

DOKTORI ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

STRIFLER PATRIK

**GEORGIKON CAMPUS
KESZTHELY**

2025



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. Anda Angéla, DSc
egyetemi tanár
MATE, Georgikon Campus
Növénytermesztési-tudományok Intézet,
Agronómia Tanszék

témavezető: Dr. Pál László, PhD
egyetemi tanár
MATE, Georgikon Campus
Élettani és Takarmányozástani Intézet,
Takarmányozástani és Takarmányozás-élettani Tanszék

A jelölt a Magyar Agrár-és Élettudományi Egyetem Doktori Szabályzatában előírt valamennyi feltételnek eleget tett, az értekezés műhelyvitájában elhangzott észrevételeket és javaslatokat az értekezés átdolgozásakor figyelembe vette, ezért az értekezés védési eljárásra bocsátható.

.....

Az iskolavezető jóváhagyás

.....

A témavezető jóváhagyása

1. A munka előzményei, célkitűzések

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. 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 és az előrejelzések szerint további a termelés további növekedése várható.

A víz-, talaj- és levegőminőséget károsító szennyező anyagok egyik forrása az állattenyésztés, az ammónia emisszió esetében az egyik legjelentősebb kibocsátó. 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 brojlercsirkékre 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 szükségleti (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 jövőben megnövekedhet az igény olyan takarmány alapanyagok iránt, amelyek természetes glicin forrásként szolgálhatnak az LP keverékek etetése során.

A fentiek alapján a dolgozat célkitűzései a következőkben foglalhatók össze:

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 brojlerakarmányozás jelenlegi ismereteihez képest. Ennek megfelelően vizsgálni szeretném a különböző AMEn/nyersfehérje arányú fehérjecskökkentett takarmányok hatásait a brojlerak 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 prekursora, 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.

2. Anyag és módszer

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

2.1.1. 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) vakcináival. 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). Alomanyagként szecsckázott 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 teremhőmérsékletet 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.

2.1.2. 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. 2×10^9 CFU/g; Evonik Nutrition & Care GmbH, Németország) kiegészített takarmánykeveréket etettünk (C+BA), kezelésként 12 ismételtsben (fűlkében). 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 ismételést alkalmazva: kontroll (C; az indító kezelés 6 fűlkéje), probiotikummal kiegészített keverék (C+BA; az indító C+BA csoport 6 fűlkéje), fehérjecsökkentett takarmánykeverék (LP; az indító C kezelés 6 fűlkéje), probiotikummal kiegészített fehérjecsökkentett keverék (LP+BA; az indító C+BA kezelés 6 fűlkéje). 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. Az LP és LP+BA csoportokban a nyersfehérje-tartalom csökkentést az extrahált szójadara arányának csökkentésével érték el. 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.

2.1.3. 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 fűlkénkénti takarmányfogyasztást, amelyet követően kiszámítottuk az adott fűlkéhez tartozó átlagos takarmányfelvételt és takarmányértékesítést. A termelési paraméterek statisztikai vizsgálata során fűlkeátlagokkal dolgoztunk (kezelésként 6 ismételés; n=6). 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 kivérettük. 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*) bíráltuk. 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 kezelésként 48 állat leölésére került sor. Meghatároztuk a vágási kihozatalt (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.

2.1.4. 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.

2.1.5. 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-teszttel, 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.

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

2.2.1. 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.

2.2.2. Kísérleti takarmányok

Négy kezelést alakítottunk ki, kezelésenként 6 ismétléssel (fűlkével). Egy kísérleti fűlkében 24 állatot helyeztünk el. Háromfázisú takarmányozást alkalmaztunk, amelyben az indító fázis 0-10. életnapig (dercés 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. Az LP csoportokban a kisebb nyersfehérje-tartalmat az extrahált szójadara arányának csökkentésével értük 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-emésztheséget javító hatását nem vettük figyelembe a takarmányok formulázása során.

2.2.3. 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 jelzőanyagos 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 (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 kivégeztettük. A csípőbél (ileum) teljes tartalmát egyedenként begyűjtöttük és -20 C°-on tároltuk a keményítő és aminosav emészthetőség későbbi meghatározása érdekében. Zsigerezést követően meghatároztuk a hasított testek vágóértékét (vágási kihozatal %, mellhús kihozatal %, combkihozatal % és hasúri 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

papírtörölővel 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.

2.2.4. 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 leszártított 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):

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

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.

