilanáz (Econase XT®; AB Vista, Marlborough, UK).

12. táblázat: A kísérleti takarmánykeverékek mért táplálóanyag-tartalma

Táplálóanyag-tartalom (g/kg)	Indító		Nevelő		Befejező	
	C és C+BA	C és C+BA	LP és LP+BA	C és C+BA	LP és LP+BA	
Nyersfehérje	224	202,8	187,9	192,9	171,2	
Nyerszsír	69,6	82,3	81,9	86,2	83,7	
Nyersrost	42,3	47,1	50,9	55,3	61,5	
Ca	10,6	9,7	10,0	9,1	9,1	
P _{össz}	6,7	6,5	6,6	6,1	6,0	

C – kontroll kezelés; C+BA – kontroll táp probiotikummal kiegészítve; LP – csökkentett nyersfehérje-tartalom a kontrollhoz képest; LP+BA – LP táp probiotikummal kiegészítve

4.1.3. Mérések és mintavételi eljárások

A csirkék testsúlyát egyedileg megmértük napos korban, illetve az egyes takarmányozási fázisok végén (10., 24. és 39. napon), ezután megállapítottuk a testsúlygyarapodást. Szintén a fázisok végén mértük a fülkénkénti takarmányfogyasztást, amelyet követően kiszámítottuk az adott fülkéhez tartozó átlagos takarmányfelvételt és takarmányértékesítést. A termelési paraméterek statisztikai vizsgálata során fülkeátlagokkal dolgoztunk (kezelésenként 6 ismétel; n=6). A kísérleti takarmánykeverékekből minden fázis és kezelés esetében mintákat gyűjtöttünk, majd ezekből a 12. táblázatban szereplő paramétereket mértük meg. A kísérleti állatok 29 napos korában bélmorfológiai és béltartalom vizsgálatra került sor a Vet-Produkt Kft. munkatársainak segítségével. Az Evonik cég által biztosított „bél egészség monitoring program” alapján ketrecenként 3-3 db átlagos fejlettségű madáron végeztük el az emésztőkészülék vizsgálatát. A kiválasztott állatok vágása során az egyedeket széndioxidos kábítás alatt, a nyaki véna átvágásával kivégeztettük. Az egyes paramétereket a Vetprodukt Kft. gyakorlott szakembere érzékszervi vizsgálattal határozta meg. Az értékelés során a következő jellemzők meglétét (1 pont) vagy hiányát (0 pont) jegyeztük fel állatonként: béltartalom gázosodás, diszbakteriózis, elhalásos bélgyulladás, fokozott bélnyák termelés, kipirult Peyer-plakkok, vékony bélfal. A kokcidiózis vizsgálatot Johnson és Reid (1970) által kidolgozott ún. „*Lesion scoring*” értékelő módszer szerint végeztük el. A módszer alapján az *Eimeria* fajok által okozott bélelváltozásokat a bélcsatorna négy szakaszában (*duodenum*, *jejunum*, *ileum*, *caecum*) bíraltuk. Az elváltozások súlyossága szerint 0-4 értékkel pontozva 0 pontot adtunk, amikor nem volt elváltozás, 4 pontot, amikor nagyon súlyos léziók látszódtak. A madaranként adott összpontszámot elosztottuk a bélszakaszok számával, s az így kapott hányadost értékeltük.

A hizlalás 39. napján került sor az állatok vágóértékének megállapítására. Széndioxidos kábítás után kezelésenként 48 állat leölésére került sor. Meghatároztuk a vágási kihozataalt (a konyhakész testsúlynak az élősúlyhoz viszonyított arányát), az élősúlyhoz viszonyított ún. relatív mellfilé

arányát, a relatív comb arányt és a hasúri zsír relatív arányát. A konyhakész testsúly az állatok nyúzása, az emésztőtraktus, a fej és a lábvégek eltávolítása után mért súlyt jelentette.

4.1.4. Analitikai módszerek

A kísérleti takarmánykeverékek mintákból meghatároztuk a nyersfehérje- (MSZ EN ISO 5983-2:2005), nyerszsír- (MSZ EN ISO 6492), nyersrost- (MSZ EN ISO 6865: 2001), teljes foszfor- (MSZ EN ISO 6491: 2001) és kalcium- (MSZ EN ISO 6869: 2001) tartalmat.

4.1.5. Statisztikai analízis

Az adatok előkészítését a statisztikai analízisre a Microsoft Office Excel 2010 programmal végeztük el, ezután az IBM SPSS (version 22, SPSS, Inc., Chicago, IL, USA) statisztikai elemzőcsomaggal értékeltük ki őket. A termelési és vágóérték paraméterek értékelése során az egyes fülkék jelentették a kísérleti egységeket. A kiugró adatok kiszűrését a varianciák homogenitásának ellenőrzése (Levene-teszt) követte. Az indító szakasz eredményeit t-tesztel, míg a fehérjecsökkentés és a probiotikum-kiegészítés hatását kéttényezős varianciaanalízissel (ANOVA) értékeltük. Utóbbi esetében, ha valamely tényező hatása az F-teszt alapján szignifikánsnak bizonyult, a kezelések közötti különbségek kimutatására Tukey-tesztet használtunk. A kokcidiózis pontozás (Mann-Whitney teszt) kivételével a bélegészségügyi elváltozások előfordulási arányait χ^2 próbával értékeltük. Szignifikánsnak fogadtuk el a csoportok közötti különbségeket $P < 0,05$ érték esetében.

4.2. Különböző energia-fehérje arányú, csökkentett nyersfehérje-tartalmú takarmánykeverékek hatása brojlercsirkék termelésére, vágóértékére, húsminőségére és nitrogén-forgalmára (2. kísérlet)

4.2.1. Kísérleti állatok és elhelyezésük

A kísérlet helyszíne, a kísérleti állatok genotipusa, ivara, száma, a keltetői kezelések, az elhelyezés körülményei és az alkalmazott tartástechnológia a kísérlet során teljesen megegyezett az 1. kísérletnél leírtakkal. Az állatkísérletet az Intézményi Etikai Bizottság (Állatvédelmi Bizottság, Georgikon Campus, Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem) a MÁB-1/2021 engedélyszám alatt hagyta jóvá.

4.2.2. Kísérleti takarmányok

Négy kezelést alakítottunk ki, kezelésenként 6 ismétléssel (fülkével). Egy kísérleti fülkében 24 állatot helyeztünk el. Háromfázisú takarmányozást alkalmaztunk, amelyben az indító fázis 0-10.

életnapig (dércés takarmány), a nevelő fázis 11-24. életnapig (granulált takarmány), a befejező fázis pedig 25-41. életnapig (pelletált takarmány) tartott. A kontroll takarmánykeveréket (C) a tenyésztő cég által a Ross 308 brojlercsirke hibrid számára megadott szükségleti értékeknek megfelelően állítottuk össze. (Aviagen, Newbridge, Egyesült Királyság, 2019) Három csökkentett nyersfehérje-tartalmú kísérleti takarmánykeveréket alakítottunk ki (LP1, LP2, LP3), amelyek minden egyes takarmányozási fázisban 1,5%-kal kevesebb nyersfehérjét tartalmaztak, mint a kontroll keverék. Az LP kezelések nyersfehérje-tartalma a kontrollhoz képest relatív 6,5%, 7% és 8%-kal volt kisebb az indító-, a nevelő- és a befejezőfázisban. Az LP1-es kezelés kísérleti keveréke izokalorikus volt a C kezeléssel, míg LP2 és LP3 1,5, illetve 3%-kal kisebb AMEn tartalommal rendelkezett, mint a kontroll keverék. A kísérleti takarmányok összetétele a 13. táblázatban látható. A kísérleti tápok számított és mért táplálóanyag-tartalmára vonatkozó adatokat a 14. táblázat tartalmazza. Az LP csoportokban a kisebb nyersfehérje-tartalmat az extrahált szójadara arányának csökkentésével érték el, míg a kisebb AMEn értéket a napraforgó olaj bekeverési arányának csökkentésével hoztuk létre. A kísérleti takarmányokat az ideális fehérje elv alapján állítottuk össze. Az LP csoportokban a takarmánykeverékekben hat esszenciális aminosavat (lizin, metionin, valin, treonin, arginin és izoleucin) kristályos formában adagoltunk annak érdekében, hogy biztosítsuk a C takarmánykeverékben számított SID aminosav koncentrációkkal azonos aminosav-tartalmat. Mindegyik takarmány-keverékben alkalmaztunk xilanáz és fitáz enzimkiegészítést, azonban ezen enzimek aminosav-emészthetőséget javító hatását nem vettük figyelembe a takarmányok formulázása során.

13. táblázat: A kísérleti takarmánykeverékek összetétele

Összetevők	Indító (0-10. nap)				Nevelő (11-24. nap)				Befejező (25-41. nap)			
	C	LP1	LP2	LP3	C	LP1	LP2	LP3	C	LP1	LP2	LP3
Kukorica	40,83	47,07	48,07	49,08	45,99	52,00	53,02	54,03	51,80	57,66	58,73	59,73
Búza	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Extrahált szójadara	40,70	35,20	35,10	35,00	35,90	30,70	30,50	30,40	30,70	25,60	25,90	25,80
Napraforgó olaj	3,60	2,20	1,30	0,40	4,10	2,70	1,80	0,90	3,90	2,60	1,30	0,40
Takarmánymész	1,65	1,68	1,68	1,68	1,39	1,42	1,42	1,42	1,35	1,38	1,38	1,38
MCP	1,32	1,33	1,33	1,33	1,07	1,08	1,08	1,08	0,93	0,94	0,93	0,93
L-Lizin (Biolys)	0,37	0,63	0,63	0,63	0,24	0,45	0,49	0,49	0,19	0,40	0,38	0,38
DL-Metionin	0,42	0,46	0,46	0,45	0,32	0,36	0,34	0,34	0,20	0,24	0,24	0,23
L-Valin	0,05	0,14	0,14	0,14	0,00	0,06	0,07	0,07	0,00	0,05	0,04	0,04
L-Treonin	0,12	0,19	0,19	0,19	0,06	0,12	0,13	0,13	0,04	0,09	0,09	0,09
L-Arginin	0,00	0,10	0,09	0,09	0,00	0,09	0,11	0,11	0,00	0,09	0,08	0,08
L-Izoleucin	0,00	0,06	0,06	0,06	0,00	0,09	0,09	0,09	0,00	0,06	0,05	0,05
Só	0,24	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Szódabikarbóna	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Premix ¹	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Fitáz ²	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
NSP bontó enzim ³	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Kokcidiosztatikum ⁴	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00

C – kontroll kezelés; LP1 – a kontroll takarmányhoz képest csökkentett nyersfehérje-tartalom (-1,5%) azonos energiatartalom mellett; LP2 – a kontroll takarmányhoz képest csökkentett nyersfehérje- (-1,5%) és AMEn (-1,5%) tartalom; LP3 – a kontroll takarmányhoz képest csökkentett nyersfehérje- (-1,5%) és AMEn (-3%) tartalom; ¹ Premix (UBM Kft., Pilisvörösvár, Magyarország) összetevői (takarmány kilogrammonként): Indító és nevelő premixek – retinil acetát – 5,0 mg, kolekalciferol – 130 g, dl-alfa-tokoferol-acetát – 91 mg, menadion – 2,2 mg, tiamin – 4,5 mg, riboflavin – 10,5 mg, piridoxin HCl – 7,5 mg, cianokobalamin – 80 g, niacin – 41,5 mg, pantoténsav – 15 mg, folsav – 1,3 mg, biotin – 150 g, betain – 670 mg, monensin-Na – 110 mg (csak nevelő), narazin – 50 mg (csak indító), nikarbazin – 50 mg (csak indító), antioxidáns – 25 mg, Zn (mint ZnSO₄H₂O) – 125 mg, Cu (mint CuSO₄5H₂O) – 20 mg, Fe (mint FeSO₄H₂O) – 75 mg, Mn (mint MnO) – 125 mg, I (mint KI) – 1,35 mg, Se (mint Na₂SeO₃) – 270 g; Befejező premix – retinil acetate – 3,4 mg, kolekalciferol – 97 g, dl-alfa-tokoferol-acetát – 45,5 mg, menadion – 2,7 mg, tiamin – 1,9 mg, riboflavin – 5,0 mg, piridoxin HCl – 3,2 mg, cianoco-balamin – 19 g, niacin – 28,5 mg, pantoténsav – 10 mg, folsav – 1,3 mg, biotin – 140 g, L-aszkorbinsav – 40 mg, betain – 193 mg, antioxidáns – 25 mg, Zn (mint ZnSO₄H₂O) – 96 mg, Cu – 9,6 mg, Fe (mint FeSO₄H₂O) – 29 mg, Mn (mint MnO) – 29 mg, I (mint KI) – 1,2 mg, Se (mint Na₂SeO₃) – 350 g; ²Axtra® Phy 5000 TPT fitáz 500 FTU (Danisco Animal Nutrition & Health, USA); ³Danisco Xylanase 8000 G (Danisco Animal Nutrition & Health, USA); ⁴Maxiban® G160 premix (Elanco Animal Health, Australia)

14. táblázat: A kísérleti takarmánykeverékek számított és mért táplálóanyag-tartalma

Számított táplálóanyag		Indító (0-10. nap)				Nevelő (11-24. nap)				Befejező (25-41. nap)			
		C	LP1	LP2	LP3	C	LP1	LP2	LP3	C	LP1	LP2	LP3
Nyersfehérje	%	23,00	21,50	21,50	21,50	21,00	19,50	19,50	19,50	19,00	17,50	17,50	17,50
AMEn	MJ/kg	12,65	12,66	12,46	12,26	13,11	13,09	12,90	12,70	13,40	13,39	13,19	12,99
Keményítő	%	32,07	35,08	36,42	36,94	34,82	38,43	39,05	39,67	38,25	41,78	42,44	43,05
Nyerszsír	%	5,74	4,48	3,63	2,78	6,33	5,08	4,22	3,37	6,25	5,09	3,85	3,00
SID Lizin	%	1,30	1,32	1,32	1,32	1,12	1,12	1,14	1,14	0,98	0,98	0,98	0,98
SID Metionin	%	0,58	0,57	0,57	0,57	0,51	0,51	0,52	0,52	0,47	0,47	0,47	0,47
SID Met+Cys	%	0,94	0,94	0,94	0,94	0,84	0,84	0,84	0,84	0,70	0,70	0,70	0,71
SID Arginin	%	1,39	1,34	1,34	1,34	1,26	1,18	1,20	1,20	1,13	1,08	1,08	1,08
SID Threonin	%	0,83	0,83	0,83	0,83	0,70	0,71	0,72	0,72	0,63	0,62	0,63	0,63
SID Valin	%	0,97	0,98	0,98	0,98	0,85	0,83	0,84	0,84	0,77	0,77	0,77	0,77
SID Izoleucin	%	0,84	0,82	0,82	0,82	0,77	0,72	0,72	0,72	0,69	0,68	0,67	0,67
Ca	%	1,05	1,05	1,05	1,05	0,90	0,90	0,90	0,90	0,85	0,85	0,85	0,85
P hasznosítható	%	0,50	0,50	0,50	0,50	0,45	0,45	0,45	0,45	0,42	0,42	0,42	0,42
AMEn:CP arány		0,55	0,59	0,58	0,57	0,62	0,67	0,66	0,65	0,71	0,77	0,75	0,74
Kem.:CP arány		1,39	1,63	1,69	1,72	1,66	1,97	2,00	2,03	2,01	2,39	2,43	2,46
Mért táplálóanyag													
Szárazanyag	%	90,72	90,46	90,24	90,04	89,74	89,20	90,08	90,17	89,29	89,06	88,95	88,65
Nyersfehérje	%	22,72	21,33	21,19	21,20	20,79	19,32	19,34	19,18	18,94	17,41	17,54	17,37
Lizin	%	1,49	1,43	1,44	1,42	1,18	1,16	1,22	1,26	0,98	0,97	1,00	0,97
Metionin	%	0,62	0,61	0,59	0,60	0,55	0,54	0,57	0,59	0,51	0,50	0,52	0,51
Met+Cys	%	0,98	0,95	0,93	0,94	0,84	0,84	0,88	0,91	0,82	0,78	0,81	0,79
Arginin	%	1,55	1,45	1,39	1,42	1,27	1,27	1,45	1,36	1,29	1,12	1,19	1,13
Treonin	%	0,92	0,90	0,93	0,91	0,77	0,78	0,80	0,82	0,71	0,67	0,66	0,65
Valin	%	1,06	1,10	1,05	1,05	0,90	0,88	0,94	0,95	0,85	0,78	0,80	0,78
Izoleucin	%	0,94	0,96	0,91	0,93	0,76	0,78	0,79	0,81	0,74	0,69	0,70	0,68
Ca	%	1,05	1,03	1,08	1,05	0,91	0,90	0,93	0,90	0,89	0,85	0,86	0,87
P	%	0,70	0,70	0,69	0,70	0,56	0,56	0,60	0,61	0,51	0,48	0,51	0,48

C – kontroll kezelés; LP1 – a kontroll takarmányhoz képest csökkentett nyersfehérje-tartalom (-1,5%) azonos energiatartalom mellett; LP2 – a kontroll takarmányhoz képest csökkentett nyersfehérje- (-1,5%) és AMEn (-1,5%) tartalom; LP3 – a kontroll takarmányhoz képest csökkentett nyersfehérje- (-1,5%) és AMEn (-3%) tartalom; Kem.:CP – keményítő:nyersfehérje

4.2.3. Mérések és mintavételi eljárások

Az egyes takarmányozási fázisok végén egyedi testsúlymérésre, illetve a fülkénkénti takarmányfogyasztás mérésére került sor. A testsúlygyarapodás és a fajlagos takarmányértékesítés fülkénkénti kiszámítását szintén az egyes hízalási fázisok utolsó napján végeztük el, illetve a teljes nevelési időtartamra vonatkozóan szintén megállapítottuk. Az elhullásokat és az elhullott madarak súlyát minden nap regisztráltuk a kísérlet egésze alatt.

A 35. életnapon a termelési kísérletben részt vett csirkékből fülkénként 2 átlagos fejlettségű, egészséges kísérleti állatot véletlenszerűen kiválasztottunk (12 csirke/kezelés), majd anyagcsereketrecekben helyeztük el őket jelzőanyag emésztési kísérlet céljából. Az anyagcsereketrecekben a madarak a kezelésüknek megfelelő befejező takarmánykeveréket fogyasztották továbbra is, kiegészítve 0,5% titán-dioxiddal (indikátor anyag). Négy napos adaptációs időszakot követően naponta, két egymást követő napon (40. és 41. életnap) reprezentatív ürülminta-gyűjtést hajtottunk végre. Az egyes madaraktól származó kétnapi mintákat egyesítettük, majd alapos homogenizációt követően -20 C°-os hőmérsékleten tároltuk a későbbi mérésekig. Az ürülminták vizsgálata előtt a mintákat kíméletesen felolvasztottuk, majd újabb homogenizációt követően meghatároztuk az ürülék szárazanyag-tartalmát, összes-N, ammónium-N ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) és húgysav-N tartalmát.

A kísérlet végén fülkénként 2 átlagos fejlettségű csirkét (12 állat/kezelés) választottunk ki és a kísérleti vágás céljából. A vágás során a csirkéket széndioxidos kábítás alatt, a nyaki véna átvágásával kivérettük. A csípőbél (ileum) teljes tartalmát egyedenként begyűjtöttük és -20 C°-on tároltuk a keményítő és aminosav emészthetőség későbbi meghatározása érdekében. Zsigerelet követően meghatároztuk a hasított testek vágóértékét (vágási kihozatal %, mellhús kihozatal %, combkihozatal % és hasüri zsír %) és a mellhús húsmínőségi paramétereit. A nagy mellizom (*Pectoralis major*) baloldali részéből egyedenként 5 grammnyi mennyiséget begyűjtöttünk és -20 C°-on tároltuk az összfehérje és az összlipid tartalom mérése céljából. A mellizom (*Pectoralis major*) kémhatását a vágást követően közvetlenül ($\text{pH}_{0\text{h}}$) és 24 órás hűtve tárolást (4 C°) követően (pH_{24}) mértük meg egy hordozható pH mérővel (Testo 205; Testo Kft., Magyarország). A mérés során a műszer üveg-elektrodáját a bal oldali mellizom rész legvastagabb részébe szúrva állapítottuk meg a pH értéket. A hús víztartó képességét a nyers mellhús csepegési vesztesége alapján határoztuk meg (Van Harn et al., 2019): a jobb oldali *Pectoralis major* izom minta súlyát megmértük közvetlenül vágás után, ezt követően műanyag zacskóba helyeztük, majd egy kampóra felakasztva 24 órás 4 C°-on történő tárolásra került sor. A 24 óra leteltével a húsmintákról papírtörllővel óvatosan letörölgettük a nedvességet, majd ezt követően került sor a mellizom

minták súlyának visszamérésére. A csepegési veszteségnek megfelelő súlykülönbséget a kiindulási izomtömeg százalékában fejezzük ki.

4.2.4. Analitikai módszerek és számítások

Az analitikai mérések a MATE ÉTI Takarmányozástani és Takarmányozás-élettani Tanszékének laboratóriumában történtek, a Georgikon Campus Festetics Imre Bioinnovációs Központjában. A begyűjtött friss ürülék és béltartalom mintákat 60°C-on kemencében szárítottuk 72 órán keresztül a további feldolgozás előtt. A takarmánymintákból meghatároztuk azok szárazanyag-tartalmát (MSZ ISO 6496:2001), nyersfehérje- (MSZ ISO 5983-1:2005), keményítő (152/2009/EK rendelet III. L melléklet) foszfor- (MSZ ISO 6491:2001) és kalcium (MSZ EN ISO 6869:2001) tartalmát és aminosav összetételét (MSZ EN ISO 13903:2005). Az ürülék szárazanyag-tartalmát szárítószekrényben történő szárítást (100 °C 24 órán keresztül, súlyállandóságig) követően határoztuk meg (MSZ ISO 6496:2001). Az ürülék összes-N tartalmát a már leszárt mintából Kjeldahl módszere alapján (MSZ ISO 5983-1:2005), egy Foss-Kjeltec 8400 analizátor segítségével állapítottuk meg (Nils Foss Allé 1, DK-3400 Hilleroed, Dánia). Az NH_4^+ -N-t Peters (2003) módszere alapján, míg a húgysav-N meghatározása Marquardt (1983) eljárása szerint történt. Minden N-paraméter szárazanyag alapon lett kiszámítva. A vizelet-N-tartalmát az ammónium-N és a húgysav-N összege jelentette (Scott et al., 1982). A takarmánykeverékek, az ürülék- és a béltartalomminták TiO_2 tartalmát UV-spektroszkópiás vizsgálat segítségével határoztuk meg (Ferguson et al., 1998). A béltartalom keményítő- és aminosav-tartalmának (AAA 400; Ingos, Czech Republik) mérését a takarmányok vizsgálatánál fentiekben leírt módszerek szerint végeztük. Meghatároztuk a mellizom fehérje- (MSZ ISO 937:2002) és zsír- (MSZ ISO 1443:2002) tartalmát. A mérési eredmények alapján a N-retenciót a következő egyenlettel számítottuk ki (Bregendahl et al. 2002):

$$\text{Látszólagos N retenció} = 1 - \left(\frac{[\text{TiO}_2]_{\text{takarmány}}}{[\text{TiO}_2]_{\text{ürülék}}} \times \left(\frac{[\text{N}]_{\text{ürülék}}}{[\text{N}]_{\text{takarmány}}} \right) \right)$$

A keményítő és az aminosavak látszólagos ileális emészthetőségének számítása a fenti retencióra vonatkozó egyenlet szerint történt, a következő módosításokkal: a N helyett a keményítő/aminosav koncentrációja szerepelt az egyenletben, valamint az ürülék helyett a béltartalomban mért koncentrációkkal számoltunk.

4.2.5. Statisztikai analízis

A kísérletben a brojlerok egyedi adatait értékeltük a testsúlygyarapodás esetében, a takarmányfelvételnél és a takarmányértékesítésnél a fülke jelentette a kísérleti egységet. A vizsgált paraméterek átlagait teljesen véletlenszerű elrendezésben egytényezős varianciaanalízissel

(ANOVA) elemeztük, a normál eloszlás (Kolmogorov-Szmirnov teszt) és a varianciák homogenitásának (Levene-teszt) ellenőrzését követően. Az ANOVA során a takarmányozási kezelést, mint főhatást vettük figyelembe. Abban az esetben, amikor az F-teszt szignifikáns kezelés-hatást állapított meg, a kezelési csoportok közötti szignifikáns különbségeket Tukey-HSD post hoc teszttel vizsgáltuk meg. A kísérlet során az összes statisztikai analízist az SPSS 22.0 szoftvercsomag segítségével végeztük (IBM Corp., Armonk, NY, USA). A szignifikanciát $P < 0,05$ értéknél határoztuk meg.

4.3. Brojlercsirkék eltérő treonin- és glicin-ellátásának hatása csökkentett nyersfehérje-tartalmú takarmánykeverékek esetén (3. kísérlet)

4.3.1. Kísérleti állatok és elhelyezésük

A kísérlet helyszíne, a kísérleti állatok genotipusa, ivara, száma, a keltetői kezelések, az elhelyezés körülményei és az alkalmazott tartástechnológia a kísérlet során teljesen megegyezett az 1. kísérletnél leírtakkal. Az állatkísérletet az Intézményi Etikai Bizottság (Állatvédelmi Bizottság, Georgikon Campus, Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem) a MÁB-3/2022 engedélyszám alatt hagyta jóvá.

4.3.2. Kísérleti takarmányok

Négy takarmányozási kezelést alakítottunk ki, kezelésenként 6 ismétléssel (4x6, összesen 24 fülke). Egy kísérleti fülkében 24 állatot helyeztünk el. Háromfázisú takarmányozást alkalmaztunk, amelyben az indító 0-10. életnapig (dercés takarmány), a nevelő 11-24. életnapig (pelletált takarmány), a befejező szakasz pedig 25-35. életnapig (pelletált takarmány) tartott. A kontroll takarmánykeveréket (C) a tenyésztő cég által a Ross 308 brojlercsirke hibrid számára megadott szükségleti értékeknek megfelelően állítottuk össze (Aviagen, Newbridge, Egyesült Királyság, 2019). Három csökkentett nyersfehérje- (*low protein*, LP) tartalmú kísérleti keveréket alakítottunk ki (LPS, LPST, LPM), amelyek minden egyes takarmányozási fázisban 2%-kal kevesebb nyersfehérjét tartalmaztak, mint a kontroll takarmány. A kísérleti elrendezés, valamint a takarmánykeverékek fontosabb adatai a 15. táblázatban láthatók. Az LP kezelésben a kisebb nyersfehérje-tartalom a kontrollhoz képest relatív 9% és 10%-kal kevesebb értéket jelentett a nevelő- és befejezőfázisban. Az LPS csoportban a hagyományos kukorica-búza-extrahált szójadara keveréket alkalmaztuk, míg az LPST kezelés esetében emelt kristályos treonin-kiegészítést biztosítottunk az állatok számára. Az LPM kísérleti takarmányban a fehérjeforrást részben sertés húsliszttel biztosítottuk. A kísérleti takarmánykeverékek összetételét a 16. táblázat tartalmazza. A kísérleti tápok számított és mért táplálóanyag-tartalmát a 17a. és 17b. táblázatokban

foglaltuk össze. Az LP takarmányok nyersfehérje-tartalmának csökkentését az extrahált szójadara arányának csökkentésével érték el. Az LPS kezelés esetében a kontrollal azonos SID treonin szintet biztosítottuk az állatok számára mind a nevelő, mind a befejező takarmányozási fázisokban, azonban a Gly_{eq} szintje alacsonyabb volt. Az LPSTcsoportban nagyobb SID treoninszintet, illetve SID treonin:lizin arányt alakítottunk ki a másik három kezeléshez képest. Ennek eléréséhez nagyobb arányban alkalmaztunk kristályos treonin-kiegészítést. Az LPM kezelés esetében alkalmaztuk a legnagyobb SID glicin+szerin:lizin arányt, illetve a legmagasabb Gly_{eq}-t az LP csoportok között, így ezen értékek megközelítően hasonlóak voltak a kontroll kezelés takarmányában kialakított értékekhez. Az LPM kezelés esetében alkalmazott magasabb SID glicin+szerin arányt, illetve a nagyobb Gly_{eq}-t sertés húsliszt etetésével valósítottuk meg, amely glicinben gazdag fehérjeforrás, ami lehetővé teszi részben az extrahált szójadara kiváltását. Az LP csoportok takarmányai izokalorikusak voltak a kontroll takarmánykeverékkel. A kísérleti keverékek aminosav-összetételét a SID értékek alapján állítottuk össze, az ideális fehérje elv figyelembevételével. Az LP takarmányok esetében 6 esszenciális aminosavat kristályos készítményekkel (lizin, metionin, valin, arginin, izoleucin és treonin) egészítettünk ki annak érdekében, hogy a számított SID aminosav értékek megegyezzenek a kontroll értékeivel. Ez alól kivételt képez a fentebb említett SID treoninszint az LPST-es kezelés esetében. Mindegyik kísérleti takarmányban alkalmaztunk xilanáz és fitáz enzimkiegészítést, azonban ezen enzimek aminosav-emészthetőséget javító hatását nem vettük figyelembe a takarmányok formulázása során.

