



MAGYAR AGRÁR- ÉS ÉLETTUDOMÁNYI EGYETEM

GEORGIKON CAMPUS

**Osztott tojótyúk takarmányozási rendszer tojástermelési,
környezeti és emésztés-élettani hatásainak vizsgálata**

Horváth Boglárka

Keszthely

2025

A doktori iskola

megnevezése: Festetics Doktori Iskola

tudományága: Állattenyésztési tudományok

vezetője: Dr. 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

1. Bevezetés	4
2. Célkitűzések.....	6
3. Irodalmi áttekintés.....	7
3.1. Étkezési tojást termelő tojótyúkوك energia ellátása	7
3.2. Étkezési tojást termelő tojótyúkوك fehérje és aminosav ellátása.....	12
3.3. Étkezési tojást termelő tojótyúkوك kalcium és foszfor ellátása	22
3.4. Alternatív tojótyúk takarmányozási rendszerek	26
3.4.1. Szabadon válogató takarmányozási rendszer ("free-choice feeding", "cafeteria feeding").....	26
3.4.2. Egész szemű gabonás keverékre alapozott rendszer ("loose-mix feeding").....	29
3.4.3. Osztott takarmányozási rendszer ("sequential feeding" vagy "split feeding").....	30
3.5. A baromfitartás erőforrásigénye és környezetterhelő hatása.....	36
4. Anyag és módszer	39
4.1. Modell kísérletek anyagai és módszerei.....	39
4.1.1. Kísérleti állatok és elhelyezésük	39
4.1.2. Kísérleti takarmány kezelések	40
4.1.3. Mérések és mintavételi eljárások	46
4.2. Nagyüzemi kísérlet anyagai és módszerei.....	49
4.2.1. Kísérleti állatok és elhelyezésük	49
4.2.2. Kísérleti takarmány kezelések	49
4.2.3. Mérések és mintavételi eljárások	51
5. Eredmények és értékelésük.....	53
5.1. Hagyományos és osztott etetési technológia összehasonlítása (1. modell és üzemi kísérlet) ...	53
5.1.1. Testsúly, tojástermelési és tojásmínőségi paraméterek	53
5.1.2. Retenció és ürülék összetétel	62
5.1.3. Aminosavak látszólagos ileális emészthetősége	66
5.1.4. Sípcont hamu, kalcium és foszfor tartalma, törésszilárdsága	68
5.1.5. Takarmányozási költségek.....	69
5.2. Eltérő fehérje és aminosav ellátás hatásának összehasonlítása osztott etetési technológiában (2. modell kísérlet)	69
5.2.1. Testsúly, tojástermelési és tojásmínőségi paraméterek	69
5.2.2. Retenció és ürülék összetétel	74
5.2.3. Aminosavak látszólagos ileális emészthetősége	76
5.2.4. Sípcont hamu, kalcium és foszfor tartalom	77
5.2.5. Takarmányozási költségek.....	78
5.3. Eltérő kalcium ellátás hatásának összehasonlítása osztott etetési technológiában (3. modell kísérlet)	79
5.3.1. Testsúly, tojástermelési és tojásmínőségi paraméterek	79
5.3.2. Retenció és ürülék összetétel	83
5.3.3. Aminosavak látszólagos ileális emészthetőségé	86
5.3.4. Takarmányozási költségek.....	87
6. Következtetések és javaslatok.....	88
7. Új tudományos eredmények	91
8. Összefoglalás	92
9. Summary	94
10. Mellékletek	96
11. Köszönetnyilvánítás.....	117

1.Bevezetés

A tojás a fejlődő madárembrió számára az összes fontos táplálóanyagot, makro- és mikroelemet tartalmazza, összetétele és biológiailag jó hasznosulása alapján az ember számára is az egyik legősibb teljes értékű élelmiszer. Az embrió igényei miatt a víz, a hamu és a főbb szerves táplálóanyagok, a fehérjék, zsírok és szénhidrátok koncentrációja meglehetősen stabil, bizonyos összetevők (pl. zsírsavösszetétel, egyes vitaminok és mikroelemek) arányai a takarmányozással is változtathatók (Réhault-Godbert et al., 2019). A tojásban található bioaktív összetevők antimikrobiális, immunmoduláló, antioxidáns, rákellenes vagy vérnyomáscsökkentő hatást mutatnak (Andersen, 2015). A tojásfogyasztást évtizedekig negatívan érintette a tojás viszonylag magas koleszterin tartalma (kb. 200 mg/tyúktojás). Az elmúlt húsz évben bebizonyosodott, hogy a tojás koleszterinje egészséges egyéneknél, mértéktartó fogyasztás esetén nem növeli a szív- és érrendszeri betegségek (CVD) kockázatát (McNamara, 2015).

A globális tojástermelés 2000 és 2020 között 68%-kal, 51 millió tonnáról 86 millió tonnára nőtt, amely dinamikus növekedés várhatóan 2030-ig folytatódni fog (OECD/FAO, 2023). A növekedés nagy része Ázsiának köszönhető, ahol a világon termelt összes tojás 60%-át állítják elő. A globális tojástermelés 34%-át Kína adja közel 30 millió tonnával (FAO, 2022). Az Európai Unióban a tojótyúkállomány több mint 350 millió egyedszámú, ebből 7 és 8 millió között mozog a hazai tojótyúkállomány (FAO, 2022). A hazai tojásfogyasztás 240 db volt 2018-ban, a teljes kb. 2,4 milliárd db hazai éves tojásfogyasztás felét a hazai nagyüzemek állítják elő, kb. 600 millió db a háztáji gazdaságokból és kb. 500 millió importból kerül a fogyasztókhoz. A tojótyúkok számára előállított takarmánykeverékek a teljes ipari tápgyártás volumenének kb. 12-13%-át adják világszinten, hazánkban is ehhez hasonlóan kb. 9%-ot (359 ezer tonna 2021-ben; AKI, 2021.).

A tojótyúkok takarmányozásában a hagyományos, széles körben alkalmazott gyakorlat a nap folyamán azonos összetételű és tápanyagtartalmú, teljes értékű keveréktakarmány etetése. Az un. alternatív rendszerek, mint például a szabadon válogató, az osztott vagy az egész szemű gabonás keveréken alapuló rendszer pontosabban követhetik a napi tojásképzési ciklus óránként, napszakonként változó táplálóanyag- és kalcium igényét, bizonyos esetekben lehetőséget adnak az energia-, fehérje- és kalciumforrások közötti szelekcióra. (Molnár et.al., 2018a). Egyes technológiákban lehetőség van a helyi, teljes kiőrlésű gabonafélék felhasználására, amivel csökkenthető a gabonafélék szállításához, őrléséhez és keveréséhez szükséges energia, a takarmánygyártás széndioxid-lábnyoma. A szakaszos vagy osztott etetési rendszerben a reggeli és délutáni, különböző összetételű takarmány ugyanabban az etető vályúban kerül kiosztásra, és ez

lehet a legmegfelelőbb alternatív rendszer a nagyüzemi tojótyúktartó telepek számára (Molnár et.al., 2018a). Az osztott takarmányozási rendszernek két típusa jött létre. Az első, egész szemű gabonát nem alkalmazó típusban a technológiai ajánláshoz képest az állatok a délelőtti folyamán a tojásfehérje képződése miatt egy energiában és fehérjében gazdagabb, illetve kalciumban szegényebb, míg a délutáni folyamán energiában és fehérjében szegényebb, viszont a héjképződés nagyobb igénye miatt egy kalciumban gazdagabb keveréket fogyasztanak (Lee és Ohh, 2002). A második, egész szemű gabonát felhasználó technológiában a délelőtti folyamán történik a gabona etetése önállóan, ami energiában gazdag, de fehérje és kalcium tartalma nem éri el az állatok szükségletét. A délutáni során egy energiában szegény, de fehérjében és kalciumban gazdag keverék etetésére kerül sor (Umar-Faruk et al., 2011). Az osztott rendszerrel több kísérlet eredményei szerint a hagyományos takarmányozáshoz képest hasonló tojástermelés, kisebb takarmányfelvétel, valamint jobb takarmányértékesítés érhető el (Leeson és Summers, 1978; Lee, K.H.; Ohh, Y.S. (2002); de Los Mozos et.al, 2015; Umar Faruk et al., 2010)

Doktori kutató munkám során az első típusú osztott rendszer vizsgálatával foglalkoztam és igyekeztem a kísérletek célkitűzéseit az aktuális tojótyúk takarmányozási kihívásokhoz igazítani. A modern genotípusok már 100 élethétig tartó tojástermelési ciklusra is alkalmasak, a madarak nagyon hosszú ideig képesek termelésüket a 90%-os intenzitás fölött tartani (Hy-Line, 2024). Ezen genotípusok takarmányozása az osztott rendszerben még modell szinten sem megfelelően vizsgált, a nagyüzemi alkalmazásról, ketrec nélküli tartástechnológiákról pedig alig van információ. A saját kísérleteim során kidolgozott rendszerben nagy hangsúlyt fektettem a takarmánykeverékek nyersfehérje tartalmának vizsgálatára, az ún. csökkentett nyersfehérje szintű takarmányozás megvalósítására. Az intenzíven termelő modern tojótyúkok hatékonyabb kalcium ellátásában is segíthet az osztott rendszer, amelyet szintén vizsgáltam kísérleteimben. A tojótyúk állományok is hozzájárulnak az állattenyésztés nitrogén, kalcium és foszfor emissziójához, ami az osztott rendszer segítségével elméletileg csökkenthető. Kísérleteimben ezért újszerű módon a tojástermelési, tojásmínőségi jellemzők és sípcsont összetétel mellett számos környezetterheléssel kapcsolatos paramétert (pl. N-, Ca- és P-emisszió, az ürülék különböző N-formái) is vizsgáltam az osztott technológia minél komplexebb értékelésére törekedve.

2. Célkitűzések

Doktori kutató munkám során a tojótyúkok osztott takarmányozási rendszerének vizsgálatával kapcsolatban a következő célkitűzéseket fogalmaztam meg:

1. Kísérleteimhez olyan saját fejlesztésű osztott etetési technológia létrehozása, amelynek délelőtti takarmánykeverékében a nyersfehérje tartalom újszerű módon megegyezik a technológiai ajánlásokokban feltüntetett értékkel, a délutáni takarmánykeverékek nyersfehérje tartalma pedig ennél az értéknél kisebb. A nyersfehérje tartalom beállításán túl a keverékek aminosav tartalmának optimalizálása során nyolc esszenciális aminosav (lizin, metionin, arginin, valin, treonin, leucin, izoleucin, triptofán) standardizált ileálisan emészthető (SID) koncentrációját veszem figyelembe a pontosabb aminosav ellátás érdekében. A létrehozott osztott takarmányozási rendszert össze kívánom hasonlítani a hagyományos etetési technológiával a tojótyúkok testsúlya, tojástermelési jellemzői, a tojásmínőség paraméterei, a nitrogén, kalcium, foszfor felvétele, retenciója és emissziója, az aminosavak látszólagos ileális emészthetősége és a sápcsont törésszilárdsága, összetétele (hamu, kalcium és foszfor tartalom) szempontjából.

2. A kifejlesztett osztott rendszer és csökkentett nyersfehérje szintű változatának (LP) összehasonlítása az eltérő nyersfehérje és aminosav ellátás hatásainak vizsgálata céljából. Az LP keverékek a kontroll osztott takarmánykeverékekhez képest mind a délelőtti, mind a délutáni keverékek esetében 2%-kal kisebb nyersfehérje szinttel rendelkeznek, de a SID lizin, metionin, metionin+cisztin, treonin, valin és arginin koncentrációik azonosak. A normál és az LP kezelések hatásait a tojótyúkok testsúlyára, tojástermelési paramétereire, tojásmínőségi jellemzőkre, a nitrogén, kalcium, foszfor felvételre, retenció és emisszió értékekre, az aminosavak látszólagos ileális emészthetőségére és a sápcsont összetételére (hamu, kalcium és foszfor tartalom) kívánom vizsgálni.

3. A kifejlesztett osztott takarmányozási rendszerben a kontroll kalcium ellátáshoz hasonlítva (a szükséglethez képest a délelőtti keverékben kb. 20%-kal kisebb, a délutániban pedig kb. 20%-kal nagyobb kalcium szint) a délelőtti és délutáni takarmány kalcium szintjei között nagyobb különbséget biztosító kalcium ellátás (a délelőtti keverék kalcium tartalma a szükségletnél 38%-kal kisebb, a délutáni 35%-kal nagyobb) vizsgálata a tojótyúkok testsúlyára, tojástermelési paramétereire, tojásmínőségi jellemzőkre, a nitrogén, kalcium, foszfor felvétel, retenció és emisszió értékekre, az aminosavak látszólagos ileális emészthetőségére és a sápcsont összetételére (hamu, kalcium és foszfor tartalom).

3. Irodalmi áttekintés

3.1. Étkezési tojást termelő tojótyúkok energia ellátása

A baromfitakarmányok energiatartalmának és a baromfi energiaszükségletének kifejezésére világszerte legelfogadottabb a zéró N-retencióra korrigált látszólagos metabolizálható energia (AMEn) használata (NRC, 1994; GfE, 1999; Magyar Takarmánykódex, 2004). Az összetevők és a teljes értékű takarmányok energiatartalmát és a napi beviteli ajánlásokat általában kJ-ban vagy MJ-ban, bizonyos országokban még mindig kcal-ban, fejezik ki. Az állatok napi energiaszükséglete a létfenntartási és a termelési szükségletek összege. A létfenntartási szükségletet elsősorban a tyúkok metabolikus testtömege határozza meg. További tényezők az aktivitás (mélyalmos istállóban és szabad tartásban nagyobb mértékben, mint a ketrecben), a környezeti hőmérséklet, a tollfedettség állapota és a genotípus. A termelés energiaszükségletét elsősorban a napi tojástömeg-kibocsátás, a testtömeg-növekedés és a tollasodás igényei határozzák meg.

A Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (GfE, 1999) által az energiaszükséglet számítására használt faktoriális módszerben a létfenntartás energia szükséglete 15-28°C környezeti hőmérséklet tartományban 480 kJ AMEn/ kg BW^{0,75} (BW^{0,75} a metabolikus testtömeg). A GfE (1999) által leírt faktoriális módszer alapján számított ajánlások 10, illetve 15 %-kal több létfenntartási energiát feltételeznek madárházban és szabad tartás esetében, összehasonlítva a ketreces tartással. További energiára van szükség akkor is, ha a környezeti hőmérséklet 15 °C alá csökken. A GfE (1999) ajánlásai 7 kJ/kg BW^{0,75} többlet energiát feltételeznek minden egyes °C-kal alacsonyabb hőmérséklet esetén. A tollak elvesztését is többlet energiával kell kompenzálni a testhőmérséklet fenntartásához, különösen az indukált vedlés esetén. Ez a többlet energia a termoneutrális zóna felett, 28°C-nál nagyobb környezeti hőmérséklet esetén is szükségessé válik a termelődő felesleges testhő elvezetéséhez. Ez gyakori probléma a szubtrópusi és trópusi régiókban, illetve ma már a mérsékelt éghajlatú övezetekben is a forró nyarak idején. A termeléshez kötődő energiaszükséglet nagyobb hányadát a tojásképzés energiaszükséglete jelenti. Egy átlagos összetételű 60 g-os tyúktójas energiatartalma 6,5 kJ/g. A metabolizálható energia 68%-os transzformációs hatásfokával számolva ez 576 MJ ME/tojás. A tojóciklus elején a fiatal tyúkok testsúlygyarapodása még zajlik. Ennek energiaszükségletét 23 kJ/g testsúlygyarapodás értékeben határozta meg a GfE (1999).

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

$$\text{AMEn (kJ/nap)} = (480 + (15 - \text{UT}) \times 7) \times \text{BW}^{0,75} + 23 \times \Delta \text{BW} + 9,6 \times \text{O}$$

UT: környezeti hőmérséklet (°C)

$\text{BW}^{0,75}$: metabolikus testtömeg

ΔBW : napi testsúlygyarapodás (g/tyúk/nap)

O: termelt napi tojástartó (g/nap)

A fenti egyenlet alapján egy 1800 g testsúlyú tojótyúk napi energiaszükséglete 60g-os tojástartó termelés és ketreces tartásmód esetén, 15-28°C környezeti hőmérséklet tartományban 1,33 MJ AMEn/nap. Mélyalmos és madárház tartásmódban ez 1,40 MJ/nap, szabad tartásban pedig 1,44 MJ/nap érték. Ennek a szükségleti értéknek a nagyobb hányadát a létfenntartás energiaszükséglete teszi ki a tojástartó ciklus teljes ideje alatt. Az 1. táblázat ezeket az adatokat, illetve több egyéb forrásból származó javasolt energiaszükségleti értéket mutat be 1,8 és 2,2 kg testtömegű, napi 55 vagy 60 g tojástartót termelő tojótyúk esetében.

1. táblázat Tojótyúkok energiaszükségletére vonatkozó ajánlások a csúcstartó idején, semleges hőmérsékleti viszonyok között

Forrás	Élő súly (kg)	AMEn szükséglet (MJ/állat/nap)	
		55 g napi tojástartó	60 g napi tojástartó
GfE (1999)	1,8	1,28 ¹ /1,35 ² /1,39 ³	1,33/1,40/1,44
	2,2	1,40/1,49/1,53	1,45/1,53/1,58
ARC (1975)	1,8	1,60	na
	2,2	1,67	na
Leeson és Summers (2001)	1,8	1,22	na
	2,2	1,38	na
NRC (1994)	1,8	1,31	na
	2,2	1,45	na
Vogt (1987)	1,8	1,31	1,35
	2,2	1,39	1,44

¹ketreces tartás; ²istálló tartás; ³szabad tartás; na: nincs adat

A hagyományos ketrecekben tartott tojótyúkra vonatkozó ajánlások - az 1975-ös Agricultural Research Council (ARC, 1975) adatok kivételével - szoros összhangban vannak, és magasabb energiaszükségletet feltételeznek a létfenntartáshoz, amely a teljes energiaszükséglet kb. 60 %-át teszi ki, míg a termeléshez csak kb. 40 %-os részarányt társítanak.

Az optimális energiaellátásra vonatkozó ajánlások meglehetősen egybehangzóak és átlagos gyakorlati körülményeket, illetve optimális környezeti hőmérsékletet feltételezve 11,0-12,0 MJ AMEn/kg takarmány energiatartalmat ajánlanak (2. táblázat). Ebből a tartományból kilóg az ARC (1975) szakértőinek ajánlása, akik feltételezték, hogy a tojótyúkok napi energiabevitelét a takarmányfogyasztás növelésével is be lehet állítani, feltéve, hogy legalább 9,6 MJ/kg takarmányt biztosítunk az állatnak. Bár egyetértés van azzal kapcsolatban, hogy a tojótyúkok képesek a takarmányfelvételüket bizonyos mértékig az energiatartalom alapján módosítani, a kutatási eredmények azt sugallják, hogy a 9,6 MJ/kg túl kevés lenne a mai, nagy hatékonyságú tojótyúkok számára, amelyek valószínűleg nem növelik ennek megfelelően a takarmányfelvételüket.