2.2.5. 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.

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

2.3.1. 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.

2.3.2. Kísérleti takarmányok

Négy takarmányozási kezelést alakítottunk ki, kezelésként 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.

2.3.3. Mérések és mintavételi eljárások

A kísérlet során elvégzett mérések és mintavételek megegyeztek a 2.2.3. fejezetben leírtakkal, azzal a különbséggel, hogy az anyagcsereketrecekben zajló jelzőanyag-retenciós-emésztési kísérletet öt napos adaptációs időszak előzte meg, majd ezt követően a reprezentatív ürülék-minta-gyűjtést a 41. és 42. élelnapon hajtottuk végre.

A kísérlet során végrehajtott analitikai mérési módszerek és a számítások megegyeztek a 2.2.4. fejezetben leírtakkal. A statisztikai elemzés a 2.2.5. fejezettel megegyező módon történt.

3. Eredmények és értékelésük

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

A kísérleti állatok legfontosabb termelési eredményeit 1. táblázat tartalmazza. A takarmánykeverékek eltérő nyersfehérje-tartalmát, mint kezelés hatást a hizlalás nevelő szakaszától értékeltük. A termelési eredmények esetében megfigyelhető a tápok nyersfehérje-tartalmának szignifikáns hatása, miszerint a fehérjecsökkentett LP csoportok egyedei szignifikánsan ($P < 0,001$) nagyobb testsúlyt értek el a 39. napon, illetve kedvezőbb takarmány-értékesítést a nevelő-befejező időszakban a kontroll (C) csoport állataival szemben.

1. táblázat A kísérleti kezelések hatása a brojlercsirkék testsúlyára, takarmányfelvételére és takarmányértékesítésére (átlag $\pm$ SD)

Kezelések		Testsúly (g)	Takarmány-felvétel (g/madár)	Takarmány-értékesítés (kg/kg)
Nyersfehérje-tartalom	Pro-biotikum	39. nap	nevelő és befejező időszak	nevelő és befejező időszak
Kontroll (C)	BA-	2090,2 $\pm$ 67,6	3506,7 $\pm$ 71	2,07 $\pm$ 0,1
	BA+	2119,1 $\pm$ 108,6	3523,7 $\pm$ 126	2,07 $\pm$ 0,1
Csökkentett (LP)	BA-	2360,6 $\pm$ 124,4	3499,4 $\pm$ 132	1,82 $\pm$ 0,1
	BA+	2209,5 $\pm$ 113,7	3423,4 $\pm$ 132	1,90 $\pm$ 0,1
A nyersfehérje-tartalom hatása				
Kontroll (C)		2104,7 $\pm$ 88,1 ^a	3515,2 $\pm$ 98,5	2,08 $\pm$ 0,1 ^b
Csökkentett (LP)		2285,1 $\pm$ 119,1 ^b	3461,4 $\pm$ 132	1,86 $\pm$ 0,1 ^a
Probiotikum-kiegészítés hatása				
BA-		2225,4 $\pm$ 96,0	3503,0 $\pm$ 101,5	1,96 $\pm$ 0,1
BA+		2164,3 $\pm$ 111,2	3473,6 $\pm$ 129,0	1,99 $\pm$ 0,1
Szignifikancia szint (P érték)				
Fehérjehatás		<0,001	NS	<0,001
Probiotikum hatás		NS	NS	NS
Fehérje+Probiotikum hatás		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

A kísérlet végén végzett vágóérték vizsgálat alapján a kezelések nem befolyásolták 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 (Kontroll: 0,37% vs. LP: 0,55; $P<0,05$). A kontrollcsoportban nem, míg az LP csoportban a probiotikum hatására (LP BA+) csökkent a hasúri zsír aránya a probiotikum nélküli csoporttal (LP BA-) szemben ($P<0,05$). A bélmorfológiai és béltartalom vizsgálat eredményeit a 2. táblázat szemlélteti.