15. táblázat: Kísérleti elrendezés és a kísérleti kezelések fontosabb adatai

Kezelések ¹	Nevelő fázis (11-24 nap)						Befejező fázis (25-35 nap)					
	Ny.F. ² (%)	SID Thr (%)	SID Thr:Lys arány (%)	Gly+Ser (%)	SID (Gly+Ser):Ly s arány (%)	Gly _{equi} ³ (g/kg)	Ny.F. ² (%)	SID Treonin (%)	SID Thr:Lys arány (%)	Gly+Ser (%)	SID (Gly+Ser):Lys arány (%)	Gly _{equi} ³ (g/kg)
C	21,00	0,74	63	1,85	137	15,65	19,00	0,65	64	1,68	143	14,19
LPS	19,00	0,73	63	1,62	121	13,74	17,00	0,65	64	1,45	124	12,30
LPST	19,00	0,84	72	1,62	121	13,70	17,00	0,74	73	1,45	124	12,26
LPM	19,00	0,73	63	1,81	130	15,77	17,00	0,65	64	1,57	130	13,55

¹C – kontroll takarmány; LPS – szója alapú takarmány csökkentett nyersfehérje-tartalommal (-2%); LPST – szója alapú takarmány csökkentett nyersfehérje-tartalommal (-2%) és nagyobb kristályos L-treonin-kiegészítéssel; LPM – csökkentett nyersfehérje-tartalmú takarmány (-2%), amelyben az extrahált szójadara mennyiségét részben sertés húsliszttel helyettesítették; ²Ny.F. – nyersfehérje; ³Gly_{equi} – Glicin ekvivalens (g/kg takarmány) = glicin (g/kg)+[0,7143 x szerin (g/kg)]

16. táblázat: A kísérleti takarmánykeverékek összetétele (%)

Összetevők	Indító (0-10. nap)		Nevelő (11-24. nap)			Befejező (25-35. nap)			
	C ¹	C ¹	LPS ²	LPST ³	LPM ⁴	C ¹	LPS ²	LPST ³	LPM ⁴
Kukorica	39,13	42,48	49,30	49,30	57,03	47,95	54,97	54,98	60,34
Búza	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Extrahált szójadara	40,70	37,40	30,50	30,39	20,50	32,10	25,20	25,10	18,20
Sertés húsliszt	0,00	0,00	0,00	0,00	6,00	0,00	0,00	0,00	4,00
Napraforgó olaj	5,10	6,00	5,30	5,30	3,10	6,40	5,40	5,40	4,00
Mészkő	1,65	1,39	1,39	1,39	0,60	1,20	1,23	1,23	0,69
MCP	1,32	1,10	1,10	1,10	0,05	0,89	0,90	0,90	0,20
L-Lizin (Biolys)	0,41	0,27	0,56	0,56	0,69	0,21	0,50	0,50	0,61
DL-Metionin	0,40	0,32	0,37	0,37	0,40	0,29	0,34	0,34	0,37
L-Valin	0,10	0,06	0,16	0,16	0,21	0,06	0,17	0,17	0,21
L-Treonin	0,14	0,08	0,16	0,27	0,21	0,06	0,15	0,24	0,18
L-Arginin	0,03	0,00	0,15	0,15	0,21	0,00	0,19	0,19	0,25
L-Izoleucin	0,03	0,01	0,12	0,12	0,21	0,01	0,12	0,12	0,19
Só	0,30	0,30	0,30	0,30	0,20	0,30	0,30	0,30	0,23
Szódabikarbóna	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Premix ⁵	0,50	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
Fitáz ⁶	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
NSP-bontó enzim ⁷	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Kokcidiosztatikum ⁸	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00

¹C – kontroll takarmány; ²LPS – szója alapú takarmány csökkentett nyersfehérje-tartalommal (-2%); ³LPST – szója alapú takarmány csökkentett nyersfehérje-tartalommal (-2%) és nagyobb kristályos L-treonin-kiegészítéssel; ⁴LPM – csökkentett nyersfehérje-tartalmú takarmány (-2%), amelyben az extrahált szójadara mennyiségét részben sertés húsliszttel helyettesítették; ⁵ Premix (UBM Kft., Pilisvörösvár, Magyarország). Aktív összetevői (takarmány kilogrammonként): Indító és nevelő premixek - retinil acetát - 5,0 mg, kolekalciferol - 130 g, dl-alfa-tokoferol-acetát - 91 mg, menadion - 2,2 mg, tiamin - 4,5 mg, riboflavin - 10,5 mg, piridoxin HCl - 7,5 mg, cianokobalamin - 80 g, niacin - 41,5 mg, pantoténsav - 15 mg, folsav - 1,3 mg, biotin - 150 g, betain - 670 mg, monensin-Na - 110 mg (csak nevelő), narazin - 50 mg (csak indító), nikarbazin - 50 mg (csak indító), antioxidáns - 25 mg, Zn (mint ZnSO₄H₂O) - 125 mg, Cu (mint CuSO₄5H₂O) - 20 mg, Fe (mint FeSO₄H₂O) - 75 mg, Mn (mint MnO) - 125 mg, I (mint KI) - 1,35 mg, Se (mint Na₂SeO₃) - 270 g; Befejező premix - retinilacetát - 3,4 mg, kolekalciferol - 97 g, dl-alfa-tokoferol-acetát - 45,5 mg, menadion - 2,7 mg, tiamin - 1,9 mg, riboflavin - 5,0 mg, piridoxin HCl - 3,2 mg, ciano-cobalamin - 19 g, niacin - 28,5 mg, pantoténsav - 10 mg, folsav - 1,3 mg, biotin - 140 g, L-aszkorbinsav - 40 mg, betain - 193 mg, antioxidáns - 25 mg, Zn (mint ZnSO₄H₂O) - 96 mg, Cu - 9,6 mg, Fe (mint FeSO₄H₂O) - 29 mg, Mn (mint MnO) - 29 mg, I (mint KI) - 1,2 mg, Se (mint Na₂SeO₃) - 350 g; ⁶Axtra® Phy 5000 TPT fitáz 500 FTU (Danisco Animal Nutrition & Health, USA); ⁷Danisco Xylanase 8000 G (Danisco Animal Nutrition & Health, USA); ⁸Maxiban® G160 premix (Elanco Animal Health, Australia)

17a. táblázat: A kísérleti takarmányok számított beltartalma (%)

Számított táplálóanyagok	Indító (0-10 nap)	Nevelő (11-24 nap)				Befejező (25-35 nap)			
		C ¹	LPS ²	LPST ³	LPM ⁴	C ¹	LPS ²	LPST ³	LPM ⁴
Nyersfehérje	22,50	21,00	19,00	19,00	19,00	19,00	17,00	17,00	17,00
AMEn (MJ/kg)	12,55	13,05	13,08	13,07	13,12	13,46	13,41	13,40	13,46
Keményítő	33,16	35,02	38,80	38,80	42,94	38,06	41,97	41,97	44,84
Nyerszsír	7,29	8,24	7,64	7,60	6,12	8,72	7,83	7,83	6,89
SID Lizin	1,30	1,15	1,16	1,16	1,15	1,01	1,01	1,01	1,01
SID Metionin	0,70	0,60	0,62	0,62	0,65	0,55	0,57	0,57	0,60
SID Met+Cys	0,98	0,88	0,87	0,87	0,87	0,81	0,80	0,80	0,81
SID Arginin	1,40	1,29	1,24	1,24	1,23	1,14	1,14	1,14	1,15
SID Treonin	0,83	0,74	0,73	0,84	0,73	0,65	0,65	0,74	0,65
SID Valin	0,97	0,88	0,87	0,87	0,87	0,80	0,80	0,80	0,81
SID Isoleucin	0,85	0,79	0,78	0,78	0,78	0,70	0,70	0,70	0,71
SID Glicin	0,76	0,72	0,63	0,63	0,80	0,65	0,56	0,56	0,67
SID Szerin	0,92	0,87	0,77	0,76	0,70	0,79	0,69	0,69	0,64
Ca	1,06	0,92	0,91	0,91	0,92	0,80	0,80	0,80	0,80
P _{hasznosítható}	0,51	0,46	0,45	0,45	0,46	0,40	0,40	0,40	0,40
Gly+Ser	1,96	1,85	1,62	1,62	1,81	1,68	1,45	1,45	1,57
SID Thr:Lys arány	0,64	0,63	0,63	0,72	0,63	0,64	0,64	0,73	0,64
Gly _{eq} (g/kg) ⁵	16,56	15,65	13,74	13,70	15,77	14,19	12,30	12,26	13,55
AMEn:CP arány ⁶	0,56	0,62	0,69	0,68	0,69	0,71	0,78	0,78	0,79
Keményítő:CP arány ⁷	1,47	1,67	2,03	2,03	2,25	2,00	2,45	2,44	2,63

¹C – kontroll takarmány; ²LPS – szója alapú takarmány csökkentett nyersfehérje-tartalommal (-2%); ³LPST – szója alapú takarmány csökkentett nyersfehérje-tartalommal (-2%) és nagyobb kristályos L-treonin kiegészítéssel; ⁴LPM – csökkentett nyersfehérje-tartalmú takarmány (-2%), amelyben az extrahált szójadara mennyiségét részben sertés húsliszttel helyettesítették; ⁵Gly_{eq} – Glicin ekvivalens (g/kg takarmány)=glicin (g/kg)+[0,7143 x szerin (g/kg)]; ⁶A takarmány AMEn és nyersfehérje-tartalmának aránya; ⁷Takarmány keményítő- és nyersfehérje- tartalmának aránya

17b. táblázat: A kísérleti takarmányok mért beltartalma (%)

Mért táplálóanyagok	Indító (0-10 nap)	Nevelő (11-24 nap)				Befejező (25-35 nap)			
		C ¹	LPS ²	LPST ³	LPM ⁴	C ¹	LPS ²	LPST ³	LPM ⁴
Száranyag	89,07	89,16	89,37	89,26	89,30	89,72	89,64	89,59	89,69
Nyersfehérje	22,27	21,25	19,20	19,17	19,08	19,23	17,14	17,18	17,05
Lizin	1,43	1,27	1,26	1,26	1,27	1,11	1,09	1,09	1,13
Metionin	0,72	0,63	0,65	0,66	0,68	0,58	0,59	0,60	0,62
Met+Cys	1,07	0,96	0,94	0,93	0,95	0,88	0,87	0,89	0,88
Arginin	1,53	1,40	1,35	1,36	1,37	1,24	1,25	1,26	1,27
Treonin	0,97	0,86	0,84	0,94	0,85	0,76	0,73	0,75	0,76
Valin	1,08	0,99	0,96	0,97	0,98	0,89	0,88	0,87	0,89
Izoleucin	0,97	0,89	0,87	0,86	0,87	0,79	0,77	0,78	0,79
Ca	1,06	0,92	0,90	0,94	0,89	0,85	0,84	0,82	0,85
P	0,61	0,64	0,58	0,58	0,58	0,54	0,52	0,52	0,52

¹C – kontroll takarmány; ²LPS – szója alapú takarmány csökkentett nyersfehérje-tartalommal (-2%); ³LPST – szója alapú takarmány csökkentett nyersfehérje-tartalommal (-2%) és nagyobb kristályos L-treonin-kiegészítéssel; ⁴LPM – csökkentett nyersfehérje-tartalmú takarmány (-2%), amelyben az extrahált szójadara mennyiségét részben sertés húsliszttel helyettesítették

4.3.3. Mérések és mintavételi eljárások

Az egyes takarmányozási fázisok végén egyedi testsúlymérésre, illetve a fülkénkénti takarmányfogyasztás mérésére került sor. A testsúlygyarapodás és a fajlagos takarmányértékesítés fülkénkénti kiszámítását szintén az egyes hízalási fázisok utolsó napján végeztük el, illetve a teljes nevelési időtartamra vonatkozóan szintén megállapítottuk. Az elhullásokat és az elhullott madarak súlyát minden nap regisztráltuk a kísérlet egésze alatt.

A 35. életnapon a termelési kísérletben részt vett csirkékből fülkénként 2 átlagos fejlettségű, egészséges kísérleti állatot véletlenszerűen kiválasztottunk (12 csirke/kezelés), majd anyagcsereketrecekben helyeztük el őket jelzőanyag emésztési kísérlet céljából. Az anyagcsereketrecekben a madarak a kezelésüknek megfelelő befejező takarmánykeveréket fogyasztották továbbra is, kiegészítve 0,5% titán-dioxiddal (indikátor anyag). Öt napos adaptációs időszakot követően naponta, két egymást követő napon (41. és 42. életnap) reprezentatív ürülékminta-gyűjtést hajtottunk végre. Az egyes madaraktól származó kétnapi mintákat egyesítettük, majd alapos homogenizációt követően -20 C°-os hőmérsékleten tároltuk a későbbi mérésekig. Az ürülékminták vizsgálata előtt a mintákat kíméletesen felolvastottuk, majd újabb homogenizációt követően szárítószekrényben meghatároztuk az ürülék szárazanyag-tartalmát (100 C° 24 órán keresztül), összes-N, ammónium-N (NH_4^+ -N) és húgysav-N tartalmát.

A kísérlet végén fülkénként 2 átlagos fejlettségű csirkét (12 állat/kezelés) választottunk ki és a kísérleti vágás céljából. A vágás során a csirkéket széndioxidos kábítás alatt, a nyaki véna átvágásával kivéreztettük. A csípőbél (ileum) teljes tartalmát egyedenként begyűjtöttük és -20 C°-on tároltuk a keményítő és aminosav emészthetőség későbbi meghatározása (AAA 400 műszer segítségével; Ingos, Czech Republic) érdekében. Zsigerelet követően meghatároztuk a hasított testek vágóértékét (vágási kihozatal %, mellhús kihozatal %, combkihozatal % és hasüri zsír %) és a mellhús húsminőségi paramétereit. A nagy mellizom (Pectoralis major) baloldali részéből egyedenként 5 grammnyi mennyiséget begyűjtöttünk és -20 C°-on tároltuk az összfehérje és az összlipid tartalom mérése céljából. A mellizom (Pectoralis major) kémhatását a vágást követően közvetlenül (pH_{0h}) és 24 órás hűtve tárolást (4 C°) követően (pH_u) mértük meg egy hordozható pH mérővel (Testo 205; Testo Kft., Magyarország). A mérés során a műszer üveg-elektrodáját a bal oldali mellizom rész legvastagabb részébe szúrva állapítottuk meg a pH értéket. A hús víztartó képességét a nyers mellhús csepegési vesztesége alapján határoztuk meg (Van Harn et al., 2019): a jobb oldali Pectoralis major izom minta súlyát megmértük közvetlenül vágás után, ezt követően műanyag zacskóba helyeztük, majd egy kampóra felakasztva 24 órás 4 C°-on történő tárolásra került sor. A 24 óra leteltével a húsmintákról papírtörlővel óvatosan letörölgettük a nedvességet,

majd ezt követően került sor a mellizom minták súlyának visszamérésére. A csepegési veszteségnek megfelelő súlykülönbséget a kiindulási izomtömeg százalékában fejezzük ki.

4.3.4. Analitikai módszerek és számítások

A kísérlet során végrehajtott analitikai mérési módszerek és a számítások megegyeztek a 4.2.4. fejezetben leírtakkal.

4.3.5. Statisztikai analízis

A statisztikai elemzés a 4.2.5. fejezettel megegyező módon történt.

5. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

5.1. Csökkentett nyersfehérje-tartalmú, probiotikummal kiegészített takarmányok hatása brojlercsirkék termelési eredményeire és a bél morfológiai jellemzőire (1. kísérlet)

5.1.1. Termelési paraméterek

Vizsgálataink során négy termelési paraméter esetében hasonlítottuk össze a különböző kezeléseket: testsúly, testsúlygyarapodás, takarmányfelvétel és takarmányértékesítés. Az indító fázisban mért termelési paramétereket a 18. táblázat szemlélteti. A hizlalás első 10 napjában (indítófázis) nem volt szignifikáns különbség a kontroll és a probiotikum kezelés között ($P>0,05$).

18. táblázat: Az indító fázisban (0-10. nap) mért termelési paraméterek átlaga

Takarmány	Testsúly (g)		Testsúly- gyarapodás (g)	Takarmány- felvétel (g)	Takarmány- értékesítés (kg/kg)
	0. nap	10. nap			
C	44,9±0,14	325±3,81	280±3,82	346±5,94	1,24±0,03
C+BA	44,8±0,09	313±2,72	277±2,72	356±3,89	1,29±0,02
t-teszt	NS	NS	NS	NS	NS

C – kontroll kezelés; C+BA – kontroll táp probiotikummal kiegészítve; NS = nem szignifikáns hatás ($P>0,05$); n=12

A takarmánykeverékek eltérő nyersfehérje-tartalmát, mint kezelés hatást a hizlalás nevelő szakaszától értékeltük (19. és 20. táblázat). A csirkék testsúlyát elemezve megfigyelhető, hogy a fehérjecsökkentett LP és LP+BA csoportok egyedei szignifikánsan ($P<0,05$) nagyobb testsúlyt értek el a 24. és a 39. napon. A testsúlygyarapodást vizsgálva megállapítható, hogy a kisebb nyersfehérje-tartalmú takarmányok etetése szignifikánsan javította ezt a tulajdonságot külön a nevelő- és befejezőfázisban, valamint a teljes (nevelő+befejező) időszakra vonatkoztatva egyaránt. A probiotikumot fogyasztó csoportok egyedei (C+BA és LP+BA) szignifikánsan gyengébben teljesítettek a 24. napi testsúly és a nevelő fázisban mért testsúlygyarapodás tekintetében, mint a probiotikum kiegészítésében nem részesülő csoportok (C és LP). A kísérlet végi testsúlyt, illetve a befejező és nevelő+befejező szakaszokra vonatkozó testsúlygyarapodást azonban a probiotikum-kiegészítés nem befolyásolta. A takarmányfelvétel és a takarmányértékesítés eredményei a 20. táblázatban láthatóak. A takarmányértékesítésben az LP és LP+BA kezelések szignifikánsan kedvezőbb értéket értek el, mint a kontrollcsoport (C és C+BA). A fehérjecsökkentett takarmánykeverékek etetésekor a nevelőfázisban a csirkék szignifikánsan kevesebb takarmányt fogyasztottak. A probiotikum-kiegészítés ezt a két paramétert nem befolyásolta. Az elhullásban nem találtunk szignifikáns eltérést a csoportok között, amely az egész kísérletre vonatkozóan 4,9% volt (C: 4,2%; C+BA: 6,3%; LP: 4,9%; LP+BA: 4,2%; $P>0,05$).

19. táblázat: A kísérleti kezelések hatása a borjlercsirkék testsúlyára és testsúlygyarapodására a nevelő (N; 11.-24. nap) és a befejező fázisban (B; 25-39. nap) (átlag±SD)

Kezelések		Testsúly (g) ¹		Testsúlygyarapodás (g)		
Nyersfehérje-tartalom	Probiotikum	24. nap	39. nap	Nevelő-N (11-24.nap)	Befejező-B (25-39. nap)	N+B időszak
Kontroll (C)	BA-	1061,7 ± 24,8	2090,2 ± 67,6	740,7 ± 21,3	952,2 ± 69,2	1692,9 ± 82,6
	BA+	1043,5 ± 35,3	2119,1 ± 108,6	716,7 ± 34,8	986,3 ± 75,4	1703,1 ± 94,3
Csökkentett (LP)	BA-	1140,8 ± 36,7	2360,6 ± 124,4	812,4 ± 34,7	1111,1 ± 90,1	1923,5 ± 111,3
	BA+	1087,9 ± 25,6	2209,5 ± 113,7	770,8 ± 25,1	1033,1 ± 78,5	1803,9 ± 88,1
A nyersfehérje-tartalom hatása						
Kontroll (C)		1052,6 ± 30,1 ^a	2104,7 ± 88,1 ^a	728,7 ± 28,1 ^a	961,7 ± 72,3 ^a	1690,5 ± 88,5 ^a
Csökkentett (LP)		1114,4 ± 31,2 ^b	2285,1 ± 119,1 ^b	791,6 ± 29,9 ^b	1072,1 ± 84,3 ^b	1863,7 ± 99,7 ^b
Probiotikum-kiegészítés hatása						
BA-		1101,3 ± 30,8 ^b	2225,4 ± 96,0	776,6 ± 28,0 ^b	1024,1 ± 79,7	1800,7 ± 97,0
BA+		1065,7 ± 30,5 ^a	2164,3 ± 111,2	743,7 ± 30,0 ^a	1009,7 ± 77,0	1753,5 ± 91,2
Szignifikancia szint (P érték)						
Fehérjehatás		< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,05	< 0,001
Probiotikum hatás		< 0,05	NS	< 0,05	NS	NS
Fehérje+Probiotikum hatás		NS	NS	NS	NS	NS

¹ A testsúly a nevelő (24. nap) és a befejező (39. nap) végén mérve. BA -/+ = probiotikum nélkül/probiotikum kiegészítés; ^{a,b} Ugyanazon oszlopon belül az eltérő betűkkel jelölt átlagok szignifikánsan különböznek egymástól (P<0,05 vagy 0,001); NS = nem szignifikáns hatás (P>0,05); n=6

Kísérletünkben a nevelő- és befejezőfázisban alkalmaztunk kisebb nyersfehérje-tartalmú kísérleti tápok, amelyekre vonatkozóan a célként megfogalmazott, a kontrolltápokhoz viszonyított 1,5 (nevelőfázis) illetve 2%-os (befejezőfázis) fehérje-csökkentést a takarmány analízis alapján is sikerült megvalósítanunk. Korábbi kísérlet (Belloir et al., 2015) eredményei igazolták, hogy a takarmánykeverékek nyersfehérje-tartalmának a technológiai ajánláshoz viszonyított 2%-os csökkentése a termelési eredmények romlása nélkül végrehajtható. A jelen kísérlet eredményei azt mutatják, hogy csökkentett nyersfehérje-tartalmú tápokkal a termelési paraméterek (testsúly, testsúlygyarapodás, takarmányértékesítés) nem csak szinten tarthatók, de javíthatók is a kontrollhoz képest. Belloir et al. (2017) vizsgálatában tendenciaszerűen javult a csirkék súlygyarapodása a 21-35. nap között, amikor a kontroll táp 19% nyersfehérje-tartalmát 16%-ra csökkentették. Korábbi, hasonló felépítésű kísérletünkben a 2%-kal csökkentett nyersfehérje-tartalmú tápokkal szintén szignifikánsan jobb termelési eredményeket értünk el, mint a hagyományos tápsorral (Dublecz et al., 2018). Ennek háttérében az áll, hogy alkalmaztuk az ideális fehérje koncepciót, illetve a legfontosabb esszenciális aminosavak SID értékét az AminoChick2.0® ajánlásnak megfelelően a kontrolltápok szintjén tartottuk hatféle kristályos aminosav-kiegészítés (lizin, metionin, treonin, valin, izoleucin, arginin) segítségével. A kontroll

nevelő tápokban az izoleucin és arginin, a befejező tápokban pedig e két aminosav mellett valin-kiegészítésre sem volt szükség.

20. táblázat: A kísérleti kezelések hatása a takarmányfelvételre és a takarmányértékesítésre a nevelő (N; 11.-24. nap) és a befejező fázisban (B; 25.-39. nap) (átlag±SD)

Kezelések		Takarmányfelvétel (g/madár)			Takarmány-értékesítés (kg/kg)		
Nyersfehérje-tartalom	Probiotikum	Nevelő-N (11.-24.nap)	Befejező-B (25.-39. nap)	N+B időszak	Nevelő-N (11-24.nap)	Befejező-B (25.-39. nap)	N+B időszak
Kontroll (C)	BA-	1380,5 ± 43,6	2126,3 ± 73,7	3506,7 ± 71	1,87 ± 0,08	2,24 ± 0,11	2,07 ± 0,1
	BA+	1369,5 ± 93,4	2154,3 ± 39,0	3523,7 ± 126	1,91 ± 0,14	2,20 ± 0,19	2,07 ± 0,1
Csökkentett (LP)	BA-	1355,8 ± 66,2	2143, 6 ± 106	3499,4 ± 132	1,67 ± 0,09	1,94 ± 0,15	1,82 ± 0,1
	BA+	1279,3 ± 28,8	2144, 1 ± 107	3423,4 ± 132	1,66 ± 0,07	2,08 ± 0,11	1,90 ± 0,1
A nyersfehérje-tartalom hatása							
Kontroll (C)		1375,0 ± 54,9 ^b	2140,3 ± 56,4	3515,2 ± 98,5	1,89 ± 0,11 ^b	2,23 ± 0,15 ^b	2,08 ± 0,1 ^b
Csökkentett (LP)		1317,5 ± 47,5 ^a	2143,8 ± 106,5	3461,4 ± 132	1,67 ± 0,08 ^a	2,01 ± 0,13 ^a	1,86 ± 0,1 ^a
Probiotikum-kiegészítés hatása							
BA-		1368,1 ± 54,9	2134,9 ± 89,9	3503,0 ± 101,5	1,77 ± 0,08	2,11 ± 0,13	1,96 ± 0,1
BA+		1324,4 ± 61,1	2149,2 ± 73,0	3473,6 ± 129,0	1,79 ± 0,11	2,14 ± 0,15	1,99 ± 0,1
Szignifikancia szint (P érték)							
Fehérjehatás		<0,05	NS	NS	<0,001	<0,05	<0,001
Probiotikum hatás		NS	NS	NS	NS	NS	NS
Fehérje+Probiotikum hatás		NS	NS	NS	NS	NS	NS

BA -/+ = probiotikum nélkül/probiotikum-kiegészítés; ^{a, b} Ugyanazon oszlopon belül az eltérő betűkkel jelölt átlagok szignifikánsan különböznek egymástól (P<0,05 vagy P<0,001)); NS = nem szignifikáns hatás (P>0,05); n=6

Több mint tíz éve folytatott vizsgálatokban egyes szerzők a fehérjecsökkentett kísérleti tápok aminosav-egyensúlyát csak a lizin, metionin+cisztein és treonin esetében módosították a kontroll tápoknak megfelelő szintre, de nem használtak valin, arginin és izoleucin kiegészítőket, ami már abban az időben is az alacsony fehérjetartalmú tápokkal etetett brojlerek gyengébb teljesítményéhez vezetett (Leitgeb et al., 2003; Khajali és Moghaddam, 2006; Guaiume, 2007). A kizárólag növényi eredetű alapanyagokból álló brojlertápokban a valin a negyedik limitáló aminosav, illetve ettől eltérő alapanyagbázis esetén előfordulhat, hogy az izoleucin. Mindkét aminosav elágazó szénláncú, a kísérletünkben is alkalmazott 1,5-2,0%-kal kisebb nyersfehérje-tartalom esetén célszerű SID-alapon számított koncentrációjuk szinten tartása a teljesítménycsökkenés megelőzése érdekében (Selle et al., 2020). A szójafehérjében nagy mennyiségben található arginin, így a kontrolltápokban szintetikus arginin-kiegészítés nélkül is nagyobb volt a SID argininszintje, mint a brojler kakasokra vonatkozó AminoChick2.0® alapú ajánlások (nevelő: 12,5 vs. 11,3 g/kg; befejező: 11,8 vs. 10,5 g/kg). A csökkentett nyersfehérje-

tartalmú tápokban a kristályos arginin-kiegészítésekkel a szükségletet kielégítő SID argininszinteket biztosítottuk, ami a kontroll és az LP tápok között 1,2 g/kg SID arginin koncentráció különbséget eredményezett a kontroll kezelések javára. A SID arginin:lizin arány a kontrolltápokban (nevelő-befejező) 1,14-1,18 volt, míg az LP csoportokban 1,03-1,06 közötti. Más szerzők eredményei szerint a tápok SID arginin:lizin különbségei jelen kísérletünkben nem magyarázhatják a csökkentett fehérjetartalmú keveréket fogyasztó brojlerok jobb testsúlygyarapodási és takarmányértékesítési eredményeit (Fouad et al., 2013; Zampiga et al., 2018). Sőt, Zampiga et al. (2018) a nagyobb emészthető arginin-lizin arányú tápoknál (1,05-1,07 vs. 1,15-1,17) mutattak ki szignifikánsan kedvezőbb takarmányértékesítést a hizlalás első 33 napjára vonatkozóan. A csökkentett nyersfehérje-tartalmú tápokkal a kísérlet minden fázisában elért szignifikánsan nagyobb testsúlyra és testsúlygyarapodásra, kedvezőbb takarmányértékesítésre egyértelmű magyarázatot nem tudunk adni. Korábbi hasonló vizsgálatunkban a csökkentett nyersfehérje-tartalmú tápot fogyasztó kísérleti állatok nagyobb takarmányfelvételén alapuló, igazoltan nagyobb emészthető aminosav-felvétele vezethetett a kontrollcsoportot meghaladó növekedési teljesítményhez (Dublecz et al., 2018). Jelen kísérletben a tápok kisebb nyersfehérje-tartalma a nevelő szakaszban csökkentette a takarmányfelvételt, míg a teljes kísérletre vonatkozóan a takarmányfelvétel nem különbözött a kezelések között. A tápok fehérjeszintje és a takarmányfelvétel vonatkozásában korábbi vizsgálatok sem állapítottak meg egyértelmű összefüggést, a genotípus is meghatározó volt a kísérleti állatok reakciójában (Belloir et al., 2017). A tápok nyersfehérje-tartalmának csökkentése bizonyítottan befolyásolja az aminosavak emészthetőségét, de aminosavanként vizsgálva eltérő változást találunk (Chrystal et al., 2020ab). Moss et al. (2018) kísérletében a mi vizsgálatunkban is alkalmazott 1,5%-kal kisebb nyersfehérje-tartalom esetében a disztális ileumban az aminosavak emészthetőségi koefficiense 5,5%-kal nőtt a kontrolltáppal összehasonlítva. Liu et al. (2021) az aminosavak emészthetőségét áttekintő szemleciikkükben számos kísérlet eredményeit dolgozták fel. A meglehetősen nagy, legalább 4%-os nyersfehérje csökkentés négy kísérletben növelte (1-14%-kal), illetve egy esetben csökkentette (5%-kal) az aminosavak átlagos emészthetőségét a disztális jejunumban. A disztális ileumban mért emészthetőségi átlagértékek négy esetben csökkentek, három esetben pedig növekedtek a tápok fehérjecsökkentésének hatására. A jejunumra vonatkozó több pozitív eredmény azzal is összefüggésben állhat, hogy a fehérjecsökkentett tápokban nagyobb arányban alkalmazott kristályos, nem fehérjéhez kötött aminosavakat közel 100%-os felszívódás jellemzi ebben a bélszakaszban. Bár jelen kísérletünkben nem mértük az aminosavak emészthetőségét, az irodalmi adatok alapján a fehérjecsökkentett tápok kedvezőbb aminosav emészthetősége hozzájárulhatott a kontrollnál jobb termelési eredményekhez.

A különböző probiotikum-készítményeknek számos olyan pozitív hatás tulajdonítható, amelyek befolyásolják a gazdasági haszonállatok egészségi állapotát és a termelési mutatókat. (Vuong et al., 2016) A *Bacillus* fajokat gyakran alkalmazzák probiotikumként (Shivaramaiah et al., 2011), mivel stabil spóráképző tulajdonságuknak köszönhetően kiválóan tolerálják a különböző takarmánygyártási és az emésztési folyamatok során fellépő környezeti behatásokat (pl.: pelletálás során fellépő hőhatás, gyomorsav). Cartman et al. (2008) a *Bacillus* fajok pozitív hatásáról számoltak be, amely háttérben kettős ok állhat: a patogén kórokozók kompetitív kizárása, illetve a *Bacillus* fajok által szekretált antimikrobiális vegyületek együttesen visszaszorították a kórokozókat. Más szerzők (Kadaikunnan et al., 2015; Lei et al., 2015) egyaránt megállapították, hogy az általunk vizsgált *B. amyloliquefaciens* CECT 5940 széleskörű antimikrobiális aktivitással bír, így meggátolva a patogén kórokozók kolonizációját a brojlerek bélrendszerében, ezáltal jobb bélegészségügyi státuszt elérve javulnak a termelési mutatók is. A vizsgálatunkban szereplő *Bacillus amyloliquefaciens* CECT 5940 baktériumfaj széles spektrumú enzimtermelése (amiláz, tripszin, lipáz) javítja a táplálóanyagok emészthetőségét, így segítve a gazdaszervezetet. A brojlercsirke takarmányozásában használt probiotikumokkal végzett kutatások eredményei nem egybehangzóak. Lei et al. (2015) eredményeinktől eltérően *Bacillus amyloliquefaciens* probiotikum-kiegészítéskor szignifikánsan nagyobb testsúlygyarapodást (befejező fázis és teljes hizlalás alatt is) és jobb fajlagos takarmányértékesítést figyeltek meg. De Oliveira et al. (2019) szintén pozitív hatást értek el indukált *Eimeria maxima* és *Clostridium perfringens* fertőzött brojlerekben: javult a fajlagos takarmányértékesítés, a vágási- és mellhúskihozatal is. Azonban néhány tanulmányban arról számoltak be, hogy *B. amyloliquefaciens* ($1,3 \times 10^9$ CFU/g BA-KU801; An et al., 2008), (1×10^6 CFU/g BA-L; Jerzsele et al., 2012), (1×10^5 CFU/g BA-SC06; Wang et al. 2021) kiegészítés nem befolyásolta a brojlerek termelési paramétereit (testsúly, testsúlygyarapodás, takarmányfelvétel, fajlagos takarmányértékesítés), amely eredmények összhangban állnak a saját kísérletünk során a teljes hizlalási időszakra megállapított értékekkel. Az általunk használt probiotikummal Naseri et al. (2021) végeztek olyan kísérletet, amelyben a kiegészítőt kontroll és nyersfehérje csökkentett tápokkal vizsgálták, miközben a kísérleti állatokban szubklinikai elhalásos bélgyulladást (*Eimeria ssp.* és *C. perfringens*) indukáltak. Ilyen körülmények között a nyersfehérje csökkentés igazoltan negatívan befolyásolta a testsúlygyarapodást, míg a probiotikum pozitívan hatott erre a paraméterre. A kezelések között egyetlen esetben tudtak szignifikáns kölcsönhatást kimutatni: a probiotikum csak a kisebb fehérjetartalmú tápok esetében volt képes redukálni a *C. perfringens* koncentrációját a vakbél tartalomban.

5.1.2. Vágóérték vizsgálata

A kísérlet végén végzett vágóérték vizsgálat eredményeit az 21. táblázat mutatja be. A kezelés nem befolyásolta a vágási kihozatalt, a relatív mellfilé, illetve a comb arányt ($P>0,05$). A relatív hasúri zsír arányát vizsgálva azonban megállapítható volt, hogy a kontrollhoz viszonyítva a fehérjecsökkentett takarmány etetése szignifikánsan növelte a hasúri zsír beépülését ($P<0,05$). Ezenkívül a fehérje és a probiotikum hatása között igazolt kölcsönhatást figyeltünk meg. Az LP csoportban a probiotikum hatására (LP BA+) csökkent a hasúri zsír aránya a probiotikum nélküli csoporttal (LP BA-) szemben ($P<0,05$).

21. táblázat: A kísérleti kezelések hatása a brojlercsirkék vágóértékére (átlag; % $\pm$ SD)

Kezelések		Paraméterek (%)			
Nyersfehérje-tartalom	Probiotikum	Vágási kihozatal	Mellfilé arány	Combok aránya	Hasúri zsír arány
Kontroll (C)	BA-	71,75 $\pm$ 2,0	19,61 $\pm$ 1,8	21,72 $\pm$ 1,2	0,36 $\pm$ 0,19 ^a
	BA+	72,36 $\pm$ 2,7	19,29 $\pm$ 2,0	21,74 $\pm$ 1,4	0,39 $\pm$ 0,17 ^{ab}
Csökkentett (LP)	BA-	72,65 $\pm$ 3,0	19,50 $\pm$ 1,9	21,77 $\pm$ 1,4	0,61 $\pm$ 0,21 ^c
	BA+	71,67 $\pm$ 1,9	19,17 $\pm$ 1,6	21,38 $\pm$ 1,3	0,49 $\pm$ 0,29 ^b
A nyersfehérje-tartalom hatása					
Kontroll (C)		72,05 $\pm$ 2,4	19,45 $\pm$ 1,9	21,73 $\pm$ 1,3	0,37 $\pm$ 0,18 ^a
Csökkentett (LP)		72,16 $\pm$ 2,5	19,34 $\pm$ 1,8	21,57 $\pm$ 1,4	0,55 $\pm$ 0,25 ^b
Probiotikum-kiegészítés hatása					
BA-		72,20 $\pm$ 2,5	19,56 $\pm$ 1,9	21,74 $\pm$ 1,3	0,48 $\pm$ 0,20
BA+		72,02 $\pm$ 2,3	19,23 $\pm$ 1,8	21,56 $\pm$ 1,4	0,44 $\pm$ 0,23
Szignifikancia szint (P érték)					
Fehérjehatás		NS	NS	NS	<0,001
Probiotikum hatás		NS	NS	NS	NS
Fehérjehatás+Probiotikum hatás		NS	NS	NS	<0,05

BA -/+ = probiotikum nélkül/probiotikum kiegészítés; ; ^{a,b} Ugyanazon oszlopon belül az eltérő betűkkel jelölt átlagok szignifikánsan különböznek egymástól ($P<0,05$ vagy $P<0,001$); NS = nem szignifikáns hatás ($P>0,05$); n=12

Az előbbieken ismertett eredményeink szerint kísérletünkben a takarmány fehérjetartalmának csökkentésére egyedül a hasúri zsír arányában találtunk szignifikáns változást. Amennyiben a fehérjecsökkentett tápokban valin-, arginin- és izoleucin-kiegészítést nem alkalmaznak, illetve nem SID alapon történik az aminosavszintek kiegyenlítése a kezelések között, akkor előfordulhat a vágott test és a mellfilé arányának csökkenése is a hasúri zsír arányának növekedése mellett (Law et al., 2018). Kísérletünkben a kontroll és az LP csoportok energiatartalma (AMEn) azonos volt. Utóbbiak esetében a kisebb fehérje-, illetve nitrogénbevitel miatt a madaraknak kevesebb energiára van szüksége a felesleges nitrogén kiválasztását biztosító húgysavszintézishez. Az így

keletkező energiatöbbletet a brojlercsirkék elsősorban hasúri zsírrá alakítják. A kísérletünkben kisebb nyersfehérje-tartalmú tápok etetésekor megfigyelt nagyobb arányú hasúri zsírt saját korábbi vizsgálataink, illetve más szerzők is megerősítik (Belloir et al., 2017; Dublec et al., 2018). További vizsgálatok szükségesek annak megállapítására, hogy a nyersfehérje-tartalom csökkentésekor milyen arányban kell mérsékelni a brojlertápokban az AMEn értékét.