2. táblázat Tojótyúk takarmánykeverékek energiatartalmára vonatkozó ajánlások

	Forrás	MJ AME_n/kg takarmány (88 % sz.a.)
Tudományos eredmények alapján	ARC (1975)	min. 9,6
	Jeroch és Dänicke (2011)	kb.11,4
	Larbier és Leclercq (1994)	11,3-12,1
	Leeson és Summers (2005)	11,7-12,1
	NRC (1994)	kb.11,9
	PAN (2005)	11,1-11,7
	Vogt (1987)	11,0-11,5 (10,5-12,5),
Gyakorlati tapasztalat	Lohmann Tierzucht	11,4-11,6
	DLG Standards (1992)	10,4-11,4

A táblázatban foglalt ajánlások érvényessége nem nagyon változott. Egy mai modern tojóhibrid esetében a napi 115g, 11,5 MJ/kg AMEn tartalmú takarmánykeverékkel felvett 1,32 MJ/kg energia fedezheti a napi energiaszükségletet még a csúcstermelés időszakában is. A Hy-Line Brown hibrid ajánlásában az energiaszükséglet 1,32-1,38 MJ ME/nap az első tojáستól a csúcstermelésnél 2%-kal kisebb intenzitásig, majd 1,30-1,36 MJ ME/nap a 92%-os tojástermelési intenzitás felett, illetve 1,28-1,34 MJ ME/nap a 91-88%, 1,26-1,32 MJ ME/nap a 87-83% tojástermelési szint között és utána a ciklus végéig (Hy-Line Brown 2024). Az ilyen energiatartalmú takarmányból a tojótyúkok a csúcstermelés közelében 1,8-1,9 kg-ot, a tojóciklus végén kb. 2,2 kg-ot fogyasztanak 1 kg tojás előállításához (Hy-Line Brown, 2024). A gyakorló szakemberek a különböző tenyésztő cégek technológiai ajánlásait használják leggyakrabban a takarmányok optimalizálása során. Ezek az ajánlások azonban sok esetben nem egyértelműek a feltüntetett energia értékek (pl. AME vagy AMEn) típusát illetően (Kleyn et al., 2022). A Hy-Line (2020) cég ajánlásaiban olyan táblázatokat használt (2018-2019 Feedstuffs Reference Table; Batal és Dale, 2019), amelyek a valódi

metabolizálható energia (TME) meghatározásán alapulnak.

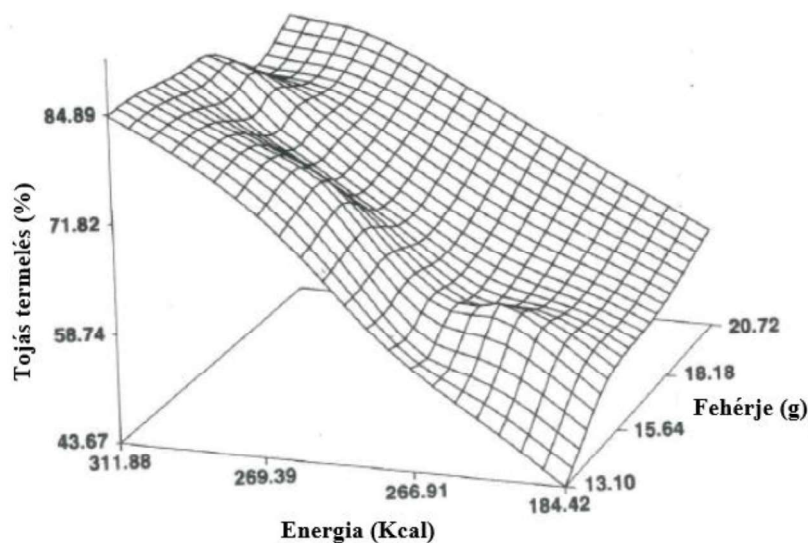
A megfelelő energiaellátás magas hőmérsékleti körülmények között mindig kihívást jelent. A hőmérséklet emelkedésével a tojótyúkok csökkentik napi takarmányfelvételüket és ezáltal az energia- és táplálékanyag-felvételt. Korai szakirodalmak ajánlásai alapján magas hőmérsékleten növelni kell a takarmánykeverék energiasűrűségét a csökkent takarmányfelvétel ellensúlyozására (Leeson és Summers, 2001). Magas hőmérsékleten, amikor a napi takarmányfelvétel már kevesebb, a tyúkok a takarmány megnövelt energiakonzentrációjára válaszul a növelésnél kisebb arányban csökkentik a takarmányfelvételüket, aminek nettó hatása a megnövekedett energiafelvétel, ahogyan az a 3. táblázatban látható.

3. táblázat A takarmány energiatartalmának (AMEn) hatása a napi takarmányfelvételre és a metabolizálható energia (AMEn) felvételre különböző hőmérsékleteken¹

Metabolizálható energia tartalom (MJ AMEn/kg)	18 °C		30 °C	
	Takarmány- felvétel (g/állat/nap)	Energia felvétel (MJ/állat/nap)	Takarmány- felvétel (g/állat/nap)	Energia felvétel (MJ/állat/nap)
11,95	127	1,52	107	1,28
12,79	118	1,50	104	1,34
13,58	112	1,52	102	1,38
14,42	106	1,52	101	1,46

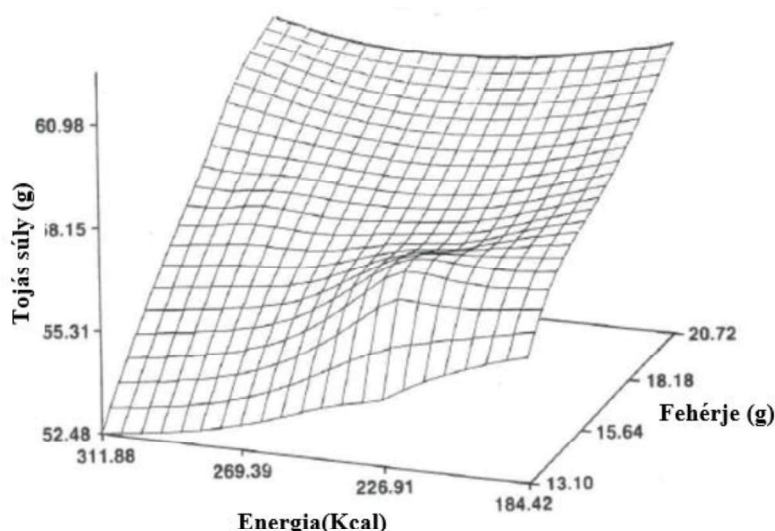
¹Payne (1967) idézi Leeson és Summers (2005)

A takarmány energiatartalma a tojástermelési paraméterek közül elsősorban a tojástermelési intenzitást határozza meg (1. ábra).



1. ábra A tojótyúkok napi energia- (Energy; Kcal) és fehérje felvételének (Protein; g) hatása a tojástermelésre (Egg Production; %) a 18-66. élethéten (Leeson és Summers, 2001)

Az energia felvétel növekedésével a termelt tojások száma növekszik, függetlenül a fehérje felvételtől. A fehérje felvétel növekedésére nagyon kevés energia felvételi szinten a tojástermelési % kismértékű pozitív reakciót mutat. Amint azonban a napi energia felvétel eléri a 230 kcal ME/nap (0,96 MJ ME/nap) értéket, a tojástermelési intenzitás nem reagál a fehérje felvétel nagymértékű változásaira sem. A tojástömegnek az energia- és fehérjefelvételtől való függése ezzel szemben a fehérje felvétel hatásának dominanciáját mutatja (2. ábra).



2.ábra A tojótyúk napi energia- (Energy; Kcal) és fehérje felvételének (Protein; g) hatása a tojástömegre (Egg Weight; g) a 18-66. élethéten (Leeson és Summers, 2001)

A 2. ábrán bemutatott fehérje felvételi szinten a metionin és a lizin a fehérje 2 és 5%-át jelentette. Kis fehérje felvételi szinteken az energia felvétel növekedése negatívan hat a tojástömegre. Közelítve a gyakorlatias fehérje felvételi szintekhez az energia felvételnek nincs jelentős hatása a tojástömegre.

Az AMEn rendszertől eltérő, tojótyúkokra vonatkozó egyéb energia értékelési rendszerek többnyire az ME rendszer módosításai, ahol az összetevők kémiai összetétele alapján valamilyen matematikai modell alapján történtek változtatások. A takarmány alapanyagok AMEn értékének meghatározásához általában kifejlett kakasokkal és brojlekkel történtek a vizsgálatok, amelyek a legtöbb esetben jól használhatók tojótyúkok esetében is. A Brazíliában alkalmazott ME rendszer külön ME értéket ad meg tojótyúkok részére, ahol a nitrogénmentes kivonható anyag és a nyersrost minden meg nem emésztett g-jára $0,1256 \times 10^{-3}$ MJ plusz energiát számolnak (Rostagno et al., 2017). A lipidekből származó ME fenntartási és termelési célú felhasználása körülbelül 15%-kal több a tojótyúkoknál, mint a felnőtt kakasoknál, ami a holland Centraal Veevoederbureau (CVB) rendszerében kerül beszámításra (CVB, 2018). A kifejlett házityúk és a fiatal brojlek lipid- és

keményítő-emésztési képességükben különböznek egymástól. Ezt a különbséget a zéró nitrogén retenció meghatározásával együtt a francia INRAE rendszer figyelembe veszi a kifejlett madarakra és a brojlercsirkékre külön megalkotott ME értékekben (INRAE-CIRAD-AFZ, 2021).

A nettó energia (NE) alapon összeállított takarmánykeverékek bizonyos esetekben előnyösek lehetnek tojótyúkok esetében is (Barzegar et al., 2019; Noblet, 2015). A tojótyúkokra vonatkozó NE-értékek meghatározása során Barzegar et al. (2019) az AMEn-re javasolt értékeket és egyenleteket használták. Korrekciós tényezőket alkalmaztak a lipidek energiatartalmának növelésére (+18,5%), illetve a fehérjék energiához való hozzájárulásának csökkentésére (-8,8%). A NE bioassay azonban speciális berendezést igényel a gázcsere mérésére, ami drága és csak korlátozott ismételhetőséget biztosít (Musigwa et al., 2021). Az NE meghatározására más módszereket is vizsgáltak, mint például a szén (C)–nitrogén (N) egyensúly módszere (Jadhao et al., 1999) vagy az összehasonlító vágási technika (Carre et al., 2014), amely a szöveti retenciót méri a szervezetben és a tojásokban (Reynolds, 2000; van der Klein et al., 2000). Ezen módszerek bármelyikének alkalmazása szintén költséges és időigényes. Jelenleg csekély az érdeklődés az NE rendszer fejlesztésének irányába és a kutatók többsége meg van győződve, hogy az NE rendszer nem jelent lényeges előbbre lépést az AMEn rendszerhez képest. Kleyn et al. (2022) vizsgálatában az AMEn rendszert összehasonlította az INRAE, a CVB, a brazil ME és az NE rendszerekkel a tojótyúk takarmánykeverékek összeállítása során és a különböző keverékekkel elért termelési eredmények alapján. A tojók önkéntes takarmányfelvételét és termelési teljesítményét valamennyi energia értékelési rendszer hasonló hatékonysággal jósolta meg. Az AMEn értékek korrekciói a lipid, fehérje vagy rost tartalom alapján nem hoztak semmiféle hatékonysági javulást a termelési eredmények előrejelzésében. Következtetéseik alapján az AMEn rendszer megfelelő pontossággal jósolja meg a tojótyúkok tojástermelési paramétereit és alkalmas a költséghatékony receptúra összeállításra.

3.2. Étkezési tojást termelő tojótyúkok fehérje és aminosav ellátása

Az energiaszükséglet megállapításához hasonlóan a napi nyersfehérje-szükséglet számítása is a létfenntartási és a különböző termelési teljesítményekhez kötődő fehérjeszükségletből tevődik össze (GfE, 1999). A létfenntartás nyersfehérje-szükséglete a metabolikus testtömegtől ($BW^{0,75}$) függően $3,1 \text{ g} \times BW^{0,75}$, ami független a tartástechnológiától és egy 1,8 kg-os tojótyúk esetében naponta kb. 4,6 g nyersfehérjét jelent. A 3,1-es szorzószám 0,1-es értékkel már tartalmazza a tollképződés fehérjeszükségletét is. A teljesítmény a napi termelt tojástömegtől függ, ahol a tojás 11,2 %-os fehérjetartalmával és a takarmányfehérjének tojásfehérjévé történő 45%-os átalakítási hatékonyságával számolva 0,25 g nyersfehérje/g tojástömeg szükségleti érték adódik. A

tojástermelési ciklus első heteiben a tojók testtömeg-gyarapodásának fehérje szükséglete 0,17 g nyersfehérje/g súlygyarapodás. Az összes nyersfehérje-szükséglet a fentiek alapján a következő képlet alapján számítandó, amely ideális esszenciális aminosav összetételű fehérjére vonatkozik (GfE, 1999):

$$\text{Nyersfehérje szükséglet (g/nap)} = 3,1 \times \text{BW}^{0,75} + 0,17 \times \Delta\text{BW} + 0,25 \times \text{O}$$

$\text{BW}^{0,75}$: metabolikus testtömeg

ΔBW : napi testsúlygyarapodás (a 32. élethétig számított; g/tyúk/nap)

O: termelt napi tojástömeg (g/nap)

A fenti egyenlet alapján egy 1800g testsúlyú tojótyúk napi nyersfehérje-szükséglete 60g-os tojástömeg termelés és valamennyi tartásmódra vonatkozóan 19,6 g/nap. Ennek a szükségleti értéknek kb. 23%-a létfenntartási és kb. 77%-a termelési nyersfehérje-szükséglet, azaz a fehérje esetében, az energiaszükséglettel ellentétben, a termelési hányad meghaladja a létfenntartási hányadot. Az adott testsúlyú és genotípusú tojótyúk nyersfehérje szükséglete tehát döntően a megtermelt napi tojástömegtől függ, ami a gyakorlati fázisos takarmányozás során fázisról fázisra változik, az életkor előrehaladtával csökken. A Hy-Line Brown (2024) tojóhibrid táplálóanyag-felvételi ajánlása öt termelési fázist különít el a tojástermelési % alapján: (1) az első tojástól a csúcstermelésnél 2%-kal kisebb termelésig, (2) a csúcstermelésnél 2%-kal kisebb termeléstől 91%-os termelésig, (3) 90-87% tojástermelés között, (4) 86-82% tojástermelés között, (5) 82%-nál kisebb tojástermelés. Az öt fázisban az ajánlott napi nyersfehérje felvétel a fázisok sorrendjében 18,25; 17,85; 17,42; 16,30; 15,50 g/nap. A fázisokban etetett takarmánykeverékekre vonatkozó nyersfehérje tartalom ajánlás már természetesen függ a napi takarmányfelvételtől, ami általában 100-120 g között változik. A felvett takarmány mennyiségét meghatározza energia tartalma is, a takarmány nyersfehérje szintjét ajánlott a tojótyúk változó energia felvételéhez igazítani. A tojótyúkok képesek változtatni a takarmányfelvételüket az aktuális energia szükségletük kielégítése érdekében, ha a takarmány energia tartalma 10,46 és 13,80 MJ AME/kg között változik (Leeson és Summers, 2001). Ha a takarmány energia tartalmát ebben a tartományban növelem, a fehérje tartalmát is növelnem kell az energiaigény kielégítését célzó takarmányfelvételi változás miatt, fenntartva egy ideális AME/nyersfehérje arányt. A modern tojótyúk hibridek azonban nem tudják 100%-os pontossággal azonos szinten tartani az energia felvételüket kb. 11,7 MJ/kg AME szint felett és gondjuk van a megfelelő mennyiségű takarmány felvételével a 11,3 MJ/kg AME tartalomnál kisebb energiatartalmú takarmányok esetében (Leeson és Summers, 2001). Ez mérsékli a takarmány energiatartalma alapján elvárható takarmányfelvételi változásokat és a 17 g/nap ajánlott nyersfehérje felvétel eléréséhez szükséges takarmány

nyersfehérje szint nem változik olyan drasztikusan egy meglehetősen tág energia tartományban (4. táblázat).

4. táblázat A takarmány nyersfehérje szintje az energiafelvételtől és a környezeti hőmérséklettől függően, napi 17g nyersfehérje felvétel biztosításához¹

Tak. ME (MJ/kg)	15-20 °C			27-32 °C		
	AME felvétel (MJ/nap)	Takarmány felvétel (g/nap)	Takarmány nyersfehérje (%)	AME felvétel (MJ/nap)	Takarmány felvétel (g/nap)	Takarmány nyersfehérje (%)
10,87	265	102	16,7	250	96	17,7
11,30	270	100	17,0	255	94	18,1
11,72	275	98	17,3	260	93	18,3
12,13	282	97	17,5	265	91	18,7
12,55	285	95	17,9	270	90	18,8

¹ Leeson és Summers (2001)

Hőstressz során tapasztalt csökkent takarmányfelvétel esetén ajánlatos a takarmány energia szintjét növelni a megfelelő energia felvétel elérése érdekében, de a nyersfehérje tartalomra ez nem igaz. A táplálóanyagok közül a fehérje hőtermelő hatása a legnagyobb, ezért a fehérjéből származó extra hőtermelés elkerülése miatt nem a takarmány nyersfehérje szintjét, hanem az esszenciális aminosavak koncentrációját érdemes emelni a hőstressz időszakában. A kristályos aminosav kiegészítések növelésével elkerülhető a felesleges, hőtermelést fokozó nitrogén bevitele (Leeson és Summers, 2001).

A tojótyúkok fehérje felvételének és a tojástermelési intenzitásnak, illetve tojástömegnek a kapcsolatát az energia ellátás is befolyásolja. Az összefüggés az előző fejezetben ismertetésre és az 1. és 2. ábrán szemléltetésre került. A tojás minőségi paraméterei közül a tojássárgája és a fehérje mérőszámait is képes befolyásolni a fehérje ellátás. Shim et al. (2013) az abszolút tojássárgája tömeg növekedéséről és Haugh-egység csökkenéséről számoltak be a tojás méretének növekedésével, amikor a tyúkok négy különböző nyersfehérje szintű keveréket kaptak 23-74 élethetes koruk között. A tojássárgájának a tojástömeghez viszonyított relatív tömege azonban nem változott a vizsgálatban. Wu et al. (2007) arról is beszámoltak, hogy a takarmány nyersfehérje tartalmának növekedése növelte a tojássárgája és az albumen abszolút tömegét, azonban a kezelés hatása jelentősebb volt az abszolút albumen tömegre, mint az abszolút tojássárgája tömegre. Ez azt jelenti, hogy a fehérjefelvétel és a tojástömeg növekedésével az albumen-sárgája arány csökkent.