2. táblázat Bélmorfológiai és béltartalom vizsgálat eredményei

Kezelések		Kokcidiózis pontszám ¹ (n=6) (átlag $\pm$ SEM)	A bélben talált elváltozások előfordulási aránya (%; n=18)	
Nyersfehérje- tartalom	Pro- biotikum		Gázképződés	Kipirult Peyer- plakkok
Kontroll (C)	BA-	0,416 $\pm$ 0,057	55,6	33,3
	BA+	0,333 $\pm$ 0,061	27,8	16,7
Csökkentett (LP)	BA-	0,277 $\pm$ 0,135	50,0	55,6
	BA+	0,333 $\pm$ 0,086	22,2	16,7
A nyersfehérje-tartalom hatása				
Kontroll (C)		0,375 $\pm$ 0,042	41,7	25,0
Csökkentett (LP)		0,305 $\pm$ 0,077	36,1	36,1
Probiotikum-kiegészítés hatása				
BA-		0,374 $\pm$ 0,073	52,8 ^b	44,4 ^b
BA+		0,333 $\pm$ 0,050	25,0 ^a	16,7 ^a
Szignifikancia szint (P érték)				
Fehérjehatás		NS	NS	NS
Probiotikum hatás		NS	<0,05	<0,05
Fehérje+Probiotikum hatás		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

A kokcidiózis vizsgálat pontszámait a takarmányozási kezelések nem befolyásolták. 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 Peyer-plakkjai kevésbé voltak kifejezetek, kipirultak (16,7%), ami a probiotikum nélküli brojlerok esetében 44,4% volt.

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

A kísérlet során mért legfontosabb hizlalási teljesítmény paramétereket a 3. táblázat tartalmazza. A kísérleti takarmánykeverékek szignifikáns hatást gyakoroltak a brojlerek testsúlyára a kísérlet végén (41. nap; $P < 0,05$), de nem befolyásolták a teljes kísérletre vonatkozó takarmányfelvételt és takarmányértékesítést. A takarmány nyersfehérje- és energiatartalmának együttes csökkentése (LP2 és LP3) a csirkék testsúlyát negatívan befolyásolta, a kontrollhoz képest szignifikánsan kisebb volt ($P < 0,05$).

3. táblázat A kísérleti kezelések hatása a termelési jellemzőkre (átlag $\pm$ SEM)

Kezelés	Testsúly (g)	Takarmányfelvétel (g)	Takarmányértékesítés (kg/kg)
C	2928,1 $\pm$ 23,5 ^c	4674,7 $\pm$ 57,0	1,66 $\pm$ 0,02
LP1	2855,7 $\pm$ 26,2 ^{bc}	4691,1 $\pm$ 75,0	1,70 $\pm$ 0,04
LP2	2770,1 $\pm$ 28,8 ^{ab}	4496,0 $\pm$ 60,9	1,69 $\pm$ 0,01
LP3	2744,0 $\pm$ 28,4 ^a	4467,4 $\pm$ 62,4	1,69 $\pm$ 0,03
Szignifikancia (P)	<0,001	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 ^{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

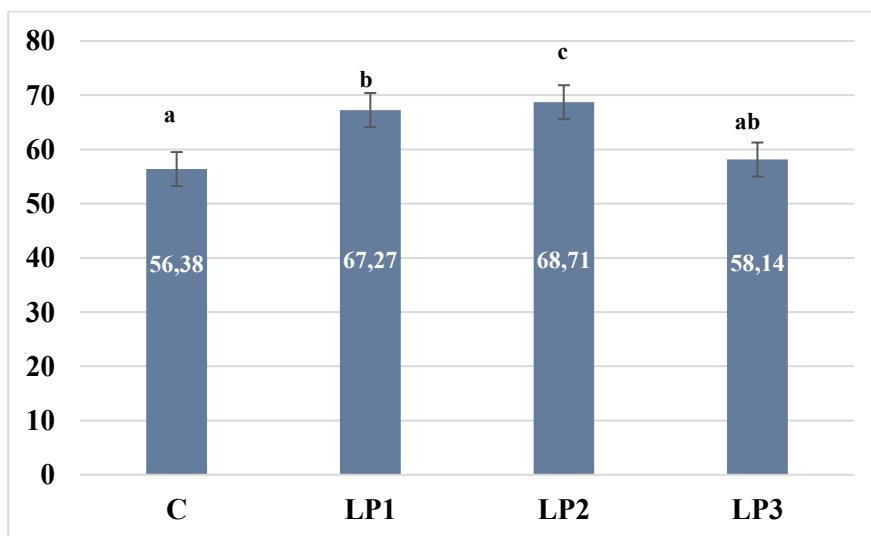
A kísérleti takarmányok etetése nem befolyásolta a vágási kihozatalt, a relatív combsúlyt és a hasúri zsír arányát (4. táblázat). A mellhús arányának alakulására viszont a takarmányozási kezelések igazolható mértékben hatást fejtettek ki ($P < 0,05$). Az izokalorikus, csökkentett nyersfehérje-tartalmú keverékkel (LP1) etetett madarak mellhúsának aránya a testsúlyhoz viszonyítva szignifikánsan nagyobb volt, mint a kontrollcsoportban ($P < 0,05$).