Vizsgálatunkban a probiotikum-kiegészítés a termelési eredményekhez hasonlóan a brojlerek vágóértékét sem befolyásolta. Pelicano et al. (2003) különböző dózisú és kombinációjú probiotikum-kiegészítés (*B. subtilis*, *B. licheniformis*; takarmányban), (*L. reuteri*, *L. johnsonii*; ivóvízben) (*Saccharomyces cerevisiae*; takarmányban) hatását vizsgálták brojlercsirke vágóértékére. A kontroll és a probiotikummal kezelt csoportok között csupán egy paraméter esetében volt szignifikáns eltérés ($P < 0,01$; lábak aránya). Sarangi et al. (2016) Cobb 500 típusú csirkékkel vizsgálta a vágóértékre és a húsminőségre gyakorolt probiotikum-hatást. Eredményeinkhez hasonlóan a probiotikummal kezelt állatok vágóértéke nem különbözött szignifikánsan a kontrollcsoport értékeitől. Saját kísérletünkben egy esetben, a hasúri zsír arányában találtunk szignifikáns kölcsönhatást a kezelések között. Az alkalmazott *Bacillus* törzs a kontrollcsoportban nem hatott a hasúri zsír arányára, az LP csoportban ugyanakkor szignifikánsan csökkentette az elzsírosodás mértékét. Más kutatók is kimutatták egyes probiotikumoknak a brojlerek hasúri zsír arányát csökkentő kedvező hatását, többek között a *B. subtilis* (Santoso et al., 1995), *Enterococcus faecium* M47 (Weis et al., 2011) és a *B. amyloliquefaciens* LFB112 (Ahmat et al., 2021) esetében. A kedvező élettani hatás hátterében Santoso et al. (1995) kísérletében a probiotikum kezelés következtében a máj kisebb triglicerid szintézise, az acetyl-CoA karboxiláz kisebb aktivitása állt. Az általunk kimutatott eredményt, miszerint a probiotikumoknak az elzsírosodást csökkentő hatását a takarmány fehérjeszintje is befolyásolná, más kísérletekben még nem igazolták.

5.1.3. A bél morfológiájának és a béltartalom állapotának vizsgálata

A bélmorfológiai és béltartalom vizsgálatra kiválasztott állatok belső szervei épek, egészségesek, a légutak tiszták, elváltozástól mentesek voltak. A bélfalak erezettsége nem volt szembetűnő, rugalmasság és jó konzisztencia jellemezte őket. A bélmorfológiai és működési vizsgálat számszerű eredményeit a 22. táblázat tartalmazza. A kokcidiózis vizsgálat pontszámait a takarmányozási kezelések nem befolyásolták. Az átlagpontok az értékelő rendszer alapján a 0-0,6 közötti tartományban helyezkedtek el, normális státuszt mutatva, amikor a kokcidiózis negatív következményeire nem kell számítanunk. A negatív bélelváltozások közül háromnál mutattuk ki valamelyik takarmányozási kezelés szignifikáns hatását. Az ionofor kokcidiosztatikum program

használatához képest több állat esetében tapasztaltunk elhalásos bélgyulladásra gyanút keltő elváltozásokat és magas gáztartalmú beleket, a bél lumenben habos béltartalmat. A vakbelek sok esetben gázosak voltak, híg, habos tartalommal, és figyelemfelkeltő volt a nagy számban tapasztalt minimális, illetve üres tartalmuk. A probiotikumot nem fogyasztó állatok esetében 52,8%-ban volt jelen intenzív gázosodás a bélben, amit a probiotikum használata közel felére, 25,0%-os előfordulási arányra csökkentett. A probiotikum további szembetűnő és igazolt kedvező hatása volt, hogy a bélfal Peyser-plakkjai kevésbé voltak kifejezettek, kipirultak (16,7%), ami a probiotikum nélküli brojlerek esetében 44,4% volt. A csökkentett nyersfehérje-tartalmú tápok etetésekor csökkent a vékony bélfal előfordulási aránya, valamint kevesebb volt a fokozott bélnyáktermelést mutató állat (22,2 vs. 8,3%).

22. táblázat: Bélmorfológiai és béltartalom vizsgálat eredményei

Kezelések		Kokcidiózis pontszám ¹ (n=6) (átlag ± SEM)	A bélben talált elváltozások előfordulási aránya (%; n=18)					
			Gázképződés	Kipirult Peyer- plakkok	Vékony bélfal	Fokozott bélnyák termelés	Elhalásos bélgyulladás	Diszbakteriózis
Nyersfehérje- tartalom	Probiotikum							
Kontroll (C)	BA –	0,416 ± 0,057	55,6	33,3	16,7	22,2	11,1	5,6
	BA+	0,333 ± 0,061	27,8	16,7	16,7	22,2	16,7	11,1
Csökkentett (LP)	BA-	0,277 ± 0,135	50,0	55,6	0,0	5,6	27,8	16,7
	BA+	0,333 ± 0,086	22,2	16,7	5,6	11,1	11,1	22,2
A nyersfehérje-tartalom hatása								
Kontroll (C)		0,375 ± 0,042	41,7	25,0	16,7 ^b	22,2	13,9	8,3
Csökkentett (LP)		0,305 ± 0,077	36,1	36,1	2,8 ^a	8,3	19,4	19,4
Probiotikum-kiegészítés hatása								
BA -		0,374 ± 0,073	52,8 ^b	44,4 ^b	8,3	13,9	19,4	11,1
BA+		0,333 ± 0,050	25,0 ^a	16,7 ^a	11,1	16,7	13,9	16,7
Szignifikancia szint (P érték)								
Fehérjehatás		NS	NS	NS	<0,05	NS	NS	NS
Probiotikum hatás		NS	<0,05	<0,05	NS	NS	NS	NS
Fehérjehatás+Probiotikum hatás		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

¹ Lesion scoring értékelő rendszere alapján (Johnson és Reid, 1970); BA -/+ = probiotikum nélkül/probiotikum-kiegészítés; ; ^{a,b} Ugyanazon oszlopon belül az eltérő betűkkel jelölt átlagok szignifikánsan különböznek egymástól (P<0,05); NS – nem szignifikáns (P>0,05); n=18

Korábbi vizsgálatokban a kisebb nyersfehérje-tartalmú tápok etetésekor a bélbolyhok hosszának és a bélfal felszívó felületének csökkenését, kisebb mucinszekréciót figyeltek meg (Ding et al., 2016; Law et al., 2018). Ezek a negatív hatások a szerzők szerint a nyersfehérje-tartalom csökkentésével párhuzamosan kisebb nem-esszenciális aminosav-szintek következménye. Ezek az aminosavak fontos energiaforrásai a bél epithel sejteknek és bizonyos kedvező hatású baktériumoknak. Hiányukban csökkenhet a bélhám megfelelő fejlődése, a sejtsztódás és többek között a mucin szintézise. Az idézett két vizsgálatban a fehérjecsökkentett keveréket fogyasztó brojlerok növekedési teljesítménye is csökkent a kedvezőtlenebb bélmorfológiai változásokkal együtt. Véleményünk szerint fontos módszertani tény a két kísérletben, hogy a tápok aminosavai esetében az optimalizálás teljes aminosavszintekre és nem SID alapon történt, illetve ez nem terjedt ki a valin, arginin és izoleucin aminosavakra. Saját kísérletünkben a fehérjecsökkentett takarmánykeverékek etetése nem okozott növekedési depressziót és teljesítmény csökkenést, tápjainkkal valószínűleg pontosabb aminosav-ellátást valósítottunk meg. A boncolással egybekötött bél morfológiai vizsgálatunk során szignifikánsan kevesebb volt a vékony bélfal előfordulása az LP csoportokban.

A hizlalás 29. napján végzett bélmorfológia vizsgálatunk alapján az alkalmazott probiotikum csökkentette a bélben a gázképződést és a kipirult, gyulladást jelző Peyer-plakkok arányát. A *Bacillus* törzseknek a bél egészségi állapotára kifejtett pozitív hatását számos korábbi vizsgálat igazolja. A *B. amyloliquefaciens* SC06 törzse probiotikumként alkalmazva 30 nap után csökkentette a brojlerok egyes gyulladást keltő citokinjeinek (IL-6 és TNF α) koncentrációját, továbbá erősítette a bél epithel sejtei közötti integritást biztosító fehérjekapcsolatokat az ileumban (Wang et al., 2021). Saját eredményeinket erősíti meg de Oliveira et al. (2019) kísérlete, akik szintén a *B. amyloliquefaciens* CECT 5940 törzsszel dolgoztak *Eimeria maxima* és *Clostridium perfringens* indukált fertőzéssel kombináltan. Eredményeik alapján a probiotikum szignifikánsan csökkentette a gázképződést, a rendellenes béltartalom és a gyulladt nyálkahártya előfordulási arányát.

5.2. Különböző energia-fehérje arányú, csökkentett nyersfehérje-tartalmú takarmánykeverékek hatása brojlercsirkék termelésére, vágóértékére, húsmínőségére és nitrogén-forgalmára (2. kísérlet)

5.2.1. Termelési paraméterek

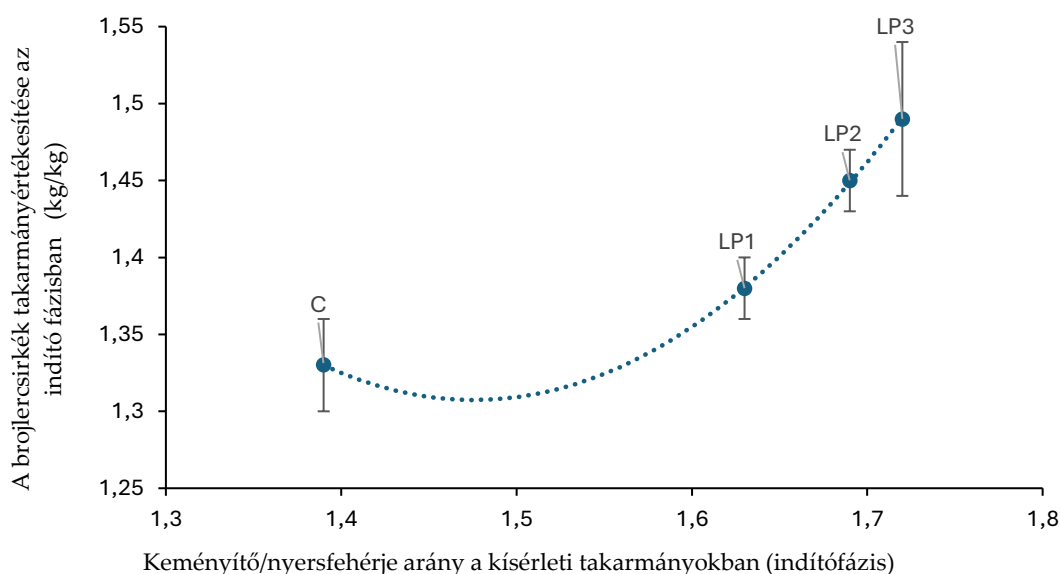
A kísérlet során mért hizlalási teljesítmény paramétereket a 23. táblázat tartalmazza. A kísérleti takarmánykeverékek, a nevelőfázis kivételével, szignifikáns hatást gyakoroltak a brojlerek testsúlyára az indító- (10. nap) és a befejező fázis (41. nap) végén ($P < 0,05$). A C és LP1 csoportban a brojlerek szignifikánsan nagyobb testsúlyt értek el, mint az LP3 takarmánykeveréket fogyasztó csirkék az indítófázis végén ($P < 0,05$). A befejezőfázis végén a C és LP1 csoportokban a csirkék testsúlyában nem találtunk különbséget. A takarmány nyersfehérje- és energiatartalmának együttes csökkentése (LP2 és LP3) azonban a csirkék testsúlyát negatívan befolyásolta, a kontrollhoz képest szignifikánsan kisebb volt ($P < 0,05$). Ezenkívül az LP3 csoportban a csirkék testsúlya az LP1-hez viszonyítva is csökkent ($P < 0,05$). Az állatok testsúlygyarapodását az indító- és a nevelőfázisban a kezelések nem befolyásolták szignifikánsan, azonban a kísérleti keverékek hatására a madarak testsúlygyarapodásában statisztikailag igazolható különbségek alakultak ki a befejezőfázisban, illetve a kísérlet teljes időtartamára vonatkozóan ($P < 0,05$). A testsúlyeredményekhez hasonlóan, az izokalorikus nyersfehérje-csökkentés (LP1) nem eredményezett eltérő testsúlygyarapodást a kontrollcsoport egyedeihez viszonyítva ($P > 0,05$). Mindkét időszakot (befejezőfázis és az egész kísérlet időtartama) vizsgálva a C csoport egyedei szignifikánsan nagyobb testsúlygyarapodást értek el, mint a csökkentett nyersfehérje- és AMEn (LP2 és LP3) takarmányozási kezelésben részesülő állatok. Az LP csoportokban az állatok testsúlygyarapodása nem különbözött szignifikánsan. A testsúly és súlygyarapodási adatokkal ellentétben nem találtunk szignifikáns különbséget a kísérleti állatok takarmányfelvételében a kísérlet egyik fázisában sem. A takarmányozási kezelések csak az indítófázisban befolyásolták a takarmányértékesítést, ami a kontrollcsoportban szignifikánsan kedvezőbb volt, mint az LP3 csoportban ($P < 0,05$). A növekvő keményítő/nyersfehérje arány negatívan befolyásolta az átlagos takarmányértékesítést a C, LP1, LP2 és LP3 csoportban. Négyzetes összefüggést ($R^2 = 0,9998$; $p = 0,014$; $y = 3,074x^2 - 9,071x + 8,001$) figyeltünk meg a takarmány keményítő/nyersfehérje arány és az állatok átlagos FCR-értéke között az indítófázisban (6. ábra). A keményítő/nyersfehérje aránya növekedése a C és LP1 csoportok között az FCR érték 0,05-ös növekedését eredményezte. Ez a hatás kifejezettebb volt a fehérjecsökkentett takarmányok esetében, ahol ennek az aránynak az LP1-ről LP3-ra való további növelése az FCR-érték 0,11-es növekedéséhez vezetett.

23. táblázat: A kísérleti kezelések hatás a brojlercsirkék termelési paramétereire (átlag±SEM)

Kezelések		Indító (0.-10. nap)	Nevelő (11.-24. nap)	Befejező (25.-41. nap)	Teljes időszak (0-41. nap)
Testsúly¹ (g)	C	251,6 ± 3,5 ^b	1275,5 ± 11,6	2928,1 ± 23,5 ^c	-
	LP1	248,9 ± 3,8 ^b	1309,4 ± 12,9	2855,7 ± 26,2 ^{bc}	-
	LP2	238,9 ± 3,9 ^{ab}	1257,3 ± 15,1	2770,1 ± 28,8 ^{ab}	-
	LP3	233,9 ± 4,1 ^a	1272,1 ± 15,3	2744,0 ± 28,4 ^a	-
	P	0,003	NS	<0,001	-
Testsúly- gyarapodás (g)	C	201,9 ± 6,8	1029,6 ± 14,0	1643,6 ± 20,8 ^b	2875,2 ± 30,8 ^b
	LP1	199,9 ± 2,9	1031,5 ± 23,2	1576,4 ± 39,0 ^{ab}	2807,8 ± 43,3 ^{ab}
	LP2	191,9 ± 3,3	1018,4 ± 16,4	1494,7 ± 17,6 ^a	2705,0 ± 25,6 ^a
	LP3	186,9 ± 6,3	1028,4 ± 14,7	1470,6 ± 32,1 ^a	2685,9 ± 41,2 ^a
	P	NS	NS	0,001	0,004
Takarmány- felvétel (g)	C	268,4 ± 3,5	1296,6 ± 17,7	3109,7 ± 50,1	4674,7 ± 57,0
	LP1	276,2 ± 1,6	1275,5 ± 11,2	3139,4 ± 80,3	4691,1 ± 75,0
	LP2	277,8 ± 3,9	1275,0 ± 19,8	2943,2 ± 57,7	4496,0 ± 60,9
	LP3	276,6 ± 4,4	1267,4 ± 25,6	2923,4 ± 39,8	4467,4 ± 62,4
	P	NS	NS	NS	NS
Takarmány- értékesítés (kg/kg)	C	1,33 ± 0,03 ^a	1,26 ± 0,01	1,96 ± 0,04	1,66 ± 0,02
	LP1	1,38 ± 0,02 ^{ab}	1,24 ± 0,02	2,01 ± 0,03	1,70 ± 0,04
	LP2	1,45 ± 0,02 ^{ab}	1,23 ± 0,01	2,02 ± 0,03	1,69 ± 0,01
	LP3	1,49 ± 0,05 ^b	1,23 ± 0,02	2,05 ± 0,05	1,69 ± 0,03
	P	0,014	NS	NS	NS

¹ Az állatok testtömegét a takarmányozási fázisok végén, a 10., 24., 41. napon mértük. C-kontroll csoport; LP1 - csökkentett nyersfehérje-tartalom (-1,5%) és izokalorikus AMEn-tartalom a kontroll csoporthoz képest; LP2 – csökkentett nyersfehérje- (-1,5%) és AMEn-tartalom (-1,5%) a kontroll csoporthoz képest; LP3 - csökkentett nyersfehérje- (-1,5%) és AMEn-tartalom (-3%) a kontroll csoporthoz képest; ; ^{a,b}Ugyanazon oszlopon belül az eltérő betűkkel jelölt átlagok szignifikánsan különböznek egymástól (P<0,05); NS – nem szignifikáns hatás (P>0,05).

Számos kutatási eredmény áll rendelkezésre a csökkentett nyersfehérje-tartalmú brojler takarmánykeverékekben rejlő lehetőségekről a takarmány AMEn-tartalmának változtatása nélkül (izokalorikus keverékek). Ezek az eredmények azonban nem egységesek a kísérleti takarmányozási fázisok számában, a takarmány fizikai formájában, a fehérjecsökkentés mértékében és az aminosav-összetételben mutatkozó különbségek miatt. Kísérletünkben az izokalorikus kontroll (C) és az LP1 keverékek etetésekor hasonló hizlalási teljesítményt figyeltünk meg. Egyes tanulmányok arról számoltak be, hogy a takarmány nyersfehérje-tartalmának csökkentése az energiatartalom állandósága mellett rontotta a brojlerhizlalás természetes mutatóit (Ferguson et al., 1998; Bregendahl et al., 2002; Leitgeb et al., 2003; Khajali és Moghaddam, 2006; Van Harn et al., 2019). Az ellentmondásos eredmények okát a kísérleti paraméterek (a brojlerek életkora, a nyersfehérje-csökkentés mértéke, felhasznált kristályos aminosavak száma vagy azok hiánya, stb.) eltéréseiben kereshetjük.



6. ábra *A számított takarmány keményítő/nyersfehérje arány és az indítófázisban mért átlagos takarmányértékesítés közötti kapcsolat*

($y=3,074x^2-9,071x+8,001$; $R^2=0,9998$; $p=0,014$, átlag $\pm$ SEM; $n=6$ kezelésenként).

C-kontrollcsoport; LP1 – csökkentett nyersfehérje-tartalom (-1,5%) és izokalorikus AMEn-tartalom a kontrollcsoportéhoz képest; LP2 – csökkentett nyersfehérje- (-1,5%) és AMEn-tartalom (-1,5%) a kontrollcsoportéhoz képest; LP3 - csökkentett nyersfehérje- (-1,5%) és AMEn-tartalom (-3%) a kontrollcsoportéhoz képest

A szakirodalom alapján úgy tűnik, hogy a modern hibridek hizlalás során gyorsan változó igényeit, a megfelelő táplálóanyag-ellátást csupán két takarmányozási fázissal (Khajali és Moghaddam, 2006), illetve a teljes hizlalás alatt csak dercés formájú keverékek alkalmazásával (Leitgeb et al., 2003) nem lehet kielégíteni. A legtöbb kísérletben a 2% nyersfehérje-tartalom csökkentésekor a termelési jellemzők akkor nem romlottak, ha legalább háromfázisú takarmányozást alkalmaztak, pelletált takarmányt etettek, és a keverékekben az esszenciális aminosavak mennyisége, aránya kiegyensúlyozott volt (Belloir et al., 2017; Van Harn et al., 2019; Such et al., 2021). Vizsgálatunkban a takarmányok esszenciális aminosav-tartalmát az ideális fehérjekoncepció szerint állítottuk be, és a receptúrázás mind a teljes, mind a SID aminosavigény alapján történt. A kristályos aminosav-kiegészítést illetően nem csak a négy elsődlegesen limitáló aminosavat (Lys, Met, Thr és Val), hanem L-Arg-t és L-Ile-t is alkalmaztunk. A nyersfehérje-tartalom csökkentésekor a brojlerek, egyes tanulmányokban megfigyelt romló teljesítménye azzal magyarázható, hogy nem használtak kristályos L-Val-t, L-Arg-t és L-Ile-t (Khajali és Moghaddam, 2006; Guaiume, 2007).

Jelen kísérletünkben a takarmány AMEn relatív csökkenése az LP2-3 diétákban kisebb volt, mint a nyersfehérje 6,5, 7,0 és 8,0%-os relatív csökkenése az indító-, a nevelő- és a befejezőfázisban. Az LP2 (1,5%) és LP3 (3,0%) keverékekben a takarmány energiatartalmának csökkenése hátrányosan befolyásolta a növekedési teljesítményt, és jelentősen csökkentette a brojlerek

testsúlyát a 10. és a 41. napon, valamint a testsúlygyarapodást a teljes kísérlet során a C csoporthoz képest. Az LP takarmányokban az AMEn/nyersfehérje arány nagyobb volt, mint a C takarmányban. Az LP2 és LP3 takarmányt fogyasztó brojlerok nem tudták nagyobb takarmányfelvétellel kompenzálni a takarmány kisebb energiatartalmát, ezért ebben a két csoportban az FCR is kedvezőtlen volt az indítófázisban. A csökkentett nyersfehérje-tartalmú keverékekkel etetett brojlercsirkék energiaellátását vizsgáló korábbi tanulmányok a táplálék fehérje- és energiatartalmának párhuzamos változását alkalmazták, miközben fenntartották a takarmányban az állandó AMEn/nyersfehérje arányt. Sajnos a nyersfehérje és az AMEn párhuzamos változása nem teszi lehetővé a fehérje és az energia hatások külön értékelését. Ezen túlmenően ezek a vizsgálatok sokrétű módszertant alkalmaztak a brojlerok aminosav-ellátására vonatkozóan. A három hétig (0-21. nap) etetett 3%-kal csökkentett nyersfehérje-tartalmú (23,4 vs. 20,0%), izokalorikus indító tápok nem befolyásolták a brojler jércék testsúlyát, de a takarmányértékesítést szignifikánsan növelték (Sizemore és Siegel, 1993). Ebben a kísérletben a különböző nyersfehérje-tartalmú takarmánykeverékeknek azonos összes lizin és metionin koncentrációja volt, de az egyéb aminosavak koncentrációját vagy az emészthető aminosavszinteket nem vették figyelembe. Egy másik tanulmányban hat különböző nyersfehérje-tartalmú, de állandó AMEn/nyersfehérje arányt alkalmaztak. A Ross 308 hibridek kumulatív növekedési teljesítménye szignifikánsan romlott, amikor a takarmány nyersfehérje-tartalmát 1,2–1,5%-kal csökkentették (a relatív nyersfehérje- és AMEn-csökkenés 7% volt minden fázisban). A kísérlet takarmányaiban különböző volt az emészthető aminosav-tartalom, illetve az összes lizin és metionin+cisztein koncentrációja a takarmányok nyersfehérje-tartalmával együtt párhuzamosan változott (Hidalgo et al., 2004).

A csökkentett nyersfehérje-tartalmú takarmányok receptúrájának összeállításakor az aminosavak és az AMEn/nyersfehérje arány egyensúlya mellett a fő táplálóanyagok, a keményítő, a lipidek és a fehérjék emésztési dinamikáját is figyelembe kell venni. A brojler takarmányok energiatartalma főként a keményítóből származik, és ennek a táplálóanyagnak a koncentrációja jellemzően növekszik a táplálék nyersfehérje tartalmának csökkentésével (Liu et al., 2021). Ezzel szemben a takarmány nyerszsírtartalma általában a fehérjeszinttel együtt csökken, ami a mi kísérletünkben is jellemző volt. A takarmány AMEn tartalmának különbségét az LP1 és az LP3 keverékek között a takarmány nyerszsírtartalmának csökkentésével értük el, miközben a keményítő koncentrációja nőtt. Mindezen változások miatt a kisebb AMEn/nyersfehérje arány mellett nőtt a keményítő/nyersfehérje arány a AMEn-tartalom csökkenésével párhuzamosan az LP1-3 takarmányokban. A nagyobb keményítő/nyersfehérje arány ronthatja a takarmányértékesítés értéket, amint azt kísérletünk kezdő fázisában is kimutattuk. Az általunk leírt kvadratikus

összefüggéshez hasonlóan figyeltek meg a két vizsgált tényező között a kísérlet 7. és 35. nap között két tanulmányban is (Chrystal et al., 2020ab). Kimutatták, hogy a takarmány keményítőből az emésztés során képződő glükóz felszívódása kompetitív lehet az aminosavak felszívódásával, ami befolyásolhatja az aminosavak elérhetőségét a szöveti fehérjék szintézise során (van der Meulen et al., 1997; Li et al., 2008). Ebből a szempontból a szűkebb keményítő/nyersfehérje arányú brojlertakarmányok előnyösebbek lehetnek. A lipidek, mint a brojlertakarmányok másik fontos energiaforrásai befolyásolhatják a pellet minőségét, a gyomorürülést és a takarmányfelvételt (Awad et al., 2016; Greenhalgh et al., 2020; Yin et al., 2020). A takarmány növekvő keményítő/lipid aránya negatívan befolyásolta a brojlercsirkék takarmányértékesítését egy 21-35 napos kor között végzett vizsgálatban (Liu et al., 2019). Egy másik, különböző nyersfehérje-tartalmú takarmánykeverékeket vizsgáló kísérletben a brojlerek testsúlygyarapodását a takarmány nyerszsírtartalma is befolyásolta, de a kísérleti állatok reakciója ebben a tekintetben nem volt egységes (Liu et al., 2017).

5.2.2. Vágóérték és a mellhús minőségi jellemzői

A kísérleti takarmányok etetése nem befolyásolta a vágási kihozatalt, a relatív comb súlyt és a hasúri zsír arányát (24. táblázat). A mellhús arányának alakulására viszont a takarmányozási kezelések igazolható mértékben hatást fejtettek ki ($P < 0,05$). Az izokalorikus, csökkentett nyersfehérje-tartalmú keverékkel (LP1) etetett madarak mellhúsának aránya a testsúlyhoz viszonyítva szignifikánsan nagyobb volt, mint a kontrollcsoportban ($P < 0,05$).

24. táblázat: Vágási kihozatal és a vágott test összetétele¹ (átlag $\pm$ SEM)

Kezelés	Vágási kihozatal (%)	Mellfilé arány (%)	Comb arány (%)	Hasúri zsír (%)
C	65,41 $\pm$ 0,31	21,41 $\pm$ 0,31 ^a	19,63 $\pm$ 0,22	0,49 $\pm$ 0,08
LP1	66,85 $\pm$ 0,41	23,20 $\pm$ 0,49 ^b	19,41 $\pm$ 0,38	0,70 $\pm$ 0,10
LP2	66,08 $\pm$ 0,26	22,65 $\pm$ 0,26 ^{ab}	19,22 $\pm$ 0,23	0,49 $\pm$ 0,07
LP3	65,94 $\pm$ 0,46	22,78 $\pm$ 0,54 ^{ab}	19,27 $\pm$ 0,35	0,62 $\pm$ 0,06
Szignifikancia (P)	NS	0,026	NS	NS

C-kontrollcsoport; LP1 - csökkentett nyersfehérje-tartalom (-1,5%) és izokalorikus AMEn-tartalom a kontrollcsoportéhoz képest; LP2 - csökkentett nyersfehérje- (-1,5%) és AMEn-tartalom (-1,5%) a kontrollcsoportéhoz képest; LP3 - csökkentett nyersfehérje- (-1,5%) és AMEn-tartalom (-3%) a kontrollcsoportéhoz képest; ¹ A testösszetétel értékeit az élősúlyhoz viszonyított százalékban fejeztük ki; ^{a,b} Ugyanazon oszlopon belül az eltérő betűkkel jelölt átlagok szignifikánsan különböznek egymástól ($P < 0,05$); NS – nem szignifikáns hatás ($P > 0,05$); n=12 brojler kezelésként

A mellhús minőségi paramétereit a 25. táblázat mutatja be. A kísérleti kezelések nem befolyásolták szignifikánsan a mellhús fehérje- és zsírtartalmát, továbbá a mellfilé pH-értékét sem vágás után közvetlenül, sem 24 óra elteltével ($p > 0,05$). Az LP1 és LP2 kísérleti takarmányokat fogyasztó

brojlerek mellhúsának csepegési vesztesége viszont a kontrollcsoportnál szignifikánsan kisebb volt a vágást követő 24. órában mérve.