A modern tojótyúk hibridek esetében a nyersfehérje szükséglet kielégítése mellett az aminosav

ellátás is kulcsfontosságú szerepet játszik az intenzív teljesítmény elérésében (Emmert és Baker, 1997; Bregendahl et al., 2008). Az életfenntartás, a tojástermelés és a növekedés aminosav igényén kívül számos egyéb tényező, mint például a madár genotípusa, életkora, egészségi állapota, takarmányfelvétele is befolyásolhatja az aminosav igényt. A baromfifajok az aminosavak egy részét nem vagy nem megfelelő mennyiségben képesek előállítani a szükséges fehérjék szintéziséhez. A baromfiban tíz esszenciális aminosav található, ezek a következők: arginin, lizin, leucin, izoleucin, valin, treonin, triptofán, fenilalanin, hisztidin és metionin. Az esszenciális aminosavakat a madaraknak takarmányból kell felvenniük. Az ún. feltételesen esszenciális aminosavak az esszenciális aminosavakból szintetizálódhatnak. A cisztein metioninból, a tirozin pedig fenilalaninból képződhet.

Az esszenciális aminosavak közül a lizin második limitáló aminosav a kukorica-szója alapú takarmányok esetében (Kidd et al., 2013). A lizin szükséglet pontos becslése kritikus fontosságú, mivel az aminosavak egyensúlyára vonatkozó ajánlásokat a lizin arányában fejezik ki és az ideális fehérje elv esetében is alkalmazzák (Emmert és Baker, 1997). A megfelelő lizin ellátás fenntartja az immunrendszer és az emésztőrendszer jó működését (Kidd, 2004; Vaezi et al., 2011) ezen túlmenően, a hozzáadott lizin növelése bizonyítottan javítja a tojótyúkok tojástermelését, tojástömegét és takarmány-hasznosítás hatékonyságát (Faria et al., 2002; Kakhki et al., 2016a). Bár a lizin általában pozitív hatással van a takarmányfelvételre, egyes vizsgálatok szerint a emelt lizin szint következtében csökkenhet a takarmányfelvétel (Bregendahl et al., 2008).

A kéntartalmú metionin és a cisztein általában az elsődlegesen limitáló aminosavak a növényi alapú baromfi takarmányokban (Schutte és Van Weerden, 1978). A metionin nagyobb hangsúlyt kap, mivel metil-donorként felelős a sejtek anyagcseréjéért, koenzimek képződéséért, és a cisztein prekursoraként működik (Bunchasak, 2009). A metionin volt az első takarmányozási célú kristályos aminosav, amelyet 1951-ben vezettek be a takarmányiparban, és gyorsan elterjedt (Kidd et al., 2013). A kéntartalmú aminosavak szintje fontos a megfelelő tojástömeg eléréshez és képesek szabályozni az állatok étvágyát (Fisher és Boorman, 1984). Több vizsgálat is azt találta, hogy a takarmányfelvétel lineárisan növekedett a takarmány kéntartalmú aminosav tartalmával párhuzamosan (Brumano et al., 2010; Carvalho et al., 2018). A túlzott metionin kiegészítés ugyanakkor a tojótyúkok takarmányfelvételét csökkentette (Shafer et al., 1996, 1998).

A treonin a harmadik limitáló aminosavnak számít a hagyományos baromfitápokban (Fernandez mtsai.1994), különösen a 140 g/kg nyersfehérje szintnél kevesebb nyersfehérjét tartalmazó tojótakarmányokban (Azzam et al., 2017). A kristályos treonin az 1980-as években vált kereskedelmi forgalomban elérhetővé (Kidd et al., 2013). A treonin kiemelkedő szerepet játszik a

bélnyálkahártya barrier kialakításában, a mucin szintézisében és az antitest termelésben, ezért különös figyelmet kell fordítani rá rossz higiéniai körülmények között és krónikus betegségek esetében (Wang et al., 2010; Trevisi et al., 2015).

A triptofán, a fenilalanin és a tirozin olyan aromás aminosavak, amelyek részt vesznek a kulcsfontosságú neurotranszmitterek és hormonok működésében (pl. szerotonin, dopamin, noradrenalin) (Wurtman et al., 1980; Fernstrom és Fernstrom, 2007). A triptofán hiányában kialakulhat az agyszövet csökkent szerotoninszintje, ami agresszív tolcsipkedéshez és kannibalizmushoz vezethet a tojótyúkknál, jelentős termelési veszteségeket eredményezve (Birkel et al., 2017). Több szerző is úgy véli, hogy a hagyományos tojótakarmányok elegendő triptofánt tartalmaznak a szükségletek kielégítéséhez, a triptofán kiegészítése azonban szükségessé válhat a csökkentett nyersfehérje szintű takarmányok esetében (Mousavi et al., 2018);

Az elágazó láncú aminosavak (izoleucin, leucin, valin) között antagonizmusok lehetnek, amelyek a kutatások szerint csökkentik a teljesítményt (Peganova és Eder, 2002; Azzam et al., 2015). A valin és az izoleucin a leginkább vizsgált elágazó láncú aminosavak míg a leucin kevesebb figyelmet kapott, mivel a leucin szükségletet általában a hagyományos tojótápok különböző fehérjeforrásai fedezik. A közelmúltban a kristályos formában lévő valin- és izoleucin is elérhető a piacon, így ezzel az elágazó láncú aminosav szükséglet pontosabban kielégíthető. A fehérjeszintézis mellett a megfelelő valin- és izoleucin ellátás fontos a bél immunitás, a "tight junctions" funkciók, az antioxidáns kapacitás és az egyedi anyagcsere-folyamatok fenntartásához.

Az arginin szükséges a tojótyúkok teljesítményének és immunitásának fokozásához, a kreatin, a prolin, a poliaminok és a nitrogén-oxid előanyagaként szolgál (Lieboldt et al., 2015). Az arginin étvágyfokozó tényezőként hathat a tojótyúkknál, és a takarmány arginin szintjének növelésével javulhat a takarmányfelvétel (Lieboldt et al., 2015). Az arginin 12,7 g/kg-nál nagyobb koncentrációja viszont már negatív hatásokat fejtett ki (Yuan et al., 2015). Ezen kívül az arginin serkentheti a luteinizáló hormon szekrécióját és pozitívan befolyásolhatja a tüszőfejlődést, az ovulációt (Youssef et al., 2015; Yuan et al., 2015). Növeli az inzulin, a növekedési hormonok és az inzulinszerű növekedési faktor-I felszabadulását (Silva et al., 2012), továbbá a 14,4 g/kg arginin szint kedvező hatásáról számoltak be Yu et al. (2018) a bélbolyhok fejlődésének vizsgálata során.

A nem esszenciális aminosavakat a tojótyúkok is képesek szintetizálni. Ezek közül legfontosabbak a glicin, szerin, alanin, glutaminsav, aszparaginsav. A baromfitápoknak elegendő nyersfehérjét kell tartalmazniuk ahhoz, hogy nitrogént biztosítsanak ezen nem esszenciális aminosavak szintéziséhez. A glicin szolgálhat szerin prekursorként, és mindkét aminosav étrendi értéke kifejezhető glicin-egyenértékben (Dean et al., 2006). A glicin részt vesz a purinok, a hem csoport,

a glutation és a kreatin szintézisében (Han és Thacker, 2011), az epesavas sók anyagcseréjében (Powell et al., 2009), illetve kiemelten fontos a húgysav szintéziséhez (Bondi, 1987).

Az esszenciális aminosav szükségletet meghatározó tényezők közül a legfontosabbak és a legpontosabban mérhetők az életfenntartás és a tojástermelés esszenciális aminosav szükségletei. A tojás, a tojássárgája, valamint egyes fontosabb, albument felépítő fehérjék átlagos esszenciális aminosav tartalmát az 5. táblázat mutatja be.

5. táblázat A tojás, a tojássárgája, valamint egyes fontosabb, albument felépítő fehérjék átlagos esszenciális aminosav tartalma (a fehérje %-ában) ¹

Amino-sav	Tojás	Tojás-sárgája	Ovalbumin	Ovotransz-ferrin	Ovomukoidok	Ovomucin	Lizozim
Arg	6,4	7,2	4,2	4,0	3,0	4,2	10,2
His	2,3	1,9	1,8	1,4	2,2	2,8	1,3
Ile	5,0	6,5	6,2	3,4	1,5	4,0	5,0
Leu	8,3	8,2	7,8	7,2	6,0	6,2	7,1
Lys	7,1	5,8	5,8	8,0	7,2	7,0	5,8
Met	3,2	2,9	4,1	1,5	1,0	2,5	2,4
Cys	2,2	2,0	1,6	4,0	7,0	6,5	8,2
Phe	4,7	4,5	5,0	3,9	2,8	5,0	3,6
Trp	1,4	1,5	1,5	1,7	0,6	1,4	5,8
Thr	5,0	5,3	5,5	5,6	7,0	7,8	6,9
Val	6,5	7,0	6,8	7,8	7,2	5,2	5,0

¹ Leeson és Summers (2001)

A napi nyersfehérje szükséglethez hasonlóan a napi esszenciális aminosav szükséglet is számítható a faktoriális módszer alapján (GfE, 1999):

$$\text{Aminosav szükséglet (g/nap)} = k_M \times BW + C_{AS} / k_{AS} \times O$$

k_M : életfenntartási aminosav szükséglet (mg/kg BW)

BW: testtömeg

C_{AS} : aminosav koncentráció a tojásban (mg/g tojás)

k_{AS} : a takarmány aminosav hasznosulási aránya

ΔBW : napi testsúlygyarapodás (a 32. élethétig számított; g/tyúk/nap)

O: termelt napi tojástömeg (g/nap)

Az életfenntartási aminosav szükségleti értékek aminosavanként jelentősen eltérhetnek: a valinra jellemző 76 mg/kg és a metionin+cisztein esetében megadott 70 mg/kg nagy értékek mellett a triptofán szükségleti értéke csupán 11 mg/kg és a hisztidiné is csak 13 mg/kg (GfE, 1999). A takarmány aminosavak hasznosulási aránya a 0,74-es metionin és a 0,83-as valin érték közötti tartományban helyezkedik el. Egy 1800g testsúlyú, napi 60g tojástömeg termelésű tojótyúk esetében az egyenlet alapján a napi szükséglet 730 mg lizin, 365 mg metionin, 635 mg

metionin+cisztein, 520 mg treonin és 170 mg triptofán (GfE, 1999). A tojástermelés első heteiben a növekedés aminosav igényét egy 5%-os többletként érdemes számolni (GfE, 1999).

A tojótyúkokra vonatkozó aminosav ajánlások nem egységesek, az eltérések háttérében a fajták, hibridek közötti genetikai különbségek és az aminosav szükségletek különböző számítási módszere állhat. A leghorn-típusú hibridekre vonatkozó aminosav-követelményeket napi összes felvett aminosav formában az NRC tette közzé (1994), amely még mindig az aminosav-ajánlások egyik fő referenciája. A kitűzött magasabb teljesítménycélokat követő genetikai előrehaladás arra motiválta a kutatókat, hogy felülvizsgálják az NRC (1994) ajánlásait az elmúlt 30 év során, illetve a napi aminosav szükségletet emészthető aminosav formában fejezzék ki. Következésképpen számos újabb tanulmány jelent meg, amelyekben azonban különböző kísérleti módszereket alkalmaztak, illetve több kísérletben csak egyetlen esszenciális aminosav szükségletének meghatározásával foglalkoztak (Schutte és Slink, 1998; Gomez és Angeles, 2009; Wen et al., 2019). A takarmány aminosavai befolyásolhatják egymás abszorpcióját, illetve interaktív hatással rendelkeznek a takarmányfelvételre (Novak et al., 2004). Ezért volna fontos olyan aminosav-szükségleti vizsgálatokat végezni, amelyekben figyelembe veszik az aminosav-kölcsönhatásokat. A gyakorlatban általában az adott fajtára, hibridre kidolgozott aminosav szükségleti irányelveket alkalmazzák a tojótyúkok takarmánykeverékeinek összeállítása során. Egyes tenyésztő cégek által javasolt aminosav szükségleti értékek a 6. táblázatban láthatók.

6. táblázat A tojótyúkok napi emészthető aminosav szükséglete egyes tenyésztő cégek ajánlásai alapján (mg/állat/nap)

Aminosav	Hy-line brown (Hy-line Inter.,2018) ¹	Lohmann brown lite (Tierzucht,2017) ²	Lohman brown classic (Tierzucht, 2017) ²	Isa brown (Isa Brown, 2011) ^{4,3}
Lizin	820	680	720	851
Metionin	410	330	360	462
Met.+ Cisz.	746	610	660	735
Treonin	574	470	500	598
Triptofan	172	150	150	191
Arginin	853	700	750	-
Isoleucin	656	540	570	767
Valin	722	590	630	819

¹ Az első tojáستól a csúcstermelés 2%-os csökkenéséig (kb. 18-37 hét). ² 50%-os tojástermeléstől a maximális tojástermelésig (kb. 21-40 hét). ³ A 2%-os tojástermeléstől a 28 hetes korig. ⁴ A 105 g/madár/nap takarmányfelvételen alapul.

Mitchell (1964) javasolta elsőként az ideális vagy kiegyensúlyozott fehérje elvének alkalmazását az állatok aminosav ellátásának pontosítására, majd a koncepciót először Nagy-Britanniában alkalmazták kereskedelmi forgalomban gyártott sertéstakarmányok összeállítására (ARC, 1981). Az elv alapján az állatok optimális teljesítménye a takarmány esszenciális aminosavainak ideális

aránya alapján érhető el, ahol a lizint tekintjük referencia aminosavnak, és az összes többi aminosav szintjét a lizin szinthez viszonyítva állítjuk be. Előnyös, hogy amíg az abszolút aminosav igény genetikai vagy környezeti tényezők hatására változik, az aminosav arányok ehhez képest csak kismértékben változnak. Ha a lizinre vonatkozóan kísérletileg megállapítjuk a szükségletet egy adott terepi helyzetre, után az összes többi aminosavra vonatkozó szükséglet az ideális arányokból számolható. A sertésekre vonatkozó NRC-vel (1998) ellentétben sem a baromfira vonatkozó NRC (1994), sem a holland Centraal Veevoederbureau (CVB, 1996) nem használja az ideális fehérje elvének megfelelő ideális aminosav arányokat a tojótyúk aminosav szükségleteinek meghatározásához, hanem empirikusan meghatározott aminosav szükségleteket mutat be. Ezek az aminosav szükségletek azonban felhasználhatók a tojótyúk számára ideális aminosav profilok kiszámítására. A 2000-es években több vizsgálatot is végeztek a tojótyúkokra vonatkozó ideális emészthető (fekális) aminosav arányok megállapítása érdekében, amelyek közül négyet mutat be a 7. táblázat. Hasonló tanulmány azóta sem készült, ezért további vizsgálatok szükségesek a tojótyúk ideális aminosav profiljának frissítéséhez.

7. táblázat A tojótyúk részére javasolt ideális emészthető (fekális) aminosav arányok

Aminosav	Leeson és Summers (2005)	Rostagno et al. (2005)	Bregendahl et al. (2008)	Lemme (2009)
Lizin	100	100	100	100
Metionin	51	50	47	50
Metionin+Cisztein	88	91	94	91
Treonin	80	66	77	70
Triptofan	21	23	22	21
Arginin	103	100	-	104
Izoleucin	79	83	79	80
Valin	89	90	93	88

Az aminosav szükségleti ajánlások tojótyúk esetében is nagymértékben függenek az optimalizálásra felhasznált termelési paraméterektől (Kakhki et al., 2016a). A különböző tojástermelési paraméterekre (tojástömeg, takarmány-értékesítés, tojástermelési intenzitás és tojástömeg termelés) vonatkozóan eltérő aminosav-ajánlások fogalmazhatók meg (Bregendahl et al., 2008), ezért fontos a termelő üzem szempontjából legmegfelelőbb paraméter vagy paraméterkombináció kiválasztása. Egyes szerzők szerint a takarmány-értékesítés és a tojástömeg termelés paraméterek alapján számított aminosav szükségletek tükrözik leginkább az ipar számára szükséges teljesítményt (Macelline et al., 2021). Ennek megfelelően a lizinre, kéntartalmú aminosavakra, treoninra, triptofánra és elágazó láncú aminosavakra vonatkozó ajánlásokat a 8. táblázat tartalmazza az 1994 óta megjelent legfontosabb publikációik feldolgozásával, az NRC-

vel (1994) összehasonlítva. Az adatok egyszerű számtani átlagok, amelyek a takarmány-értékesítés és a termelt tojástömeg figyelembe vételével kerültek megállapításra.

Az aminosav emészthetőség kifejezésére jelenleg a gyakorlatban is általánosan használt és javasolt a standardizált ileális aminosav emészthetőség (SID) rendszere (Lemme et al., 2004a; Adedokun et al., 2008). Élettani szempontból az ileális rendszer jobb, mint a fekális rendszer, mivel az aminosavaknak és a peptideknek mennyiségileg jelentős poszt-ileális abszorpciója nincs. A SID alapú rendszer ezen túlmenően korrekciót tartalmaz a bazális endogén aminosavak mennyiségére nézve, azaz pontosítja látszólagos ileális emészthetőségi értékeket (Lemme et al., 2004a; Adedokun et al., 2008). A SID rendszer használatával nem csak a madár aminosav ellátása javulhat, hanem csökkenhet a madár ürülékén keresztül a környezetbe jutó aminosav és nitrogén emisszió is (Lemme et al., 2004a). Ha azonban az aminosav emészthetőség kifejezésének alapját SID-re cseréljük, a tojótyúkok aminosav szükségletét is ugyanezen az alapon kell kifejezni. Példaként a 9. táblázat a Hy-Line Brown (Hy-Line, 2024) hibridre vonatkozó SID aminosav szükségleti ajánlásokat tartalmazza.

8. táblázat Az esszenciális aminosavakra megfogalmazott ajánlások az NRC (1994) és az azóta megjelent fontosabb publikációk alapján (Macelline et al., 2021).