Az LP2 csoportba tartozó kísérleti állatok esetében mértük a legnagyobb N-retenciót, amely szignifikánsan nagyobbak bizonyult, mint a C és LP3 kezelésekben résztvevő brojlerek értékei ($P < 0,05$; 1. 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 ($P > 0,05$).

4. táblázat Vágási kihozatal és a vágott test összetétele¹ (átlag ± SEM)

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



1. ábra A takarmányozási kezelések hatása a kísérleti állatok nitrogén retenciójára (%; átlag ± 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

A takarmánykeverékek nyersfehérje-tartalmának csökkentése az LP1 csoportban szignifikánsan csökkentette a bélsár-N, a húgysav-N és az összes-N koncentrációját a C kezeléshez képest (5. táblázat; P<0,05). A tápok AMEn-

tartalmának csökkenése (LP1-LP3) növelte az említett nitrogénformák ürülékbeli koncentrációját.

5. táblázat: Az ürülék különböző N-tartalmú vegyületeinek koncentrációja (átlag ± SEM)

Kezelés	Bélsár-N	NH ₄ ⁺ -N	Húgysav-N	Vizelet-N ¹	Összes-N
	mg/g szárazanyag				
C	32,75 ± 2,33 ^b	4,58 ± 0,26	17,65 ± 1,13 ^b	22,23 ± 1,34	54,98 ± 3,62 ^b
LP1	21,96 ± 1,26 ^a	5,20 ± 0,41	13,07 ± 0,76 ^a	18,27 ± 1,12	40,24 ± 2,32 ^a
LP2	25,94 ± 1,84 ^{ab}	4,76 ± 0,40	15,03 ± 1,09 ^{ab}	19,79 ± 1,44	45,73 ± 3,15 ^{ab}
LP3	33,42 ± 2,45 ^b	4,92 ± 0,55	18,25 ± 1,49 ^b	23,16 ± 2,01	56,58 ± 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 NH₄⁺-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 kezelésként

A fehérje- és energiacsökkentett LP2 és LP3 csoportokban szignifikánsan nagyobb volt a keményítő ileális emészthetősége, mint a C és LP1 kezelésekben (6. táblázat). Az aminosavak ileális emészthetősége szintén az LP csoportokban szignifikánsan nagyobb volt, mint a C-ben.

6. táblázat: A kísérleti kezelések hatása a keményítő és az aminosavak látszólagos ileális emészthetőségére (átlag ± SEM)

Kezelés	Keményítő	Aminosavak (átlagos)
C	92,71 ± 0,32 ^a	88,25 ± 0,38 ^a
LP1	93,18 ± 0,36 ^a	91,50 ± 0,21 ^{bc}
LP2	94,83 ± 0,28 ^b	91,21 ± 0,18 ^b
LP3	95,18 ± 0,21 ^b	92,23 ± 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.

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

A teljes felnevelési időszakot tekintve csak az LPST kezelésben részesülő brojlercsirkék érték el szignifikánsan nagyobb vágáskori (35 napos) élősúlyt a kontrollhoz viszonyítva (7. táblázat, $P < 0,05$).

7. táblázat A kísérleti állatok termelési paraméterei (átlag $\pm$ SEM; $n=6$)

Kezelés	Testsúly (g; 35. nap)	Takarmányfelvétel (g)	Takarmány-értékesítés (kg/kg)
C	2479,9 $\pm$ 25,6 ^a	3351,0 $\pm$ 16,8	1,40 $\pm$ 0,01 ^b
LPS	2617,1 $\pm$ 46,2 ^{ab}	3489,9 $\pm$ 59,7	1,36 $\pm$ 0,01 ^{ab}
LPST	2633,3 $\pm$ 37,9 ^b	3419,1 $\pm$ 9,6	1,33 $\pm$ 0,01 ^a
LPM	2579,2 $\pm$ 30,4 ^{ab}	3447,7 $\pm$ 50,5	1,36 $\pm$ 0,01 ^{ab}
P-érték	0,029	NS	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 szójadarát részben sertés húsliszttel helyettesítettük; NS – nem szignifikáns ($P > 0,05$); ^{a,b} Eltérő jelzések egy adott oszlopon belül szignifikáns különbséget jeleznek ($P < 0,05$)