25. táblázat: A mellhús minőségi paraméterei (átlag ± SEM)

Kezelés	Fehérje tartalom (%)	Zsírtartalom (%)	pH _{0h} ¹	pH _u ²	Csepegési veszteség (%)
C	22,30 ± 0,44	1,33 ± 0,18	6,55 ± 0,03	5,73 ± 0,03	2,27 ± 0,17 ^b
LP1	22,54 ± 0,32	1,16 ± 0,05	6,61 ± 0,02	5,78 ± 0,03	1,63 ± 0,07 ^a
LP2	21,55 ± 0,22	1,63 ± 0,30	6,59 ± 0,03	5,73 ± 0,04	1,84 ± 0,09 ^a
LP3	21,62 ± 0,31	1,14 ± 0,07	6,56 ± 0,03	5,76 ± 0,03	1,90 ± 0,06 ^{ab}
P-érték	NS	NS	NS	NS	0,002

C-kontrollcsoport; LP1 - csökkentett nyersfehérje-tartalom (-1,5%) és izokalorikus AMEn-tartalom a kontrollcsoportéhoz képest; LP2 – csökkentett nyersfehérje- (-1,5%) és AMEn-tartalom (-1,5%) a kontrollcsoportéhoz képest; LP3 - csökkentett nyersfehérje- (-1,5%) és AMEn-tartalom (-3%) a kontrollcsoportéhoz képest; ¹pH_{0h}=a pH mérése közvetlenül vágást követően történt; ²pH_u=a pH mérése 4°C-os, 24 órás tárolást követően történt; ^{a,b}Ugyanazon oszlopon belül az eltérő betűkkel jelölt átlagok szignifikánsan különböznek egymástól (P<0,05); NS – nem szignifikáns hatás (P>0,05); n=12 brojler kezelésként

A vágási kihozatalra és a vágott test összetételére vonatkozó eredményeink összhangban vannak a korábbi hasonló tanulmányokkal, amelyek szerint a kristályos aminosavakkal kiegészített, maximum 2%-kal kisebb nyersfehérje-tartalmú keverékek nem befolyásolják a vágóértéket és az értékes testrészek arányát (Ospina-Rojas et al., 2014; Lemme et al., 2019; Van Harn et al., 2019). Brojler kakasok vágási kihozatala nem változott, miközben a szárnyak és a mellhús aránya a testsúlyhoz képest csökkent, a lábak aránya viszont nőtt a 3%-kal kisebb nyersfehérje-tartalmú takarmányok hatására (Van Harn et al., 2019). A takarmány nyersfehérje-tartalmának 2,5%-os csökkentése kiegyensúlyozott aminosav-összetétel mellett is, a kakasokkal ellentétben, szignifikánsan kisebb vágási kihozatalhoz vezetett a jércéknél, ami azt mutatja, hogy a nőivar érzékenyebben reagál az aminosav-ellátásra (Lemme et al., 2019). A korábbi eredményekkel ellentétben ebben a kísérletben a fehérjecsökkentett, izokalorikus takarmánykezelés szignifikánsan növelte a mellfilé arányát a kontrollhoz képest. Feltételezésünk szerint az LP-kezelések esetében a mellizom szövetének esszenciális aminosavakkal való ellátása kedvezőbb lehetett. Liu et al. (2021) kimutatták, hogy a csökkentett nyersfehérje-tartalmú takarmányok etetése általában növeli az aminosavak emészthetőségét a disztális jejunumban. Ez valószínűleg a csökkentett fehérje-tartalmú takarmányokban a kristályos aminosavak nagyobb arányának köszönhető. A kristályos esszenciális aminosavak felszívódása bizonyítottan gyorsabb, mint a természetes takarmány alkotókból származó aminosavaké, így feltételezhető, hogy több esszenciális aminosav állt rendelkezésre a vérplazmában a mellizomfehérje szintéziséhez (Leclercq, 1998). Jelen kísérletben valószínűleg csak az izokalorikus LP1 takarmány biztosított elegendő energiát az aminosavak mellizomba való nagyobb beépüléséhez. Az LP2 és LP3

csoportokban az 1,5 és 3,0%-os energiacsökkentés nem befolyásolta szignifikánsan a vágási kihozatalt, a mellfilé és a comb arányát. A korábbi vizsgálatok eredményei is ezt igazolták, a takarmányban az AMEn és a nyersfehérje nagyobb mértékű és párhuzamos csökkentése (7–15%) nem változtatta meg a különböző aminosavszintű, csökkentett fehérjetartalmú keverékeket fogyasztó brojlerek vágási kihozatalát és az értékes testrészek arányát (Hidalgo et al., 2004; Kamran et al., 2008). A fenti adatok azt jelzik, hogy a növekedési teljesítmény paraméterei a vágóérték mutatószámainál érzékenyebben reagálnak a csökkentett nyersfehérje-tartalmú keverékekben az AMEn értékére.

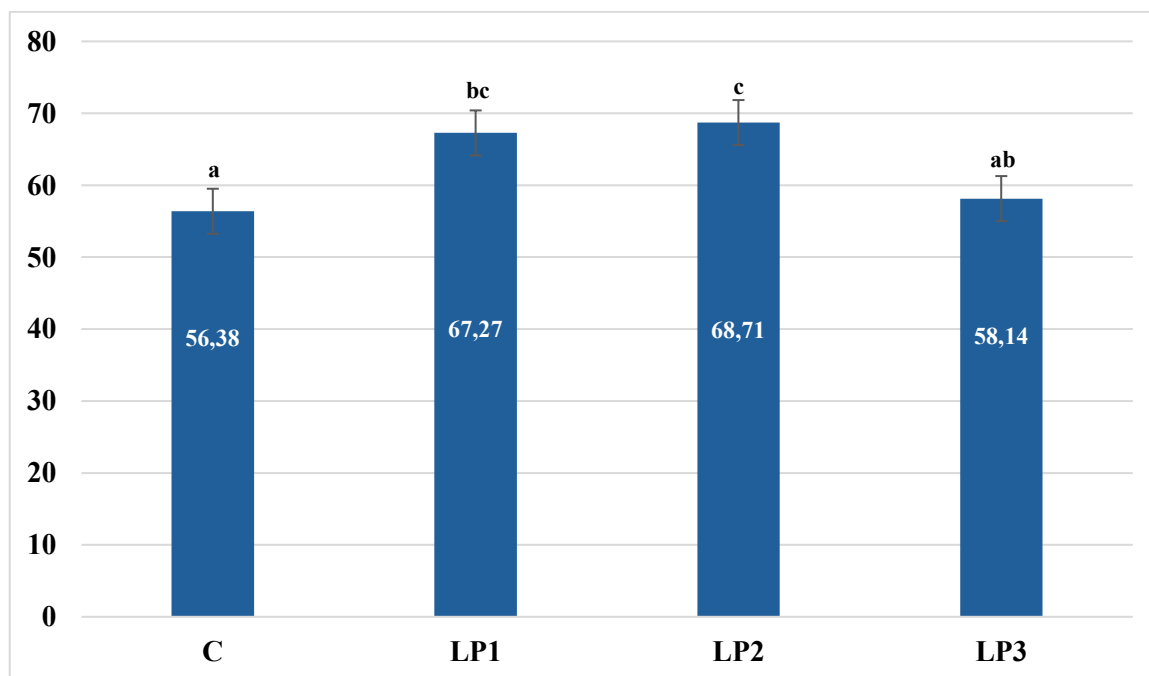
Korábbi kísérleti eredményekkel ellentétben (Rosebrough és Steele, 1985; Swennen et al., 2006; Belloir et al., 2017; Dublec et al., 2018) az izoenergetikus LP1 kezelés nem növelte szignifikánsan a hasúri zsír arányát a kontrollhoz képest. A hasúri zsír relatív súlya a testtömeghez viszonyítva általában 2-3% között van a brojler hizlalás végén, a kísérletünkben mért 0,4-0,7%-os hasúri zsír arány szokatlanul alacsony. Az AMEn illetve a nyersfehérje-tartalom párhuzamos csökkentése (LP2 és LP3) szintén nem idézett elő jelentős változást ebben a paraméterben, valószínűleg a C és LP1 csoportban mért már amúgy is nagyon alacsony arány miatt. Más kutatók vizsgálataiban a takarmány energia- és nyersfehérje-tartalmának csökkentése az energia/nyersfehérje arány szinten tartása mellett sikeresen megakadályozta a hasúri zsír felhalmozódását, de a brojlerek növekedési teljesítménye romlott (Hidalgo et al., 2004; Kamran et al., 2008). Úgy tűnik, hogy a csökkentett AMEn- és nyersfehérje-tartalmú takarmánykeverékekkel sikeresen meggátolható a hasúri zsír arányának növekedése, de a megfelelő AMEn-szint, és az ehhez tartozó kedvező keményítő és nyerszsír koncentráció további vizsgálatokat igényel.

A csepegési veszteség a hús víztartó képességét jellemző paraméterek egyike, amely befolyásolja annak érzékszervi és technológiai minőségét. Az LP1 és LP2 csoportban a mellhús kisebb csepegési vesztesége a C csoporthoz képest kisebb főzési veszteséget és lipidperoxidációs érzékenységet jelent (Bowker et al., 2016; Beauclercq et al., 2017). A csepegési veszteség és a végső pH közötti negatív kapcsolat baromfihúsban jól ismert (Beauclercq et al., 2017; Bihan-Duval et al., 2020). A mellhús végső pH-értéke azonban nem különbözött szignifikánsan a csoportok között ebben a vizsgálatban. A csepegési veszteség fokozódásakor a hús savasabb kémhatású, illetve nagyobb a glükóz- és glikogéntartalma, valamint glikolitikus potenciálja (Beauclercq et al., 2017; Bihan-Duval et al., 2020; Przybylski et al., 2022). Az izomszövetekben felhalmozódott glikogén *post mortem* lebontása alakítja a hús vágás utáni pH értékét. Ha nem áll rendelkezésre megfelelő mennyiségű glikogén, a hús pH értéke kevésbé savanyú kémhatású, a hús víztartó képessége pedig nagyobb lesz. Belloir et al. (2019) az aminosav ellátás hatását vizsgálta a brojlercsirkék húsminőségére. Eredményeik szerint a hús csepegési vesztesége összefüggésbe

hozható a feleslegben lévő aminosavak mennyiségével. A fel nem használt aminosavak dezaminálása után a szénláncot az izomszövet felhasználja különféle szénhidrátok, például glikogén szintézisére. Az aminosavak kisebb feleslege jelen kísérletben is hozzájárulhatott az LP1 és LP2 csoportokban a csepegési veszteség kisebb értékeihez.

5.2.3. Nitrogén-retenció és a brojlerürülék nitrogéntartalmú vegyületeinek koncentrációja

Az LP2 csoportba tartozó kísérleti állatok esetében mértük a legnagyobb N-retenciót, amely szignifikánsan nagyobb bizonyult, mint a C és LP3 kezelésekben résztvevő brojlerek értékei ($P < 0,05$; 7. ábra). Ezenkívül az LP1 csoportban szintén szignifikánsan nagyobb N-retenciót találtunk, mint a kontrollban. Nem volt szignifikáns különbség a C és LP3 kezelésben részesülő brojlerek N-retenciós értékei között ($p > 0,05$).



7. ábra A takarmányozási kezelések hatása a kísérleti állatok nitrogén retenciójára
(%; átlag $\pm$ SEM)

C-kontrollcsoport; LP1 - csökkentett nyersfehérje-tartalom (-1,5%) és izokalorikus AMEn-tartalom a kontrollcsoportéhoz képest; LP2 - csökkentett nyersfehérje- (-1,5%) és AMEn-tartalom (-1,5%) a kontrollcsoportéhoz képest; LP3 - csökkentett nyersfehérje- (-1,5%) és AMEn-tartalom (-3%) a kontrollcsoportéhoz képest; ^{a,b,c}Az eltérő betűjelzések szignifikáns különbséget jeleznek ($P < 0,05$); $n=12$ brojler kezelésként

Az ürülék minták átlagos szárazanyag-tartalma 20,86; 20,07; 19,73 és 20,87% volt a C, LP1, LP2 és LP3 csoportoknak megfelelően. Szignifikáns különbség nem volt kimutatható az egyes kezelések átlagai között. A kezelések szignifikánsan befolyásolták a bélsár-N, a húgysav-N és az összes-N koncentrációját a brojlercsirkék ürülékében (26. táblázat). A takarmánykeverékek nyersfehérje-tartalmának csökkentése az LP1 csoportban szignifikánsan csökkentette e három N-

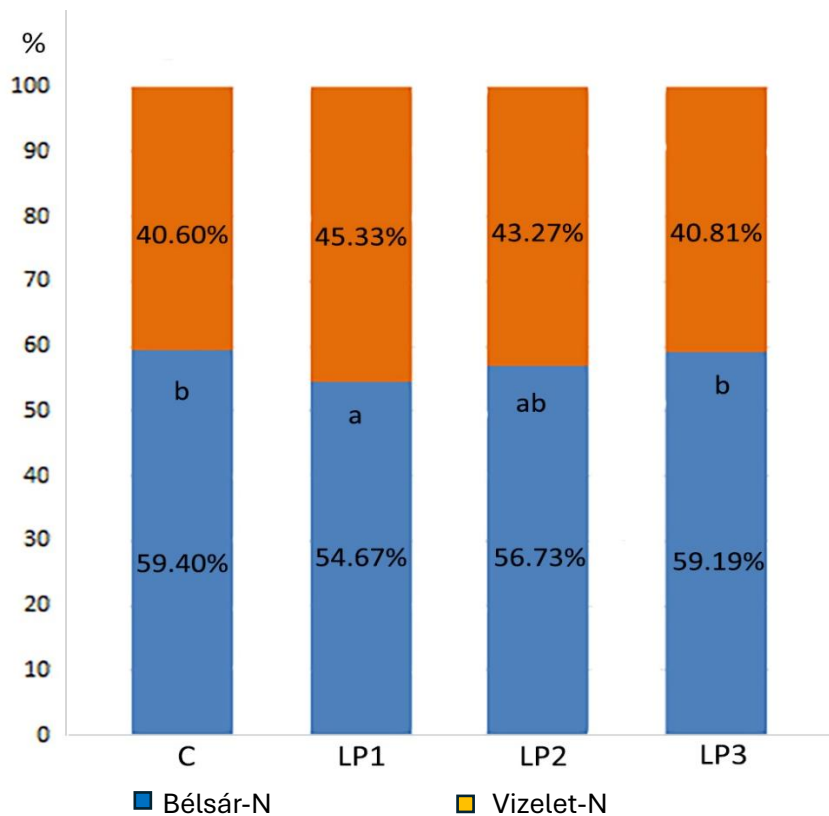
forma koncentrációját a C kezeléshez képest ($P<0,05$). A tápok AMEn-tartalmának csökkenése növelte az említett nitrogénformák ürülékbeli koncentrációját. Amíg az LP1 és LP2 kezelések értékei között nem figyeltünk meg szignifikáns különbséget, addig az LP3 csoportban szignifikánsan nagyobb volt az ürülékben a bélsár-N, a húgysav-N valamint az összes-N tartalom az LP1 csoporthoz képest ($P<0,05$). Az LP3 és a kontrollcsoport között nem találtunk szignifikáns különbséget az említett három N-forma esetében. Az ürülék NH_4^+ -N és vizelet-N tartalma nem mutatott szignifikáns eltérést a kezelések hatására ($P>0,05$).

26. táblázat: Az ürülék különböző N-tartalmú vegyületeinek koncentrációja (átlag $\pm$ SEM)

Kezelés	Bélsár-N	NH_4^+ -N	Húgysav-N	Vizelet-N ¹	Összes-N
	mg/g szárazanyag				
C	32,75 $\pm$ 2,33 ^b	4,58 $\pm$ 0,26	17,65 $\pm$ 1,13 ^b	22,23 $\pm$ 1,34	54,98 $\pm$ 3,62 ^b
LP1	21,96 $\pm$ 1,26 ^a	5,20 $\pm$ 0,41	13,07 $\pm$ 0,76 ^a	18,27 $\pm$ 1,12	40,24 $\pm$ 2,32 ^a
LP2	25,94 $\pm$ 1,84 ^{ab}	4,76 $\pm$ 0,40	15,03 $\pm$ 1,09 ^{ab}	19,79 $\pm$ 1,44	45,73 $\pm$ 3,15 ^{ab}
LP3	33,42 $\pm$ 2,45 ^b	4,92 $\pm$ 0,55	18,25 $\pm$ 1,49 ^b	23,16 $\pm$ 2,01	56,58 $\pm$ 4,38 ^b
Szignifikancia (P)	<0,001	NS	0,009	NS	0,004

C-kontrollcsoport; LP1 - csökkentett nyersfehérje-tartalom (-1,5%) és izokalorikus AMEn-tartalom a kontrollcsoportéhoz képest; LP2 – csökkentett nyersfehérje- (-1,5%) és AMEn-tartalom (-1,5%) a kontrollcsoportéhoz képest; LP3 - csökkentett nyersfehérje- (-1,5%) és AMEn-tartalom (-3%) a kontrollcsoportéhoz képest; ¹ Az NH_4^+ -N és a húgysav-N összegét tekintettük vizelet eredetű nitrogénnek. ^{a,b}Ugyanazon oszlopon belül az eltérő betűkkel jelölt átlagok szignifikánsan különböznek egymástól ($P<0,05$); NS – nem szignifikáns hatás ($P>0,05$); n=12 brojler kezelesenként

A vizelet-N és a bélsár-N aránya az ürülékben hasonló mintát követett, mint az előbbieken leírt N-tartalmú vegyületek koncentrációja esetében (8. ábra). Szignifikáns különbséget figyeltünk meg a C és az LP1, illetve az LP1 és LP3 kezelések között. Az LP1 kezelés nagyobb vizelet-N:bélsár-N arányt mutatott, mint a C és LP3 kezelés ($P<0,05$). Az LP2 kezelés értéke szignifikánsan egyik csoporttól sem különbözött.



8. ábra A kezelések hatása az ürülék bélsár-N és vizelet-N arányára (%; átlagok)

C-kontrollcsoport; LP1 - csökkentett nyersfehérje-tartalom (-1,5%) és izokalorikus AMEn-tartalom a kontrollcsoportéhoz képest; LP2 - csökkentett nyersfehérje- (-1,5%) és AMEn-tartalom (-1,5%) a kontrollcsoportéhoz képest; LP3 - csökkentett nyersfehérje- (-1,5%) és AMEn-tartalom (-3%) a kontrollcsoportéhoz képest; ^{a,b}Az eltérő betűkkel jelölt átlagok szignifikánsan különböznek egymástól ($P < 0,05$; vizelet-N:bélsár-N arány)

Ismereteink szerint kísérletünket megelőzően nem végeztek olyan vizsgálatot, amely a csökkentett nyersfehérje-tartalmú takarmányokban a különböző AMEn szint hatását vizsgálta volna a brojlerek N-retenciójára és az ürülék N-összetételére. A kísérletünkben mért N-retenciós értékek összhangban vannak a korábban publikált eredményekkel, amelyek azt mutatják, hogy a brojlercsirkék N-retenciója 2-13%-kal javítható csökkentett nyersfehérje-tartalmú takarmányok alkalmazásával (Jackson et al., 1982; Aleator et al., 2000). Ilyen mértékű javulás az LP1 és LP2 takarmány kezelések esetében volt megfigyelhető a kontrollhoz képest. A kontrollnál 3%-kal kisebb energiatartalmú LP3 takarmány nem növelte a brojlerek N visszatartását, ami azt jelenti, hogy az energia korlátozó tényező volt a fehérjeszintézisben. A takarmányban a kisebb nyersfehérje-tartalom (-1,5%) az energiaszint változtatása nélkül az ürülékben az összes-N-tartalom 23%-os, a húgysav-N koncentrációjának 26%-os csökkenését eredményezte. A húgysavra vonatkozó eredmény az ammóniára is vonatkoztatható, mivel a baromfitrágyából felszabaduló ammónia nagy része a húgysav lebontásából származik (Santoso et al., 1999). Hasonlóan jelen kísérletünkhöz Such et al. (2021) brojlercsirkékkel végzett kutatásaik során azt figyelték meg,

hogy az összes-N mellett a vizelet-N kiválasztásának aránya is csökkenthető a csökkentett nyersfehérje-tartalmú keverékek etetésével. A csökkentett nyersfehérje-tartalmú takarmány energiaszintjének csökkentése (LP3 csoport) a kontrollcsoportban mért értékre növelte az ürülék összes-N és húgysav-N koncentrációját.

5.2.4. A keményítő és az aminosavak látszólagos ileális emészthetősége

A keményítő- és az aminosavak ileális emészthetőségének eredményeit a 27. táblázat tartalmazza. Mind a keményítő- mind az aminosavak átlagos emészthetőségében szignifikáns ($P < 0,01$) különbséget találtunk az egyes kezelések között. A fehérje- és energiacsökkentett LP2 és LP3 csoportokban szignifikánsan nagyobb volt a keményítő ileális emészthetősége, mint a C és LP1 kezelésekben. Az aminosavak ileális emészthetősége szintén az LP csoportokban szignifikánsan nagyobb volt, mint a C-ben. Az aminosavak átlagos ileális emészthetőségének értéke az LP3 csoportban volt a legnagyobb (92,23%), amely szignifikáns eltérést jelentett a C és LP2 csoportokhoz viszonyítva.

27. táblázat: A kísérleti kezelések hatása a keményítő és az aminosavak látszólagos ileális emészthetőségére (átlag $\pm$ SEM)

Kezelés	Keményítő	Aminosavak (átlagos)
C	92,71 $\pm$ 0,32 ^a	88,25 $\pm$ 0,38 ^a
LP1	93,18 $\pm$ 0,36 ^a	91,50 $\pm$ 0,21 ^{bc}
LP2	94,83 $\pm$ 0,28 ^b	91,21 $\pm$ 0,18 ^b
LP3	95,18 $\pm$ 0,21 ^b	92,23 $\pm$ 0,11 ^c
P-érték	<0,001	<0,001

C-kontrollcsoport; LP1 - csökkentett nyersfehérje-tartalom (-1,5%) és izokalorikus AMEn-tartalom a kontrollcsoportéhoz képest; LP2 – csökkentett nyersfehérje- (-1,5%) és AMEn-tartalom (-1,5%) a kontrollcsoportéhoz képest; LP3 - csökkentett nyersfehérje- (-1,5%) és AMEn-tartalom (-3%) a kontrollcsoportéhoz képest; ^{a,b,c}Ugyanazon oszlop különböző felső indexű átlagai szignifikánsan különböznek egymástól ($P < 0,05$); n=12 brojler kezelésként.

Az egyes aminosavak emészthetőségi eredményeit a 28.-31. táblázatok tartalmazzák. Általánosságban elmondható (a glutaminsav emészthetősége kivétel; LP1 nem szignifikáns C-vel szemben), hogy a csökkentett nyersfehérje-tartalmú takarmányok etetésekor szignifikánsan ($P < 0,001$) javult valamennyi vizsgált aminosav látszólagos ileális emészthetősége a kontrollcsoporttal szemben. Hét aminosav esetében (lizin, treonin, leucin, tirozin, cisztein, aszparaginsav, glicin) mindegyik fehérjecsökkentett kezelés (LP1, LP2, LP3) statisztikailag igazolható módon ($P < 0,001$) magasabb emészthetőségi értéket produkált a kontrollal szemben. Az izoleucin, hisztidin és alanin emészthetősége az LP1, LP2 és LP3 csoportokban szignifikánsan nagyobb értéket ért el, mint a C kezelés, továbbá az LP3 csoport (-3% AMEn) az LP1 és LP2 kezeléshez képest is szignifikánsnak bizonyult. A metionin és szerin látszólagos ileális

emészthetőségét a fehérjecsökkentés javította ($P<0,001$, kontrollal szemben), és ez a javulás LP3 esetében volt a megmagasabb, amely szignifikánsan jobbnak bizonyult, mint a mérsékeltebben energiacsökkentett LP2. Az arginin és prolin emészthetősége esetében az energiacsökkentés tovább javította az aminosavak emészthetőségét: míg LP2 esetében csak tendenciális, addig LP3 esetében már szignifikáns különbség volt kimutatható az izokalorikus LP1 kezeléssel szemben. Végül, de nem utolsó sorban az LP1 és LP3 csoportokban a valin és fenilalanin nagyobb ileális emészthetősége nem csupán a kontrollal szemben bizonyult szignifikánsnak ($P<0,001$), hanem az LP2 kezeléshez viszonyítva is.

28. táblázat: A kísérleti kezelések hatása egyes esszenciális aminosavak látszólagos ileális emészthetőségére (% , átlag $\pm$ SEM)

Kezelés	Lizin	Metionin	Treonin	Arginin
C	87,22 $\pm$ 0,49 ^a	91,39 $\pm$ 0,29 ^a	80,74 $\pm$ 0,62 ^a	89,87 $\pm$ 0,39 ^a
LP1	91,77 $\pm$ 0,25 ^b	94,65 $\pm$ 0,18 ^{bc}	86,24 $\pm$ 0,65 ^b	91,73 $\pm$ 0,27 ^b
LP2	91,23 $\pm$ 0,24 ^b	94,26 $\pm$ 0,29 ^b	85,32 $\pm$ 0,54 ^b	92,37 $\pm$ 0,18 ^{bc}
LP3	91,97 $\pm$ 0,14 ^b	95,22 $\pm$ 0,14 ^c	87,23 $\pm$ 0,45 ^b	93,18 $\pm$ 0,10 ^c
P-érték	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

C-kontrollcsoport; LP1 - csökkentett nyersfehérje-tartalom (-1,5%) és izokalorikus AMEn-tartalom a kontrollcsoportéhoz képest; LP2 – csökkentett nyersfehérje- (-1,5%) és AMEn-tartalom (-1,5%) a kontrollcsoportéhoz képest; LP3 - csökkentett nyersfehérje- (-1,5%) és AMEn-tartalom (-3%) a kontrollcsoportéhoz képest; ^{a,b,c}Ugyanazon oszlop különböző felső indexű átlagai szignifikánsan különböznek egymástól ($P<0,05$); n=12 brojler kezelésenként.

29. táblázat: A kísérleti kezelések hatása egyes esszenciális aminosavak látszólagos ileális emészthetőségére (átlag $\pm$ SEM)

Kezelés	Valin	Leucin	Izoleucin	Hisztidin
C	87,24 $\pm$ 0,71 ^a	91,31 $\pm$ 0,41 ^a	88,94 $\pm$ 0,41 ^a	90,73 $\pm$ 0,30 ^a
LP1	93,12 $\pm$ 0,26 ^c	92,68 $\pm$ 0,31 ^b	91,59 $\pm$ 0,30 ^b	93,73 $\pm$ 0,27 ^b
LP2	91,28 $\pm$ 0,27 ^b	92,66 $\pm$ 0,25 ^b	91,72 $\pm$ 0,20 ^b	93,25 $\pm$ 0,21 ^b
LP3	92,86 $\pm$ 0,16 ^c	93,75 $\pm$ 0,12 ^b	93,08 $\pm$ 0,24 ^c	94,70 $\pm$ 0,16 ^c
P-érték	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

C-kontrollcsoport; LP1 - csökkentett nyersfehérje-tartalom (-1,5%) és izokalorikus AMEn-tartalom a kontrollcsoportéhoz képest; LP2 – csökkentett nyersfehérje- (-1,5%) és AMEn-tartalom (-1,5%) a kontrollcsoportéhoz képest; LP3 - csökkentett nyersfehérje- (-1,5%) és AMEn-tartalom (-3%) a kontrollcsoportéhoz képest; ^{a,b,c}Ugyanazon oszlop különböző felső indexű átlagai szignifikánsan különböznek egymástól ($P<0,05$); n=12 brojler kezelésenként.

30. táblázat: A kísérleti kezelések hatása egyes esszenciális és feltételesen esszenciális aminosavak látszólagos ileális emészthetőségére (átlag ± SEM)

Kezelés	Fenilalanin	Prolin	Tirozin	Cisztein
C	90,19 ± 0,46 ^a	96,44 ± 0,15 ^a	84,07 ± 0,68 ^a	81,74 ± 0,86 ^a
LP1	93,12 ± 0,23 ^c	97,16 ± 0,15 ^b	87,86 ± 0,40 ^b	87,85 ± 0,41 ^b
LP2	91,77 ± 0,26 ^b	97,34 ± 0,09 ^{bc}	87,18 ± 0,28 ^b	86,74 ± 0,45 ^b
LP3	93,23 ± 0,16 ^c	97,75 ± 0,10 ^c	86,79 ± 0,24 ^b	87,85 ± 0,33 ^b
P-érték	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

C-kontrollcsoport; LP1 - csökkentett nyersfehérje-tartalom (-1,5%) és izokalorikus AMEn-tartalom a kontrollcsoportéhoz képest; LP2 – csökkentett nyersfehérje- (-1,5%) és AMEn-tartalom (-1,5%) a kontrollcsoportéhoz képest; LP3 - csökkentett nyersfehérje- (-1,5%) és AMEn-tartalom (-3%) a kontrollcsoportéhoz képest; ^{a,b,c}Ugyanazon oszlop különböző felső indexű átlagai szignifikánsan különböznek egymástól (P<0,05); n=12 brojler kezelésként.

31. táblázat: A kísérleti kezelések hatása egyes nem esszenciális aminosavak látszólagos ileális emészthetőségére (átlag ± SEM; n=12 brojler kezelésként)

Kezelés	Alanin	Aszparaginsav	Glutaminsav	Szerin	Glicin
C	87,87 ± 0,61 ^a	86,78 ± 0,54 ^a	92,81 ± 0,55 ^a	89,43 ± 0,51 ^a	83,50 ± 0,52 ^a
LP1	90,65 ± 0,33 ^b	89,40 ± 0,23 ^b	93,98 ± 0,31 ^{ab}	91,93 ± 0,41 ^{bc}	87,97 ± 0,32 ^b
LP2	91,51 ± 0,22 ^b	90,44 ± 0,24 ^b	94,33 ± 0,16 ^{bc}	90,85 ± 0,28 ^b	88,33 ± 0,33 ^b
LP3	93,43 ± 0,25 ^c	90,62 ± 0,15 ^b	95,36 ± 0,05 ^c	92,89 ± 0,16 ^c	88,06 ± 0,27 ^b
P-érték	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

C-kontrollcsoport; LP1 - csökkentett nyersfehérje-tartalom (-1,5%) és izokalorikus AMEn-tartalom a kontrollcsoportéhoz képest; LP2 – csökkentett nyersfehérje- (-1,5%) és AMEn-tartalom (-1,5%) a kontrollcsoportéhoz képest; LP3 - csökkentett nyersfehérje- (-1,5%) és AMEn-tartalom (-3%) a kontrollcsoportéhoz képest; ^{a,b,c}Ugyanazon oszlop különböző felső indexű átlagai szignifikánsan különböznek egymástól (P<0,05).

A vékonybél táplálóanyag felszívó kapacitása – beleértve az aminosavakat és a glükózt – befolyásolhatják a brojlerok teljesítményét (Croom et al., 1999). Vinardell (1990) arra a következtetésre jutott, hogy az aminosavak és a glükóz felszívódása kölcsönhatásban állnak egymással. Stevens et al. (1984) szerint a glükóz és az aminosavak felvétele a bélrendszerből összetett és interaktív, az eredmények alapján az aminosavak és a glükóz felszívódása a vékonybélből kompetitív is lehet (Alvarado és Robinson, 1975; Murer et al., 1975). A kompetíció alapja valószínűleg a Na⁺ mennyisége és elérhetősége egyes bélszakaszokban. A glükóz abszorpciója főként az SGLT-1 transzporterén keresztül történik, amely egy Na⁺-függő transzporter (Röder et al., 2014). Az aminosavakat is számos Na⁺-függő transzportrendszer szállíthatja át a sejtmembránon (Hyde et al., 2003). Moss et al. (2018) brojlercsirkével végzett kísérletükben szintén fehérjecsökkentett takarmányozással foglalkoztak, vizsgálva a fehérje/aminosavak, illetve a keményítő emésztési dinamikáját. A nyersfehérje-tartalom csökkentés hatására megnövekedett a kukoricából származó keményítő koncentrációja a takarmányban, amely következtében a keményítő emészthetősége szignifikánsan javult a kisebb fehérjetartalmú takarmányt fogyasztó csoportokban, míg a fehérje, illetve az aminosavak

emészthetősége romlott. Kísérletük legfőbb eredménye a szignifikáns negatív korreláció megállapítása a keményítő valamint 12 aminosav ileális emészthetősége között. Eredményük alátámasztja a glükóz és az aminosavak felszívódásával kapcsolatos kompetíció elméletét. Kísérletünkben mind a keményítő látszólagos ileális emészthetősége, mind az aminosavak átlagos emészthetősége szignifikánsan jobbnak bizonyult a fehérjecsökkentett takarmányozási kezelések hatására. Ezen kívül az egyes aminosavak emészthetősége is döntően növekedett a fehérjecsökkentés hatására. Az eredmények hátterében több tényező állhat. Kísérletünkben a keményítő arányának növekedése az LP takarmányokban a kontrollhoz képest csupán 12-15%-os volt, ami valószínűleg nem okozott kompetíciót a keményítőtől származó glükóz és az aminosavak felszívódásában. Fontos megemlíteni, hogy kontroll, valamint az LP1 csoport takarmánya izokalorikus volt, és nem találtunk különbséget közöttük a keményítő emészthetőségében. A szükséglethez képest energiahányos LP2 és LP3 csoportokban viszont szignifikánsan javult a keményítő ileális emészthetősége. A fehérjecsökkentett takarmányokban nagyobb arányban alkalmazott kristályos aminosavak felszívódása gyorsabb (Wu, 2009), mint a fehérjében kötött aminosavaké, már a jejunumban közel 100%-ban megtörténhetett. Nem zárható ki az sem, hogy az aminosav látszólagos emészthetőségének növekedésének hátterében az endogén aminosavak kisebb ürítése állhat. A több szabad aminosavat és kevesebb „ép” fehérjét tartalmazó csökkentett nyersfehérje-tartalmú takarmány csökkenti a pepszin, a tripszin és egyéb proteolitikus enzimek, valamint a mucin szekrécióját, amelyek az endogén aminosavak fontos forrásai (Lien et al., 2001). Az így létrejövő kisebb endogén aminosavhányad növelheti a látszólagos emészthetőség értékét.

5.3. Brojlercsirkék eltérő treonin- és glicin-ellátásának hatása csökkentett nyersfehérje-tartalmú takarmánykeverékek esetén (3. kísérlet)

5.3.1. A kísérleti állatok aminosav-felvétele

A kísérleti kezelések hatását a brojlerok SID esszenciális aminosav felvételére (lizin, metonin, cisztein, arginin, valin, izoleucin összege - treonin nélkül), valamint a SID treonin és glicin+szerin felvételére vonatkozóan (nevelő és befejező fázis) a 32. táblázat mutatja be. A kísérleti állatok SID esszenciális aminosav felvétele között nem figyeltünk meg szignifikáns különbséget ($P>0,05$). A takarmányok nagyobb SID treonin és glicin+szerin szintje miatt ezekben a csoportokban szignifikánsan nőtt ($P<0,05$) a brojlercsirkék SID treonin és glicin+szerin felvétele. Az utóbbi esetben a kontrollal összehasonlítva nem találtunk különbséget.