Aminosav	Ajánlás (g/madár/nap)			Lizinhez viszonyított arány (%)		
	NRC (1994)	Irodalmi ajánlás (összes)	Irodalmi ajánlás (emészthető)	NRC (1994)	Irodalmi ajánlás (összes)	Irodalmi ajánlás (emészthető)
Lizin	690	717	726	100	100	100
Metionin	300	324	260	43	45	36
Metionin + cisztein	580	603	621	84	84	86
Treonin	470	457	486	68	64	67
Triptofán	160	178	149	23	25	21
Valin	700	614	532	101	86	73
Izoleucin	650	437	648	94	61	89
Leucin	820	-	-	118	-	-
Arginin	700	-	-	101	-	-
Fenilalanin + tirozin	830	-	-	120	-	-
Hisztidin	170	-	-	25	-	-

9. táblázat Tojótyúkok SID aminosav ellátási ajánlása a Hy-Line Brown (2024) technológia alapján

Aminosav (mg/nap)	Tojástermelési intenzitás (%)				
	0-2%	2-91%	90-82%	86-82%	<82%
Lizin	870	845	820	795	770
Metionin	435	423	410	398	385
Metionin + cisztein	800	769	738	716	693
Treonin	609	592	574	557	539
Triptofán	191	186	180	175	169
Arginin	905	879	853	827	801
Izoleucin	713	684	656	636	616
Valin	783	752	722	700	678

A tojótyúkok ürülékében lévő nitrogén együttesen az emésztetlen takarmány nyersfehérjéből, az endogén veszteségekből és a mikrobiális fermentációs végtermékekből származik (Soomro et al., 2018). A kiválasztott nitrogén ammóniává alakulhat, számos állat- és humán egészségügyi hatást, továbbá eutrofizációt, talajsavasodást és dinitrogén-oxid termelést okozhat (Aneja et al., 2006). A N-emisszió csökkentése szempontjából a csökkentett nyersfehérje tartalmú takarmányok alkalmazása az egyik leghatékonyabb stratégia a baromfi fajok esetében. Több tanulmány is arról számolt be, hogy jércék és tojótyúkok esetében a csökkentett takarmány nyersfehérje szint kisebb nitrogén felvételt eredményezett és dóziszfüggő módon csökkent a N-kiválasztás (Novak et al., 2006; Soares et al., 2019; Alfonso-Avila és mtsai, 2022; Heo et al., 2023). A tojótyúkok képesek emelt szinten tudták tartani tojástermelés intenzitásukat akár 13-13,5%-os nyersfehérje tartalmú takarmányok esetén is, ha a fő esszenciális aminosavak, mint a lizin, metionin, treonin, triptofán (Blair et.al 1999) vagy a lizin, metionin, triptofán, izoleucin, valin (Keshavarz 1998) megfelelő szintű kiegészítését alkalmazzák. A tojástermelés emelkedő fázisában, 19-32 hetes korban is hasonló volt a tojók tojástermelési intenzitása és takarmány-értékesítése 19, 17, 15 és 13% nyersfehérje szintek esetén megfelelő aminosav kiegészítést tartalmazó takarmányok alkalmazásával (Heo et.al., 2023). Ebben a kísérletben viszont a takarmányok csökkenő nyersfehérje tartalmának hatására csökkent a tojások tömege, ami valószínűleg azt jelezte, hogy további esszenciális aminosavak figyelembe vétele vált szükségessé a kísérleti állatok aminosav ellátásában. Korábbi vizsgálatokban a kisebb nyersfehérje szint alkalmazása szintén csökkentette a tojás tömegét, de nem befolyásolta szignifikáns mértékben a tojástermelés intenzitását és megtermelt tojástömeget (Keshavarz és Jackson, 1992; Summers és Leeson, 1994; Alagawany et al., 2020). A takarmány nyersfehérje szintjének csökkentése növelte a Haugh-egységet (Heo et al.; 2023; Shim et al., 2013), ami összefüggésben lehet egyes aminosavak jobb emészthetőségével. Az aminosavak jobb emészthetősége nyersfehérje csökkentett takarmányokban egyes kutatók szerint

részben a kristályos aminosavak nagyobb arányú kiegészítésével és ezek gyorsabb felszívódásával is magyarázható (Liu et al., 2021; Wu et al., 2009).

3.3. Étkezési tojást termelő tojótyúkok kalcium és foszfor ellátása

A kalcium a csontváz legnagyobb mennyiségben előforduló szervesen összetevője és számos biológiai funkcióban játszik fontos szerepet. A tojáshéj súlyának 97%-a CaCO_3 , a héj így kb. 2 g Ca-t tartalmaz, a teljes testben lévő Ca mennyiségének 10%-át (Nys és Guyot, 2011). A héjmirigyben 120-130 mg/óra a Ca kiválasztása a meszesedő tojáshéj irányába, ami vér teljes Ca-tartalmának (20 mg) óránkénti hatszoros kicserélődését jelenti (Nys és Guyot, 2011). A tojótyúk a teljes testben lévő Ca mennyiség kb. 30-szorosának megfelelő Ca-t veszít évente (Gilbert, 1983).

A tojótyúk kalcium-homeosztázisa a bélrendszeri Ca-felszívódás, a vese Ca-kiválasztása, a csontok Ca-anyagcseréje és a madár Ca-szükséglete közötti egyensúly megteremtésével érhető el (Sinclair-Black et al., 2023). Ezt az egyensúlyt szabályozó fő hormonok a parathormon (PTH), a kalcitonin (CALC) és a D3-vitaminból képződő aktív D-hormon vagy 1,25-dihidroxi-kolekalciferol $1,25(\text{OH})_2\text{D}_3$, amely a 25-hidroxi-kolciferol [$25(\text{OH})\text{D}_3$] vesében való átalakításával keletkezik a 25-hidroxi-kolciferol-1-hidroxiláz (1 α -hidroxiláz) enzim aktivitása révén.

A tojáshéj meszesedése során a vérben keringő Ca^{2+} ion koncentrációjának csökkenését a mellékpajzsmirigy kalcium receptorai (CASR) érzékelik és kiváltják a PTH szekrécióját a vérkeringésbe (Parsons és Combs, 1981). A PTH a csontreszorpció serkentésével (Taylor és Belanger, 1969) és a vese $1,25(\text{OH})_2\text{D}_3$ szintézisének fokozásával (Brenza és DeLuca, 2000) visszaállítja a keringő Ca^{2+} koncentrációt a homeosztatisztikus tartományába. Az $1,25(\text{OH})_2\text{D}_3$ fokozza a kalcium és a foszfor felszívódását a vékonybélből (Spencer és mtsai, 1978; Chandra et al., 1990), illetve serkenti a vesében a Ca-reabszorpciót és a P kiválasztását (Jande et al., 1981). A kalcitonin (CALC), amely a pajzsmirigy közelében ultimobranchiális testekben termelődik (Copp és mtsai, 1967), csökkentheti a vérlazma Ca^{2+} -szintet baromfiban is (Luck és mtsai, 1979).

Mivel a legtöbb tojáshéj meszesedés a sötét szakaszban megy végbe, amikor az étrendi kalcium nagyrészt nem áll rendelkezésre, a tyúkok a tojáshéj kialakulásához szükséges kalcium körülbelül 20–40%-át a csontból mobilizálják (Comar és Driggers, 1949). Az embrionális és juvenilis fejlődés során strukturális kérgi és medulláris csontállomány képződik. A strukturális csontlerakódás megszűnése után (Hudson et al., 1993), a keringő ösztrogén megnövekedett vérplazma szintje a szexuális érettség kezdetén, 18 hetes kor körül a medulláris csontok kialakulásához vezet egyes pneumatikus csontokban (Whitehead, 2004). A medulláris csontállomány erősen vaszkularizált, véletlenszerűen orientált hidroxipatit kristályokban gazdag

(Dacke és mtsai., 1993), ami lehetővé teszi a hidroxipatit gyors anabolizmusát és katabolizmusát a tojásképződés során. Mivel a hidroxipatit kalciumból és foszforból áll, a csontreszorpció a két ásványi anyagot ionizált kalciumként (Ca^{2+}) és szervesen foszfátként (PO_4^{3-}) bocsátja a keringésbe. A medulláris állomány remineralizálódik, amikor a tojáshéj meszesedése nem zajlik éppen (Wilson és Duff, 1990; Kerschnitzki et al., 2014), és reszorpció történik a tojáshéj meszesedése során (Van de Velde et al., 1984). Amikor a tojáshéj meszesedéséhez szükséges medulláris csontreszorpció üteme meghaladja a remineralizáció sebességét, akkor a strukturális csontok is részt vesznek a kalcium biztosításában. Az $1,25(\text{OH})_2\text{D}_3$, valamint számos kalcium- és foszfortranszporter szintjének korfüggő változásai a bélben és a vesében azt sugallják, hogy a tyúkok azon képessége, hogy megfelelő ásványianyag-egyensúlyt tartsanak fenn az optimális héjszilárdság és csontok egészsége érdekében, a hosszabb tojásrakási ciklusok során károsodnak. Ez a strukturális csontok gyengüléséhez is vezet, hajlamosítva a tyúkokat a csonttörésekre (Rufener et al., 2019).

A tojó madaraknál a tojóciklus során megnövekedett Ca-szükségletet a bélrendszeri Ca-felszívódás megfelelő növekedése (Bar et al., 1978) és a vese Ca-kiválasztásának csökkenése (DeLuca et al., 1990) biztosítja. Mind a vese 1α -hidroxiláz aktivitása, mind a plazma $1,25(\text{OH})_2\text{D}_3$ koncentrációja jelentősen nagyobb az aktív tojáshéjképződési szakasz alatt, mint a tojáshéj meszesedésének más szakaszaiban (Abe et al., 1979). Mivel a kalcium a tojáshéj egyik legfontosabb összetevője, jelentősen befolyásolhatja a tojótyúkok teljesítményét és a tojáshéj minőségét. A nem megfelelő Ca ellátás jelentősen csökkenti a tojástermelést, a tojások tömegét, a tojás fajsúlyát, a takarmányfogyasztást, valamint a csontsűrűséget és -szilárdságot (Roland et al., 1996). Másrészt a Ca feleslege jelentősen csökkenti a tojástömeget a tojástermelést és a takarmányfogyasztást (Harms és Waldroup, 1971).

Számos tanulmányt végeztek a tojótyúkok Ca-szükségletének vizsgálatára. A Ca-szükségletre vonatkozó tudományos ajánlások meglehetősen tág, 3,25 és 5,57 g/nap közötti tartományban helyezkednek el és nem egységesek (Roush et al., 1986, Frost és Roland, 1991, Keshavarz és Nakajima, 1993; Roland és Bryant, 1994; NRC, 1994, Roland et al. 1996; Ahmad et al., 2003). A takarmányból származó Ca nélkül napokon belül fokozatosan romlik a héjminőség és 4-5 nap után már lágy héjú tojások képződhetnek (Roland, 1986). Számos tényező, köztük a genetika, más tápanyagok, például a foszfor és a táplálékkal bevitt energia, a madarak életkora és a hőmérséklet befolyásolhatja a Ca-szükségletet. A tyúkok kalcium szükséglete az életkorral nő (Roland, 1986). A takarmány szükséges Ca koncentrációját a genotípus számára ajánlott napi Ca-felvétel és a takarmányfelvétel alapján számítják ki. A 10. táblázat a Hy-Line Brown (2024) hibrid számára

ajánlott napi Ca-és P-felvételi ajánlásokat tartalmazza.

10. táblázat Napi Ca- és P-felvételi ajánlások a Hy-Line Brown (2024) hibrid számára

Időszak	Ca szükséglet (g/nap)	Hasznosítható P szükséglet (mg/nap)	Ca-forrás szemcseméret aránya (finom: durva %)
18-33 hét	4,0	432	40:60
34-48 hét	4,2	405	35:65
49-62 hét	4,4	373	30:70
63-76 hét	4,6	347	25:75
77- hét	4,7	324	25:75

A Ca-kiegészítés mennyisége és időpontja mellett annak formája is fontos a takarmányban. A finom és durva mészkőforrásokat széles körben használják Ca-kiegészítőként, amelyek nemcsak szemcseméretükben, hanem oldhatóságukban is különböznek (Zhang és Coon, 1997). A durva mészkőszemcsék (>0,8 mm) általában lassabban oldódnak fel, ami állandóbb és elnyújtottabb Ca felszabadulást tesz lehetővé, míg a finom szemcsék a porszerű textúra miatt azonnal, gyorsan elérhető Ca-t biztosítanak a felszívódáshoz (Zhang és Coon, 1997). Ezért a finom mészkövet a reggeli takarmányban érdemes alkalmazni a Ca csontokba történő beépülésének támogatására, a durva mészkövet pedig a délutáni takarmányban, támogatva a késő esti, éjszakai intenzív tojáshéj képződést. A tojástermelők elsősorban két kiegészítő Ca forrást használnak, az osztrigahéjat vagy a takarmánymeszet. Az osztrigahéj és a mészkő egyaránt Ca-karbonát formájában szolgáltat Ca-t, és mindkettő körülbelül 38% Ca-t tartalmaz, a mészkő azonban lényegesen olcsóbb, mint az osztrigahéj (Roland és Bryant, 1999).

A tojó takarmánykeverékek kalcium tartalmának és minőségének értékelése is sok ponton továbbfejlesztésre szorul. A tojótápok formulázása még mindig az összes Ca tartalom figyelembe vételével történik, nagy előrelépés volna az emészthető Ca-alapú keverékek összeállítása. Ehhez viszont ismerni kellene az alapanyagok és a különböző takarmánymész formák ileálisan emészthető Ca tartalmát (Venter et al., 2025). A témában előremutató kutatások zajlanak ilyen, pl. a takarmánymész formák emészthető Ca tartalmát becsülő egyenletek fejlesztése (Angel et al., 2023).

A foszfor a kalcium mellett a csontok anyagcseréje és a termékelőállítás szempontjából a másik nélkülözhetetlen makroelem. A P forgalmat elsősorban a PTH és az $1,25(\text{OH})_2\text{D}_3$ szabályozza a korábbi bekezdésben ismertetett módon, a Ca-mal szoros összefüggésben. A növényi eredetű takarmány alapanyagok közül több is viszonylag nagy P-tartalommal rendelkezik, azonban a P akár 80%-a is fitinsav formájában lehet jelen. Ez problémát jelent a nem kérődző állatok számára, mivel nem rendelkeznek megfelelő mennyiségű fitáz enzimmal, amely a fitinsav komplexek

hidrolíziséhez szükséges (Nelson, 1976; Schwarz, 1994). A baromfi fajok optimális teljesítményének fenntartásához szerves P-pótlásra, illetve az exogén fitáz enzim alkalmazására van általában szükség (NRC, 1994; van der Klis et al., 1997). A tojótyúkok emésztőtraktusában a brojlerekhez képest kisebb endogén fitáz aktivitás mutatható ki, a takarmány fitáz kiegészítése javítja a fitát P-hasznosítását (Gordon és Roland, 1997; van der Klis et al., 1997; Carlos és Edwards, 1998). A kalciummal ellentétben az életkorral csökken a tojók P-szükséglete. A kísérleti eredmények arra utalnak, hogy az idősebb tyúkoknál a P-hiányos takarmányozás esetén hamarabb jelentkezhetnek a P-hiány jelei, mint a termelés kezdetén álló fiatal tyúkoknál. Summers (1995), Gordon és Roland (1997), valamint van der Klis et al. (1997) vizsgálataiban a P-hiányos takarmányokkal etetett fiatal tyúkok (18-21 hetes korban) nem mutattak csökkent tojástermelési teljesítményt. Ezzel szemben, amikor 54 hetes tyúkokat etettek P-hiányos táppal, a tojástermelés hat hét alatt jelentősen csökkent (Moshtaghian et al., 1991).

A növényi összetevőkben lévő P kis hozzáférhetősége gazdasági és környezetvédelmi szempontból egyaránt problémákat vet fel. Gazdasági szempontból a foszfor a harmadik legdrágább összetevő. Környezetvédelmi szempontból a felvett foszfor nagy része az ürülékkel ürül ki. A kalciumban gazdag, a késő délutáni, éjszakai órákban szintetizálódó tojáshéj a tojássárgájával és a -fehérjével ellentétben csak kis mennyiségű foszfort tartalmaz (Nys et al., 2011). Ebben az intenzív héjképződési időszakban a csontokból mobilizálódó Ca^{2+} mellett foszfát ionok is a vérbe jutnak, amelyek nem tudnak a tojáshéjba épülni és az ürülékkel a környezetbe kerülnek. A foszfor a talajvízbe mosódik, és szennyezi a patakokat, tavakat, folyókat és óceánokat. A felesleges foszfor serkenti az algák növekedését, ami megfosztja a vízi élővilágot az oxigéntől, ami az ezeken az élőhelyeken jelenlévő élő halak megbetegedéséhez és pusztulásához vezet (Ryden et al., 1973).

A P szükséglet kifejezésére tojótyúkoknál leggyakrabban a hasznosítható P („available P”) és a nem-fitin P (NPP) tartalmat használjuk, amelyek nem szinoním fogalmak. A nem-fitin P laboratóriumban meghatározható analitikai kategória, míg a hasznosítható P tartalom nagy közelítéssel az ileum végéig felszívódó (un. pre-caecalis) P hányadot jelenti (Rodehutscord et al., 2023). A fitin-P bizonyos hányada felszívódhat, illetve a nem-fitin P sem szívódik fel teljesen, így a hasznosítható P tartalomban mindkét P típusból származó P jelen van. A Hy-Line Brown (Hy-Line, 2024) hibrid ajánlott napi hasznosítható P felvételét a 10. táblázat tartalmazza. A legtöbb tudományos kutatás a tojók napi szükségletét NPP formában fejezi ki, mert tojótyúkokkal alig végeztek emészthetőségi vizsgálatokat a hasznosítható P tartalom megállapítására (Rodehutscord et al., 2023). Az NRC (1994) ajánlásában 250/210 mg NPP/tyúk/nap szerepel a fehér/barna héjú

tojást termelő hibridek számára. Van der Klis et al. (1997) 165, Gordon és Róland (1997) 164, Boling et al. (2000) pedig 159 mg NPP/tyúk/nap P felvételi ajánlást fogalmazott meg a termelési eredmények fentartása céljából, amelyek lényegesen kisebbek a tenyésztő cégek által ajánlott 350-450 mg hasznosítható P napi mennyiségeknél. Az 1999 és 2011 között közzétett 14 db, kukorica-szója alapú takarmánnyal végzett kísérlet azt mutatta, hogy a 2,2 g/kg NPP-koncentráció exogén fitáz nélkül elegendő volt a nagy tojástermelés, tojástömeg és kedvező takarmányértékesítés fenntartásához (Ahmadi és Rodehutschord, 2012). Amikor az exogén fitázt figyelembe vették a statisztikai modellben, az előre jelzett optimális NPP-koncentráció 1,8 g/kg takarmány (150 FTU/kg mellett) és 1,5 g/kg takarmány (300 FTU/kg mellett) volt. A 300 FTU/kg takarmányt meghaladó fitáz-kiegészítésnek nem volt további kedvező hatása.