A felnevelés teljes időszakában a takarmány-értékesítés értéke az LPST csoportban volt a legjobb, amely érték szignifikánsan kedvezőbb volt, mint a kontrollcsoportban, de nem tért el szignifikánsan a másik két fehérjecsökkentett kezeléstől. A testsúly és takarmány-értékesítés adatokkal ellentétben a brojlercsirkék takarmányfelvételében nem találtunk szignifikáns különbséget a kezelések között a kísérlet egyik fázisában sem. Az LPS és LPST csoportban a vágási kihozatal nem különbözött a kontrollcsoportéhoz képest (8. táblázat). 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 ($P < 0,05$).

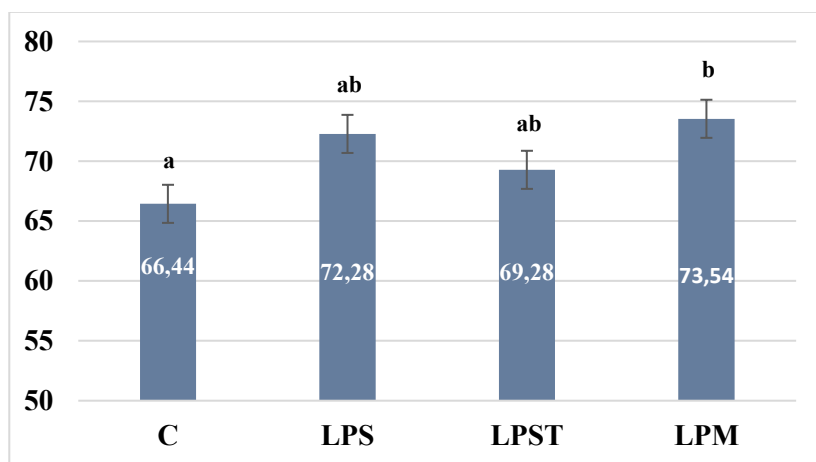
A takarmányozási kezelések hatása a N-retencióra a 2. ábrán látható. Az LPM csoport kísérleti állatai szignifikánsan nagyobb N-retenciót értek el, mint a C csoport egyedei ($P < 0,05$).

8. táblázat: Vágási kihozatal és a vágott test összetétele¹ (% , átlag ± SEM; n=12)

Kezelés	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	NS	0,032

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; ¹ A testösszetétel értékeit az élősúlyhoz viszonyított százalékban fejeztük ki; NS – nem szignifikáns (P>0,05);

^{a,b} Eltérő jelzések egy adott oszlopon belül szignifikáns különbséget jeleznek (P<0,05)



2. 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)

A kísérleti kezelések nem befolyásolták szignifikánsan a bélsár-N, húgysav-N, NH₄⁺-N, vizelet-N és összes-N koncentrációját a brojlersírkék ürülékében. 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 (9. táblázat).

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

Kezelés	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	<0,05

C - kontrollesoport; 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; NS – nem szignifikáns ($P>0,05$), ^{a-b} Az azonos betűket nem tartalmazó átlagok szignifikánsan különböznek egymástól ($P<0,05$)

4. 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 receptúránk 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, 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 acetyl-CoA karboxiláz enzim aktivitás állhat. Bár kokcidiózisra utaló tüneteket nem tapasztaltunk, véleményem szerint a kísérletben a kokcidiostatikumok helyett alkalmazott kokcidiózis vakcina kisebb hatékonyságának szerepe lehetett abban, hogy az elvégzett szubjektív megfigyelésen alapuló emésztőkészülék vizsgálat során szokatlanul nagy gáztartalmú beleket, kifejezetten élénkvrös 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 kokcidostatikumot 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 esetése során gyakran tapasztalt megnövekedett hasúri zsír mennyiség csökkentésében eredményt érjünk el. Mivel a hasúri zsír relatív súlya kísérletben (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, ezzel kapcsolatban javaslatokat 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 nyerszsírtartalmának 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 brojlerek 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 brojlerek 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 takarmányértékesítés 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 (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.

5. 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.