32. táblázat: A kísérleti kezelések hatása a brojlerok SID esszenciális aminosav, SID treonin és glicin+szerin felvételére (g/madár, átlag; 6 fülke/kezelés, n=6)

Kezelés ³	SID EAA ¹			SID Treonin			Glicin+Szerin		
	N	B	N+B ²	N	B	N+B	N	B	N+B
C	63,55	82,42	145,98	9,43 ^a	12,01 ^a	21,44 ^a	23,56 ^b	31,05 ^c	54,61 ^b
LPS	63,81	85,27	149,08	9,47 ^a	12,46 ^a	21,92 ^a	21,01 ^a	27,78 ^{ab}	48,80 ^a
LPST	64,26	83,18	147,44	10,97 ^b	13,83 ^b	24,80 ^b	21,16 ^a	27,10 ^a	48,26 ^a
LPM	62,71	84,53	147,24	9,34 ^a	12,24 ^a	21,58 ^a	23,16 ^b	29,56 ^{bc}	52,72 ^b
Pooled SEM	0,52	0,74	1,07	0,16	0,18	0,32	0,30	0,40	0,66
P-érték	NS ⁴	NS	NS	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

¹: A SID (standardized ileal digestibility) esszenciális aminosav (EAA) felvétel treonin nélkül: Lys+Met+Cys+Arg+Val+Ile; ² N: nevelő fázis, B: befejező fázis, N+B: nevelő és befejező fázis; ³C – kontrollcsoport; LPS – extrahált szójadara alapú takarmány csökkentett nyersfehérje-tartalommal (-2%); LPST – extrahált szójadara alapú, fehérjecsökkentett (-2%) takarmány nagyobb kristályos L-treonin-kiegészítéssel; LPM – csökkentett nyersfehérje-tartalmú (-2%) takarmány, amelyben az extrahált szójadarat részben sertés húsliszttel helyettesítettük; ⁴ NS – nem szignifikáns ($P>0,05$); ^{a,b} Egy adott oszlopon belül az azonos betűjelzéseket nem tartalmazó átlagok szignifikánsan különböznek ($P<0,05$)

5.3.2. Termelési paraméterek

A termelési paraméterek eredményei a 33. táblázatban tekinthetők meg. Az indítófázisban (1.-10. nap) alkalmazott egységes brojler takarmány nem idézett elő szignifikáns különbséget a termelési paraméterekben. A nevelőfázis végén mért testsúly ugyancsak nem mutatott eltérést. A befejező fázisban a treonin-kiegészítésben részesülő LPST csoport egyedei szignifikánsan nagyobb testsúlyt értek el, mint a kontroll takarmánykeveréket fogyasztó csoport állatai ($P<0,05$). A kísérleti takarmányok szignifikánsan befolyásolták a madarak súlygyarapodását a nevelő- és befejező fázisban, illetve a teljes kísérleti időszakban ($P<0,05$). A nevelő fázisban az LP takarmányok etetése nem vezetett szignifikánsan eltérő testsúlygyarapodáshoz a kontroll kezeléshez képest. Szignifikáns különbséget figyelhetünk meg ugyanakkor az LPST és LPM

csoportok között: az LPST takarmány emelt SID Thr szintje nagyobb testsúlygyarapodást eredményezett a madarakban az LPM takarmányhoz viszonyítva ($P<0,05$). A befejezőfázisban az LPS és LPM csoportban a testsúlygyarapodás szignifikánsan nagyobb volt, mint a kontrollban ($P<0,05$). A teljes felnevelési időszakot tekintve csak az LPST kezelésben részesülő brojlersirkék érték el szignifikánsan nagyobb testsúlygyarapodást, valamint vágáskori (35 napos) élősúlyt a kontrollhoz viszonyítva ($P<0,05$).

33. táblázat: A kísérleti állatok termelési paraméterei az indító-, a nevelő- és a befejezőfázisban, illetve az egész kísérletre vonatkozóan (átlag $\pm$ SEM; $n=6$ fülke/kezelés)

	Kezelés ¹	0. nap	10. nap	24. nap	35. nap
Testsúly (g/madár)	C	47,9 $\pm$ 0,1	269,9 $\pm$ 8,0	1247,8 $\pm$ 14,5	2479,9 $\pm$ 25,6 ^a
	LPS	47,9 $\pm$ 0,1	271,4 $\pm$ 9,2	1266,3 $\pm$ 22,9	2617,1 $\pm$ 46,2 ^{ab}
	LPST	48,2 $\pm$ 0,2	273,2 $\pm$ 7,2	1305,2 $\pm$ 29,1	2633,3 $\pm$ 37,9 ^b
	LPM	48,3 $\pm$ 0,1	289,5 $\pm$ 3,7	1226,7 $\pm$ 25,4	2579,2 $\pm$ 30,4 ^{ab}
	P-érték	NS ²	NS	NS	0,029
	Kezelés	Indító (0-10 nap)	Nevelő (11-24 nap)	Befejező (25-35 nap)	Teljes kísérlet (0-35 nap)
Testsúly- gyarapodás (g/madár)	C	222,0 $\pm$ 8,0	977,9 $\pm$ 10,3 ^{ab}	1232,1 $\pm$ 26,8 ^a	2432,0 $\pm$ 25,6 ^a
	LPS	223,5 $\pm$ 9,3	994,9 $\pm$ 19,2 ^{ab}	1350,8 $\pm$ 35,8 ^a	2569,2 $\pm$ 46,1 ^{ab}
	LPST	225,0 $\pm$ 7,1	1031,9 $\pm$ 23,9 ^b	1328,1 $\pm$ 22,4 ^{ab}	2585,0 $\pm$ 37,9 ^b
	LPM	244,7 $\pm$ 1,2	937,1 $\pm$ 24,2 ^a	1352,5 $\pm$ 23,8 ^b	2530,9 $\pm$ 30,3 ^{ab}
	P-érték	NS	0,027	0,018	0,030
Takarmány- felvétel (g/madár)	C	270,8 $\pm$ 3,7	1273,6 $\pm$ 24,6	1848,1 $\pm$ 31,4	3351,0 $\pm$ 16,8
	LPS	276,7 $\pm$ 4,3	1297,1 $\pm$ 18,0	1916,1 $\pm$ 48,6	3489,9 $\pm$ 59,7
	LPST	272,9 $\pm$ 5,5	1306,1 $\pm$ 21,4	1869,2 $\pm$ 20,5	3419,1 $\pm$ 9,6
	LPM	283,3 $\pm$ 0,6	1279,9 $\pm$ 23,7	1882,6 $\pm$ 29,3	3447,7 $\pm$ 50,5
	P-érték	NS	NS	NS	NS
Fajlagos takarmány- értékesítés (kg/kg)	C	1,23 $\pm$ 0,03	1,30 $\pm$ 0,02 ^{ab}	1,50 $\pm$ 0,02 ^b	1,40 $\pm$ 0,01 ^b
	LPS	1,25 $\pm$ 0,05	1,30 $\pm$ 0,01 ^{ab}	1,42 $\pm$ 0,03 ^{ab}	1,36 $\pm$ 0,01 ^{ab}
	LPST	1,22 $\pm$ 0,03	1,27 $\pm$ 0,01 ^a	1,43 $\pm$ 0,01 ^{ab}	1,33 $\pm$ 0,01 ^a
	LPM	1,16 $\pm$ 0,01	1,37 $\pm$ 0,03 ^b	1,39 $\pm$ 0,02 ^a	1,36 $\pm$ 0,01 ^{ab}
	P-érték	NS	0,016	0,013	0,026

C – kontrollcsoport; LPS – extrahált szójadara alapú takarmány csökkentett nyersfehérje-tartalommal (-2%); LPST – extrahált szójadara alapú, fehérjecsökkentett (-2%) takarmány nagyobb kristályos L-treonin-kiegészítéssel; LPM – csökkentett nyersfehérje tartalmú (-2%) takarmány, amelyben az extrahált szójadarat részben sertés húsliszttel helyettesítettük; ² NS – nem szignifikáns ($P>0,05$); ^{a,b} Eltérő jelzések egy adott oszlopon belül szignifikáns különbséget jeleznek ($P<0,05$);

A testsúly és testsúlygyarapodás adatokkal ellentétben a brojlersirkék takarmányfelvételében nem találtunk szignifikáns különbséget a kezelések között a kísérlet egyik fázisában sem. A fajlagos takarmányértékesítést (FCR) szignifikánsan befolyásolták a kezelések mind a nevelő, mind a befejező fázisban, valamint a kísérlet egészére vonatkozóan is ($P<0,05$). A nevelőfázisban az FCR

értéke az LPM csoportban szignifikánsan nagyobb volt, mint az LPST-ben. Érdekes módon a befejező fázisban az LPM takarmánnyal etetett kísérleti állatokban a kontrollnál jobb FCR-t találtunk ($P < 0,05$). A felnevelés teljes időszakában az FCR értéke az LPST csoportban volt a legjobb, amely érték szignifikánsan kisebb volt, mint a kontrollcsoportban, de nem tért el szignifikánsan a másik két fehérjecsökkentett kezeléstől.

Vizsgálatunkban a takarmány LP kezeléseit csak a nevelő fázistól alkalmaztuk. A kísérleti állatok egy általános indító keveréket fogyasztottak, mert a korai nyersfehérje csökkentés minimális hatással lett volna a szójadara mennyiségének csökkentésére, a nitrogén kibocsátásra és a hizlalási teljesítményre. A legtöbb kísérletben a takarmány nyersfehérje tartalmának 2%-os csökkenése a termelési paraméterek romlása nélkül volt elérhető, ha legalább háromfázisú etetést alkalmaztak, pelletált takarmányt etettek, és legalább hat esszenciális aminosav tekintetében megtörtént a kísérleti keverékek azonos SID szintjeinek beállítása (Belloir et al., 2017; Van Harn et al., 2019; Such et al., 2021). Vizsgálatunkban az LP takarmánykeverékekkel etetett brojlerek valamennyi mért teljesítményi jellemzője elérte vagy meghaladta a kontroll keverékkel etetett brojlerek teljesítményparamétereit. A kísérleti keverékek esszenciális aminosav tartalma az ideális fehérje-konceptiónak megfelelően lett beállítva, és a formulázás mind a teljes, mind a SID aminosav szükségletet figyelembe vette. A kristályos esszenciális aminosav kiegészítésnél nem csak a négy első limitáló aminosavat (Lys, Met, Thr és Val), hanem az L-Arg-t és L-Ile-t is alkalmaztuk. A csökkentett nyersfehérje-tartalmú takarmányokkal etetett brojlerek gyengébb hizlalási teljesítményt általában olyan vizsgálatokban mutattak, ahol nem használtak kristályos L-Val-t, L-Arg-t és L-Ile-t (Khajali és Moghaddam, 2006; Guaiume, 2007). Egyes tanulmányokban az LP kezelések kiegyensúlyozatlan esszenciális aminosav-ellátását a madarak szignifikánsan nagyobb takarmányfelvétellel igyekeztek ellensúlyozni (Smith és Pesti, 1998; Swennen et al., 2007). Vizsgálatunkban az LP keverékek etetésekor nem találtunk szignifikáns változást a takarmányfelvételben a kontrollhoz képest. Sikeresen megvalósult a kísérleti állatok tervezett azonos SID aminosav felvétele hat fő esszenciális aminosav esetében, valamint a brojlerek SID Thr és Gly+Ser felvételének különbségei az LP és a kontroll csoportok között.

Az LPS csoport brojlereinek teljesítménye hasonló vagy még jobb volt (testsúlygyarapodás a befejező fázisban) a C csoporthoz képest mind a nevelő, mind a befejező fázisban. Ez azt jelenti, hogy a csökkent Gly-ellátás (15,65 vs. 13,74 és 14,19 vs. 12,30 Gly_{equi} a nevelő és a befejező fázisban) megfelelő Thr-ellátás mellett nem rontotta szignifikáns mértékben a brojler teljesítményét. A befejező fázisban a madarak nagyobb testsúlygyarapodásának magyarázata nem egyértelmű, de valószínűleg összefüggésbe hozható az aminosavak jobb emészthetőségével az LPS csoportban a C csoporthoz képest. Liu et al. (2021) kimutatta, hogy a csökkentett

nyersfehérje-tartalmú keverékek etetése általában növeli az aminosav emészthetőségét a disztális jejunumban, valószínűleg az alkalmazott nagyobb arányú kristályos aminosav kiegészítés miatt. A befejező fázisban az LPM csoport brojlereinek takarmányértékesítése a C csoport értékénél szignifikánsan jobb volt. Ez az eredmény azt jelzi, hogy a brojler takarmányértékesítését tekintve javasolt a befejező LP takarmányok Gly_{equi}-értékének növelése 12,3-ról 13,55 g/kg-ra. Eredményeinkhez hasonlóan korábbi kísérletekben is a megnövekedett Gly-ellátás volt a legnagyobb hatással a takarmányértékesítés javulására (Kriseldi et al., 2017; Lee et al., 2022), valószínűleg a vékonybélben lezajló enterocita fejlődés és mucin szekréció támogatása, és az így elért kedvezőbb táplálóanyag-felhasználás és fehérjeszintézis javulás által (Wang et al., 2020). A szakirodalom szerint a 0-21 napos brojlercsirkék Gly_{equi}-szükséglete 11-20 g/kg között változik a húgysavképződéstől, a Thr-ellátástól, a Met / (Met+Cys) aránytól és a kolinszinttől függően (Siegert et al., 2015; Siegert és Rodehutscord, 2019). Más kutatók azt találták, hogy az optimális Gly+Ser koncentráció 1,8 és 2,3% között van 0 és 35 nap között (Waldroup et al., 2005; Ospina-Rojas et al., 2013a; Ospina-Rojas et al., 2013b). A takarmányértékesítés optimalizálásához szükséges takarmány Gly+Ser szint 21 és 35 nap közötti LP diétákban becslések szerint 1,54%, 0,77%-os emészthető Thr-szint mellett (Ospina-Rojas et al., 2013b). Az 1,57%-os számított Gly+Ser koncentráció a kísérletünk befejező LPM keverékében a 0,65%-os SID Thr szinttel együtt alacsonynak tekinthető és nagyobb szintek esetén valószínűleg pozitív hatások várhatóak. A minimális SID (Gly+Ser) / Lys arány a nevelő 2. (21-31 nap) és a befejező fázisban (31-41 nap) 1,42, illetve 1,40% Rostagno et al. (2017), illetve Mansilla et al. (2023) javaslatai alapján. A megnövelt SID (Gly+Ser)/Lys arány a befejező LPM takarmányunkban az LPS takarmányhoz képest (1,30 vs. 1,24) kedvező hatással volt a brojler takarmányértékesítésére, ami alátámasztja a javasolt SID (Gly+Ser)/Lys arány felé történő további növelést.

A takarmány Gly_{equi} és Thr szintje közötti kapcsolatot a teljesítmény jellemzőkre kifejtett hatás tekintetében már több kutatás vizsgálta (Ospina-Rojas et al., 2013a; Corzo et al., 2019;) és számszerűsítette a hizlalás 7-21 napjára vonatkozóan (Siegert et al., 2015; Siegert és Rodehutscord, 2019). A csökkenő Gly_{equi} szint a brojler testsúlygyarapodását lineáris módon csökkenti, illetve a takarmányértékesítésre ugyancsak negatívan hat nemlineáris módon. A negatív hatás mindkét paraméter esetében kifejezettebb kisebb takarmány Thr koncentráció esetén. A brojler takarmányértékesítésének pozitív válaszreakciója a takarmány Thr szintjének azonos szintű növekedésére nagyobb mértékű a Gly_{equi} koncentráció alacsonyabb szintjén. Ezenkívül a takarmány Thr szint 1 g/kg-os növekedésének pozitív hatása a takarmányértékesítésre nagyobb, mint a takarmány Gly_{equi} szint azonos mértékű növekedésének hatása. Az összefüggés szerint a takarmányértékesítés javítása lehetséges a Thr-ellátás növelésével, miközben a Gly_{equi} szint

csökken a takarmányban. Saját kísérletünk LPST kezelése hasonló változásokat jelentett a takarmány Thr és Gly_{equi} ellátásában a C kezeléshez képest, amelynek a hizlalási teljesítményre kifejtett pozitív hatása kimutatható volt. Ez a pozitív hatás a nevelő fázisban még tendencia jellegű volt, de a hizlalás végére már szignifikánssá vált. Az LPST csoportban a csirkék teljesítményjavulása azt is jelenti, hogy a SID Thr koncentráció 0,10%-os (0,74% vs. 0,84% a nevelő és 0,65% vs. 0,74% a befejező fázisban), valamint a SID Thr / Lys arány 9,0%-os növekedése (63 vs. 72% a nevelőben és 64% vs. 73% a befejező fázisban) a kontrollhoz képest előnyös lehet, ha a takarmány nyersfehérje-tartalma 2%-kal, a Gly_{equi} pedig 2 g/kg-mal csökken. Az LPST csoportban a madarak megnövekedett Thr-ellátása támogathatja a Thr elsődleges, fehérjeszintézist segítő funkcióját. A Thr enzimatisz átalakulása Gly-né, az ún. helyettesítő hatás szintén magyarázatot adhat ezekre az eredményekre (Siegert és Rodehutschord, 2019). Mindezek mellett a megnövekedett Thr-ellátás hatására a Thr-tól eltérő aminosavak kisebb mértékű katabolizmusa csökkentheti a Gly_{equi}-szükségletet a húgysavképzésben, ami egy másik Gly-megtakarító hatásként is szolgálhat (Siegert és Rodehutschord, 2019). Sajnos a takarmány Gly_{equi} és Thr szintjei közötti kapcsolat a teljes hizlalásra (0-tól 35. illetve 42. nap) vonatkozó teljesítmény jellemzők tekintetében nem olyan pontosan számszerűsített, mint a 7 és 21 nap közötti szakaszra vonatkozóan (Siegert et al., 2015). Eredményeink alapján hasonló kölcsönhatások létezhetnek a Thr és Gly_{equi} szintek között a befejező fázis végéig. A hizlalás második felére fókuszáló korábbi vizsgálatok megerősítették a fent említett, a hizlalás első felében leírt Thr-Gly kölcsönhatást, miszerint a madarak pozitív teljesítményreakciója a takarmány Thr szintjének azonos növekedésére nagyobb a Gly_{equi} koncentráció alacsonyabb szintjén. A takarmányértékesítés válaszreakciója a takarmány Thr szintjének változására nagyobb mértékű volt a kisebb emészthető (Gly+Ser) / Lys arány esetében (135 vs. 149%) (Ospina-Rojas et al., 2013b). A 21-42 napos brojlerek testsúlygyarapodása jobban reagált az emelkedő Thr szintre az emészthető (Gly+Ser) / Lys 143%-os arányánál a 153%-os aránnyal összehasonlítva (Corzo et al., 2009).

5.3.3. Vágóérték és mellhús-minőségi vizsgálat eredményei

A kezelések szignifikánsan befolyásolták a vágási kihozatalt és a hasúri zsír arányát ($P < 0,05$), míg a mellfilé, illetve a comb aránya nem változott (34. táblázat). Az LPS és LPST csoportban a vágási kihozatal nem különbözött a kontrollcsoporthoz képest. A húslisztet tartalmazó kezelésben viszont szignifikánsan kisebb volt, mint a C és LPST csoportban. Továbbá az LPM kísérleti takarmány etetése szignifikánsan növelte (relatív) a hasúri zsír beépülést a C csoporttal összehasonlítva ($P < 0,05$). A kísérleti takarmányok nem idéztek elő szignifikáns változást a mellhús fehérje- és zsírtartalmában, a csepegési veszteségben, illetve a mellfilé kémhatásában sem a vágást követően, sem 24 óra elteltével ($P > 0,05$; 35. táblázat).

34. táblázat: Vágási kihozatal és a vágott test összetétele¹ (%; átlag ± SEM; n=12 brojler/kezelés)

Kezelés ²	Vágási kihozatal	Mellfilé arány	Comb arány	Hasúri zsír arány
C	65,67 ± 0,45 ^b	22,37 ± 0,35	19,21 ± 0,29	0,68 ± 0,09 ^a
LPS	65,18 ± 0,42 ^{ab}	21,20 ± 0,50	19,00 ± 0,20	0,98 ± 0,09 ^{ab}
LPST	66,25 ± 0,25 ^b	22,25 ± 0,34	19,15 ± 0,20	0,87 ± 0,08 ^{ab}
LPM	64,06 ± 0,32 ^a	20,92 ± 0,45	18,92 ± 0,19	1,04 ± 0,09 ^b
P-érték	<0,001	NS ³	NS	0,032

¹Az értékek az élősúly százalékában vannak kifejezve; ²C - kontrollcsoport; LPS - extrahált szójadara alapú takarmány csökkentett nyersfehérje-tartalommal (-2%); LPST - extrahált szójadara alapú, fehérjecsökkentett (-2%) takarmány nagyobb kristályos L-treonin-kiegészítéssel; LPM - csökkentett nyersfehérje tartalmú (-2%) takarmány, amelyben az extrahált szójadarat részben sertés húsliszttel helyettesítettük; ³NS – nem szignifikáns (P>0,05); ^{a,b} Eltérő jelzések egy adott oszlopon belül szignifikáns különbséget jeleznek (P<0,05)

35. táblázat: A mellhús minőségi paraméterei (átlag ± SEM; n=12 broiler/kezelés)

Kezelés ¹	Fehérjetartalom (%)	Zsírtartalom (%)	pH _{0h} ²	pH _u ³	Csepegési veszteség (%)
C	22,76 ± 0,18	0,99 ± 0,03	6,49 ± 0,06	5,76 ± 0,02	1,08 ± 0,06
LPS	23,00 ± 0,39	1,00 ± 0,04	6,47 ± 0,04	5,82 ± 0,02	1,07 ± 0,09
LPST	23,37 ± 0,25	1,00 ± 0,04	6,56 ± 0,05	5,85 ± 0,03	1,04 ± 0,05
LPM	23,08 ± 0,13	1,03 ± 0,03	6,59 ± 0,04	5,79 ± 0,02	1,10 ± 0,06
P-érték	NS	NS	NS ⁴	NS	NS

¹C - kontrollcsoport; LPS - extrahált szójadara alapú takarmány csökkentett nyersfehérje-tartalommal (-2%); LPST - extrahált szójadara alapú, fehérjecsökkentett (-2%) takarmány nagyobb kristályos L-treonin-kiegészítéssel; LPM – csökkentett nyersfehérje tartalmú (-2%) takarmány, amelyben az extrahált szójadarat részben sertés húsliszttel helyettesítettük; ²pH_{0h} = pH mérése közvetlenül vágás után; ³pH_u = pH mérése 24 órással 4°C-on történt tárolást követően; ⁴NS – nem szignifikáns (P>0,05)

Kísérletünkben az LPS kezelésben részesült brojlerok eredményei összhangban vannak a hasonló korábbi vizsgálatok eredményeivel, amelyek szerint a kristályos aminosavakkal kiegészített LP takarmánykeverékeknek 2%-os nyersfehérje csökkentésig nincs hatása a vágóértékre és az értékes húsrészek arányára (Van Harn et al., 2019; Mansilla et al., 2023; Lemme et al., 2019; Ospina-Rojas et al., 2014). Mansilla et al. (2023) szerint a SID (Gly+Ser)/Lys arány csökkenésének mértéke a 2%-kal kisebb nyersfehérje-tartalommal párhuzamosan a kontrollhoz képest 5,0, 9,0 és 12,0% volt a nevelő 1, nevelő 2 és a befejező keverékekben. Jelen vizsgálatunkban a SID (Gly+Ser)/Lys arány csökkenése nagyobb mértékű volt (15% a nevelőben és 19% a befejezőben), de a vágóérték eredményei mindkét vizsgálatban hasonlóak voltak. Kevés publikált eredmény áll rendelkezésre a Thr-Gly kölcsönhatásról az LP takarmányt fogyasztó brojlerok termékminősége esetében. Hasonlóan az LPST csoportban megfigyelt eredményeinkhez, az emészthető Thr koncentráció 0,57%-ról 0,65%-ra történő növekedése a Gly+Ser szint 1,65%-ról 1,55%-ra történő egyidejű csökkenése mellett nem befolyásolta a brojlerok vágási kihozatalát és a mellfilé arányát a 21. és 42. nap között etetett 18,2%-os nyersfehérje-tartalmú LP keverék (Corzo et al., 2009) hatására. A takarmány Thr-tartalmának 9,3-ról 10,7 g/kg-ra történő növelése akár a relatív mellsúlyt is

csökkentheti a nagyobb plazma húgysav- és ammóniakoncentráció toxikus hatása miatt (Ospina-Rojas et al., 2013a). Ugyanebben a vizsgálatban pozitív, szignifikáns lineáris hatása volt a Gly+Ser koncentráció 18,4-ről 22,6 g/kg-ra történő növelésének a relatív mellsúlyra a 19% nyersfehérjét tartalmazó LP keverék 0-21 napig tartó etetését követően (Ospina-Rojas et al., 2013a).

Eredményeink arra utalnak, hogy az LPM kezelésnek a vágási kihozatalra és összetételére gyakorolt jelentős negatív hatásai összefüggésbe hozhatók a kísérleti takarmányok keményítő-nyersfehérje arányával. A keményítő, mint a fő energiaszolgáltató táplálóanyag koncentrációja jellemzően növekszik, ha a takarmány nyersfehérje-tartalmát csökkentik az izokalorikus LP keverékekben (Liu et al., 2021). Ezzel szemben a takarmány nyerszsír tartalma általában a fehérjeszinttel együtt csökken, ami a saját kísérletünkben is megfigyelhető volt. A keményítő-nyersfehérje arány az LP kezeléseknél nőtt a C kezeléshez képest, és a sertéshúslisztet tartalmazó LPM keverékben volt a legnagyobb. A takarmány magasabb keményítő-nyersfehérje aránya kvadratikus összefüggéssel jellemezhető módon rontotta a takarmányértékesítést előző brojlerhizlalási kísérletünk indító fázisában (6. ábra, Strifler et al., 2023). Hasonló kvadratikus összefüggést figyeltek meg e két tényező között 7 és 35 nap között két vizsgálatban (Chrystal et al., 2020a; Chrystal et al., 2020b). A jelen vizsgálatban az LP takarmányok nagyobb keményítő-nyersfehérje aránya nem rontotta a kísérleti állatok takarmányértékesítését a C kezeléshez képest. A keményítő emésztési dinamikáját vizsgálva kimutatták, hogy a glükóz felszívódása versenyez az aminosavak felszívódásával, ami befolyásolhatja az aminosavak elérhetőségét a szöveti fehérjeszintézishez (van der Meulen et al., 1997; Li et al., 2008). Hilliar et al. (2019, 2020) azonban azt találták, hogy a kristályos Gly hozzáadása az LP takarmányhoz csökkentette a mellfilé arányát a Gly kiegészítés nélküli kontroll takarmányhoz képest. Ebben az esetben az ismertett elméleti keményítő hatás kizárható, de az eredmények magyarázata nem világos. Több korábbi kísérlet eredményeivel (Li et al., 2008; Rosebrough és Steele, 1985; Swennen et al., 2006) ellentétben az izokalorikus LPS és LPST keverékek nem növelték szignifikánsan a hasúri zsír arányát a C keverékhez képest, azonban LPM kezelés már szignifikánsan nagyobb hasúri zsírt produkált, mint a kontroll takarmánykezelés. Ha az LP takarmányok kisebb nyersfehérje-tartalma mellett az AMEn-értéke állandó marad, akkor a baromfi szervezetében többletenergia keletkezik és hasúri zsírként felhalmozódhat (Rosebrough és Steele, 1985; Swennen et al., 2006). Egyes vizsgálatokban a takarmány energia- és nyersfehérjetartalmának együttes csökkentése az AMEn-nyersfehérje arány azonos szinten tartása mellett sikeresen megakadályozta a hasúri zsír felhalmozódását, de a brojlerok növekedési teljesítménye romlott (Bihan-Duval et al., 2020; Przybylski et al., 2022). Saját vizsgálatunkban az LP kezelések AMEn-nyersfehérje aránya közel azonos volt, de csak az LPM kezelés okozott a hasúri zsír arányában szignifikáns növekedést. A

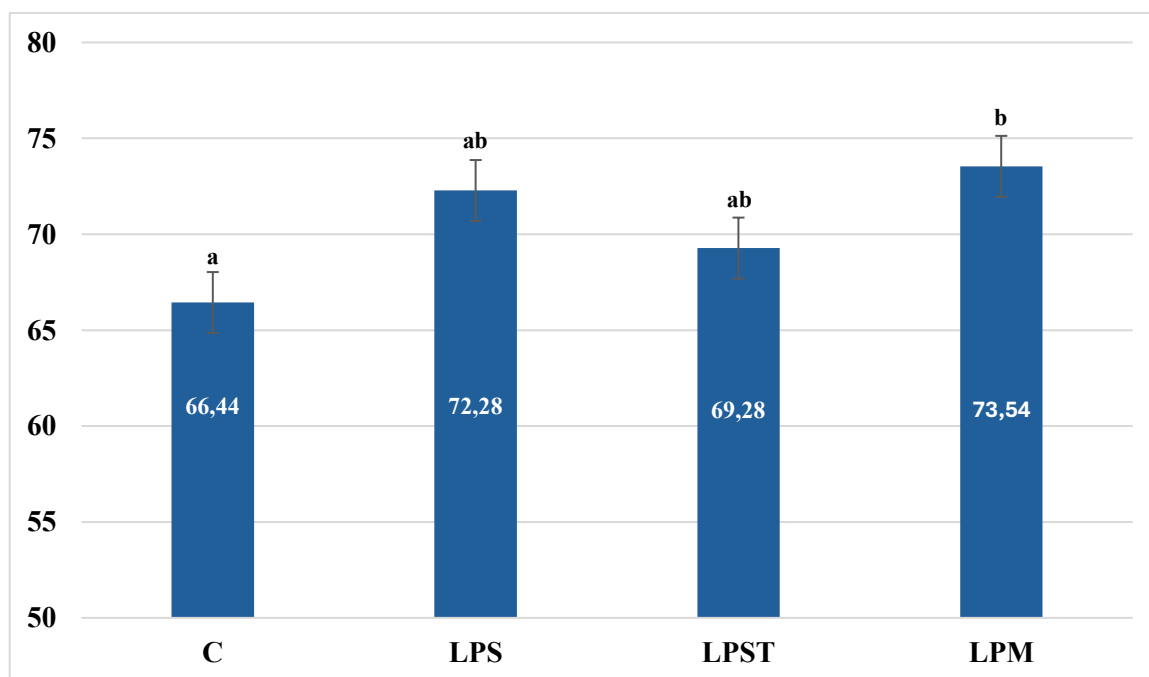
szintetikus Gly-kiegészítés alkalmazása csökkentheti az LP-takarmányokkal etetett brojlerek elzsírosodását (Lee et al., 2022; Hejdysz et al., 2022; Elahi et al., 2020). Baromfival, patkányokkal és sertésekkel végzett vizsgálatok szerint a takarmányban lévő Gly vagy betain (trimetilglicin) koncentrációjának növelése serkenti a lipidek oxidációját, és csökkenti a trigliceridek plazmakoncentrációját és a zsírlerakódást (Fouad és El-Senousey, 2014; El Hafidi et al., 2004; Zhong et al., 2021). Ezzel szemben a sertéshúsliszt használata az LPM takarmány kezelések Gly+Ser koncentrációjának növelése érdekében ellentétes eredményekhez vezetett jelen tanulmányunkban. Feltételezzük, hogy az LPM keverékben az LPS és LPST takarmányokhoz képest nagyobb keményítő-nyersfehérje arány a fő oka a szignifikánsan megnövekedett hasúri zsír aránynak. Ha az LPM csoportban a szöveti fehérje képződése csökkent a magas keményítő-nyersfehérje arány miatt, ahogy azt a vágási kihozatal eredménye alapján feltételezzük, a képződött energiatöbblet a hasúri zsír felhalmozódásához vezethetett. A nagyobb hasúri zsír arány egy másik lehetséges magyarázata a megnövekedett acetyl-CoA-koncentráció a májban, amely az LP takarmányok viszonylag magas keményítő tartalmának következménye (Liu et al., 2021). Az acetyl-CoA a zsírsavszintézis prekursoraként szolgálhat, és számos enzim aktivitását befolyásolhatja (Liu et al., 2021). A 6 és 4%-os sertéshúsliszttel kiegészített LP keverékeknek a vágási kihozatalra és a hasúri zsírra gyakorolt negatív hatásai további vizsgálatokat igényelnek. Az aminosavak egyensúlya mellett a fő táplálóanyagok, a keményítő, a lipidek és a fehérje emésztési folyamatait is célszerű figyelembe kell venni az LP takarmányok továbbfejlesztése során.