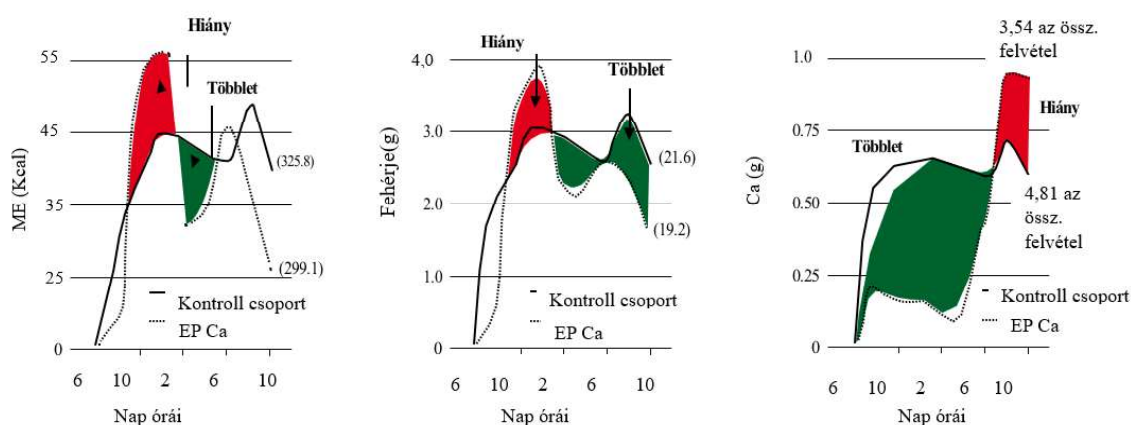
3.4. Alternatív tojótyúk takarmányozási rendszerek

Az étkezési tojástarterelő tojótyúkok általánosan elterjedt hagyományos takarmányozási rendszerében a nap folyamán azonos tápanyagtartalmú, általában dercés formájú, teljes értékű takarmánykeveréket fogyasztanak az állatok. Ebben a hagyományos rendszerben a tyúkok takarmányfogyasztását főként az energia felvételük szabályozza, de nagy tojástermelési heterogenitás vagy nagymértékben változó környezeti hőmérséklet esetén a fehérje és a kalcium túl- vagy alulfogyasztása fordulhat elő (Bouvarel et al., 2011). Az alternatív takarmányozási rendszerek közé a szabadon válogató (*"free-choice feeding"* vagy *"cafeteria feeding"*), az egész szemű gabonás keveréket alkalmazó (*"loose-mix feeding"*) és a szakaszos vagy osztott (*"sequential feeding"* vagy *"split feeding"*) takarmányozási technológia tartozik (Molnár et al., 2018b). Az alternatív rendszerek lehetőséget adnak a napi tojásképződési folyamatok változó táplálóanyag és kalcium szükségletének pontosabb kielégítésére, bizonyos esetekben az energia-, fehérje- és kalciumforrások közötti szelekcióra. Egyes technológiákban lehetőség van a helyi, teljes kiőrlésű gabonafélék felhasználására, amivel csökkenthető a gabonafélék szállításához, őrléséhez és keveréséhez szükséges energia. A kutatások szerint az alternatív technológiák alkalmasak lehetnek a tojótyúk takarmányozás hatékonyságának növelésére.

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

Az ún. szabadon válogató rendszer két vagy három takarmányt kínál a madárnak külön-külön etetőekben egyszerre. A tyúkok szükségleteiknek megfelelően választhatnak az egész szemű vagy darált gabonák, a fehérjekoncentrátum és a különböző takarmánymész formák vagy egyéb kalcium források között (Robinson, 1985; Chah és Moran, 1985; Forbes és Covasa, 1995). A kétféle takarmány esetén az egyiknek egy energiában és fehérjében gazdag, kalciumban szegény

keveréknek, a másikkal egy nagy kalcium tartalmú kiegészítőnek kell lennie (Leeson és Summers, 1979). Chah (1972) kísérletében a hagyományos takarmányozási technológiát egy olyan szabadon válogató rendszerrel hasonlította össze, amelyben a tojótyúkoknak egy energiában és fehérjében, illetve egy kalciumban gazdag takarmányt kínált fel egy időben (1. ábra). A hagyományos, kontroll takarmányozáshoz képest a szabadon válogató madarak energia és fehérje felvétele a délelőtti folyamán nagyobb, délután pedig kisebb volt. A kalcium esetében ezzel szemben délelőtti jóval kisebb, délután viszont jóval több felvétel volt kimutatható. A szabadon válogató madarak napi összes energia felvétele 11, fehérje felvétele 8, kalcium felvétele 26%-kal volt kisebb a kontroll csoport értékeinél. A kísérlet alapján elmondható, hogy a mindig azonos összetételű takarmánykeverék a hagyományos takarmányozási technológiában a délelőtti folyamán energia- és fehérjehiányt, a délutáni folyamán viszont kalciumhiányt alakít ki a tojótyúk szervezetében. Az energia, fehérje és kalcium felvétel alakulása a kísérletben összefüggésben lehetett a tojásképződés szükségleteinek dinamikájával.



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

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

A technológia kisgazdaságokban alkalmazható, mert többféle etető egyidejű alkalmazása a nagyüzemben nem megoldható. Az összegyűlt tapasztalatok szerint a tojótyúkoknak maximum háromféle takarmányt érdemes kínálni, amelyeknek táplálóanyag és kalcium szintben határozottan különbözniük kell (Molnár et al., 2018b). A gabonák egész szemes formában is etethetők, többféle gabona is összekeverhető. A vitamin és a mikroelem forrásokat nem ajánlott szétválasztani. Fontos

a megfelelő etető férőhely biztosítása és még a tojóidőszak megkezdése előtt, kb. a 15. héttől érdemes a technológiához való hozzászoktatás elindítása (Molnár et al., 2018b). A szakirodalom alapján a szabadon válogató takarmányozás a hagyományos takarmányozáshoz képest a legtöbb esetben hasonló vagy jobb tojástermelési teljesítményt, vagy tojásmínőséget eredményezett (11. táblázat). Karunajeewa (1978) nagyobb tojástömegről, kisebb takarmányfelvételtől és kedvezőbb takarmányértékesítésről számolt be fehérjekoncentrátumot és egész szemű búzát felhasználó szabadon válogató rendszer esetében a hagyományos technológiával való összehasonlításban. Hasonlóképpen Leeson és Summers (1979) a kontroll takarmánykeveréket (11,7 MJ/kg AME, 17,1% nyersfehérje, 3,0% Ca) fogyasztó csoporthoz képest kisebb takarmányfelvételt és nagyobb tojástömeget és hasonló tojástermelési %-ot mutatott ki a szabadon válogató csoportban, amikor a tyúkoknak egyidejűleg nagy energiájú és fehérjetartalmú, alacsony Ca-tartalmú takarmányt (12,8 MJ/kg AME; 19,2% nyersfehérje, 0,47% Ca) és kis energiájú és fehérjetartalmú, emelt Ca-tartalmú takarmányt kínált (7,28 MJ/kg AME; 10,7% nyersfehérje, 13,1% Ca).

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

Irodalmi forrás	Tojás termelési %	Tojás tömeg (g/tojás)	Tojás tömeg (g/nap)	Tak. felvétel (g/tyúk)	Energia felvétel (MJ/tyúk)	Fehérje felvétel (g/tyúk)	Ca felvétel (g/tyúk)	FCR (g/g)
Karunajeewa (1978)	na	+	na	-	na	na	na	-
Leeson és Summers (1979)	=	+	na	-	-	-	+	na
Farrell és mtsai. (1981)	=	=	na	-	-	=	na	-
Tauson és Elwinger (1986)	=	+	+	na	na	na	na	na
Chah és Moran (1985)	=	=	na	=	-	-	-	na
Olver és Malan (2000)	=	+	na	=	-	-	+	-

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

Chah és Moran (1985) az állatoknak külön-külön kínált darált kukorica alapú energiaforrást (11,7 MJ/kg AME, 8% nyersfehérje; 0,75% Ca), pelletált fehérje koncentrátumot (50% nyersfehérje, 10,46 MJ/kg AME, 0,2% Ca) és osztrigahéj pelyhet. A hagyományos takarmányozáshoz (11,7 MJ/kg AME, 18% nyersfehérje, 3,75% Ca) képest hasonló takarmányfelvételt, tojástermelést és tojástömeget mértek a kísérletben. A tojások Haugh-egysége nem különbözött, míg a héjszilárdság javult a szabadon válogató takarmányozás hatására a kontrollhoz képest. Egy hasonló vizsgálatban Olver és Malan (2000) darált kukorica helyett egész kukoricát kínált, granulált fehérje koncentrátummal és takarmánymésszel jércéknek hét hetes kortól és a

tojástermelési teljesítményt a 80. élethétig rögzítették. A tojásrakási időszak alatt nem volt különbség a takarmányfelvételben vagy a tojástermelésben, de a szabadon válogató takarmányozású csoportban nagyobb tojástömeget és tojáshéj vastagságot, valamint kedvezőbb takarmányértékesítést figyeltek meg. A szabadon válogató takarmányozás hatásai változóak voltak a madarak között Forbes és Covasa (1995) kísérletében, ami az állományban megnövekedett heterogenitást eredményezett. Több kutatócsoport is gyengébb tojásmínőségről, kedvezőtlen tollazatról és megnövekedett takarmányfelvételtől számolt be a szabadon válogató takarmányozási rendszerben etetett állományoknál (Tauson és Elwinger, 1986; Al Bustany és Elwinger, 1988). Farrell és munkatársai (1981) a hagyományos takarmányozáshoz képest kedvezőbb takarmány-értékesítést tapasztaltak, amikor három szabadon választható, energiában gazdag takarmányt kínáltak: 100% kukorica, 60% kukorica 40% maniókával keverve és 94% kukorica 6% pálmaolajjal keverve. A tojástermelési intenzitás és a tojások tömege hasonló volt, míg a takarmányfelvétel kisebb, a takarmány-értékesítés pedig kedvezőbb volt a hagyományos takarmányozással összehasonlítva.

3.4.2. Egész szemű gabonás keverékre alapozott rendszer (*“loose-mix feeding”*)

Az un. *“loose-mix”* etetési rendszerben az egész szemű gabona teljes értékű tojó takarmánykeverékkel vagy fehérje koncentráttal együtt keverten kerül etetésre. A technológia vizsgálata során több ellentmondásos eredmény is született (Molnár et al., 2018b). A 45% egész szemű búzának a teljes értékű tojótakarmányba történő bekeverése változatlan tojástermelést és takarmány-értékesítést eredményezett (Ouart et al., 1986). Umar Faruk és munkatársai (2010a) 50:50% arányban keverték az egész szemű gabonát és a fehérje koncentrátumot (121 g keverék/nap/tyúk). A kísérleti kezeléssel etetett tyúkok hasonló takarmányfelvételt, tojástermelést, tojástömeget és takarmány-értékesítést mutattak, mint a hagyományos rendszerben etetett tyúkok. Az egész szemű gabona 60%-ra növelt aránya, amelyben a gabona árpa volt, csökkentette a tojástermelést, de növelte a takarmányfelvételt és a tojások tömegét, kedvezőtlenebb takarmány-értékesítést okozva az azonos mennyiségű darált árpát tartalmazó takarmányhoz képest (Bennett és Classen, 2003). Henuk et al. (2000) a 60% egész szemű búzát és 40% granulált fehérje koncentrátumot tartalmazó keverékkel hasonló tojástermelési %-ot és tojástömeget, de kisebb takarmányfelvételt és kedvezőbb takarmány-értékesítést mértek a teljes értékű dercés takarmánnyal szemben. Az egész szemű gabonafélék arányának 75%-ra való növelése (búza és zab) és a fehérje koncentrátum 25%-ra történő csökkentése a keverékben csökkentette a tojástermelést, növelte a takarmányfelvételt és az elhullási arányt (Robinson, 1985) a hagyományos technológiához képest. Egy hasonló *“loose-*

mix” rendszerben, ahol különböző egész szemű gabonaféléket (búza, árpa és kukorica) keverték fehérje koncentráttal és osztrigahéj-grittel 70:23:7 % arányban, Blair et al. (1973) hasonló tojástermelést, de kisebb takarmányfelvételt és kedvezőbb takarmány-értékesítést mutatott ki, mint a hagyományos dercés takarmányozás során. Ezek az ellentétes eredmények rávilágítanak arra, hogy az egész szemű gabonafélék (50-70%) és a fehérje koncentráttum relatív aránya döntő tényező a *”loose-mix”* takarmányozási rendszerben.

12. táblázat Az egész szemű gabonás keverékre alapozott takarmányozás hatása a tojástermelési paraméterekre a hagyományos takarmányozással összehasonlítva

Irodalmi forrás	Egész gabona arány	Tojás termelési %	Tojás tömeg (g/tojás)	Tojás tömeg (g/nap)	Tak. felvétel (g/tyúk)	Ca felvétel (g/tyúk)	FCR (g/g)
Ouart et al. (1986)	37%	=	=	=	=	na	=
Umar Faruk et al. (2010a)	50%	=	=	=	=	na	=
Benett és Classen (2003)	60%	-	+	na	+	na	+
Henuk et al. (2000)	60%	na	na	na	-	-	-
Blair et al. (1973)	70%	=	na	na	-	-	-
Robinson (1985)	75%	-	+	na	+	na	+
Umar Faruk et al. (2010b)	75%	=	=	na	-	na	na

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

FCR: takarmány-értékesítés

3.4.3. Osztott takarmányozási rendszer (*”sequential feeding”* vagy *”split feeding”*)

A szakaszos vagy gyakoribb nevén osztott etetési rendszerben a délelőtti és délutáni időszakban különböző összetételű takarmányt ugyanabban az etetőben adják az állatoknak és ezért ez lehet a legmegfelelőbb alternatív rendszer a nagyüzemi tojástermelés számára. Az osztott takarmányozási rendszernek két típusa jött létre. Az első, egész szemű gabonát nem alkalmazó típusban a technológiai ajánláshoz képest az állatok a délelőtt folyamán egy energiában és fehérjében gazdagabb, illetve kalciumban szegényebb, míg a délután folyamán energiában és fehérjében szegényebb, kalciumban gazdagabb keveréket fogyasztanak (Lee és Ohh, 2002). A második, egész szemű gabonát felhasználó technológiában a délelőtt folyamán történik a gabona etetése önállóan, ami energiában gazdag, de fehérje és kalcium tartalma nem éri el az állatok szükségletét. A délután során egy energiában szegény, de fehérjében és kalciumban gazdag keverék etetésére kerül sor (Umar-Faruk et al., 2011).

A két rendszer értékeléséhez érdemes megvizsgálni, hogy a napi ovulációs-ovipozíciós ciklus

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

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

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

Mindkét osztott etetési technológiában a kalcium ellátás fő időszaka a délután, a délelőtti órákban etetett takarmány kalcium tartalma kicsi. A tojótyúkknál az energia és fehérje szükséglet napszakos változásához képest sokkal kifejezettebb a kalcium igény napszakos változása. Ha összehasonlítjuk a madarak takarmányfogyasztását a napszakok szerint, nagy különbséget figyelhetünk meg a tojásrakásban lévő és tojást nem tojó madarak esetében. A tojásrakásban lévő madarak takarmányfogyasztása esetében két takarmányfelvételi maximum írható le (Keshavarz, 1998a). Az első a fényszakasz kezdetétől 4-6 óra múlva, míg a nagyobb 14-16 óra múlva mérhető. A második takarmányfelvételi csúcs tojáshéjképződés alatti speciális kalcium igényhez kapcsolódik, és nem közvetlenül az energiaigény növekedéséhez vagy az éjszakai energiaraktározáshoz (Mongin és Sauveur, 1974). A reggeli órákban történő ovipozíció esetén a tojáshéjképződés során főként a „sötét periódusra” esik és éjszaka zajlik, a kalcium szükséglet ilyenkor a legnagyobb. A madaraknak két különböző kalciumforrás áll rendelkezésükre a tojáshéj képzéséhez (Péczy, 1987). A meszes héjba beépülő kb. 2g Ca^{2+} származhat közvetlenül a takarmányból, vagy mobilizálódhat reszorpció révén a csontállományból. A reggeli és délelőtti órákban, amikor nem zajlik meszesedési folyamat az uterusban, a takarmányból felszívódó Ca^{2+} a csontokba kerül és raktározódik a medulláris állományban, illetve a vesék kiválasztják és kiürül a szervezetből. A tojáshéj meszesedésének megindulásakor a bél kalcium abszorpciója fokozódik, a kalcium a tojócsőbe szállítódik. A vérplazma Ca^{2+} szintjének ilyenkor tapasztalt csökkenése maga után vonja a parathormon koncentrációjának növekedését és hatására a medulláris csontszövetben a csontbontó osteoclastok aktivitásának fokozódását, a kalcium transzport megindulását az uterus

felé (Péczely, 1987). A sötét periódus kezdetén megszűnik a takarmányfelvétel és a bélcső kalcium tartalma a takarmányfelvétel befejezését követően 4-5 órával felszívódik vagy a bélsárral kiürül. A tojáshéj meszesedési fázisának ebben az utolsó részében már csak a csontokból származó kalcium járul hozzá a mészhéj képződéséhez. A héj meszesedésének aktív szakaszaiban közvetlenül a bélből történő felszívódás által biztosított Ca^{2+} -ellátás hatékonyabb, mint a csontokból történő Ca^{2+} -reszorpció (Peganova és Eder, 2002). Minden olyan takarmányozási technológia ezért, amely segíti a bélből történő kalcium abszorpciójának „elnyújtását” a takarmányfelvétel leállását követően (pl. késő délutáni kalcium kiegészítés, durvább szerkezetű, nehezebben oldódó takarmánymész), segítheti a tojáshéj meszesedésének folyamatát, minőségének megőrzését vagy javítását. Az osztott takarmányozási rendszer délutáni takarmányának nagyobb kalcium tartalma is ezen az elven keresztül fejtheti ki előnyös hatásait. Az osztott rendszert vizsgáló korai tanulmányok a technológia pozitív hatását mutatták ki a tojáshéj vastagság, törésszilárdság (Lee és Ohh, 2002) és a héjdeformáció (Leeson és Summers, 1978) vonatkozásában.

A tojássárgájával és a -fehérjével ellentétben, a kalciumban gazdag tojáshéj csak kis mennyiségű foszfort tartalmaz (Nys és Guyot, 2011). Amikor a madarak kénytelenek mobilizálni a kalciumot a medulláris csontból, ezzel egyidejűleg foszfor is felszabadul, nagyon nagy hányada viszont nem tud beépülni a tojáshéjba és a környezetbe ürül (Nys és Guyot, 2011). Az éjszakai héjképződés során a csontból kioldódó P pótlása miatt másnap a délelőtti időszakban ezért nagyobb mennyiségű P szükséges (Nys és Guyot, 2011). A délelőtti és délutáni P-szükségletek egymáshoz való aránya ezért ellentétes a Ca-szükségletek arányával. Ebből kifolyólag az osztott etetési rendszer takarmánykeverékei nagyobb hasznosítható P-szintet biztosítanak a tojótyúkok számára a délelőtti fázisban a délutáni fázishoz képest (Umar Faruk, et al., 2010a; Keshavarz et al., 1998b; Molnár et al., 2018b).