6. Az értekezés témaköréhez kapcsolódó publikációk

I. Szakcikk idegen nyelvű lektorált folyóiratban

Strifler, P.; Horváth, B.; Such, N.; Farkas, V.; Wágner, L.; Dublec, K.; Pál, L. (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. DOI: 10.3390/ani13091476

Strifler P, Horváth B, Such N, Dublec K and Pál L (2024) Effects of different dietary threonine and glycine supplies in broilers fed low-protein diets. *Front. Vet. Sci.* 11:1373348. doi: 10.3389/fvets.2024.1373348

II. Szakcikk magyar nyelvű lektorált folyóiratban

Strifler, P., Horváth, B., Bencze-Nagy, J., Such, N., Csitári, G., Dublec, K., Pál, L. (2023) Csökkentett nyersfehérjeszintű, probiotikummal kiegészített takarmányok hatásai brojlercsirkék termelési eredményeire és bélegészségügyi jellemzőire. *Állattenyésztés és Takarmányozás*, 72 (1). pp. 29-47. ISSN 0230-1814

III. Konferencia kiadványban teljes terjedelemben megjelent közlemény

Strifler, P., Such, N., Horváth, B., Rawash, M., A., Wágner, L., Dublec, K., Pál, L. (2021) Csökkentett nyersfehérje tartalmú takarmányok és egy probiotikus készítmény hatása brojlercsirkék termelési paramétereire. In: XXVII. Ifjúsági Tudományos Fórum, Keszthely, Magyarország, Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Georgikon Campus pp. 9-14.

Strifler, P., Horváth, B., Such, N., Zsarnóczay, S., Dublec, K., Pál, L. (2022) Eltérő nyersfehérje- és energiaszintű takarmányok hatása brojler kakasok termelési eredményeire, nitrogénretenciójára és az ürülék nitrogénformáira. In: XXVIII. Ifjúsági Tudományos Fórum, Keszthely, Magyarország, Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Georgikon Campus pp. 139-144.

IV. Konferencia kiadvány összefoglaló kötetében megjelent közlemény

Strifler, P., Horváth, B., Such, N., Bencze-Nagy, J., Wágner, L., Dublec, K., Pál, L. (2021) Eltérő nyersfehérje- és energiaszintű takarmányok hatása brojlercsirkék termelési paramétereire, vágóértékére és húsmínőségére In: LXII. Georgikon Napok konferenciakötet, A klímaváltozás kihívásai a következő évtizedekben, Keszthely, Magyarország Szent István Egyetem, Georgikon Campus, p.23, 1 p.

Strifler, P., Horváth, B., Such, N. A., Farkas, V., Csitári, G., Wágner, L., Dublec, K., Pál, L. (2021) Csökkentett nyersfehérje szintű takarmányozás hatása brojlercsirkék vakbél mikrobiotájára. In: Szalka, Éva (szerk.) „Innováció és digitalizáció”: XXXVIII. Óvári Tudományos Nap, Absztraktkötet, Mosonmagyaróvár, Magyarország, Széchenyi István Egyetem Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar, pp. 40-40., 1 p.

Strifler, P., Horváth, B., Such, N. A., Kisjuhász, G., Dublec, K., Pál, L. (2022) Effects of low protein diets and probiotic supplementation on gut health parameters

of broiler chickens. In: Vladimir, Brajković; Vlatka, Čubrić Čurik; Ino, Čurik; Ivana, Držaić; Mario, Shihabi (szerk.) ASD 2022 - Book of Abstracts, 30th International Symposium Animal Science Days 2022, Zágráb, Horvátország, University of Zagreb, Faculty of Agriculture, 115 p. pp. 74-74., 1 p.

Strifler, P., Such, N. A., Farkas, V., Horváth, B., Dublec, K., Pál, L. (2023) Effect of different energy levels of low protein diets on the nitrogen retention and excretion of broiler chickens, In: 23rd European Symposium on Poultry Nutrition - Book of Abstracts, Rimini, Olaszország: World's Poultry Science Association (WPSA), 446 p. p. 237 Paper: PS2-0, 1 p.

7. Irodalomjegyzék

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. doi: 10.1093/ps/81.8.1156

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

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.,

DOI: 10.3382/ps.0622106

OECD/FAO (2024): "OECD-FAO Agricultural Outlook", OECD Agriculture statistics (database), DOI: 10.1787/agr-outl-dataen

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

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.

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

Siebert, 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

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

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

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

DOI: 10.1186/2049-1891-5-34