A takarmány Thr-Gly szintjének kölcsönhatásait az LP takarmányt fogyasztó brojlerek húsmínőségére eddig még nem vizsgálták. A jelen kísérletben a mellfilé pH-ja és csepegési vesztesége nem mutatott szignifikáns változást a különböző Thr és Gly_{equi} koncentrációjú LP kezelések hatására. A csepegési veszteség a hús víztartó képességével függ össze, és befolyásolja annak érzékszervi és technológiai minőségét. Jól ismert a baromfihús csepegési vesztesége és a végső pH közötti negatív kapcsolat (Bihan-Duval et al., 2020; Beauclercq et al., 2017). Az LP takarmányok a hús nagyobb végső pH-értékét és kisebb csepegési veszteségét (Striffler et al., 2023; Belloir et al., 2019) eredményezhetik. A hús nagyobb csepegési vesztesége savasabb kémhatással jár együtt, nagyobb glükóz- és glikogénszinttel, illetve glikolitikus potenciállal (Bihan-Duval et al., 2020; Przybylski et al., 2022; Beauclercq et al., 2017). Az izomszövetben felhalmozódott glikogén post mortem lebontása felelős a hús megfelelő savasságáért a vágás után. Ha nem áll rendelkezésre megfelelő mennyiségű glikogén, a hús pH-ja kevésbé savas lesz, és a hús víztartó képessége nagyobb. A hús csepegési vesztesége összefüggésbe hozható a felesleges aminosavak mennyiségével is (Belloir et al., 2019). A fel nem használt aminosavak dezaminálása után a

szénláncot az izomszövet felhasználja különféle szénhidrátok, például glikogén szintézisére. Ez alapján jelen kísérletünk esetében elmondható, hogy a kísérleti keverékeink hasonló, kiegyensúlyozott aminosav ellátást biztosítottak aminosav felesleg nélkül vagy hasonló mennyiségű felesleges aminosavval a mellizomban.

5.3.4. Nitrogén-retenció és a brojlerürülék nitrogéntartalmú vegyületeinek koncentrációja

A kísérleti kezelések hatása a brojlercsirkék N-retenciójára szignifikáns mértékű volt (66,4, 72,3, 69,3 és 73,5% a C, LPS, LPST és LPM csoportokban; 9. ábra; $P < 0,05$). Az LPM csoport kísérleti állatai szignifikánsan nagyobb N-retenciót értek el, mint a C csoport egyedei ($P < 0,05$). Az ürülék átlagos szárazanyag-tartalma 21,0, 23,9, 24,4 és 22,4 % volt a C, LPS, LPST és LPM kezelési csoportokban és csupán tendenciális növekedést mutatott az LP csoportokban a C kezeléshez képest ($p = 0,109$). A kísérleti kezelések nem befolyásolták szignifikánsan a bélsár-N, húgysav-N, NH_4^+ -N, vizelet-N és összes-N koncentrációját a brojlercsirkék ürülékében (36. táblázat). A vizelet-N aránya az ürülékben lévő összes-N tartalommal belül 43,1, 42,7, 42,3 és 42,7% volt a C, LPS, LPST és LPM csoportokban, és ezeket az értékeket a takarmányozási kezelések nem befolyásolták igazolható mértékben ($p > 0,05$).



9. ábra A takarmányozási kezelések hatása a N-retencióra (% ± SEM)

C – kontrollcsoport; LPS – extrahált szójadara alapú takarmány csökkentett nyersfehérje-tartalommal (-2%); LPST – extrahált szójadara alapú, fehérjecsökkentett (-2%) takarmány nagyobb kristályos L-treonin-kiegészítéssel; LPM – csökkentett nyersfehérje tartalmú (-2%) takarmány, amelyben az extrahált szójadarat részben sertés húsliszttel helyettesítettük; ^{a-b} Az azonos betűket nem tartalmazó átlagok szignifikánsan különböznek egymástól ($P < 0,05$)

36. táblázat: Az ürülék különböző N-tartalmú vegyületeinek koncentrációja brojlerürülékben (átlag ± SEM; n=12 brojler/kezelés)

Kezelés ¹	Bélsár-N	NH ₄ ⁺ -N	Húgysav-N	Vizelet-N ²	Összes-N
mg/g szárazanyag					
C	21,87 ± 0,71	3,91 ± 0,25	12,64 ± 0,43	16,55 ± 0,61	38,42 ± 1,21
LPS	20,37 ± 1,19	3,39 ± 0,18	11,69 ± 0,60	15,08 ± 0,72	35,47 ± 1,79
LPST	23,06 ± 1,23	3,98 ± 0,14	12,86 ± 0,69	16,84 ± 0,80	39,90 ± 1,98
LPM	21,32 ± 1,12	4,01 ± 0,23	11,89 ± 0,69	15,91 ± 0,87	37,23 ± 1,83
P-érték	NS ³	NS	NS	NS	NS

¹C - kontrollcsoport; LPS - extrahált szójadara alapú takarmány csökkentett nyersfehérje-tartalommal (-2%); LPST - extrahált szójadara alapú, fehérjecsökkentett (-2%) takarmány nagyobb kristályos L-treonin-kiegészítéssel; LPM – csökkentett nyersfehérje tartalmú (-2%) takarmány, amelyben az extrahált szójadarat részben sertés húsliszttel helyettesítettük; ²A vizelet-N-t az NH₄⁺-N és a húgysav-N összegeként kaptuk meg; ³ NS – nem szignifikáns (P>0,05)

Kísérletünkben a brojlerek N-retenciójának hatékonysága az LP takarmányok alkalmazásával 3-7%-kal javult a kontrollhoz képest, és ez a javulás összhangban van a korábban publikált eredményekkel (2-13%) (Mansilla, 2023; Aletor et al., 2000; Jackson et al., 1982). A Thr-Gly aminosavakkal kiegészített LP keverékek dózis-hatás vizsgálatai eddig nem számoltak be a brojlercsirkék N-visszatartási hatékonyságáról (Corzo et al, 2009; Ospina-Rojas et al., 2013a, Ospina-Rojas et al., 2013b; Star et al., 2021). A N-retenció átlagos növekedése +2,63% / nyersfehérje százalékpont volt, ami valamivel kisebb, mint a Belloir et al. (2017) által publikált +3,2%-os érték. A N-retenció tekintetében a C és LPM kezelések között alakult ki szignifikáns különbség, a húslisztet fogyasztó állatok magasabb retenciós értéket értek el, mint a kontroll takarmányt fogyasztó egyedek. Eredményeink alapján az LP takarmányokban 2%-os nyersfehérje-tartalom csökkentés mellett megvalósított Gly_{equi} szint növeléssel elérhető a N-retenció hatékonyságának javítása, mint ahogy a kedvezőbb takarmányértékesítés is a befejező fázisban. Az LPS és LPM kezeléseknél rendkívül előnyös, 70%-nál nagyobb N-retenciós értékeket mértünk, amelyekhez hasonló eredményekről más kutatócsoportok is beszámoltak (Siegert et al., 2016; Belloir et al., 2017). A N-hasznosítás növekvő hatékonysága modellszámítások alapján csökkenti a húgysavszintézishez szükséges Gly_{equi} mennyiségét (Goldstein és Skadhauge, 2000; Hofmann et al., 2019). A becslések azt mutatják, hogy a 70%-nál nagyobb N-retenció esetén csak kevesebb, mint 10 g/kg Gly_{equi} szükséges a húgysavszintézishez. A baromfitrágyából felszabaduló ammónia nagy része a húgysav lebontásából származik (Santoso et al., 1999). Az LP takarmányok etetése csökkentheti a brojler vérplazma húgysavszintjét (Star et al., 2021), valamint az ürülék húgysav, összes- és vizelet-N koncentrációját (Belloir et al., 2017; Such et al., 2021; Strifler et al., 2023). A jelen kísérlet eredményei azonban nem erősítették meg a N-emisszióval kapcsolatos korábbi vizsgálatok kedvező eredményeit. A kontroll keverékkel etetett brojlerek húgysav koncentrációja az ürülékben már meglehetősen alacsony volt (12,54 mg/g szárazanyag), és a további csökkentés

valószínűleg már nem volt lehetséges az LP takarmányok alkalmazásával. Előző két kísérletünkben, amikor a normál nyersfehérje-tartalmú takarmányt fogyasztó brojlerek ürülékében a jelen kísérletben mért húgysav szintnél nagyobb koncentrációkat mértünk (17,65 és 15,30 mg/g szárazanyag), az LP takarmányok etetése szignifikánsan csökkentette a húgysavszintet az ürülékben (Such et al., 2021; Striffler et al., 2023).

5.3.5. A keményítő és az aminosavak látszólagos ileális emészthetősége

A keményítő- és az aminosavak látszólagos ileális emészthetőségét a 37. táblázat tartalmazza. A keményítő ileális emészthetőségében nem találtunk szignifikáns eltérést a csoportok között. Az aminosav átlagos emészthetősége ugyanakkor szignifikáns mértékben ($P < 0,05$) változott az egyes csoportokban. Az aminosavak átlagos ileális emészthetősége az LPM csoportban szignifikánsan nagyobb volt (89,05%), mint a kontrollcsoportban (86,76%). Az LPS és LPST csoport eredménye nem különbözött a C csoporttól ($P > 0,05$). Az LP kezelések között e paraméter esetében nem volt szignifikáns különbség.

37. táblázat: A kísérleti kezelések hatása a keményítő és az aminosav látszólagos ileális emészthetőségére (átlag $\pm$ SEM; $n=12$ brojler kezelésenként)

Kezelés ¹	Keményítő	Aminosavak (átlagos)
C	89,61 $\pm$ 0,37	86,76 $\pm$ 0,34 ^a
LPS	88,94 $\pm$ 0,44	88,12 $\pm$ 0,47 ^{ab}
LPST	89,38 $\pm$ 0,49	88,25 $\pm$ 0,43 ^{ab}
LPM	89,49 $\pm$ 0,35	89,05 $\pm$ 0,40 ^b
P-érték	NS ²	<0,05

¹C - kontrollcsoport; LPS - extrahált szójadara alapú takarmány csökkentett nyersfehérje-tartalommal (-2%); LPST - extrahált szójadara alapú, fehérjecsökkentett (-2%) takarmány nagyobb kristályos L-treonin-kiegészítéssel; LPM – csökkentett nyersfehérje tartalmú (-2%) takarmány, amelyben az extrahált szójadarat részben sertés húsliszttel helyettesítettük; ²NS – nem szignifikáns ($P > 0,05$), ^{a-b} Az azonos betűket nem tartalmazó átlagok szignifikánsan különböznek egymástól ($P < 0,05$)

A kísérleti kezelések hatását az egyes aminosavak látszólagos ileális emészthetőségére a 38-41. táblázatok tartalmazzák. Megfigyelhető, hogy az egyes aminosavak ileális emészthetőségi értékei között jelentős eltérések vannak. A lizin és a treonin esetében az LPS és LPST kezelések eredményeztek szignifikáns javulást a kontrollal szemben. A húslisztet tartalmazó LPM kezelés nem különbözött szignifikánsan egyik csoporttól sem. A valin és az arginin ileális emészthetősége mindegyik LP csoportban a kontrollnál nagyobb volt ($P < 0,05$). A húslisztet tartalmazó LPM takarmányt fogyasztó állatokban szignifikánsan ($P < 0,05$) nagyobb a metionin látszólagos ileális emészthetősége a C és LPST csoporttal összehasonlítva. A hisztidin, a prolin, illetve a cisztein ileális emészthetősége az LPM csoportban volt a legnagyobb. Továbbá a hagyományos kukorica-szója alapú fehérjecsökkentett LPS kezelés javította még szignifikánsan a prolin emészthetőségét

a C és LPST kezelésekkel szemben. Az LPS és LPM csoportokban nagyobb ($P<0,05$) látszólagos aszparaginsav emészthetőséget értek el, mint a kontroll kezelés egyedei.

38. táblázat: A kísérleti kezelések hatása egyes esszenciális aminosavak látszólagos ileális emészthetőségére (átlag $\pm$ SEM; n=12 brojler kezelésként)

Kezelés ¹	Lizin	Metionin	Treonin	Arginin
C	86,32 $\pm$ 0,59 ^a	90,71 $\pm$ 0,56 ^a	77,69 $\pm$ 0,60 ^a	88,35 $\pm$ 0,26 ^a
LPS	88,30 $\pm$ 0,57 ^b	91,46 $\pm$ 0,27 ^{ab}	82,42 $\pm$ 0,84 ^b	89,91 $\pm$ 0,42 ^b
LPST	88,46 $\pm$ 0,44 ^b	90,55 $\pm$ 0,44 ^a	80,95 $\pm$ 0,96 ^b	90,60 $\pm$ 0,41 ^b
LPM	87,85 $\pm$ 0,29 ^{ab}	93,10 $\pm$ 0,33 ^b	80,43 $\pm$ 0,57 ^{ab}	91,11 $\pm$ 0,28 ^b
P-érték	<0,05	<0,001	<0,05	<0,001

¹C - kontrollcsoport; LPS - extrahált szójadara alapú takarmány csökkentett nyersfehérje-tartalommal (-2%); LPST - extrahált szójadara alapú, fehérjecsökkentett (-2%) takarmány nagyobb kristályos L-treonin-kiegészítéssel; LPM - csökkentett nyersfehérje tartalmú (-2%) takarmány, amelyben az extrahált szójadarat részben sertés húsliszttel helyettesítettük; ² NS - nem szignifikáns ($P>0,05$), ^{a,b} Az azonos betűket nem tartalmazó átlagok szignifikánsan különböznek egymástól ($P<0,05$)

39. táblázat: A kísérleti kezelések hatása egyes esszenciális aminosavak látszólagos ileális emészthetőségére (átlag $\pm$ SEM; n=12 brojler kezelésként)

Kezelés ¹	Valin	Leucin	Izoleucin	Hisztidin
C	86,05 $\pm$ 0,93 ^a	89,85 $\pm$ 0,37	87,23 $\pm$ 0,34	89,59 $\pm$ 0,42 ^a
LPS	88,47 $\pm$ 0,40 ^b	90,29 $\pm$ 0,68	89,42 $\pm$ 0,56	89,98 $\pm$ 0,57 ^a
LPST	88,61 $\pm$ 0,44 ^b	90,45 $\pm$ 0,43	89,82 $\pm$ 0,48	90,72 $\pm$ 0,43 ^a
LPM	89,08 $\pm$ 0,37 ^b	91,60 $\pm$ 0,31	89,37 $\pm$ 2,00	93,00 $\pm$ 0,24 ^b
P-érték	<0,05	NS	NS	<0,001

¹C - kontroll csoport; LPS - extrahált szójadara alapú takarmány csökkentett nyersfehérje-tartalommal (-2%); LPST - extrahált szójadara alapú, fehérjecsökkentett (-2%) takarmány nagyobb kristályos L-treonin-kiegészítéssel; LPM - csökkentett nyersfehérje tartalmú (-2%) takarmány, amelyben az extrahált szójadarat részben sertés húsliszttel helyettesítettük; ² NS - nem szignifikáns ($P>0,05$), ^{a,b} Az azonos betűket nem tartalmazó átlagok szignifikánsan különböznek egymástól ($P<0,05$)

40. táblázat: A kísérleti kezelések hatása egyes esszenciális és feltételesen esszenciális aminosavak látszólagos ileális emészthetőségére (átlag $\pm$ SEM; n=12 brojler kezelésként)

Kezelés ¹	Fenilalanin	Prolin	Tirozin	Cisztein
C	89,35 $\pm$ 0,55	95,30 $\pm$ 0,26 ^a	81,86 $\pm$ 0,38	79,60 $\pm$ 1,29 ^{ab}
LPS	89,92 $\pm$ 0,64	96,59 $\pm$ 0,17 ^b	82,25 $\pm$ 0,96	79,29 $\pm$ 0,83 ^a
LPST	89,67 $\pm$ 0,45	95,85 $\pm$ 0,12 ^a	81,42 $\pm$ 0,69	81,41 $\pm$ 0,98 ^{ab}
LPM	89,22 $\pm$ 0,49	97,39 $\pm$ 0,14 ^c	80,97 $\pm$ 0,72	83,40 $\pm$ 0,66 ^b
P-érték	NS	<0,001	NS	<0,05

¹C - kontrollcsoport; LPS - extrahált szójadara alapú takarmány csökkentett nyersfehérje-tartalommal (-2%); LPST - extrahált szójadara alapú, fehérjecsökkentett (-2%) takarmány nagyobb kristályos L-treonin-kiegészítéssel; LPM - csökkentett nyersfehérje tartalmú (-2%) takarmány, amelyben az extrahált szójadarat részben sertés húsliszttel helyettesítettük; ²NS - nem szignifikáns ($P>0,05$), ^{a,b} Az azonos betűket nem tartalmazó átlagok szignifikánsan különböznek egymástól ($P<0,05$)

41. táblázat: A kísérleti kezelések hatása egyes nem esszenciális aminosavak látszólagos ileális emészthetőségére (átlag $\pm$ SEM; n=12 brojler kezelésként)

Kezelés ¹	Alanin	Aszparaginsav	Glutaminsav	Szerin	Glicin
C	85,60 $\pm$ 0,77 ^a	85,42 $\pm$ 0,44 ^a	92,44 $\pm$ 0,76	88,22 $\pm$ 0,64	81,36 $\pm$ 0,89
LPS	88,67 $\pm$ 0,59 ^b	87,35 $\pm$ 0,49 ^b	92,12 $\pm$ 0,70	88,61 $\pm$ 0,40	82,99 $\pm$ 0,55
LPST	89,35 $\pm$ 0,32 ^{bc}	86,80 $\pm$ 0,39 ^{ab}	92,83 $\pm$ 0,33	88,43 $\pm$ 0,85	84,23 $\pm$ 0,74
LPM	91,21 $\pm$ 0,39 ^c	88,07 $\pm$ 0,38 ^b	94,30 $\pm$ 0,22	90,41 $\pm$ 0,42	83,30 $\pm$ 0,52
P-érték	<0,001	<0,05	NS	NS	NS

¹C - kontrollcsoport; LPS - extrahált szójadara alapú takarmány csökkentett nyersfehérje-tartalommal (-2%); LPST - extrahált szójadara alapú, fehérjecsökkentett (-2%) takarmány nagyobb kristályos L-treonin-kiegészítéssel; LPM – csökkentett nyersfehérje tartalmú (-2%) takarmány, amelyben az extrahált szójadarat részben sertés húsliszttel helyettesítettük; ² NS – nem szignifikáns (P>0,05), ^{a,b} Az azonos betűket nem tartalmazó átlagok szignifikánsan különböznek egymástól (P<0,05).

A keményítő és az aminosavak abszorpciójának mértéke befolyásolhatja a brojlerok termelési jellemzőit, a végtermék minőségét (Croom et al., 1999). Ellentétben a 2. kísérlet eredményeivel, a kísérleti kezelések nem befolyásolták szignifikáns módon a keményítő emészthetőségét, habár ebben a kísérletben is csökkentettük a takarmányok nyersfehérje-tartalmát (LP csoportok), miközben nőtt e tápok keményítőtartalma. Döntő különbség viszont a két kísérlet között, hogy a 2. kísérletünkben az LP2-3 tápok csökkentett AMEn tartalmúak voltak, ami pozitívan hatott a keményítő emészthetőségére. A 3. kísérletben a kontroll táppal azonos energiatartalmú LP keverékek – ahogy a 2. kísérlet LP1 keveréke esetében is tapasztaltuk – etetése nem okozott lényeges különbséget a keményítő emészthetőségében. Az állat szervezetében elsősorban energiaként hasznosuló keményítő emészthetőségét eredményeink szerint nagyobb mértékben befolyásolja az energia, mint a fehérje- és aminosav-ellátás. Bár ahogy a 2. kísérlet értékelésénél is kifejtettem, az aminosavak és a glükóz felszívódása a Na⁺ mennyisége és elérhetősége miatt kompetitív is lehet (Alvarado és Robinson, 1975; Murer et al., 1975; Stevens et al., 1984), a kompetíció létrejötte feltételezhetően függ a keményítő mennyiségétől. Moss et al. (2018) kísérletükben szintén fehérjecsökkentett brojlercsirke takarmányozással foglalkoztak, vizsgálva a fehérje/aminosavak, illetve a keményítő emésztési dinamikáját. Esetükben a fehérjecsökkentés hatására a kukoricából származó keményítő 81,3%-kal növekedett meg a keverékben. Ennek következtében a keményítő emészthetősége szignifikánsan emelkedett a fehérjecsökkentett kezeléseknél, míg a fehérje, illetve az aminosavak emészthetősége általánosságában véve romlott, ami alátámasztja a glükóz és az aminosavak felszívódásával kapcsolatos kompetíció elméletét. A saját kísérleti keverékeinknél a keményítő arányának növekedése az LP takarmányokban csupán 17-22%-os volt, ami valószínűleg nem okozott nagymértékű kompetíciót a keményítőtől származó glükóz és az aminosavak felszívódásában. Kísérletünkben a fehérjecsökkentés szignifikánsan növelte hat esszenciális aminosav látszólagos ileális emészthetőségét hasonlóan a 2. kísérlethez, amikor kilenc esszenciális aminosav esetében javult az ileális emészthetőség %-os

értéke a fehérjecsökkentés hatására. Ez a javulás részben a fehérjecsökkentett takarmányokban nagyobb arányban alkalmazott kristályos aminosavaknak a fehérjében kötött aminosav formához képest gyorsabb felszívódásából adódott (Wu, 2009). Ezen túlmenően a látszólagos aminosav-emészthetőségi együtthatók növekedéséhez hozzájárulhatott a fehérjecsökkentett tápok etetésének hatására lecsökkenő endogén aminosav hányad is. A több szabad aminosavat és kevesebb „ép” fehérjét tartalmazó csökkentett nyersfehérje-tartalmú takarmányok csökkentik az endogén aminosavak fontos forrásainak számító pepszin, tripszin és egyéb proteolitikus enzimek, valamint a mucin szekrécióját, megnövelve a látszólagos emészthetőségi együtthatókat (Lien et al., 2001).

6. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

A doktori kutató munkám során elvégzett mindhárom kísérletemben az LP takarmánykeverékek esetében a fehérjecsökkentés mértéke 1,5 vagy 2,0 % volt a kontroll tápokhoz képest. Eredményeink megerősítik a már ismert összefüggést, hogy a brojlerhibridek szükségleteihez képest megvalósított kb. 2%-os nyersfehérje csökkentés a termelési eredmények romlása nélkül megvalósítható, a receptúráink összeállítása során alkalmazott elvek használata a gyakorlat számára is biztonsággal ajánlható. A kísérleti állatok aminosav szükségletének kielégítése az „ideális fehérje” elv alapján, emészthető aminosav alapon történt. Az izokalorikus módon összeállított tápok nyersfehérje-tartalmának csökkentése esetén hatféle kristályos aminosav kiegészítőt alkalmaztam (L-lizin, DL-metionin, L-valin, L-treonin, L-arginin, L-izoleucin), és így sikerült elérni, hogy a legfontosabb esszenciális aminosavak (a lizin, metionin, metionin+cisztein, treonin, valin és izoleucin) SID koncentrációja a szükségleti értéknek megfelelő, a kontroll tápokkal megegyező szinten maradjon. Ettől eltérően a kontroll tápokban szintetikus arginin kiegészítés nélkül is nagyobb volt a SID arginin szintje a szükségleti értékeknél. Az LP tápokban a kristályos arginin kiegészítésekkel viszont a szükségletet kielégítő SID arginin koncentrációkat biztosítottam, ami a kontroll és a fehérjecsökkentett tápok között csak kismértékű (0,5-1,2 g/kg) koncentráció különbségeket eredményezett a kontroll kezelések javára. A fentiekben részletezett aminosav összetételű, csökkentett fehérje-tartalmú tápok etetésével a brojler termelési eredményei nem romlanak a kontroll tápokhoz képest, sőt, ahogy az 1. kísérlet nevelő és a befejező fázisában a súlygyarapodás és a takarmányértékesítés, illetve a 3. kísérlet befejező fázisában a súlygyarapodás, a termelési paraméterek szignifikáns javulása is elérhető a normál fehérje-tartalmú kontroll tápsorral szemben.

Az 1. kísérlet eredményei alapján elmondható, hogy az alkalmazott probiotikum (*Bacillus amyloliquefaciens* CECT 5940) kiegészítés normál és csökkentett nyersfehérje-tartalmú tápok esetében egyaránt a gyakorlatban valószínűleg nem javítja a hizlalási teljesítmény paramétereit, viszont csökkentett nyersfehérje-tartalmú tápokkal együtt etetve mérsékelheti a hasúri zsír felhalmozódását. A kísérletben tapasztalt pozitív hatás hátterében a probiotikum kezelés következtében a májban lecsökkent triglicerid szintézis, kisebb acetil-CoA karboxiláz enzim aktivitás állhat. Bár kokcidiózisra utaló tüneteket nem tapasztaltunk, véleményem szerint a kísérletben a kokcidiosztatikumok helyett alkalmazott kokcidiózis vakcina kisebb hatékonyságának szerepe lehetett abban, hogy az elvégzett szubjektív megfigyelésen alapuló emésztőkészülék vizsgálat során szokatlanul nagy gáztartalmú beleket, kifejezetten élénkvörös Peyer-plakkokat mutattunk ki. Az alkalmazott probiotikum a tápok nyersfehérje koncentrációjától függetlenül alkalmas volt a béltartalom állapotának javítására, a belekben megfigyelt intenzív

gázképződés csökkentésére és az immunrendszer támogatására (élénkvörös Peyer-plakkok előfordulási arányának csökkentése). Érdemes volna a probiotikum kezelést objektív, kvantitatív összehasonlításra alkalmas módszerekkel, illetve kokcidosztatikumot tartalmazó tápok esetében is vizsgálni a jövőben.

Az LP takarmánykeverékek eltérő AMEn/nyersfehérje arányát vizsgáló 2. kísérletben az LP takarmányok AMEn/nyersfehérje aránya nagyobb volt, mint a kontroll (C) takarmányé, a takarmány AMEn relatív csökkenése az LP2-3 diétákban kisebb volt, mint a nyersfehérje 6,5, 7,0 és 8,0%-os relatív csökkenése az indító, a nevelő és a befejező fázisban. Az energiacsökkentések (LP2-3) negatívan befolyásolták a kontrollhoz viszonyított növekedési teljesítményt, illetve az izoenergetikus LP1 takarmánykeverékkel elért, kontrollnál kedvezőbb N-retenciót és az ürülék bélsár-, húgysav- és összes-N koncentrációját. Az említett negatív hatások miatt a gyakorlat számára nem ajánlhatók a kísérletben alkalmazott energiacsökkentések, az LP tápok optimális energiatartalmának kialakítása érdekében javaslok az általam alkalmazott 1,5%-nál kisebb mértékű AMEn-csökkentések vizsgálatát. A kísérlet egyik fő célja volt, hogy az izokalorikus LP tápok esetében során gyakran tapasztalt megnövekedett hasúri zsír mennyiség csökkentésében eredményt érjünk el. Mivel a hasúri zsír relatív súlya kísérletünkben (0,4-0,7%) szokatlanul alacsony volt és sok korábbi kísérlettel ellentétben az izoenergetikus LP1 kezelés nem növelte szignifikánsan a hasúri zsír arányát a kontrollhoz képest, javaslatokat ezzel kapcsolatban nem sikerült megfogalmaznom. A takarmány AMEn tartalmának különbségét az LP1-3 keverékek között a takarmány nyerszsír tartalmának csökkentésével értem el, miközben a keményítő koncentrációja, így a keményítő/nyersfehérje és a keményítő/lipid arány nőtt. Az LP tápok nagyobb keményítő/nyersfehérje aránya ronthatja a takarmányértékesítést, amint az a kísérletem indító fázisában, illetve más kutatók vizsgálataiban kimutatható volt. Érdemes volna a téma további vizsgálata során az energiacsökkentést a tápok nyerszsír-tartalmának megváltoztatása nélkül, elsősorban a keményítő-tartalom csökkentése révén elérni, meghatározni a keményítő és nyerszsír koncentráció jelentőségét az LP tápok energiatartalmának beállítása során.

A 3. kísérletben a brojlerok eltérő glicin-ellátást vizsgáltam, a tápok eltérő Gly_{equi} és SID treonin koncentrációinak változtatásával. Az eredményekből levonható az a következtetés, hogy a nevelő és befejező fázisban alkalmazott 2%-os nyersfehérje-tartalom csökkentés (LPS kezelés; nevelőben 21%-ról 19%-ra, befejezőben 19%-ról 17%-ra) az ideális fehérje elvet követő aminosav ellátás mellett) nem eredményez olyan mértékű csökkenést a Gly-ellátásban, hogy az negatívan befolyásolja a brojlerok teljesítményét a kontroll kezeléshez képest. Az LPST kezelés a megnövelt Thr-ellátás hatását vizsgálta kristályos Thr kiegészítés segítségével. Az LPST tápokban a SID Thr koncentráció 0,10%-os, valamint a SID Thr/Lys arány 9,0%-os növekedése mind a nevelő, mind

a befejező szakaszban az LPS kezeléssel azonos Gly_{equi} érték mellett, a kontrollal összehasonlítva szignifikánsan javítani képes a hizlalás végi testsúlyt és a teljes hizlalásra vonatkozó takarmányértékesítést, miközben a vágóérték, a mellhús minősége, a N-retenció és -ürítés hasonlóan alakul. Az eredmények alapján az alkalmazott változtatások a Thr koncentrációban a gyakorlat számára is ajánlhatóak. A húslisztet, mint természetes glicin-forrást alkalmazó LPM takarmánykeverékkel a 2%-os nyersfehérje-tartalom csökkentés mellett a kontrollhoz hasonló Gly_{equi} koncentrációt biztosítva elérhető a hizlalási teljesítmény szinten tartása, a befejező fázisban akár a kedvezőbb takarmányértékeítés is, a N-retenció hatékonyságának javítása. A kezelés következtében viszont előfordulhat a vágóérték romlása, illetve a megnövekedett hasúri zsír arány, ezért a húslisztet tartalmazó LP táp receptúrájának további fejlesztése szükséges.

Mindhárom kísérletem eredményeit összegezve és kombinálva a gyakorlat számára Ross 308-as brojlerhibrid esetében egy olyan LP takarmánykeverék-sort javasolnék, amely a hizlalás teljes egészében a szükséglethez képest 2%-kal kisebb nyersfehérje-tartalommal rendelkezik, az ideális fehérje-elvhez igazodóan a legfontosabb esszenciális aminosavak (lizin, metionin, metionin+cisztein, arginin, valin, izoleucin) SID koncentrációja a szükségletnek megfelelő, illetve a SID treonin tartalom a szükségletet kb. 0,1%-kal meghaladja (saját kísérletben nevelőben 0,84%, befejezőben 0,74%), továbbá tartalmazza az általam vizsgált (*Bacillus amyloliquefaciens* CECT 5940) probiotikum készítményt 500 mg/kg koncentrációban. Az ajánlott táptól véleményem szerint elvárható a kontroll, hagyományos tápsorral elérhető, esetleg azt meghaladó hizlalási teljesítmény, hasonló vágóérték, hasúri zsír arány és mellhús minőség, nagyobb N-retenció és a N-emisszió szempontjából kedvezőbb összetételű (kisebb összes- és/vagy vizelet-N tartalmú) ürülék.

7. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Brojlercsirke (Ross 308) takarmánykeverékben a probiotikum (*Bacillus amyloliquefaciens* CECT 5940 tartalmú készítmény; 500 mg/kg) alkalmazása a kontroll nyersfehérje-tartalmú takarmányokat fogyasztó állatokban nem hatott a hasúri zsír arányára, a csökkentett nyersfehérje-tartalmú tápok (nevelő -1,5%, befejező -2,0%) esetében viszont szignifikánsan ($P<0,05$) csökkentette az elzsírosodás mértékét.
2. A kontroll takarmánykeverékhez képest a csökkentett nyersfehérje- (-1,5%), illetve energiatartalmú (AMEn értéke relatív -1,5 és -3,0%) tápok etetése szignifikánsan ($P<0,05$) csökkentette a brojlercsirkék testsúlyát, valamint súlygyarapodását, de nem befolyásolta a vágott test összetételét, a mellhús fehérje- és zsírtartalmát, illetve az ürülékben a különböző N-tartalmú vegyületek koncentrációját.
3. A kontroll takarmánykeverékhez képest a csökkentett nyersfehérje- (-1,5%), illetve energiatartalmú (AMEn értéke relatív -1,5 és 3%) tápok etetése szignifikánsan ($P<0,05$) javította a keményítő és valamennyi esszenciális aminosav látszólagos ileális emészthetőségét.
4. A csökkentett nyersfehérje-tartalmú takarmányban (nevelő és befejező szakaszban -2%) a technológiai ajánlásoknál 9%-kal nagyobb SID treonin:lizin arány szignifikánsan ($P<0,05$) javította a brojlercsirkék vágás kori élősúlyát, a teljes hizlalásra vonatkozó súlygyarapodást és takarmány-értékesítést, továbbá a lizin, a treonin, az arginin, alanin és a valin látszólagos ileális emészthetőségét.
5. A csökkentett nyersfehérje-tartalmú takarmányban (nevelő és befejező szakaszban -2%) a sertés húsliszt, mint gazdag glicinforrás alkalmazásával szinten tartott takarmány Gly_{equi} érték (15,77 g/kg a nevelő, 13,55 g/kg a befejező szakaszban) szignifikánsan ($P<0,05$) javítja a N-retenciót. Használata viszont növeli a takarmány keményítő/nyersfehérje arányát, ami negatívan befolyásolja a vágási kihozatalt, illetve megnöveli a hasúri zsír arányát.