Az osztott takarmányozási rendszerben több szerző is a tojótyúkok csökkent napi takarmányfelvételét figyelte meg a hagyományos technológiával való összehasonlításban (Leeson és Summers, 1978; Lee és Ohh, 2002). A délelőtti időszakban egész szemű búzát alkalmazó osztott etetési rendszer esetében több kutatás szintén kisebb napi takarmányfelvételtől számolt be a kontroll etetéssel összehasonlítva (Umar Faruk, et al., 2010a; Traineau, et al., 2013). Voltak azonban olyan kísérletek is, amelyekben a tojótyúkok takarmányfelvétele nem különbözött az osztott és a hagyományos takarmányozási rendszerben (Molnár et al., 2018b; Poudel et al., 2022).

Az étkezési tojást termelő tojótyúkokkal végzett kutatások (de Los Mozos et al., 2015; Molnár et al., 2018b; Poudel et al., 2022) mellett brojler szülőpár tojók (van Emous és Mens, 2021; van

Emous, 2023) esetében is kimutatták, hogy az osztott etetéssel a tojástermelési intenzitás, illetve a tojástömeg hasonló szinten tartható, mint a hagyományos takarmányozási technológiában. Egyes szerzők viszont trendszerűen jobb tojástermelési intenzitásról ($P=0,058$), illetve szignifikánsan ($P<0,05$) nagyobb napi termelt tojástömegekről számoltak be az osztott technológiával etetett tojótyúkok esetében a kontroll takarmányozással összehasonlítva (Jahan et al., 2024). Az osztott etetési rendszerben a kontrollhoz képest kedvezőbb takarmányértékesítés volt tapasztalható számos korábbi kísérletben, ami a gyakorlati üzemeltetés során ökonómiai előnyt is biztosíthat (Lee és Ohh, 2002; Umar Faruk, et al., 2010a; Traineau, et al., 2013). Az eredmények között találhatók nem ketreces rendszerből származók is. Hy-Line Brown tojók takarmányértékesítését szignifikánsan javította az osztott etetési rendszer a hagyományos etetéshez képest szabadtartású technológiában, a 34-53. élethét közötti időszakban, (Jahan et al., 2024).

Az egész szemű gabona etetésére alapozott osztott takarmányozás hatásait a tojástermelési teljesítmény paramétereire a 13. táblázat foglalja össze.

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

Irodalmi forrás	Tojás termelési %	Tojás tömeg (g/tojás)	Tojás tömeg (g/nap)	Tak. felvétel (g/tyúk)	Energia felvétel (MJ/tyúk)	Fehérje felvétel (g/tyúk)	Ca felvétel (g/tyúk)	FCR (g/g)
Blair et al. (1973)	=	=	na	+	=	+	+	na
Umar Faruk et al. (2010a)	=	=	=	-	-	-	na	-
Umar Faruk et al. (2010b)	=	=	=	=	na	na	na	=
Umar Faruk et al. (2011)	=	=	=	-	-	na	na	-
Traineau et al. (2013)	=	+	=	-	-	na	na	-

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

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

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

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

(Molnár et al., 2017). A tojás frissességet jelző Haugh-egység mérőszáma osztott etetés hatására nem változott a kontroll takarmányozással összevetve Molnár et al. (2018a, 2018b) vizsgálataiban.

Az osztott takarmányokkal etetett tojótyúkók N-felvétele kisebb volt, mint a hagyományos takarmánnyal etetett madarak esetében Leeson és Summers (1978) korai kísérletében. A délelőtti és délutáni osztott takarmányok 16-10%-os nyersfehérje-koncentrációja csökkentette a teljes fehérje- és N-felvételt, valamint növelte az állatok N-retencióját a 16% nyersfehérje tartalmú kontroll takarmányokhoz képest [10]. Az osztott technológia hatására mért 70%-os látszólagos ileális nitrogén emészthetőséggel szemben a kontroll csoportban szignifikánsan nagyobb, 80%-os emészthetőséget mértek ($P < 0,001$; Jahan et al. (2024). A foszfor forgalmához kötődő vizsgálatok közül Keshavarz (1998b) kísérletében az osztott kezelések közötti eltérések ellenére sem talált különbséget a kísérleti állatok P-retenciójában (23 és 17% közötti átlagok). Az osztott etetési technológia organikus tartásban a tojótyúkók kisebb P-emisszióját eredményezte a hagyományos technológiával összehasonlítva (van Krimpen et al., 2018)

Keshavarz (1998b) tanulmánya számolt be a sápcsont hamu tartalmának méréséről, melyben az osztott, délelőtti és délutáni eltérő P-ellátás nem befolyásolta szignifikánsan a sápcsont hamu tartalmát. Molnár et al. (2018c) kísérletében az osztott etetés, melyet a tojók 75. és 92. élethete között alkalmazott, nem járt a sápcsont törésszilárdságának, Ca és P tartalmának szignifikáns eltéréssel a kontroll etetéshez képest. A kutató csoport megvizsgálta 21-85. élethét között a tojók sápcsontjának törésszilárdságát és nem találtak különbséget az osztott és a hagyományos technológia összehasonlításában. Poudel et al. (2022) egy későbbi életszakaszban, a 70. és 79. élethét időszakában nem tudott kimutatni szignifikáns különbségeket a sápcsont törésszilárdságában, átmérőjében, hosszában és súlyában az osztott, illetve a hagyományos etetés között.

Egyes kutatóintézetek (pl. Schothorst Feed Research), cégek elvégzett kísérleteinek adatai nem teljesen nyilvánosak, csak szűkebb körben érhetők el, a takarmánykeverékek összetétele sokszor nem ismert teljes egészében. A délelőtti és délutáni keverékek összetételére és beltartalmára külön fiatal, illetve idős állományok számára nincsenek tudományos igényű javaslatok. Ugyancsak hiányoznak a tudományos vizsgálatok az egyre terjedő mélyalmos rendszerben termelő hibridek számára.

3.5. A baromfitartás erőforrásigénye és környezetterhelő hatása

Az egyes állati termékek előállításához kapcsolódó erőforrásigény és környezetterhelő hatást kezdetben közvetlenül ez előállítás helyszínéhez kötődően ("on-farm") számították, majd mára

már mindenütt általánossá váltak az ún. életciklus-értékelések ("life-cycle assessments"; LCA), amelyek a termék-előállítás teljes folyamatának be- és kimeneti tényezőit figyelembe veszik (Williams et al., 2006).

A baromfitermékek előállításának környezeti hatásaival foglalkozó életciklus-értékelések alapján elmondható, hogy a globális felmelegedést okozó üvegházhatású gáz (ÜHG) kibocsátásnak csak kisebb hányada kötődik a közvetlen baromfihús- illetve tojáselőállításához, ellentétben pl. a marhahússal, ahol a környezetterhelő hatások elsősorban a termék-előállítás folyamataihoz kapcsolódnak (MacLeod, 2011; Poore és Nemecek, 2018). Az ÜHG (főleg CO_2 , CH_4 , N_2O) kibocsátása ($\text{kg CO}_2\text{e/kg}$ termék) a gazdaságokban folyó primér tevékenységekhez kapcsolódóan a baromfihús esetében 9%-ot, a tojástermelésnél pedig 28%-ot tesz ki (Poore és Nemecek, 2018). Ugyanezen kategória a marhahús előállításnál 56%, a sertéshúsnál pedig 20%. A takarmány-előállításához kötődő ÜHG-kibocsátás a baromfihús esetében 25%, a sertéshúsnál 35%, a tojástermelésnél 48%, míg a marhahúshoz kötődően csak 3% (Poore és Nemecek, 2018).

A baromfiipar szén-lábnyománál sokkal jelentősebb mértékű a nitrogén kibocsátása. A baromfitenyésztés legjelentősebb gázkibocsátása az ammóniából (NH_3) származik, amely savasodást és eutrofizációt okoz, illetve a belőle nitrifikációs és denitrifikációs folyamatok által képződő N_2O üvegházhatású gáz (IIR, 2022). A 2021-es évben hazánkban az ammónia emisszió 92%-a volt mezőgazdasági eredetű, és a mezőgazdaság által kibocsátott ammónia 47,7 %-a származott a szerves trágya-kezelésből, amiből 12,5 % volt a baromfi trágyából eredő mennyiség (IIR, 2022). Az NH_3 mellett a legnagyobb savasító potenciállal a kén-dioxid (SO_2) rendelkezik, a savasító hatás métekegysége is a SO_2 -ekvivalens: 1 kg $\text{NH}_3\text{-N}$ megfelel 2,3 kg SO_2 -nek (Williams et al., 2006). Az ammóniából is képződő nitrát (NO_3^-) illetve a foszfát (PO_4^{3-}) a baromfitartásból származó két legfontosabb eutrofizációs hatású ion, a foszfát ekvivalensben kifejezett hatás számításánál 1 kg $\text{NO}_3\text{-N}$ és 1 kg $\text{NH}_3\text{-N}$ ekvivalens 0,44 és 0,43 kg PO_4^{3-} ionnal (Williams et al., 2006).

Az ÜHG-kibocsátás, valamint a savasító és eutrofizációs potenciál mellett a termék-előállítási pálya energia- és vízfelhasználása, illetve termőföld lekötése a legfontosabb kategóriák az ökológiai lábnyommal, fenntarthatósággal kapcsolatos számítások (MacLeod, 2011). A tojástermelésben az energiafelhasználást a tojástermelési előtti, közbeni és utáni felhasználásból kalkulálják. Az energiafelhasználás során értékelik az üzemanyag-felhasználást, a termelés során a baromfiistállóban használt gépek, eszközök és berendezések energia-fogyasztását. A tojótyúk tartása során a takarmánytermesztéshez szükséges vízfelhasználás a legszámottevőbb. Ezenkívül

a vízfelhasználáson belül mérik a baromfiólban a csirkék által elfogyasztott vizet és a tisztításhoz használt technológiai vizet.

A 14. táblázat a fontosabb állati eredetű élelmiszerek erőforrás igényét és környezetterhelő hatását mutatja be a fentiek alapján az Egyesült Királyságra vonatkozóan. Jól láthatók a tojás és a baromfihús kedvező adatai és fölénye a sertés-, marha- és juhhússal, valamint a tejjel szemben négy kategóriában. Egyedül a tej acidifikációs potenciálja mutat kedvezőbb értéket a két baromfitermék adatánál.

14. táblázat: Fontosabb állati eredetű termékek erőforrás igénye és környezetterhelő hatása egységnyi termékre vetítve (1 t hús, 20 000 tojás = 1 t, 10 m³ tej = 1 t sz.a.; Williams et al., 2006; MacLeod, 2011)

Erőforrásigény és környezetterhelés	Tojás	Baromfihús	Sertéshús	Marhahús	Tej	Juhhús
Energiafelhasználás (GJ)	14	12	17	28	25	23
Üvegházhatás (t CO ₂)	5,5	4,6	6,4	16	10,6	17
Eutrofizációs potenciál (kg PO ₄ ³⁻)	77	49	100	158	64	200
Acidifikációs potenciál (kg SO ₂)	306	173	394	471	163	380
Termőföldlektetés (ha)	0,67	0,64	0,74	2,33	1,20	1,40

A 15. táblázat a tojástermelés különböző tartástechnológiai esetén jellemző nitrogén emissziós értékeket mutatja be egységnyi termékre vonatkoztatva az Egyesült Királyságban. A hagyományos, nem organikus tartás mindhárom nitrogénforma esetében kedvezőbb kibocsátási adatokkal rendelkezik az organikus tartáshoz képest. A különbségek okai között többek között megemlíthető az állatok genetikai potenciáljának és a takarmányozásnak az eltérései. Utóbbi esetében a nitrogén kibocsátást nagy mértékben érinti, hogy az organikus gazdálkodásban nem használhatók pl. kristályos aminosav kiegészítők (Williams et al., 2006; MacLeod, 2011).

15. táblázat: Különböző tartástechnológiák nitrogén kibocsátása (kg) egységnyi előállított tojásmennyiségre vetítve (20 000 tojás = 1 t; Williams et al., 2006; MacLeod, 2011)

Nitrogén formák	Hagyományos tartás			Organikus tartás
	Ketrcees és szabadtartás	Ketrcees	Szabadtartás	
NO ₃ -N	36	35	39	78
NH ₃ -N	79	77	81	88
N ₂ O-N	7,0	6,6	7,9	9,0

4. Anyag és módszer

A doktori kutatómunkám során három modell és egy üzemi kísérletet végeztem. A kísérletben a következő témákat vizsgáltam:

1. Hagyományos és osztott etetési technológia összehasonlítása (1. modell és nagyüzemi kísérlet)
2. Eltérő fehérje és aminosav ellátás hatásának összehasonlítása osztott etetési technológiában (2. modell kísérlet)
3. Eltérő kalcium ellátás hatásának összehasonlítása osztott etetési technológiában (3. modell kísérlet)

A következőkben először a modell kísérletek, majd a nagyüzemi kísérlet módszertanát ismertetem.

4.1. Modell kísérletek anyagai és módszerei

4.1.1. Kísérleti állatok és elhelyezésük

Az elvégzett modellkísérletek helyszínét a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Élettani és Takarmányozástani Intézet Georgikon Campusán található kísérleti telep biztosította. Az 1. modell kísérletet 48 Nick Brown genetikájú tojótyúkkal végeztem, melyek 29 élethetesesek voltak a kísérlet kezdetén. A 2. és 3. modell kísérletben 48 Hy-Line Brown genetikájú tojótyúkokat használtam, amelyek az 2. kísérlet kezdetén 47 hetes, a 3. kísérlet megkezdésekor pedig 62 hetes életkorúak voltak. A kísérleti állatok a Fuchs Tojás Kft. telepeiről a kísérleteket megelőzően egy héttel érkeztek és hét napig a termelő telepen fogyasztott takarmányt kapták. A tojótyúkok kétszintes egyedi ketrecekben lettek elhelyezve (1056 cm² alapterület), amelyek mindegyike szelepes itatóval és kézi feltöltésű etetővályúval volt felszerelve. Egy szinten belül a 6 állatot helyeztem el úgy, hogy az egymás mellett elhelyezkedő állatok külön kezeléshez tartoztak és ebből a 6 állatból álló blokkból összesen 8 ismétlés volt a kísérleti teremben. A terem hőmérséklete $20 \pm 0,6$ °C volt, fényprogramként pedig 16 óra világos és 8 óra sötét szakasz, 30 lux fényerősség került beállításra. A kísérleteket az Intézményi Etikai Bizottság (Állatvédelmi Bizottság, Georgikon Campus, Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem) a MÁB-2/2021 engedélyszám alatt hagyta jóvá.

4.1.2. Kísérleti takarmány kezelések

4.1.2.1. Hagyományos és osztott etetési technológia összehasonlítása (1. modell kísérlet)

A kísérlet során felhasznált 48 állatból 24 egyed részesült hagyományos (kontroll, K) takarmányozásban és ugyancsak 24 állat tartozott az osztott (O) etetési rendszerhez. A kísérlet takarmánykeverékeinek összetétele, számított és mért táplálóanyag tartalma az 16. táblázatban található. A kísérleti keverékek előállítása a MATE ÉTI keszthelyi kísérleti telepén történt. A kísérleti takarmányokat 12 hétig etettem, a tojótyúk 29-40 hetes korában. Mindkét takarmányozási rendszerben a kiosztott napi takarmány adag 120 g takarmány/nap volt. Reggel 8 órakor a fényszakas kezdetén az állatok mindkét kezelési csoportban a napi takarmányadagjuk 40%-át kapták (48g), és a második adag kiosztásáig 7 óra állt rendelkezésükre ennek elfogyasztására (6,85 g/óra). A napi takarmány adag további 60%-át (72g) 15 órakor kapták meg és 9 órán keresztül fogyaszthatták a fényszakas végéig (8,00 g/óra). A takarmány kiosztás időpontjában az etetőben maradt takarmány maradék mindig lemérésre és eltávolításra került. A kontroll csoport takarmánykeverékének összeállítása a tenyésztő cég (Brown Nick Management Guide, 2024; H&N International) ajánlása alapján történt napi 120 g-os takarmányfelvételt és 90% feletti tojástermelést tervezve, és mind a délelőtti, mind a délutáni kiosztott keverék ugyanolyan összetételű volt (tojó II. fázis). Az összes takarmány receptúra készítés során az alapanyagok aktuálisan mért beltartalmi eredményeivel, illetve az ezekből a Bestmix szoftver által alapanyagonként számított AMEn értékekkel dolgoztunk és ez alapján határoztuk meg a keverékek összetételét. Az osztott etetésű csoport délelőtti takarmányának emeltebb volt az energia (AMEn; 102.7%) és kisebb a Ca tartalma (80.4%) a K csoportéhoz képest, míg a délutáni takarmánynak kisebb volt az energia (96.4%) és több Ca koncentrációja (113,4%) a Kontroll csoportéhoz képest (100%). Az osztott technológia délelőtti keverékének nyersfehérje szintje megegyezett a hagyományos rendszer keverékének nyersfehérje szintjével, viszont az osztott etetés délutáni keverékének nyersfehérje koncentrációja kisebb volt (92%), mint a kontroll esetében számított érték (100%). A SID Lys, Met, Met+Cys koncentrációk az O technológia délelőtti és délutáni keverékeiben, illetve más fontos esszenciális aminosavak (Arg, Val, Thr, Leu, Ile, Trp) SID koncentrációi az O technológia délelőtti keverékében közel megegyeztek a K technológia kísérleti keverékében jellemző értékkel. A SID Arg, Val, Thr, Leu, Ile, Trp szintek az osztott etetés délutáni keverékében a nyersfehérje szinthez hasonló mértékben kisebbek voltak, mint a K csoport keverékének szintjei. Mindkét kezelésben a finom és durva mészforrás aránya (70:30%) volt