8. ÖSSZEFOGLALÁS

Doktori kutató munkám során eltérő nyersfehérje- és energiatartalmú takarmányok brojlersírkékre kifejtett hatását vizsgáltam három modellkísérletben

Az első modellkísérletben brojlersírkék hizlalása során azt vizsgáltam, hogy a takarmány nyersfehérjetartalmának 1,5%-kal (nevelő fázis), illetve 2%-kal (befejező fázis) történő csökkentése, továbbá egy probiotikum (BA=*Bacillus amyloliquefaciens* CECT 5940 tartalmú készítmény; 500 mg/kg) kiegészítés hogyan hat a madarak termelési- és vágóérték paramétereire, valamint egyes bélegészségügyi tulajdonságokra. Összesen 576 Ross 308 genotípusú kakassal indult a kísérlet. A csírkék az indító fázisban (0-10. nap) nem részesültek nyersfehérje csökkentett takarmányozásban, csak konvencionális fehérjetartalmú indító takarmányt kaptak, valamint a kontroll keverék mellett probiotikum kiegészítésű keveréket fogyasztottak (C: kontroll nyersfehérje-tartalom; C+BA: kontroll nyersfehérje-tartalom+BA kiegészítés), kezelésenként 12 ismétlésben (fülkében), fülkénként 24 madárral. Nevelő- (11-24. nap) és befejező fázisban (25-39. nap) további két kezelési csoportot (LP: csökkentett nyersfehérje-tartalom; LP+BA: csökkentett nyersfehérje-tartalom+BA) alakítottak ki, kezelésenként 6 ismétlésben, fülkénként 24 brojlerral. A termelési mutatók (testsúly, súlygyarapodás, takarmányértékesítés) esetében a csökkentett nyersfehérje-tartalmú takarmányt fogyasztó egyedek szignifikánsan jobb eredményt értek el a kontroll csoport egyedeihez viszonyítva ($P<0,05$). A hizlalás 29. napján végzett bélegészségügyi vizsgálat során megállapítható volt, hogy a BA kiegészítés mérsékelte a gázképződést és a kipirult Peyer plakkok előfordulását a vékonybélben ($P<0,05$). Ezen kívül a nyersfehérje csökkentett takarmány hatására szignifikánsan csökkent a vékony bélfal tünet előfordulása ($P<0,05$). A kísérlet végén, a 39. napon végzett vágóérték vizsgálat alapján kijelenthető, hogy a fehérjecsökkentés statisztikailag igazolható módon megnövelte a hasúri zsír arányát ($P<0,05$). Az alkalmazott probiotikum a kontroll tápokkal takarmányozott csírkék esetében nem hatott a hasúri zsír relatív arányára, a fehérjecsökkentett tápok esetében viszont igazoltan csökkentette az elzsírosodás mértékét ($P<0,05$).

A második modellkísérletünk során eltérő csökkentett nyersfehérje tartalmú (LP) takarmányok brojlerre kifejtett hatását vizsgáltam izokalorikus (LP1) és két csökkentett AMEn szintű kezelés (LP2 és LP3) vonatkozásában. A kísérlet során vizsgáltuk a termelési paramétereket, vágóértéket, húsminőséget, nitrogénretenciót és az ürülék összetételét. Összesen 576 Ross 308 genotípusú kakassal indult a 41 napos kísérlet. Négy kezelést alakítottunk ki: kontroll (C) takarmány hagyományos nyersfehérje és energiaszinttel; LP1 1,5%-os nyersfehérje csökkentett, kontroll kezeléssel izokalorikus takarmány; LP2 1,5%-os nyersfehérje és AMEn szint csökkentés; LP3

takarmánykeverék -1,5%-kal csökkentett nyersfehérje-tartalommal és -3%-kal csökkentett AMEn tartalommal. Az LP takarmányok esetében hat esszenciális aminosav esetében kristályos aminosav-készítményekkel biztosítottuk a kezelések között megegyező SID értékeket, amelyek megfeleltek a brojlerok szükségleti értékeinek. A fehérjecsökkenett, izokalorikus LP1 kezelés nem befolyásolta szignifikánsan a termelési eredményeket, azonban növelte a relatív mellfilé kihozatalát, a nitrogénretenciót, valamint csökkentette a mellhús csepegési veszteségét és az ürülékben lévő összes-N és húgysav-N mennyiségét a kontroll kezeléshez képest. Habár az AMEn csökkentett LP2 és LP3 takarmányok a kontrollhoz képest alacsonyabb végsúlyt értek el, azonban nem eredményeztek eltérést vágóértékben, mellhús minőségben, nitrogénretencióban és az ürülék összetételében.

A harmadik modellkísérletem során a takarmány treonin és glicin ekvivalens tartalmának brojlerokra kifejtett hatását vizsgáltam csökkentett nyersfehérje tartalmú takarmányozás mellett. Összesen 576 Ross 308 genotípusú kakassal indult a kísérlet. Négy kezelést alakítottunk ki: kontroll (C) takarmány hagyományos nyersfehérje-tartalommal, valamint három nyersfehérje csökkentett (-2%) kezelés eltérő SID treonin:lizin aránnyal (C, LPS, LPM: 63%, LPST: 72%) és glicin ekvivalens szintekkel (C: 15.65 g/kg, LPS: 13.74 g/kg, LPST: 13.70 g/kg, LPM: 15.77). Az LP takarmányok nem befolyásolták a termelési eredményeket. Az LPST takarmányban megjelenő magasabb SID treonin:lizin arány (+9%) nagyobb testsúlygyarapodást eredményezett, valamint szignifikánsan javította a fajlagos takarmányértékesítést a teljes hizlalási időszakra vonatkoztatva a kontrollal szemben ($P < 0,05$). A befejező fázis legjobb takarmányértékesítését, illetve a legmagasabb nitrogénretenciót a húslisztet tartalmazó LPM kísérleti takarmányt fogyasztó csirkék érték el, amelyek takarmánya közel azonos Gly_{equi} szintet tartalmazott, mint a C kezelés ($P < 0,05$). Azonban az LPM takarmányban lévő magasabb keményítő:nyersfehérje arány negatívan befolyásolta a hasított test súlyát és megnövelte a brojlerok hasúri zsír beépülését ($P < 0,05$).

9. SUMMARY

During my doctoral research work, I investigated the effects of different crude protein and energy levels on broiler chickens in three model experiments.

In the first model experiment, the effects of dietary crude protein reduction by 1.5% (rearing phase) and 2% (finishing phase), as well as effect of supplementation with a probiotic (BA=*Bacillus amyloliquefaciens* CECT 5940 preparation; 500 mg/kg) on the production traits, carcass composition of the chickens and certain intestinal health properties were investigated. The experiment started with a total of 576 male Ross 308 one-day old chickens. Two treatments were used in the starter phase (days 0-10): a control diet (C: control crude protein level) and a probiotic supplemented diet (C + BA: control crude protein level + BA supplementation), in 12 replicates (pens) per treatment, with 24 birds per pen. Two additional treatment groups (LP: reduced crude protein level; LP + BA: reduced crude protein level + BA) were formed in the grower (days 11-24) and finisher phase (days 25-39), with 6 replicates per treatment and 24 birds per pen. In the case of the production traits (body weight, body weight gain, feed conversion ratio), the birds fed low protein diets showed significantly better results compared to the birds in the control protein level groups ($P < 0.05$). BA supplementation reduced the gas production (ballooning) and the occurrence of inflamed Peyer's patches in the small intestine according to the examination of gut health status performed at day 29 ($P < 0.05$). In addition, the occurrence of the symptom of thin intestinal wall was decreased by reduced crude protein feeding. Furthermore, the crude protein reduction of diets led to a significantly increased ratio of abdominal fat compared to the control diets ($P < 0.05$). The probiotic supplement did not influence the ratio of the abdominal fat in the control protein groups. However, dietary BA supplementation decreased the ratio of abdominal fat of broilers fed low protein diets significantly ($P < 0.05$).

In the the second model experiment the effects of feeding low protein (LP) diets with different energy-to-protein ratios were evaluated on the production parameters, carcass composition, meat quality, nitrogen retention, and excreta composition of broilers. A total of 576-day-old Ross 308 broilers were fed a control diet (C) and three LP diets containing 1.5% less crude protein than diet C for 41 days. The LP1 treatment was isocaloric with diet C, while the dietary apparent metabolizable energy corrected by nitrogen (AME_n) levels in the case of the LP2 and LP3 treatments were reduced by 1.5% and 3%, respectively. The LP diets were supplemented with six crystalline essential amino acids (AA) to meet the standardized ileal digestible AA requirements of broilers. The LP1 treatment did not affect the performance parameters of broilers and increased the breast meat yield, the nitrogen retention and decreased drip loss of breast meat and the total-N

and uric acid-N nitrogen excretion of birds in comparison with the C group. Although the energy-reduced LP2 and LP3 diets resulted in lower final body weight, they did not affect the carcass composition, breast meat quality, nitrogen retention, and excreta composition of birds compared with the control treatment.

The aim of third model experiment was to investigate the effects of three LP (LPS, LPST, LPM) grower (11–24 days) and finisher (25–35 days) diets with 2% CP reduction compared to the control (C), differing in standardized ileal digestible (SID) Thr to lysine (Lys) ratio (C, LPS, LPM: 63%, LPST: 72%) and Gly_{eq} levels (C: 15.65 g/kg, LPS: 13.74 g/kg, LPST: 13.70 g/kg, LPM: 15.77). The LP treatments did not impair the performance traits of broilers. The LPST treatment with increased SID Thr-to-Lys ratio (+9.0%) resulted in significantly higher body weight gain and a more advantageous feed conversion ratio in the whole fattening compared to the control treatment with normal CP level ($P < 0.05$). The LPM treatment containing swine meat meal with similar Gly_{eq} levels compared to the normal CP treatment led to the most advantageous feed conversion ratio in the finisher phase and the highest nitrogen retention efficiency ($P < 0.05$). However, the LPM treatment with a high starch-to-CP ratio negatively influenced the relative carcass weight and the ratio of abdominal fat of broilers ($P < 0.05$).

10. MELLÉKLETEK

M1. Irodalomjegyzék

Adedokun, S. A., Adeola, O., Parsons, C. M., Lilburn, M. S., Applegate, T. J. (2008): Standardized ileal amino acid digestibility of plant feedstuffs in broiler chickens and turkey poults using a nitrogen-free or casein diet. *Poult. Sci.*, 87, 2535–2548. p., doi: 10.3382/ps.2007-00387

Ahmat, M., Cheng, J., Abbas, Z., Cheng, Q., Fan, Z., Ahmad, B., Hou, M., Osman, G., Guo, H., Wang, J., Zhang, R. (2021): Effects of *Bacillus amyloliquefaciens* LFB112 on growth performance, carcass traits, immune, and serum biochemical response in broiler chickens. *Antibiot.*, 10, 1427-1443. p.

AKI (Agrárközgazdasági Intézet) (2022): Statisztikai jelentések. Takarmánygyártás, 2021. év. VII. évfolyam, 1. szám., <https://www.aki.gov.hu/termek/takarmanygyartas-2021-ev/>

Aletor, V. A., Hamid, I. I., Nieß, E., Pfeffer, E. (2000): Low-protein amino acid-supplemented diets in broiler chickens: effects on performance, carcass characteristics, whole-body composition and efficiencies of nutrient utilisation. *J. Sci. Food. Agric.* 80, 547–554 p. doi: 10.1002/(SICI)1097-0010(200004)80:5<547::AID-JSFA531>3.0.CO;2-C

Alvarado, F., Robinson, J. W. L. (1975): A kinetic study of the interaction between amino acids and monosaccharides at the intestinal brush-border membrane. *J. Physiol.*, 295, 457-475. p.

An, B. K., Cho, B. L., You, S. J., Paik, H. D., Chang, H. I., Kim, S. W., Yun, C. W., Kang, C. W. (2008): Growth performance and antibody response of broiler chicks fed yeast derived β -glucan and single- strain probiotics. *Asian Austral. J. Anim.*, 21, 1027–1032. p.

Anderson, D. P., Beard, C. W., Hanson, R. P. (1964): The adverse effects of ammonia on chickens including resistance to infection with Newcastle disease virus. *Avian Dis.*, 8 (3), 369-379. p.

ARC (Agricultural Research Council) (1981): The nutrient requirement of pigs. Commonwealth Agricultural Bureaux, Slough, UK.

AVEC (2024): AVEC Annual report. 07082-AVEC-annual-report-2024_WEB. https://avec-poultry.eu/wp-content/uploads/2024/08/07082-AVEC-annual-report-2024_WEB.pdf

Aviagen (2019): Ross Broiler: Broiler management handbook. Aviagen group, Cummings Research Park, 5015 Bradford Drive, Huntsville, AL 35805 USA

Aviagen (2019): Ross Broiler: Nutrition specifications. Aviagen group, Cummings Research Park, 5015 Bradford Drive, Huntsville, AL 35805 USA

Aviagen (2022): Ross Broiler: Nutrition specifications. Aviagen group, Cummings Research Park, 5015 Bradford Drive, Huntsville, AL 35805 USA

Awad, E. A., Zulkifli, I., Farjam, A. S., Chwen, L. T., Hossain, M. A., Aljuobori, A. (2016): Effect of low-protein diet, gender and age on the apparent ileal amino acid digestibility in broiler chickens raised under hot-humid tropical condition. *Indian J. Anim. Sci.* 86, 691–701. p.

Beauclercq S, Hennequet-Antier C, Praud C, Godet E, Collin A, Tesseraud S (2017): Muscle transcriptome analysis reveals molecular pathways and biomarkers involved in extreme ultimate pH and meat defect occurrence in chicken. *Sci Rep.* 6447. p., doi: 10.1038/s41598-017-06511-6

Belloir, P., Lessire, M., Van Milgen, J., Schmidley, P., Corrent, E., Tesseraud, S. (2015): Reducing dietary crude protein of broiler: a meta-analysis approach. 11^{èmes} Journées de la Recherche Avicoles et Palmipèdes a Foie Gras, Tours, France, 9, 539-544. p.

Belloir, P., Méda, B., Lambert, W., Corrent, E., Juin, H., Lessire, M., Tesseraud, S. (2017): Reducing the CP content in broiler feeds: impact on animal performance, meat quality and nitrogen utilization. *Animal.* 11, 1881–1889. p., doi: 10.1017/S1751731117000660

Belloir, P., Lessire, M., Lambert, W., Corrent, E., Berri, C., Tesseraud, S. (2019): Changes in body composition and meat quality in response to dietary amino acid provision in finishing broilers. *Animal.* 13, 1094–1102. p., doi: 10.1017/S1751731118002306

Bihan-Duval, E. L., Alnahhas, N., Pampouille, E., Berri, C., Abasht, B. (2020): Genetics and genomics of meat quality traits in poultry species. In: *Advances in poultry genetics and genomics*. London, United Kingdom: Burleigh Dodds Science Publishing

Bittman, S., Dedina, M., Howard, C. M., Oenema, O., Sutton, M. A. (2014): Options for ammonia mitigation: Guidance from the UNECE task force on reactive nitrogen. Centre for Ecology and Hydrology, Edinburgh, UK; ISBN: 978-1-906698-46-1

Blair, R., Jacob, J. P., Ibrahim, S., Wang, P. (1999): A quantitative assessment of reduced protein diets and supplements to improve nitrogen utilisation. *J. Appl. Poult. Res.*, 8, 25-47. p.

Bowker, B., Gamble, G., Zhuang, H. (2016): Exudate protein composition and meat tenderness of broiler breast fillets. *Poult. Sci.* 95, 133–137. p.

Bregendahl, K., Sell, J. L., Zimmerman, D. R. (2002): Effect of low-protein diets on growth performance and body composition of broiler chicks. *Poult. Sci.* 81, 1156–1167. p.

Brouček, J., Čermák, B. (2015): Emission of harmful gases from poultry farms and possibilities of their reduction. *Ekol. Bratisl.*, 34, 89–100. p.

- Caldas, J. V., Boonsinchai, N., Wang, J., England, J. A., Coon, C. N. (2019): The dynamics of body composition and body energy content in broilers, *Poult. Sci.*, 98 (2), 866-877. p., ISSN 0032-5791, <https://doi.org/10.3382/ps/pey422>.
(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032579119305607>)
- Cartman, S. T., La Ragione, R. M., Woodward, M. J. (2008): *Bacillus subtilis* spores germinate in the chicken gastrointestinal tract. *Appl. Environ. Microbiol.*, 74, 5254-5258. p.
- Charles, D. R., Payne, C. G. (1966): The influence of graded levels of atmospheric ammonia on chickens: I. Effects on respiration and on the performance of broilers and replacement growing stock. *Br. Poult. Sci.*, 7 (3), 177-187. p.
- Chrystal, P. V., Moss, A. F., Khoddami, A., Naranjo, V. D., Selle, P. H., Liu, S. Y. (2020a): Impacts of reduced-crude protein diets on key parameters in male broiler chickens offered maize-based diets. *Poult. Sci.*, 99, 505–516. p.
- Chrystal, P. V., Moss, A. F., Khoddami, A., Naranjo, V. D., Selle, P. H., Liu, S. Y. (2020b): Effects of reduced crude protein levels, dietary electrolyte balance, and energy density on the performance of broiler chickens offered maize-based diets with evaluations of starch, protein, and amino acid metabolism. *Poult. Sci.*, 99, 1421–1431. p.
- Chrystal, P. V., Moss, A. F., Yin, D., Khoddami, A., Naranjo, V. D., Selle, P. H., Liu, S. Y. (2020c): Glycine equivalent and threonine inclusions in reduced-crudeprotein, maize-based diets impact on growth performance, fat deposition, starch-protein digestive dynamics and amino acid metabolism in broiler chickens. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 261. p., 114387.
- Chrystal, P. V., Greenhalgh, S., McInerney, B. V., McQuade, L. R., Akter, Y., Dorigam, J. C. P., Selle, P. H., Liu, S. Y. (2021): Maize-based diets are more conducive to crude protein reductions than wheat-based diets for broiler chickens, *Anim. Feed Sci. and Technol.*, 275, 114867, ISSN 0377-8401, <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2021.114867>.
- Corzo, A., Kidd, M. T., Koter, M. D., Burgess, S. C. (2005): Assessment of dietary amino acid scarcity on growth and blood plasma proteome status of broiler chickens, *Poult. Sci.*, 84 (3) 419-425. p., ISSN 0032-5791, DOI: 10.1093/ps/84.3.419
- Corzo, A., Kidd, M. T., Dozier, W. A., Kerr, B. J. (2009): Dietary glycine and threonine interactive effects in broilers. *J. Appl. Poult. Res.*, 18, 79–84. p., doi: 10.3382/japr.2008-00078

- Coudert, E., Pascal, G., Dupont, J., Simon, J., Cailleau-Audouin, E., Crochet, S., et al. (2015): Phylogenesis and biological characterization of a new glucose transporter in the chicken (*Gallus gallus*), GLUT12. PLoS ONE 10(10): e0139517. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0139517>
- Croom, W. J., Brake, J., Coles, B. A., Havenstein, G. B., Christensen, V. L., McBride, B. W., Peebles, E. D., Taylor, I. L. (1999): Is intestinal absorption capacity rate-limiting for performance in poultry. J. Appl. Poult. Res., 8, 242-252. p.
- Davis, A. T., Austic, R. E. (1982): Threonine-degrading enzymes in the chicken. Poult. Sci., 61 (10), 2107-2111. p., DOI: 10.3382/ps.0612107
- Dean, W. F., Scott, H. M. (1965): The development of an amino acid reference diet for the early growth of chicks. Poult. Sci., 44 (3), 803-808. p.
- Dean, D. W., Bidner, T. D., Southern, L. L. (2006): Glycine supplementation to low protein, amino acid-supplemented diets supports optimal performance of broiler chicks. Poult. Sci., 85 (2), 288-296. p., <https://doi.org/10.1093/ps/85.2.288>.
- De Oliveira, M. J. K., Sakomura, N. K., de Paula Dorigam, J. C., Doranalli, K., Soares, L., da Silva Viana, G. (2019): *Bacillus amyloliquefaciens* CECT 5940 alone or in combination with antibiotic growth promoters improves performance in broilers under enteric pathogen challenge. Poult. Sci., 98, 4391–4400. p.
- de Jong, I. C., Bos, B., van Harn, J., Mostert, P., Te Beest, D. (2022): Differences and variation in welfare performance of broiler flocks in three production systems. Poult. Sci., 101 (7), 101933. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.101933>.
- D'Mello, J. P. F. (1973): Aspects of threonine and glycine metabolism in the chick (*Gallus domesticus*). Ann. Nutr. and Metab., 15 (6), 357-363. p.
- D'Mello, J. P. F. (2003): Amino acids as multifunctional molecules. Amino acids in animal nutrition. (2nd ed.), CAB International, London, 3. p.
- Ding, X. M., Li, D. D., Li, Z. R., Wang, J. P., Zeng, Q. F., Bai, S. P., Su, Z. W., Zhang, K. Y. (2016): Effects of dietary crude protein levels and exogenous protease on performance, nutrient digestibility, trypsin activity and intestinal morphology in broilers. Livest. Sci., 193, 26-31. p.
- Donham, K. J., Cumro, D., Reynolds, S. J., Merchant, J. A. (2000): Dose-response relationships between occupational aerosol exposures and cross-shift declines of lung function in poultry workers: recommendations for exposure limits. J. Occup. Environ. Med., 42 (3), 260-269. p.

- Dorigam, J. P. C., Sakomura, N. K., Silva, E. P., Wecke, C., Suender, A., Liebert, F. (2013): Optimal dietary amino acid ratio for broilers based on dietary amino acid dilution. Proc. 19th European Symposium on Poultry Nutrition, Potsdam, Germany. pp. ii-8. p. 250.
- Dozier, W.A., Meloche, K.J., Tillman, P.B., Jiang, Z. (2015): Growth performance of male broilers fed diets varying in digestible threonine to lysine ratio from 1 to 14 days of age¹. J. Appl. Poult. Res., 24 (4), 457-462.p. DOI: 10.3382/japr/pfv047
- Dublecz, K., Koltay, I., Such, N., Dublec, F., Husvéth, F., Wágner, L., Péterné Farkas E., Márton, A., Farkas, V., Pál, L. (2018): Lehetőségek a takarmányok nyersfehérje tartalmának csökkentésére monogasztrikus állatokban = Recent developments on feeding low protein diets with monogastric animals. Állatteny. és Tak., 67, 273-286. p.
- Dublecz, K., Benedek, Zs., Koltay, I. A. (2021): Húshasznú baromfi fajok és különböző genotípusú sertésekre vonatkozó kutatási feladatok támogatása. Kutatási jelentés, Agrárminisztérium.
- Dublecz, K., Kiss, B., Goitom Tewelde, K., Bartos, Á., Pál, L., Magyar, M., Benedek, Zs., Such, N. (2023): Az ammónia emisszió csökkentésének takarmányozási lehetőségei. Állatteny. és Tak., 72 (3), 231-246. p.
- El Hafidi, M., Pérez, I., Zamora, J., Soto, V., Carvajal-Sandoval, G., Baños, G. (2004): Glycine intake decreases plasma free fatty acids, adipose cell size, and blood pressure in sucrose-fed rats. Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol., 287, 1387–1393. p., doi: 10.1152/ajpregu.00159.2004
- Elahi, U., Wang, J., Ma, Y., Wu, S., Qi, G., Zhang, H. (2020): The response of broiler chickens to dietary soybean meal reduction with Glycine and cysteine inclusion at marginal sulfur amino acids (SAA) deficiency. Anim., 10, 1686. doi: 10.3390/ani10091686
- Elliott, H. A., Collins, N. E. (1982): Factors affecting ammonia release in broiler houses. Am. Soc. of Agric. Eng. Trans., 25, 413–418. p.
- Enting, H., Pos, J., Weurding, R. E., Veldman, A. (2005): Starch digestion rate affects broiler performance. Proc. Aust. Poult. Sci. Symp., 17, 17-20. p.
- Európai Bizottság (2025): Market Situation for Poultry. CMO GREX on Animal Products - 20 March 2025. https://agriculture.ec.europa.eu/farming/animal-products/poultry_hu

- Fancher, B. I., Jensen, L. S. (1989): Dietary protein level and essential amino acid content: influence upon female broiler performance during the grower period. *Poult. Sci.*, 68 (7), 897-908. p., doi: 10.3382/ps.0680897.
- Ferguson, N. S., Gates, R. S., Taraba, J. L., Cantor, A. H., Pescatore, A. J., Ford, M. J., Burnham, D. J. (1998): The effect of dietary crude protein on growth, ammonia concentration, and litter composition in broilers. *Poult. Sci.*, 77, 1481–1487. p.
- Fernandez, S. R., Aoyagi, S., Han, Y., Parsons, C. M., Baker, D. H. (1994): Limiting order of amino acids in corn and soybean meal for growth of the chick. *Poult. Sci.*, 73 (12), 1887-1896. p., doi: 10.3382/ps.0731887.
- Figuroa, J. L., Lewis, A. J., Miller, P. S., Fischer, R. L., Diedrichsen, R. M. (2003): Growth, carcass traits, and plasma amino acid concentrations of gilts fed low-protein diets supplemented with amino acids including histidine, isoleucine, and valine. *J. of Anim. Sci.*, 81 (6), 1529-1537. p., DOI: 10.2527/2003.8161529x
- Fouad, A. M., El-Senousey, H. K., Yang, X. J., Yao, J. H. (2013): Dietary L-arginine supplementation reduces abdominal fat content by modulating lipid metabolism in broiler chickens. *Anim.*, 7, 1239–1245. p.
- Fouad, A. M., El-Senousey, H. K. (2014): Nutritional factors affecting abdominal fat deposition in poultry: a review. *Asian Australas J. Anim. Sci.*, 27, 1057–1068. p., doi: 10.5713/ajas.2013.13702
- Franco, S. M., de C. Tavernari, F., Maia, R. C., Barros, V. R. S. M., Albino, L. F. T., Rostagno, H. S., Lelis, G. R., Calderano, A. A., Dilger, R. N. (2017): Estimation of optimal ratios of digestible phenylalanine + tyrosine, histidine, and leucine to digestible lysine for performance and breast yield in broilers. *Poult. Sci.*, 96 (4), 829 – 837. p., DOI: 10.3382/ps/pew305
- Gasparri, N. I., Grau, H. R., Angonese, J. G. (2013): Linkages between soybean and neotropical deforestation: coupling and transient decoupling dynamics in a multi-decadal analysis. *Global Environ. Change*, 23 (6), 1605-1614. p., DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2013.09.007
- GfE (1999): Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Legehennen und Masthühner (Broiler). Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie, Frankfurt am Main: DLG-Verlag, 185 p, ISBN 3-7690-0577-5.

- Giuberti, G., Gallo, A., Cerioli, C., Masoero, F. (2012): In vitro starch digestion and predicted glycemic index of cereal grains commonly utilized in pig nutrition. *Anim. Feed Sci. and Techn.*, 174 (3-4), 163-173. p., <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2012.03.006>
- Goldstein, D. L., Skadhauge, E. (2000): CHAPTER 11 - renal and Extrarenal regulation of body fluid composition In: GC Whittow, editor. *Sturkie's avian physiology*. 5th ed. San Diego: Academic Press. 265–297. p.
- Goliomytis, M., Panopoulou, E., Rogdakis, E. (2003): Growth curves for body weight and major component parts, feed consumption, and mortality of male broiler chickens raised to maturity, *Poult. Sci.*, 82 (7), 1061-1068. p., ISSN 0032-5791, <https://doi.org/10.1093/ps/82.7.1061>.)
- Greenhalgh, S., McInerney, B. V., McQuade, L. R., Chrystal, P. V., Khoddami, A., Zhuang, M. A. M., Liu, S. Y., Selle, P. H. (2020): Capping dietary starch:protein ratios in moderately reduced crude protein, wheat-based diets showed promise but further reductions generated inferior growth performance in broiler chickens from 7 to 35 days post-hatch *Anim. Nutr.*, 6, 168–178. p.
- Guaime, E. A. (2007): Effects of reduced protein, amino acid supplemented diets on production and economic performance of commercial broilers fed from hatch to market age. [Ph. D. Columbia: University of Missouri]
- Havenstein, G. B., Ferket, P. R., Qureshi, M. A. (2003a): Growth, livability, and feed conversion of 1957 versus 2001 broilers when fed representative 1957 and 2001 broiler diets. *Poult. Sci.*, 82, 1500-1508. p.
- Havenstein, G. B., Ferket, P. R., Qureshi, M. A. (2003b): Carcass composition and yield of 1957 versus 2001 broilers when fed representative 1957 and 2001 broiler diets. *Poult. Sci.*, 82, 1509-1518. p.
- Hejdysz, M., Bogucka, J., Ziółkowska, E., Perz, K., Jarosz, Ł., Ciszewski, A., Nowaczewski, S., Ślósarz, P., Kaczmarek, S. (2022): Effects of low crude protein content and glycine supplementation on broiler chicken performance, carcass traits, and litter quality. *Livest. Sci.*, 261, 104930. doi: 10.1016/j.livsci.2022.104930
- Herwig, E., Abbott, D., Schwan-Lardner, K. V., Classen, H. L. (2019): Effect of rate and extent of starch digestion on broiler chicken performance. *Poult. Sci.*, 98 (9), 3676-3684. p., <https://doi.org/10.3382/ps/pey580>

- Hidalgo, M. A., Dozier, W. A., Davis, A. J., Gordon, R. W. (2004): Live performance and meat yield responses of broilers to progressive concentrations of dietary energy maintained at a constant metabolizable energy-to-crude protein ratio. *J. Appl. Poult. Res.*, 13, 319–327. p.
- Hilliar, M., Huyen, N., Girish, C. K., Barekatain, R., Wu, S., Swick, R. A. (2019): Supplementing glycine, serine, and threonine in low protein diets for meat type chickens. *Poult. Sci.*, 98, 6857–6865. p., doi: 10.3382/ps/pez435
- Hilliar, M., Hargreave, G., Girish, C. K., Barekatain, R., Wu, S. B., Swick, R. A. (2020): Using crystalline amino acids to supplement broiler chicken requirements in reduced protein diets. *Poult. Sci.*, 99, 1551–1563. p., doi: 10.1016/j.psj.2019.12.005
- Hofmann, P., Siegert, W., Kenéz, Á., Naranjo, V. D., Rodehutsord, M. (2019): Very low crude protein and varying Glycine concentrations in the diet affect growth performance, characteristics of nitrogen excretion, and the blood metabolome of broiler chickens. *J. Nutr.*, 149, 1122–1132. p., doi: 10.1093/jn/nxz022
- Huston, R. L., Scott, H. M. (1968): Effect of varying the composition of a crystalline amino acid mixture on weight gain and pattern of free amino acids in chick tissue. *Fed. proceed.*, 27 (5), 1204–1209. p.
- Hyde, R., Taylor, P. M., Hundal, H. S. (2003): Amino acid transporters: roles in amino acid sensing and signalling in animal cells. *Biochem. J.*, 373 (1), 1–18. p.
- IIR (2022): Hungary Informative Inventory Report 1990–2020; <https://cdr.eionet.europa.eu/hu/un/clrtap/iir/envyjdna>
- Ingrid, C., de Jong, Bos, B., Harn, J., Mostert, P., Beest, D. (2022): Differences and variation in welfare performance of broiler flocks in three production systems, *Poult. Sci.*, 101 (7), 101933, ISSN 0032-5791, <https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.101933>
- Jackson, S., Summers, J. D., Leeson, S. (1982): Effect of dietary protein and energy on broiler carcass composition and efficiency of nutrient utilization. *Poult. Sci.*, 61, 2224–2231. p.
- Jeroch, H., Drochner, W., Rodehutsord, M., Simon, A., Simon, O., Zentek, J. (2020): Ernährung landwirtschaftlicher Nutztiere. Ernährungsphysiologie, Futtermittelkunde, Fütterung. 3. Auflage. Edited by Annette Simon, Jürgen Zentek. Stuttgart: utb GmbH. DOI. <https://doi.org/10.36198/9783838587639>. p.637–670.