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

Összetevők	Kontroll (K)	Osztott etetés (O)	
		Délelőtt	Délután
Kukorica	38,70	40,42	39,83
Búza	20,00	20,00	20,00
Extrahált szójadara	13,01	12,53	6,40
Extrahált napraforgódara	8,15	8,00	12,08
Növényi olaj	1,75	1,90	0,94
Búza liszt	2,50	2,99	3,50
Kukorica DDGS	6,00	6,00	6,00
L-lizin (Biolys®)	0,04	0,10	0,18
DL-metionin (MetAMINO®)	0,09	0,12	0,10
MCP	0,40	0,38	0,31
Takarmánymész (durva, 2-4 mm)	6,03	4,83	6,92
Takarmánymész (gríz)	2,60	2,00	3,00
Takarmánysó	0,23	0,23	0,24
Premix ¹	0,50	0,50	0,50
Számított táplálóanyag-tartalom			
AMEn (MJ/kg)	11,25	11,54	10,86
Nyersfehérje	16,00	16,00	14,72
Nyerszsír	3,93	4,13	3,14
Nyersrost	4,83	4,85	5,36
Nyershamu	12,64	10,84	13,66
SID Lizin	0,63	0,67	0,62
SID Metionin	0,34	0,37	0,34
SID Metionin+Cisztein	0,60	0,63	0,59
SID Arginin	0,90	0,89	0,81
SID Treonin	0,50	0,50	0,45
SID Valin	0,67	0,66	0,61
SID Leucin	1,10	1,10	0,99
SID Izoleucin	0,57	0,57	0,51
SID Triptofán	0,16	0,16	0,14
Ca	3,42	2,75	3,88
P összes	0,49	0,49	0,48
P hasznosítható	0,35	0,35	0,33
Mért táplálóanyag-tartalom			
Szárazanyag	89,18	88,82	89,16
Nyersfehérje	15,63	15,70	14,32
Nyerszsír	3,95	4,16	3,20
Nyersrost	4,72	4,98	5,10
Ca	3,68	3,06	4,21
P összes	0,46	0,46	0,46

¹ Premix összetétel: (1 kg takarmányra vonatkoztatva): A-vitamin—8000 NE, D₃-vitamin—3,000 NE, E-vitamin—30 NE, tiamin—2 mg, riboflavin—6 mg, piridoxin HCL—4 mg, niacin—30 mg, pantoténsav—8 mg, folsav—1 mg, biotin—0,2 mg, betain—180 mg, kolin-klorid—147mg, Zn—80 mg, Cu—13,5 mg, Fe—54 mg, Mn—90 mg, I—2,7 mg, Se—0,36 mg; Mn—100 mg, I—1,5 mg, Se—0,5 mg; Fitáz (Quantum Blue) - 300 FTU, Xilanáz enzim (Econase XT 25 P) - 16BXU/g

4.1.2.2. Eltérő fehérje és aminosav ellátás hatásának összehasonlítása osztott etetési technológiában (2. modell kísérlet)

A kísérletben két osztott takarmányozási kezelést hasonlítottam össze: egy kontroll (K) és egy csökkentet nyersfehérje (low protein; LP) tartalmú kísérleti keverékeket tartalmazó kezelést. A kísérleti takarmányok összetételét és táplálóanyag-tartalmát a 17. táblázat mutatja be. A kísérlet 6 héten keresztül zajlott, a kísérleti állatok 47-53 élethetes korában. A napi takarmány adag és annak kiosztása megegyezett az 1. modell kísérletnél leírtakkal. Az 1. modell kísérlethez hasonlóan itt is megtörtént az alapanyagok beltartalmának mérése, az alapanyagokénti AMEn tartalom aktualizálása a receptúrák összeállítása előtt. A két osztott kezelési csoport délelőtti és délutáni takarmányainak energia (AMEn) és Ca-tartalma közel azonos volt és így hasonló különbségeket mutatott a tenyésztő cég ajánlásainak megfelelő kereskedelmi tojótáphoz képest (Hy-Line Performance Guide, 2024; Hy-Line International). A K kezelés délelőtti és délutáni keverékeinek egymáshoz viszonyított AMEn-aránya közel azonos volt az 1. modell kísérletnél alkalmazott aránnyal (O kezelés). A K kezelés délelőtti keverékének nyersfehérje és esszenciális SID aminosav szintjei a tenyésztő cég ajánlásainak figyelembe vételével kerültek megállapításra (Hy-Line Performance Guide, 2024; Hy-Line International). Az 1. kísérlethez szintén hasonló módon a délutáni keverék nyersfehérje szintje 92%-a volt a délelőttinek, az esszenciális aminosavak SID szintjeire pedig 88-93% volt jellemző ebben az összehasonlításban. Az LP kezelés délelőtti és délutáni fázisainak keverékei 2%-kal kevesebb nyersfehérjét tartalmaztak a K kezelés megfelelő keverékeihez képest. A SID Lys, Met, Met+Cys, Thr, és Val koncentrációk ugyanakkor nem különböztek ilyen módon a két kezelés keverékeiben, azonosak voltak a K és az LP kezelések délelőtti, illetve a két kezelés délutáni keverékeiben. A keverékekben nem használtam kristályos Arg, Leu, Ile és Trp aminosavakat, így ezeknek a SID szintjei lecsökkentek az LP kezelés kisebb nyersfehérje tartalmú keverékeiben a K kezelés takarmányaihoz képest. A két kezelés közti 2%-os abszolút nyersfehérje csökkenés 13-14%-ot jelentett relatív szinten, míg az előbb említett aminosavak SID szintjeinek csökkenése kb. 20%-os volt a K és LP kezelések keverékei között.

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

Összetevők	Kontroll (K)		Fehérje csökkentés (LP)	
	Délelőtt	Délután	Délelőtt	Délután
Kukorica	32,00	35,00	28,00	30,00
Búza	33,79	28,31	45,24	40,29
Extrahált szójadara	13,76	13,22	5,15	3,24
Extrahált napraforgódara	9,16	7,67	10,00	10,00
Növényi olaj	1,58	1,33	1,32	1,35
L-Lizin (Biolys®)	0,13	0,06	0,36	0,32
DL-Metionin (MetAMINO®)	0,11	0,10	0,11	0,14
L-Treonin	0,01	0,00	0,11	0,11
L-Valin	0,00	0,00	0,11	0,12
MCP	0,45	0,36	0,55	0,43
Takarmánymész (durva, 2-4 mm)	4,80	9,00	4,80	9,00
Takarmánymész (gríz)	3,44	4,18	3,44	4,21
Takarmánysó	0,28	0,28	0,28	0,28
Premix ¹	0,50	0,50	0,50	0,50
Számított táplálóanyag-tartalom				
AMEn (MJ/kg)	11,27	10,74	11,29	10,82
Nyersfehérje	16,48	15,16	14,40	13,00
Nyerszsír	3,25	3,00	2,90	2,90
Nyersrost	4,33	3,89	4,29	4,09
Nyershamu	12,40	16,94	12,14	16,69
SID Lizin	0,73	0,64	0,73	0,64
SID Metionin+Cisztein	0,63	0,59	0,63	0,59
SID Metionin	0,36	0,34	0,36	0,34
SID Arginin	0,95	0,88	0,75	0,68
SID Treonin	0,53	0,49	0,53	0,49
SID Valin	0,69	0,64	0,69	0,64
SID Leucin	1,14	1,08	0,94	0,86
SID Izoleucin	0,60	0,55	0,48	0,43
SID Triptofán	0,16	0,14	0,13	0,12
Ca	3,31	5,10	3,31	5,11
P összes	0,48	0,43	0,48	0,43
P hasznosítható	0,33	0,31	0,33	0,31
Mért táplálóanyag-tartalom				
Szárazanyag	90,15	90,81	90,36	90,72
Nyersfehérje	16,21	15,01	14,53	13,21
Nyerszsír	3,25	3,04	2,83	3,14
Nyersrost	4,29	4,11	4,37	4,54
Ca	3,18	4,98	3,16	4,92
P összes	0,44	0,38	0,41	0,37

¹ Premix összetétel: (1 kg takarmányra vonatkoztatva): A-vitamin—8000 NE, D₃-vitamin—3,000 NE, E-vitamin—30 NE, tiamin—2 mg, riboflavin—6 mg, piridoxin HCL—4 mg, niacin—30 mg, pantoténsav—8 mg, folsav—1 mg, biotin—0,2 mg, betain—180 mg, kolin-klorid—147mg, Zn—80 mg, Cu—13,5 mg, Fe—54 mg, Mn—90 mg, I—2,7 mg, Se—0,36 mg; Mn—100 mg, I—1,5 mg, Se—0,5 mg; Fitáz (Quantum Blue) - 300 FTU, Xilanáz enzim (Econase XT 25 P) -16BXU/g

4.1.2.3. Eltérő kalcium ellátás hatásának összehasonlítása osztott etetési technológiában (3. modell kísérlet)

A kísérletben két osztott takarmányozási kezelést hasonlítottam össze: egy kontroll (K) és egy módosított kalcium tartalmú kísérleti keveréket tartalmazó kezelést (CA). A kísérleti takarmányok összetételét és táplálóanyag-tartalmát a 18. táblázat mutatja be. A kísérlet 6 héten keresztül zajlott, a kísérleti állatok 62. és 68. élethete között. A napi takarmány adag és annak kiosztása megegyezett az 1. modell kísérletnél leírtakkal. Az 1. és 2. modell kísérletekhez hasonlóan itt is megtörtént az alapanyagok beltartalmának mérése, az alapanyagokénti AMEn tartalom aktualizálása a receptúrák összeállítása előtt. A két osztott kezelési csoport délelőtti és délutáni takarmányainak energia (AMEn) és nyersfehérje tartalma, illetve az esszenciális aminosavak SID koncentrációi közel azonosak voltak. A délelőtti és délutáni keverékek egymáshoz viszonyított AMEn-, nyersfehérje- és az esszenciális aminosavak SID szintjeinek arányában a 2. modell kísérletnél alkalmazott arányt követtem (K kezelés). A délelőtti keverékek nyersfehérje és esszenciális SID aminosav szintjei a tenyésztő cég ajánlásainak figyelembe vételével kerültek megállapításra (Hy-Line Performance Guide, 2024; Hy-Line International). A kísérleti állatok Ca-szükségletének megfelelő Ca-szinthez (4,38%) képest a K kezelés délelőtti keverékében kb. 20%-kal kisebb, a délutániban pedig kb. 20%-kal nagyobb Ca-szintet alkalmaztunk. A 2. modell kísérletben is ezt az elvet követtem, míg az 1. modell kísérletben a délutáni keverék Ca-szintje a szükséglethez képest csak kb. 13%-kal volt nagyobb. A CA kezelés esetében a délelőtti keverékben az eddigieknél nagyobb mértékű csökkentést, illetve a délutáni keverékben nagyobb mértékű növelést alkalmaztam: a délelőtti keverék a szükségletnél 38%-kal kisebb, a délutáni 35%-kal nagyobb volt.

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

Összetevők	Kontroll (K)		Kalcium kezelés (CA)	
	Délelőtt	Délután	Délelőtt	Délután
Kukorica	20,00	20,00	20,00	20,00
Búza	41,79	39,17	40,45	36,70
Extrahált szójadara	15,80	9,90	17,50	10,20
Extrahált napraforgódara	9,00	12,00	4,20	13,00
Növényi olaj	2,85	2,40	2,67	3,18
Búzakorpa	0,00	1,10	6,90	0,00
L-Lizin-HCl	0,13	0,13	0,10	0,12
DL-Metionin	0,19	0,15	0,20	0,14
L-Treonin	0,02	0,00	0,02	0,00
MCP	0,69	0,66	0,59	0,69
Takarmánymész (durva, 2-4 mm)	6,00	9,60	4,65	10,70
Takarmánymész (gríz)	2,79	4,14	1,98	4,52
Takarmánysó	0,21	0,22	0,21	0,22
Premix ¹	0,53	0,53	0,53	0,53
Fitáz (Natuphos E 5000 TPT)	0,01	0,01	0,01	0,01
Számított táplálóanyag-tartalom				
AMEn (MJ/kg)	11,26	10,47	11,27	10,46
Nyersfehérje	17,00	15,18	17,00	15,19
Nyerszsír	4,40	3,89	4,40	4,60
Nyersrost	4,36	4,70	4,40	4,71
Nyershamu	12,80	17,44	10,70	18,92
SID Lizin	0,80	0,68	0,80	0,68
SID Metionin+Cisztein	0,79	0,72	0,79	0,71
SID Metionin	0,44	0,39	0,44	0,39
SID Arginin	1,02	0,92	1,00	0,93
SID Treonin	0,62	0,53	0,61	0,54
SID Valin	0,75	0,67	0,74	0,68
SID Leucin	1,14	1,01	1,14	1,01
SID Isoleucin	0,67	0,60	0,66	0,60
SID Triptofán	0,18	0,16	0,18	0,16
Ca	3,55	5,37	2,73	5,92
P összes	0,54	0,53	0,54	0,53
P hasznosítható	0,37	0,36	0,37	0,36
Mért táplálóanyag-tartalom				
Szárazanyag	89,81	90,51	89,64	90,54
Nyersfehérje	17,16	15,41	17,06	15,93
Nyerszsír	4,31	3,52	4,38	4,35
Nyersrost	4,78	6,63	5,21	8,26
Ca	3,85	5,59	3,04	5,88
P összes	0,53	0,52	0,53	0,51

¹ Premix összetétel: (1 kg takarmányra vonatkoztatva): A-vitamin—8000 NE, D₃-vitamin—3,000 NE, E-vitamin—30 NE, tiamin—2 mg, riboflavin—6 mg, piridoxin HCL—4 mg, niacin—30 mg, pantoténsav—8 mg, folsav—1 mg, biotin—0,2 mg, betain—180 mg, kolin-klorid—147mg, Zn—80 mg, Cu—13,5 mg, Fe—54 mg, Mn—90 mg, I—2,7 mg, Se—0,36 mg; Mn—100 mg, I—1,5 mg, Se—0,5 mg; Fitáz(Quantum Blue)-300 FTU, Xilanáz enzim (Econase XT 25 P) -16BXU/g

4.1.3. Mérések és mintavételi eljárások

A kísérleti állatok testsúlyát heti szinten egyedileg mértem. A délelőtti és délutáni fázisok takarmányfelvétele (g/nap/tyúk), a tojástermelés (%) és a tojássúlyok (g) naponta rögzítve lettek. A mért adatokból tyúkonként a teljes kísérletre vonatkozóan számtani átlagot képeztem, majd az átlagokat statisztikailag értékeltem ($n=24$ /csoport). A következő adatokat számítással határoztam meg egy tojótyúkra és a teljes kísérletre vonatkozóan: átlagos napi, illetve délelőtti és délutáni takarmányfelvétel (g/nap/tyúk), átlagos napi, illetve délelőtti és délutáni fehérje-, kalcium- és foszforfelvétel (g/nap/tyúk) napi tojáshozam (g/nap/tyúk) és takarmány-értékesítés (kg takarmány/kg tojás). A kísérlet utolsó napján egy tojás begyűjtésre került minden állattól a tojásminőség mérése céljából, melyeket 4°C -on tároltunk. A tojásokat 24 óra tárolást követően 30 percen keresztül szobahőmérsékleten állni hagytam, majd a tojásminőségi paramétereket (tojáshéj szilárdság, sűrűfehérje magasság, Haugh-egység, sárgája szín, sárgája átmérő, sárgája magasság, sárgája index, héjvastagság) a Digital Egg Tester 6500 (Nabel Co., Kyoto 601-8444 Japan) nevű mérőműszerrel mértem.

Az utolsó héten a kísérleti takarmányok 0,5% titánium-dioxid indikátorral lettek kiegészítve. Négy napos adaptációs időszakot követően naponta, két egymást követő napon a teljes napi ürülék homogenizációját követően reprezentatív ürülminta-gyűjtést hajtottam végre. Az egyes madaraktól származó kétnapi mintákat egyesítettem, majd alapos homogenizációt követően -20°C -os hőmérsékleten tároltam a későbbi mérésekig. Az ürülminták vizsgálata előtt a mintákat kíméletesen felolvasztottam majd újabb homogenizációt követően meghatároztam az ürülék szárazanyag-tartalmát, összes-N, ammónium-N ($\text{NH}_4^{+}\text{-N}$) és húgysav-N tartalmát

A kísérlet utolsó napján 8 órakor az állatokat széndioxidos kábítás alatt, a nyaki véna átvágásával kivéreztettem és minden állatból csípőbél (ileum) tartalom mintát gyűjtöttem. A mintavétel során először eltávolításra került a vékonybélnek a Meckel-féle diverticulumától az ileocekális beszájadzás előtt 2-cm-ig tartó szakasza. A béltartalom mintákat az eltávolított vékonybél szakasz terminális kétharmadának desztillált vízzel történő átöblítésével nyertem. A mintavételt követően a kis mennyiségek miatt három állat béltartalom mintáját egyesítettem, így összesen kezelésenként 8 egyesített („poolozott”) mintát tároltunk -20°C -on az analízisig. Begyűjttem a levágott állatok mindkét sípcsontját (tibia) és főzés segítségével megtisztítottuk az izom és porc maradványoktól. A letisztított csontokat mélyhűtve, -20°C -on tároltuk a kémiai analízisek, illetve a törésszilárdság mérések elvégzéséig.

4.1.4. Analitikai módszerek és számítások

Az analitikai mérések, a sípcsont minták törésszilárdságának meghatározása kivételével, a MATE ÉTI Takarmányozástani és Takarmányozás-élettani Tanszékének laboratóriumában történtek, a Georgikon Campus Festetics Imre Bioinnovációs Központjában. A begyűjtött ürülék és béltartalom mintákat 60 °C-on kemencében szárítottam 72 órán keresztül a további feldolgozás előtt, illetve mindhárom (takarmány, ürülék, béltartalom) mintatípus mintáit megdaráltam egy őrlőmalomban (Retsch ZM 100, Retsch GmbH and Co., K.G., Haan, Germany). Minden minta esetében két analitikai mérést végeztem, amelyek eredményeit átlagoltuk. A darált minták szárazanyag-tartalmát szárítószekrényben történő szárítást (105 °C-on 24 órán keresztül, súlyállandóságig) követően határoztam meg (MSZ ISO 6496:2001).

A minták összes-N (nyersfehérje) tartalmát Kjeldahl módszere alapján (MSZ ISO 5983-1:2005), egy Foss-Kjeltec 8400 analizátor segítségével állapítottam meg (Nils Foss Allé 1, DK-3400 Hilleroed, Dánia). Az ürülék mintákból az NH_4^+ -N-t Peters (Peters et al., 2003) módszere alapján, míg a húgysav-N meghatározása Marquardt (Marquardt et al., 1983) eljárása szerint történt. Minden N-paraméter szárazanyag alapon került kiszámításra. A vizelet-N tartalmát az ammónium-N és a húgysav-N összegeként határoztam meg (O'dell, et al., 1960).