- Jerzsele, A., Szekér, K., Csizinszky, R., Gere, E., Jakab, C., Mallo, J., Gálfi, P. (2012): Efficacy of protected sodium butyrate, a protected blend of essential oils, their combination, and *Bacillus amyloliquefaciens* spore suspension against artificially induced necrotic enteritis in broilers. *Poult. Sci.*, 91, 837–843. p.
- Jilo, S. A., Hasan, L. A. (2022): The importance of poultry meat in medicine: A review . *J. World Poult. Res.*, 12 (4), 258-262. p.
- Johnson, J., Reid, W. M. (1970): Anticoccidial drugs: lesion scoring techniques in battery and floor-pen experiments with chickens. *Exp. Parasitol.*, 28 (1), 30-36. p., doi: 10.1016/0014-4894(70)90063-9.
- Juhász, A., Schmidt, J. (2002): Apparent and true digestibility of protein and amino acids in poultry feeds: I. Methods of determining protein and amino acid digestibility in poultry. *Acta Agron. Óvárien.*, 44, 87–94. p.
- Kadaikunnan, S., Rejiniemon, T. S., Khaled, J. M., Alharbi, N. S., Mothana, R. (2015): In-vitro antibacterial, antifungal, antioxidant and functional properties of *Bacillus amyloliquefaciens*. *Ann. Clin. Microbiol. Antimicrob.*, 14, 1-11. p.
- Kamran, Z., Sarwar, M., Nisa, M., Nadeem, M. A., Mahmood, S., Babar, M. E., Ahmed, S. (2008): Effect of low-protein diets having constant energy-to-protein ratio on performance and carcass characteristics of broiler chickens from one to thirty-five days of age. *Poult. Sci.*, 87, 468–474. p.
- Kerr, B. J., Southern, L. L., Bidner, T. D., Friesen, K. G., Easter, R. A. (2003): Influence of dietary protein level, amino acid supplementation, and dietary energy levels on growing-finishing pig performance and carcass composition. *J. Anim. Sci.*, 81 (12), 3075-3087. p., doi: 10.2527/2003.81123075x.
- Khajali, F., Moghaddam, H. N. (2006): Methionine supplementation of low-protein broiler diets: influence upon growth performance and efficiency of protein utilization. *Int. J. Poult. Sci.*, 5, 569–573. p., doi: 10.3923/ijps.2006.569.573
- Kidd, M. T., Nelson, T. S., Brister, R. D., Donohue, M. (2016): Current and future amino acid formulation trends—phytate and phytase history and implications. In: C.L. Walk, I. Kuhn, H.H. Stein, M.T. Kidd, M. Rodehutschord, (Eds.): *Phytate destruction-consequences for precision animal nutrition*. Academic Publishers, The Netherlands, Wageningen Academic. 107-118.p.

- Kidd, M. T., Kerr, B. J., Allard, J. P., Rao, S. K., Halley, J. T. (2000): Limiting amino acid responses in commercial broilers, *J. of Appl. Poult. Res.*, 9 (2), 223-233. p., <https://doi.org/10.1093/japr/9.2.223>.
- Kriseldi, R., Tillman, P. B., Jiang, Z., Dozier, W. A. (2017): Effects of glycine and glutamine supplementation to reduced crude protein diets on growth performance and carcass characteristics of male broilers during a 41-day production period. *J. Appl. Poult. Res.*, 26, 558–572. p., doi: 10.3382/japr/pfx030
- Krupa, S. (2003): Effects of atmospheric ammonia (NH₃) on terrestrial vegetation: a review. *Envir. Poll.*, 124, 179–221. p.
- Kulcsár A, Mátis G, Molnár A, Petrilla J, Husvéth F, Huber K, Dublec K, Neogrady Z. (2016): Effects of butyrate on the insulin homeostasis of chickens kept on maize- or wheat-based diets. *Acta Vet. Hung.*, 64 (4), 482-496. p., doi: 10.1556/004.2016.045.
- Law, F. L., Zulkifli, I., Soleimani, A. F., Liang, J. B., Awad, E. A. (2018): The effects of low-protein diets and protease supplementation on broiler chickens in a hot and humid tropical environment. *Asian-Australas J. Anim. Sci.*, 31, 1291-1300. p.
- Leclercq, B. (1998): Lysine: specific effects of lysine on broiler production: comparison with threonine and valine. *Poult. Sci.*, 77, 118–123. p.
- Lee, D. T., Lee, J. T., Ruan, C., Rochell, S. J. (2022): Influence of increasing glycine concentrations in reduced crude protein diets fed to broilers from 0 to 48 days. *Poult. Sci.*, 101, 102038. doi: 10.1016/j.psj.2022.102038
- Leeson, S., Summers, J. D. (2001): *Scott's nutrition of the chicken*. Publisher: Nottingham University Press. Edition: 4th. 608. p.
- Lei, X., Piao, X., Ru, Y., Zhang, H., Peron, A., Zhang H. (2015): Effect of *Bacillus amyloliquefaciens* based direct-fed microbial on performance, nutrient utilization, intestinal morphology and cecal microflora in broiler chickens. *Asian Austral. J Anim Sci.*, 28, 239-246. p.
- Leitgeb, R., Tschischej, M., Hutterer, F., Bartelt, J. (2003): Impact of protein reduction and arginine and valine supplementation in the diet on growth and slaughter performance of broilers. *Bodenkultur*, 54, 187–195. p.
- Lemme, A., Wijtten, P. J. A., Langhout D. J., Petri, A. (2003): Interactions between ideal protein and dietary energy in growing broiler chicken. *Proceedings 14th European Symposium on Poultry Nutrition*, Lillehammer, Norway

- Lemme, A., Ravindran, V., Bryden, W. L. (2004): Ileal digestibility of amino acids in feed ingredients for broilers. *World's Poult. Sci. J.*, 60 (4), 423-438. p.
- Lemme, A., Kemp, C., Fisher, C., Kenny, M., Petri, A. (2005): Responses of growing broilers to varying dietary energy and balanced amino acid levels. *Proceedings 15th European Symposium on Poultry Nutrition, Balatonfüred, Hungary*. 462–464. p.
- Lemme, A., Hiller, P., Klahsen, M., Taube, V., Stegemann, J., Simon, I. (2019): Reduction of dietary protein in broiler diets not only reduces n-emissions but is also accompanied by several further benefits. *J. Appl. Poult. Res.*, 28, 867–880. p., doi: 10.3382/japr/pfz045
- Li, T. J., Dai, Q. Z., Yin, Y. L., Zhang, J., Huang, R. L., Ruan, Z., Deng, Z., Xie, M. (2008): Dietary starch sources affect net portal appearance of amino acids and glucose in growing pigs. *Anim.*, 2, 723–729. p., doi: 10.1017/S1751731108001614
- Lien, K. A., Sauer, W. C., He, J. M. (2001): Dietary influences on the secretion into and degradation of mucin in the digestive tract of monogastric animals and humans. *J. of Anim. and Feed Sci.*, 10 (2), 223-246. p., DOI: <https://doi.org/10.22358/jafs/67980/2001>
- Liu, S. Y., Selle, P. H., Raubenheimer, D., Gous, R. M., Chrystal, P. V., Cadogan, D. J., Simpson, S. J., Cowieson, A. J. (2017): Growth performance, nutrient utilisation and carcass composition respond to dietary protein concentrations in broiler chickens but responses are modified by dietary lipid levels. *Br. J. Nutr.*, 118, 250–262. p.
- Liu, S. Y., Naranjo, V. D., Chrystal, P. V., Buyse, J., Selle, P. H. (2019): Box-behnken optimisation of growth performance, plasma metabolites and carcass traits as influenced by dietary energy, amino acid and starch to lipid ratios in broiler chickens. *PLoS ONE* 2019, 14, e0213875.
- Liu, S. Y., Macelline, S. P., Chrystal, P. V., Selle, P. H. (2021): Progress towards reduced-crude protein diets for broiler chickens and sustainable chicken-meat production. *J. Anim. Sci. Biotechnol.*, 12, 20. p., doi: 10.1186/s40104-021-00550-w
- Magyar Takarmánykódex (2004): Gazdasági állatok táplálóanyag-szükséglete, takarmányok kémiai összetétele és mikotoxin határértékek a takarmánykeverékekben (II–III. kötet) Budapest, OMMI
- Malinovsky, A. V. (2018a): Why threonine is an essential aminoacid in mammals and birds: studies at the enzyme level. *Biochem. (Moscow)*, 83, 795–799. p., doi:10.1134/S0006297918070039

- Malinovsky, A. V. (2018b): Reasoning of generation of threonine indispensability in humans and mammals in evolutionary aspect. *Dig. Sys.*, 2, DOI: 10.15761/DSJ.1000122
- Malomo, G. A., Bolu, S. A., Olutade, S. G. (2013): Effects of dietary crude protein on performance and nitrogen economy of broilers. *Sus. Agric. Res.*, 2, 52-57. p.
- Mansilla, W. D. (2023): Dietary protein reduction with stepwise addition of crystalline amino acids and the effect of considering a minimum glycine-serine content in broiler diets. *Poult. Sci.*, 102, 102684. doi: 10.1016/j.psj.2023.102684
- Marquardt, R. R. (1983): A simple spectrophotometric method for the direct determination of uric acid in avian excreta, *Poult. Sci.*, 62 (10), 2106-2108. p., <https://doi.org/10.3382/ps.0622106>.
- Martinez, V., Jimenez, M., Gonalons, E., Vergara, P. (1995): Intraluminal lipids modulate avian gastrointestinal motility. *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.*, 269, 445-452. p.
- Meléndez-Hevia, E., De Paz-Lugo, P., Cornish-Bowden, A., Cárdenas, M. L. (2009): A weak link in metabolism: the metabolic capacity for glycine biosynthesis does not satisfy the need for collagen synthesis. *J. Biosci.*, 34 (6), 853-872. p., doi: 10.1007/s12038-009-0100-9.
- Mitchell, H. H. (1964): Comparative nutrition of man and domestic animals. Publisher: New York (& London): Academic Press.
- Mitran, L. J. M., Harter-Dennis, J.J. Meisinger (2008): Determining the nitrogen budget and total ammoniacal nitrogen emissions from commercial broilers grown in environmental chambers. *J. of Appl. Poult. Res.*, 17 (1), 34-46. p., ISSN 1056-6171, <https://doi.org/10.3382/japr.2006-00125>.
- Moss, A. F., Sydenham, C. J., Khoddami, A., Naranjo, V. D., Liu, S. Y., Selle, P. H. (2018): Dietary starch influences growth performance, nutrient utilisation and digestive dynamics of protein and amino acids in broiler chickens offered low-protein diets. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 237, 55–67. p.
- Murer, H., Sigrist-Nelson, K., Hoffer, U. (1975): On the mechanism of sugar and amino acid interaction in intestinal transport. *J. Biol. Chem.*, 250, 7392-7396. p.
- Nahm, K. H. (2003): Evaluation of the nitrogen content in poultry manure. *World's Poult. Sci. J.*, 59 (1), 77-88. p.
- Naseri, K. G., Dorigam, J. C. P., Doranalli, K., Morgan, N., Swick, R. A., Choct, M., Wu, S.-B. (2021): *Bacillus amyloliquefaciens* CECT 5940 improves performance and gut function in broilers fed different levels of protein and/or under necrotic enteritis challenge. *Anim. Nutr.*, 7, 185-197. p.

NRC (1994): Nutrient Requirements of Poultry: Ninth Revised Edition, 1994. Contributor: National Research Council; Washington, DC: The National Academies Press.

DOI: 10.17226/2114

NRC (1998): Nutrient Requirements of Swine: 10th Revised Edition. Contributor: National Research Council; Washington, DC: The National Academies Press.
<https://doi.org/10.17226/6016>.

O'dell, B. L., Woods, W. D., Laerdal, Osm. A., Muniz Jeffay A., Savage, J. E. (1960): Distribution of the major nitrogenous compounds and amino acids in chicken urine. *Poult. Sci.*, 39, 426-432. p.

Ospina-Rojas, I. C., Murakami, A. E., Moreira, I., Picoli, K. P., Rodrigueiro, R. J. B., Furlan, A. C. (2013a): Dietary glycine+serine responses of male broilers given low-protein diets with different concentrations of threonine. *Br. Poult. Sci.*, 54, 486–493. p., doi: 10.1080/00071668.2013.794257

Ospina-Rojas, I. C., Murakami, A. E., Oliveira, C., Guerra, A. F. Q. G. (2013b): Supplemental glycine and threonine effects on performance, intestinal mucosa development, and nutrient utilization of growing broiler chickens. *Poult. Sci.*, 92, 2724–2731. p., doi: 10.3382/ps.2013-03171

Ospina-Rojas, I. C., Murakami, A. E., Duarte, C. R. A., Eyng, C., Oliveira, C., Janeiro, V. (2014): Valine, isoleucine, arginine and glycine supplementation of low-protein diets for broiler chickens during the starter and grower phases. *Br. Poult. Sci.*, 55, 766–773. p., doi: 10.1080/00071668.2014.970125

Patterson, P. H., Lorenz, E. S., Weaver, W. J., Schwartz, J. H. (1998): Litter production and nutrients from commercial broiler chickens. *J. of Appl. Polt. Res.*, 7 (3), 247-252. p.

Pelicano, E., Souza, P., Souza, H., Oba, A., Norkus, E., Kodawara, L., Lima, T. (2003): Effect of different probiotics on broiler carcass and meat quality. *Br. J. Poult. Sci.*, 5, 207-214. p.

Perreault, N., Leeson, S. (1992): Age-related carcass composition changes in male broiler chickens. *Can. J. Anim. Sci.*, 72 (4), 919-929. p., DOI: 10.1093/ps/84.6.833

Peters, B. J. (2003): Recommended methods for manure analysis. University of Wisconsin, Cooperative Extension Publishing; Madison, WI, USA: A3769

Przybylski, W., Sałek, P., Kozłowska, L., Jaworska, D., Stańczuk, J. (2022): Metabolomic analysis indicates that higher drip loss may be related to the production of methylglyoxal as a by-product of glycolysis. *Poult. Sci.*, 101, 101608. doi: 10.1016/j.psj.2021.

- Qureshi, B. A., Hassan, A. U., Rajput, H., Pirzado, S. A., Baloch, Z. A., Qureshi, M. A., Abbas, U. (2024): Effect of low protein diets with supplementation of bacillus pumillus on growth and carcasses performance, hematological and biochemical indices of broiler chicken. *Int. J. Biol. Biotech.*, 21 (3), 307-316. p.
- Rayner, A. C., Newberry, R. C., Vas, J., Mullan, S. (2020): Slow-growing broilers are healthier and express more behavioural indicators of positive welfare. *Sci. Rep.*, 10, 15151 <https://doi.org/10.1038/s41598-020-72198-x>
- Reis, M. P., Fassani, E. J., Garcia, A. A. P., Rodrigues, P. B., Bertechini, A. G., Barrett, N., Persia, M. E., Schmidt, C. J. (2017): Effect of *Bacillus subtilis* (DSM 17299) on performance, digestibility, intestine morphology, and pH in broiler chickens. *J. Appl. Poult. Res.*, 26, 573–583. p.
- Rezaei, M. H., Moghaddam, N., Pour Reza, J., Kermanshahi, H. (2004): The effects of dietary protein and lysine levels on broiler performance, carcass characteristics and N excretion. *Int. J. Poult. Sci.*, 3, 148-152. p.
- Riber, A. B., Wurtz, K. E. (2024): Impact of growth rate on the welfare of broilers. *Animals*, 14, 3330 p., DOI: 10.3390/ani14223330
- Riley, W. W. Jr., Welch, C. C., Nield, E. T., Austic, R. E. (1989): Competitive interactions between the basic amino acids in chicken intestine in situ. *Nutr. Rep. Int.*, 40 (2), 383 – 393. p.
- Rosebrough, R. W., Steele, N. C. (1985): Energy and protein relationships in the broiler: 1. Effect of protein levels and feeding regimens on growth, body composition, and in vitro lipogenesis of broiler chicks. *Poult Sci.*, 64, 119–126. p., doi: 10.3382/ps.
- Rostagno, H. S., Albino, L. F. T., Donzele, J. L., Gomes, P. C., de Oliveira, R. F., Lopes, D. C., Ferreira, A. S., Barreto, S. L. T., Euclides, R. F. (2011): Brazilian tables for poultry and swine: feed composition and nutritional requirements. 3rd ed. Minas Gerais, Brazil: Universidade Federal de Viçosa
- Rostagno, H. S., Albino, L. F. T., Donzele, J. L., Gomes, P. C., Oliveira, R. T., Lopes, D. C., et al. (2017): Brazilian tables for poultry and swine. Composition of Feedstuffs and Nutritional Requirements. 4th edition Viçosa, MG, Brazil: Universidade Federal de Viçosa
- Röder, P. V., Geillinger, K. E., Zietek, T. S., Thorens, B., Koepsell, H., Daniel, H. (2014): The role of SGLT1 and GLUT2 in intestinal glucose transport and sensing. *PloS one*, 9 (2), e89977.

Santonja, G. G., Georgitzikis, K., Scalet, B. M., Montobbio, P., Roudier, S., Sancho, L. D. (2017): Best available techniques (BAT) reference document for the intensive rearing of poultry or pigs. EUR 28674 EN, 11, 898.

Santoso, U., Tanaka, K., Ohtani, S. (1995): Effect of dried *Bacillus subtilis* culture on growth, body composition and hepatic lipogenic enzyme activity in female broiler chicks. *Br. J. Nutr.*, 74, 523–529. p.

Santoso, U., Ohtani, S., Tanaka, K., Sakaida, M. (1999): Dried *Bacillus subtilis* culture reduced ammonia gas release in poultry house. *Asian Australas J Anim Sci.*, 12, 806–809. p., doi: 10.5713/ajas.1999.806

Sarangi, N. R., Babu, L. K., Kumar, A., Pradhan, C. R., Pati, P. K., Mishra, J. P. (2016): Effect of dietary supplementation of prebiotic, probiotic, and synbiotic on growth performance and carcass characteristics of broiler chickens. *Vet. World.*, 9, 313–319. p.

Sasse, C. E., Baker, D. H. (1972): The phenylalanine and tyrosine requirements and their interrelationship for the young chick. *Poult. Sci.*, 51 (5), 1531-1536. p.

Scheuermann, G. N., Bilgili, S. F., Hess, J. B., Mulvaney, D. R. (2003): Breast muscle development in commercial broiler chickens. *Poult. Sci.*, 82 (10), 1648-1658. p., doi: 10.1093/ps/82.10.1648.

Schraufnagel, D., Balmes, J., De Matteis, S., Hoffman, B., Kim, W. J., Perez-Padilla, R., Rice, M., Sood, A., Vanker, A., Wuebbles, D. (2019): Health benefits of air pollution reduction. *Ann. Am. Thorac. Soc.*, 16, 1478-1487. p.

Scott, M. L., Nesheim, M. C., Young, R. J. (1982): Nutrition of chicken. ML Scott and Associates Publishers, Ithaca.

Selle, P. H., Ravindran, V., Caldwell, A., Bryden, W. L. (2000): Phytate and phytase: consequences for protein utilisation. *Nutr. Res. Rev.*, 13(2), 255-278.p., doi: 10.1079/095442200108729098.

Selle, P. H., Dorigam, J. C. P., Lemme, A., Chrystal, P. V., Liu, S. Y. (2020): Synthetic and crystalline amino acids: alternatives to soybean meal in chicken-meat production. *Animals*, 10, 729-748. p.

Selle, P. H., Macelline, S. P., Chrystal, P. V., Liu, S. Y. (2023): A reappraisal of amino acids in broiler chicken nutrition. *World's Poult. Sci. J.*, 79 (3), 429–447. p., DOI: 10.1080/00439339.2023.2234342

- Sheerin, H. E., Bird, F.H. (1972): Studies on the competitive absorption of neutral L-amino acids from the avian small intestine. *J. Nutr.*, 102 (12), 1563-1567. p., DOI: 10.1093/jn/102.12.1563
- Shelton, L., Southern, L. L., Gaston, L.A., Foster, A. (2004): Evaluation of the nutrient matrix values for phytase in broilers, *J. Appl. Poult. Res.*, 13 (2), 213-221.p., <https://doi.org/10.1093/japr/13.2.213>.
- Shivaramaiah, S., Pumford, N. R., Morgan, M. J., Wolfenden, R. E., Wolfenden, A. D., Torres-Rodriguez, A., Hargis, B. M., Téllez, G. (2011): Evaluation of *Bacillus* species as potential candidates for direct-fed microbials in commercial poultry. *Poult. Sci.*, 90, 1574-1580. p.
- Siegert, W. (2023): Sustainability and optimal nitrogen nutrition. Proceedings of the European Symposium on Poultry Nutrition - ESPN 2023. June 21, 2023 to June 24, 2023. Rimini, Italy, 47-50. p.
- Siegert, W., Ahmadi, H., Helmbrecht, A., Rodehutsord, M. (2015): A quantitative study of the interactive effects of glycine and serine with threonine and choline on growth performance in broilers. *Poult Sci.*, 94, 1557–1568. p., doi: 10.3382/ps/pev109
- Siegert, W., Wild, K. J., Schollenberger, M., Helmbrecht, A., Rodehutsord, M. (2016): Effect of glycine supplementation in low protein diets with amino acids from soy protein isolate or free amino acids on broiler growth and nitrogen utilisation. *Br. Poult. Sci.*, 57, 424–434. p., doi: 10.1080/00071668.2016.1163523
- Siegert, W., Rodehutsord, M. (2019): The relevance of glycine and serine in poultry nutrition: a review. *Br Poult Sci.*, 60, 579–588. p., doi: 10.1080/00071668.2019.1622081
- Sims, J. T., Wolf, D. C. (1994): Poultry waste management: Agricultural and environmental issues. *Adv. agron.*, 52, 1-83. p.
- Sizemore, F. G, Siegel, H. S. (1993): Growth, feed conversion, and carcass composition in females of four broiler crosses fed starter diets with different energy levels and energy to protein ratios. *Poult. Sci.*, 72, 2216–2228. p.
- Smith, E. R., Pesti, G. M. (1998): Influence of broiler strain cross and dietary protein on the performance of broilers. *Poult. Sci.*, 77, 276–281. p., doi: 10.1093/ps/77.2.276
- Star, L., Rovers, M., Corrent, E., van der Klis, J.D. (2012): Threonine requirement of broiler chickens during subclinical intestinal *Clostridium* infection. *Poult. Sci.*, 91 (3), 643-652. p., <https://doi.org/10.3382/ps.2011-01923>.

- Star, L., Tesseraud, S., van Tol, M., Minussi, I., Corrent, E., Lambert, W. (2021): Production performance and plasma metabolite concentrations of broiler chickens fed low crude protein diets differing in Thr and Gly. *Anim. Nutr.*, 7, 472–480. p., doi: 10.1016/j.aninu.2020.09.003
- Stevens, B. R., Kaunitz, J. D., Wright, E. M. (1984): Intestinal transport of amino acids and sugars: advances using membrane vesicles. *Ann. Rev. Physiol.*, 46, 417-433. p.
- Stoll, B., Henry, J., Reeds, P. J., Yu, H., Jahoor, F., Burrin, D. G. (1998): Catabolism dominates the firstpass intestinal metabolism of dietary essential amino acids in milk protein-fed piglets. *J. Nutr.*, 128, 606-614. p.
- Strifler, P., Horváth, B., Such, N., Farkas, V., Wágner, L., Dublec, K., László, P. (2023): Effects of feeding low protein diets with different energy-to-protein ratios on performance, carcass characteristics, and nitrogen excretion of broilers. *Animals*, 13, 1476. p., doi: 10.3390/ani13091476
- Such, N., Csitári, G., Stankovics, P., Wágner, L., Koltay, I. A., Farkas, V., Pál, L., Strifler, P., Dublec, K. (2021a): Effects of probiotics and wheat bran supplementation of broiler diets on the ammonia emission from excreta. *Animals*, 11, 2703. p.
- Such, N., Pál, L., Strifler, P., Horváth, B., Koltay, I. A., Rawash, M. A., Farkas, V., Mezölaki, Á., Wágner L., Dublec, K. (2021b): Effect of feeding low protein diets on the production traits and the nitrogen composition of excreta of broiler chickens. *Agriculture*, 11, 781. p., doi: 10.3390/agriculture11080781
- Sugahara, M., Kandatsu, M. (1976): Glycine Serine Interconversion in the Rooster. *Agric. Biol. Chem.*, 40(5), 833–837.p. DOI: 10.1080/00021369.1976.10862153
- Swennen, Q., Janssens, G. P. J., Collin, A., Le Bihan-Duval, E., Verbeke, K., Decuypere, E., Buyse, J. (2006): Diet-induced thermogenesis and glucose oxidation in broiler chickens: influence of genotype and diet composition. *Poult. Sci.*, 85, 731–742. p., doi: 10.1093/ps/85.4.731
- Swennen, Q., Decuypere, E., Buyse, J. (2007): Implications of dietary macronutrients for growth and metabolism in broiler chickens. *Worlds Poult. Sci J.*, 63, 541–556. p., doi: 10.1017/S0043933907001602
- Swiatkiewicz, S., Arczewska-Wlosek, A., Jozefiak, D. (2017): The nutrition of poultry as a factor affecting litter quality and foot pad dermatitis—an updated review. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 101 (5), e14-e20, DOI: 10.1111/jpn.12630

Tasaki, I., Okumura, J. (1964): Effect of protein level of diet on nitrogen excretion in fowls. *J. Nutr.*, 83, 34–38. p.

Tavernari, F. C., Lelis, G. R., Carneiro, P. R. O., Vieira, R. A., Polveiro, R. C., Luengas, J. A. P., Rostagno, H. S., Albino, L. F. T. (2012): Effect of different digestible isoleucine/lysine ratios for broiler chickens. *Non Ruminants • R. Bras. Zootec.*, 41(3), 1–7. DOI: 10.1590/S1516-35982012000700020

DOI: 10.1590/S1516-35982012000700020

Tesseraud, S., Métayer, S., Duchêne, S., Bigot, K., Grizard, J., Dupont, J. (2007): Regulation of protein metabolism by insulin: Value of different approaches and animal models. *Domest. Animal Endocrinol.*, 33 (2), 123-142. p., DOI: 10.1016/j.domaniend.2006.06.002

Tillman, P. B. (2019): Determination of nutrient values for commercial amino acids. *J. Appl. Poult. Res.*, 28 (3), 526-530. p.

Truong, H. H., Liu, S. Y., Selle, P. H. (2016): Starch utilisation in chicken-meat production: the foremost influential factors. *Anim. Prod. Sci.*, 56, 797-814. p.

Truong, H. H., Chrystal, P. V., Moss, A. F., Selle, P. H., Liu, S. Y. (2017): Rapid protein disappearance rates along the small intestine advantage poultry performance and influence the post-enteral availability of amino acids. *Br. J. Nutr.*, 118, 1031-1042. p.

Ullrich, C., Langeheine, M., Brehm, R., Taube, V., Siebert, D., Visscher, C. (2018): Influence of reduced protein content in complete diets with a consistent arginine–lysine ratio on performance and nitrogen excretion in broilers. *Sustainability*, 10, 3827. p.

USDA (2025): Commodities: poultry meat and products (excluding eggs). USDA Foreign Agricultural Service. <https://www.fas.usda.gov/data/commodities/poultry-meat-prods-ex-eggs>

van der Meulen, J., Bakker, J. G., Smits, B., de Visser, H. (1997): Effects of source of starch on net portal flux of glucose, lactate, volatile fatty acids and amino acids in the pig. *Br. J. Nutr.*, 78, 533–544. p., doi: 10.1079/bjn19970173

van Harn, J., Dijkslag, M. A., van Krimpen, M. M. (2019): Effect of low protein diets supplemented with free amino acids on growth performance, slaughter yield, litter quality, and footpad lesions of male broilers. *Poult. Sci.*, 98, 4868–4877. p., doi: 10.3382/ps/pez229

Vinardell, M. P. (1990): Mutual inhibition of sugars and amino acid intestinal absorption. *Comput. Biochem. Physiol.*, 95, 12-21. p.

- Vuong, C. N., Chou, W-K., Hargis, B. M., Berghman, L. R., Bielke, L. R. (2016): Role of probiotics on immune function and their relationship to antibiotic growth promoters in poultry, a brief review. *Int. J. Probiotics Prebiotics*, 11, 1-6. p.
- Waldroup, P. W., Kersey, J. H., Fritts, C. A. (2002): Influence of branched chain amino acid balance in broiler diets. *Int. J. Poult. Sci.*, 1, 136–144.p.
- Waldroup, P. W., Jiang, Q., Fritts, C. A. (2005): Effects of glycine and threonine supplementation on performance of broiler chicks fed diets low in crude protein. *Int. J. Poult. Sci.*, 4, 250–257. p., doi: 10.3923/ijps.2005.250.257
- Wang, W. W., Wang, J., Wu, S. G., Zhang, H. J., Qi, G. H. (2020): Response of broilers to gradual dietary protein reduction with or without an adequate glycine plus serine level. *Ital. J. Anim. Sci.*, 19, 127–136. p., doi: 10.1080/1828051X.2019.1704634
- Wang, B., Zhou, Y., Tang, L., Zeng, Z., Gong, L., Wu, Y., Li, W. F. (2021): Effects of *Bacillus amyloliquefaciens* Instead of antibiotics on growth performance, intestinal health, and intestinal microbiota of broilers. *Front. Vet. Sci.*, 8, 679368. p., doi: 10.3389/fvets.2021.679368.
- Webb, J., Menzi, H., Pain, B. F., Misselbrook, T.H., Dämmgen, U., Hendriks, H., Döhler, H. (2005): Managing ammonia emissions from livestock production in Europe. *Environ. Pollut.*, 135 (3), 399-406.p., DOI: 10.1016/j.envpol.2004.11.013
- Weis, J., Hrnčár, C., Pál, G., Barácska, B., Bujko, J., Malíková, L. (2011): Effect of probiotic strain *Enterococcus faecium* M74 supplementation on the carcass parameters of different hybrid combination chickens. *Sci. Pap. Anim. Sci. Biotech.*, 44, 149–152. p., Online elérhető: <https://www.scinapse.io/papers/1790402455> (accessed on 30 January 2021).
- Weurding, R. E., Enting, H., Verstegen H. W. A. (2003): The effect of site of starch digestion on performance of broiler chickens. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 110, 175-184. p.
- WHO - World Health Organization (2013): Health effects of particulate matter. Policy implications for countries in eastern Europe, Caucasus and Central Asia. Available online: http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0006/189051/Health-effects-of-particulate-matter-final-Eng.pdf. (accessed on 04.14.2021)
- Winsor, C. P. (1932): The gompertz curve as a growth curve. Vol. 18, Proceedings of the National Academy of Sciences, Johns Hopkins University, MD, USA.
- Wu, G. (2009): Amino acids: metabolism, functions, and nutrition. *Amino Acids*, 37 (1), 1-17.p. doi: 10.1007/s00726-009-0269-0.

- Wu, G. (2014): Dietary requirements of synthesizable amino acids by animals: a paradigm shift in protein nutrition. *J. Animal. Sci. Biotechnol.* 5 (34), DOI: 10.1186/2049-1891-5-34
- Yin, D., Chrystal, P. V., Moss, A. F., Yun Liu, S., Yuan, J., Selle, P. H. (2020): Effects of reducing dietary crude protein and whole grain feeding on performance and amino acid metabolism in broiler chickens offered wheat-based diets. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 260, 114386. p.
- Zampiga, M., Laghil, L., Petraccil, M., Zhu, C., Meluzzi, A., Dridi, S. (2018): Effect of dietary arginine to lysine ratios on productive performance, meat quality, plasma and muscle metabolomics profile in fast-growing broiler chickens. *J. Anim. Sci. Biotechnol.*, 9, 79-92. p.
- Zhang, R., Ishibashi, K., Day, D. L. (1991): Experimental study of microbial decomposition in liquid swine manure, and generation rates of ammonia. in *Proceedings of the Livestock Waste Management Conference, American Society of Agricultural Engineers*. St. Joseph, MI, USA. 23–26 April
- Zhong, Y., Yan, Z., Song, B., Zheng, C., Duan, Y., Kong, X., Deng, J, LI, F. (2021): Dietary supplementation with betaine or glycine improves the carcass trait, meat quality and lipid metabolism of finishing mini-pigs. *Anim. Nutr.*, 7, 376–383. p., doi: 10.1016/j.aninu.2020.08.010
- Zuidhof, M. J., Schneider, B. L., Carney, V. L., Korver, D. R., Robinson, F. E. (2014): Growth, efficiency, and yield of commercial broilers from 1957, 1978, and 2005. *Poult. Sci.*, 93 (12), 2970-2982. p., ISSN 0032-5791, <https://doi.org/10.3382/ps.2014-04291>.

11. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönettel tartozom Dr. Pál Lászlónak, aki még a mesterképzésem során konzulensemként felkeltette és támogatta a tudományos pálya iránti érdeklődésem. Doktori tanulmányaim során bármikor kérdéssel, kéréssel fordulhattam hozzá, mindig ellátott megfelelő tanácsokkal, segítséggel. Az iránymutatása, tanácsai és segítsége nélkül ezen doktori disszertáció nem jöhetett volna létre.

Köszönettel tartozom a MATE ÉTI Georgikon Campus Takarmányozástani és Takarmányozás-élettani Tanszék minden munkatársának. A kutatómunka lefolytatása során mindvégig hatalmas segítséget nyújtottak a kísérleteim tervezésében, kivitelezésében. Külön köszönet illeti Dr. Such Nikolettát, aki a PhD képzésem első napjától fogva végtelenül kedves volt hozzám, és rengeteget segített a kísérleteim lebonyolításában.

Köszönöm Ábrahám Tamás és Osvald József állatkísérletek során nyújtott lelkiismeretes munkáját.

Hálás köszönettel tartozom az egész családomnak, amiért a PhD képzés alatt mindvégig biztattak és támogattak. Köszönöm édesanyámnak és édesapámnak a rengeteg munkát és áldozatot, amelyet azért hoztak, hogy a testvéreimmel együtt továbbtanulhassunk céljaink elérése érdekében.

Külön köszönet feleségemnek, Fürge Ildikónak, aki az első pillanattól fogva támogatott a tudományos fokozat megszerzésében, végig kísért a nehéz időszakokon és mindig mellettem állt.