Meghatároztam a kísérleti takarmány keverékek nyerszsír (MSZ EN ISO 6492) és nyersrost tartalmát (MSZ EN ISO 6865:2001). A takarmány és ürülék mintákból a kalcium és a foszfor tartalmát is mértem. A száraz hamut eredményező előkészítést követően a minták felülúszó frakciójából a kalcium tartalom mérése atomabszorpciós spektrofotométerrel történt (MSZ EN ISO 6869:2001). A minták foszfortartalmát fotometriás módszerrel (MSZ EN ISO 6491:2001) állapítottam meg melynek során Biochrom Libra S12 UV-VIS spektrofotométert (Biochrom Ltd. Cambridge, UK) használtam. Az aminosavak koncentrációját a takarmányban és a béltartalomban is meghatároztam. A mintákat először hidrogén-peroxidban és hangyasav keverékében oxidáltam, majd 6 M HCl oldatban hidrolizáltam (MSZ EN ISO 13903:2005). Az aminosavak elkülönítésére és kimutatására egy automata aminosav analizáló berendezés szolgált (Amino Acid Analyser AAA 400; Ingos, Czech Republic). A kísérleti takarmánykeverékek, az ürülék- és béltartalom minták TiO_2 tartalmát UV-spektroszkópiás vizsgálat segítségével határoztam meg (Ferguson et al., 1998).

Az 1. modell kísérletben az állatonként begyűjtött és vizsgálatra előkészített két sípcsontból a bal oldalit a MATE Agrártudományi Vizsgálólaboratóriumába szállítottam Kaposvárra. A csont szilárdságát Zwick Roell Z005 típusú univerzális szakítógéppel vizsgálták, melyet a hozzá tartozó testXpert V11.0 vizsgáló szoftver vezérelt. A jobb oldali sípcsontot kemencében 100 °C-on 24 órán át szárítottam, majd Soxhlet-készülékben petroléter segítségével 16 órán át zsírtalanítottam.

Ezt követően egy éjszakán át szárítószekrényben 100 °C-on szárítottam a száraz, zsírtalanított csont tömegének meghatározásához, majd kemencében 16 órán át 600 °C-on hamvasztotam (AOAC 972.15 módszer; AOAC, 1990). A sípcsont hamuszázalékát a száraz, zsírtalanított csonttömeg hamuként megmaradt súlyának felhasználásával számítottam ki. A csonthamuból származó Ca és P meghatározása a takarmány mintáknál leírt módszerekkel történt.

A nitrogén, kalcium és foszfor retenció meghatározásához a következő egyenletet alkalmaztam (Bregendahl et al. 2002): Látszólagos N retenció = $1 - \left(\frac{[\text{TiO}_2]_{\text{takarmány}}}{[\text{TiO}_2]_{\text{ürülék}}} \times \left(\frac{[\text{Elem}]_{\text{ürülék}}}{[\text{Elem}]_{\text{takarmány}}} \right) \right]$. Az egyenletben a $[\text{TiO}_2]$ a takarmányban, illetve ürülékben mért TiO_2 koncentrációt jelenti, míg az $[\text{Elem}]$ a takarmányban, illetve ürülékben mért N, Ca és P koncentrációt. Az aminosavak látszólagos ileális emészthetőségének meghatározása során szintén a fenti egyenletet használtam, de a TiO_2 koncentráció mellett az egyes aminosavaknak a takarmányban és a béltartalomban mért koncentrációjával számoltam. Az osztott technológiai kísérleti keverékei esetében az indikátor, a nitrogén, a makroelemek és az aminosavak koncentrációját a következő képlettel állapítottam meg: Átlagos koncentráció = (délelőtti takarmány koncentráció x 0,4) + (délutáni takarmány koncentráció x 0,6).

4.1.5. Statisztikai analízis

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

4.2. Nagyüzemi kísérlet anyagai és módszerei

4.2.1. Kísérleti állatok és elhelyezésük

A nagyüzemi etetési kísérletet az UBM Feed Zrt-vel partneri kapcsolatban álló Fuchs Tojás Kft-nél, a cég Ajka-Bakonygyepes településen lévő II. számú telepén végeztem, ahol az osztott etetést a gyakorlatban is alkalmazták. A telepen két 700-700 m² alapterületű, mélyalmos, automata etető-
itató rendszerrel ellátott azonos tartástechnológiájú istálló szolgált a kísérlet elvégzésére. A két kísérleti istállóba 16 hetes életkorban 6000-6000 Nick Brown genotípusú jércét telepítették be, amelyből a kiesések miatt 5975 (B istálló) és 5962 (C istálló) állat kezdte meg a kísérleti takarmányok fogyasztását. Az istállók hőmérséklete $20 \pm 0,9$ °C volt, fényprogramként pedig 16 óra világos és 8 óra sötét szakasz, 30 lux fényerősség került beállításra.

4.2.2. Kísérleti takarmány kezelések

A kísérletet megelőzően előkészítő átmeneti tápként 10 napig mindkét istállóban tojó I. takarmánykeveréket fogyasztottak a tyúkok a korábban etetett tojó starter keverékről a kísérleti keverékre való fokozatosabb átállás érdekében. A C jelű istállóban már ez az átmeneti keverék is osztott technológiával került kiosztásra a technológiai előkészítés céljából. A kísérleti tápok etetése az állatok 29. élethetében kezdődött meg, a B jelű istállóban hagyományos, a C jelű istállóban pedig osztott módon. A kísérlet az 1. modell kísérlettel párhuzamosan zajlott 10 héten keresztül, az állatok 38 hetes életkoráig. A kísérleti takarmánykeverékek előállítása az UBM cégcsoport Szeleste község területén lévő takarmánykeverőjében történt. A kísérleti takarmánykeverékek számított táplálóanyag-tartalma szinte teljesen megegyezett az 1. modell kísérletben alkalmazott keverékekre jellemző értékekkel, mivel azonos genotípusú és korú állomány takarmányozása történt azonos kísérleti kezelések mellett (19. táblázat). Az 1. modell kísérlethez képest egyes takarmányalkotók arányai viszont különböztek, mert az alapanyagok mért táplálóanyag-tartalma kis mértékben eltért egymástól, illetve a nagyüzemi kísérletben egy gyógynövény keverék (kakukkfű 0,10% + kamillavirág 0,05%) is része volt a receptúrának. A kontroll csoport (K, n=6000) takarmánykeveréke esetében mind a délelőtti, mind a délutáni kiosztott keverék ugyanolyan összetételű volt a tenyésztő cég (Brown Nick Management Guide, 2024; H&N International) ajánlása alapján. Az osztott etetésű csoport (O; n=6000) délelőtti és délutáni eltérő összetételű és adagú keveréket fogyasztott. A kontroll és az osztott kezelés délelőtti és délutáni keverékeinek energia- illetve táplálóanyag-tartalom arányai megegyeztek az 1. modell kísérletnél leírtakkal.

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

Összetevők	Kontroll (K)	Osztott etetés (O)	
		Délelőtt	Délután
Kukorica	37,42	39,59	38,75
Búza	20,00	20,00	20,00
Extrahált szójadara	12,90	12,60	6,40
Extrahált napraforgódara	8,20	7,90	12,10
Növényi olaj	1,07	1,13	0,35
Búza liszt	4,40	4,50	5,00
Kukorica DDGS	6,00	6,00	6,00
L-Lizin (Biolys®)	0,04	0,10	0,18
DL-Metionin (MetAMINO®)	0,10	0,12	0,10
MCP	0,35	0,35	0,28
Takarmánymész (durva, 2-4 mm)	6,05	4,84	6,96
Takarmánymész (gríz)	2,60	2,00	3,00
Takarmánysó	0,23	0,23	0,24
Gyógynövény-keverék	0,15	0,15	0,15
Premix ¹	0,50	0,50	0,50
Számított táplálóanyag-tartalom			
AMEn (MJ/kg)	11,25	11,54	10,86
Nyersfehérje	16,00	16,00	14,72
Nyerszsír	3,93	4,13	3,14
Nyersrost	4,83	4,85	5,36
Nyershamu	12,64	10,84	13,66
SID Lizin	0,63	0,67	0,62
SID Metionin	0,34	0,36	0,34
SID Metionin+Cisztein	0,60	0,63	0,59
SID Arginin	0,90	0,89	0,81
SID Treonin	0,50	0,50	0,45
SID Valin	0,66	0,66	0,61
SID Leucin	1,10	1,10	0,99
SID Izoleucin	0,57	0,57	0,51
SID Triptofán	0,16	0,16	0,14
Ca	3,42	2,75	3,89
P összes	0,49	0,49	0,48
P hasznosítható	0,35	0,35	0,33
Mért táplálóanyag-tartalom			
Szárazanyag	89,18	88,82	89,16
Nyersfehérje	15,74	15,80	14,85
Nyerszsír	3,85	4,00	3,26
Nyersrost	4,69	4,95	5,22
Ca	3,38	3,10	4,16
P összes	0,48	0,47	0,46

¹ Premix összetétel: (1 kg takarmányra vonatkoztatva): A-vitamin—8000 NE, D₃-vitamin—3,000 NE, E-vitamin—30 NE, tiamin—2 mg, riboflavin—6 mg, piridoxin HCL—4 mg, niacin—30 mg, pantoténsav—8 mg, folsav—1 mg, biotin—0,2 mg, betain—180 mg, kolin-klorid—147mg, Zn—80 mg, Cu—13,5 mg, Fe—54 mg, Mn—90 mg, I—2,7 mg, Se—0,36 mg; Mn—100 mg, I—1,5 mg, Se—0,5 mg; Fitáz (Quantum Blue) -300 FTU,Xilánáz enzim (Econase XT 25 P) -16BXU/g

A napi kiosztandó takarmányadag tervezése az előző három nap takarmányfogyasztásai alapján történt. Az állatok mindkét kezelésben reggel (4:00 órakor) a napi takarmány adag 40%-át, majd délután a napi takarmány adag további 60%-át kapták két részletben (12:00 órakor 40%, 17:00 órakor 20%), számítógéppel vezérelt automata etetőberendezés segítségével. Az O kezelés esetében a reggeli takarmány kiosztás a délelőtti, a további két takarmány kiosztás pedig a délutáni keverékből történt.

4.2.3. Mérések és mintavételi eljárások

A tojótyúkوك termelési paramétereinek adatgyűjtése részben az Animalsoft Kft. által forgalmazott Livestocker nevű telepi adatgyűjtő program által történt mindkét kísérleti istállóban. A program segítségével naponta automatikusan a következő adatokat rögzítették: állatlétszám, elhullások, tojás db-szám, tojástermelési %, takarmányfogyasztás. A programtól függetlenül mértem az állatok testsúlyát és a tojások súlyát. Az állatok testsúlyának mérése a kísérlet kezdetén és utána hetente történt, istállónként 25, az istállók öt pontjáról (n=5/mintavételi pont) véletlenszerűen kiválasztott állat testsúlyának egyedi mérésével. A teljes kísérlet alatt ez kezelésként (istállónként) 250 állat mérését jelentette. Az adatokból mérési időpontonként számtani átlagot képeztem (n=25/kezelés), majd mindkét kezelés esetében kiszámítottam a teljes kísérletre vonatkozó átlagsúlyt (n=10/kezelés). Az elhullások számát naponta rögzítette a program, majd a teljes kísérletre vonatkozóan értékeltem az adatokat. A termelt ép, fészekbe lerakott tojások mennyisége (db; törött és alomtojás kivételével) és az ebből számolt tojástermelési intenzitás (%) szintén napi szinten került automatikusan rögzítésre és a kísérlet teljes hosszára vonatkozó kezeléskénti átlagokat értékeltem. A kísérlet kezdetén, majd utána hetente mindkét istállóból a délelőtti folyamán véletlenszerűen kiválasztottam 30 db friss tojást, amelyek egyedi súlyának mérését és átlagszámítását helyben elvégeztem (n=30/kezelés), illetve kiszámítottam a teljes kísérletre vonatkozó kezelésátlagokat (n=10/kezelés). A kísérlet kezdetén és a végén a helyben végzett tojás súlymérést követően az istállónként begyűjtött tojásokat a MATE ÉTI keszthelyi laboratóriumába szállítottam és még aznap a modell kísérleteknél ismerttetett tojásmínőségi paramétereket (tojáshéj szilárdság, sűrűfehérje magasság, Haugh-egység, sárgája szín, sárgája átmérő, sárgája magasság, sárgája index, héjvastagság) a Digital Egg Tester 6500 (Nabel Co., Kyoto 601-8444 Japan) nevű mérőműszerrel mértem. A takarmányfogyasztás esetében külön a délelőtti és a délutáni keverékekből elfogyasztott takarmány mennyisége nem volt rögzíthető, a napi kezeléskénti takarmányfogyasztás mérése és az egyedi napi takarmányfelvétel számítása történt meg a telepi program segítségével. Ezen adatokat felhasználva az értékelést a teljes kísérletre vonatkozó átlagos egyedi napi takarmányfelvételre végeztem el (g/nap/tyúk). A kísérleti

keverékek mért nyersfehérje tartalmának és a napi takarmányfelvételi adatok felhasználásával kiszámítottam a napi egyedi nyersfehérje felvételt, majd a két kezelési csoport teljes kísérletre vonatkozó átlagos napi egyedi nyersfehérje felvételét számítottam és értékeltem.

4.2.4. Analitikai módszerek

A kísérlet során analitikai mérésekre a takarmánykeverék minták esetében került sor a MATE ÉTI Takarmányozástani és Takarmányozás-élettani Tanszékének laboratóriumában, a Georgikon Campus Festetics Imre Bioinnovációs Központban. A begyűjtött takarmánymintákat megdaráltam egy őrlőmalomban (Retsch ZM 100, Retsch GmbH and Co., K.G., Haan, Germany). Minden minta esetében két analitikai mérést végeztem, amelyek eredményeit átlagoltam. A mérési módszerek megegyeztek a modell kísérleteknél ismertetett módszerekkel. A darált minták szárazanyag-tartalmát szárítószekrényben történő szárítást (105 C°-on 24 órán keresztül, súlyállandóságig) követően határoztam meg (MSZ ISO 6496:2001). A minták összes-N (nyersfehérje) tartalmát Kjeldahl módszere alapján (MSZ ISO 5983-1:2005), egy Foss-Kjeltec 8400 analizátor segítségével állapítottam meg (Nils Foss Allé 1, DK-3400 Hilleroed, Dánia). Meghatároztam a kísérleti takarmány keverékek nyerszsír (MSZ EN ISO 6492) és nyersrost tartalmát (MSZ EN ISO 6865:2001). A száraz hamut eredményező előkészítést követően a minták felülúszó frakciójából a kalcium tartalom mérése atomabszorpciós spektrofotométerrel történt (MSZ EN ISO 6869:2001). A minták foszfortartalmát fotometriás módszerrel (MSZ EN ISO 6491:2001) állapította, meg melynek során Biochrom Libra S12 UV-VIS spektrofotométert (Biochrom Ltd. Cambridge, UK) használtam.

4.1.5. Statisztikai analízis

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

5. Eredmények és értékelésük

5.1. Hagyományos és osztott etetési technológia összehasonlítása (1. modell és üzemi kísérlet)

5.1.1. Testsúly, tojástermelési és tojásmínőségi paraméterek

A kísérleti kezelések hatását a tojótyúkok testsúlyára az 1. modell és az üzemi kísérlet folyamán a 20. táblázat mutatja be. A kísérletek megkezdésekor a kísérleti állatok átlagos súlya nem különbözött szignifikánsan a két kezelési csoportban ($P>0,05$). A modell kísérletben a heti mérési alkalmak során mért átlagsúlyok nem különböztek szignifikánsan a két csoport között, míg az üzemi kísérletben egy alkalommal, az 5. heti mérés során a testsúly a kontroll csoportban igazolhatóan nagyobb volt, mint az osztott etetésű csoportban (K: $1,93 \pm 0,02$ kg, O: $1,87 \pm 0,02$ kg; $P>0,05$). A takarmány kezelések egyik kísérletben sem voltak hatással a kísérlet végi testsúlyra, illetve súlygyarapodásokra ($P>0,05$).

20. táblázat A kísérleti kezelések hatása a tojótyúkok testsúlyára (29-40.élethét; átlag $\pm$ SEM)

Kezelés ¹	Modell kísérlet (kg)			Üzemi kísérlet (kg)		
	Kezdősúly	Végsúly	Súlygyarapodás	Kezdősúly	Végsúly	Súlygyarapodás
K	$1,92 \pm 0,02$	$1,97 \pm 0,03$	$0,06 \pm 0,02$	$1,87 \pm 0,02$	$1,92 \pm 0,02$	$0,05 \pm 0,02$
O	$1,88 \pm 0,02$	$1,94 \pm 0,02$	$0,06 \pm 0,02$	$1,86 \pm 0,02$	$1,92 \pm 0,02$	$0,06 \pm 0,02$
<i>P</i> érték	NS ²	NS	NS	NS	NS	NS

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

Korábbi, alternatív takarmányozási rendszereket vizsgáló kísérletekben csak ritkán került sor a kísérleti állatok testsúlyának mérésére. Az osztott takarmányozási rendszer elődjének tekinthető szabadon válogató rendszert vizsgálva Chah és Moran (1985) nem tudtak szignifikáns különbségeket kimutatni a tojótyúkok testsúlyában a hagyományos, illetve válogató etetés összehasonlítása során. Az osztott etetés brojler szülőpár állományban vizsgálva a saját kísérletünkhöz hasonlóan nem befolyásolta a tojók testsúlyát a hagyományos etetéshez képest (Emous és Mens, 2021).

A kísérleti állatok takarmányfelvételét a 21. táblázat tartalmazza. A napi energia (AMEn) és nyersfehérje felvétel eredményei a 22. táblázatban láthatók. A modell kísérletben az osztott etetés hatására szignifikánsan kisebb volt a tyúkok takarmány- és nyersfehérje felvétele mind a délelőtti, mind a délutáni időszakban, illetve az egész napra vonatkozóan ($P<0,001$). A teljes napi és a délutáni energia (AMEn) felvétel az osztott etetési csoportban kisebb volt, de a délelőtti

keverékből a két csoport egyedeinek energia felvétele nem különbözött szignifikánsan. A mélyalmos üzemi kísérletben a napi takarmány- és energia felvételben nem volt igazolható különbség a két etetési technológia között, de itt is szignifikánsan kisebb nyersfehérje felvételt eredményezett az osztott etetési technológia ($P < 0,001$).

21. táblázat Napi takarmányfelvétel a modell és az üzemi kísérletben (g/nap/állat; átlag $\pm$ SEM)

Kezelés ¹	Modell kísérlet (29-40. élethét)			Üzemi kísérlet (29-38. élethét)
	Délelőtt	Délután	Összes	
K	45,1 $\pm$ 0,4	69,0 $\pm$ 0,5	114,0 $\pm$ 0,9	129,7 $\pm$ 1,0
O	42,9 $\pm$ 0,4	65,0 $\pm$ 0,4	107,8 $\pm$ 0,8	131,3 $\pm$ 0,6
<i>P</i> érték	<0,001	<0,001	<0,001	NS ²

¹K – hagyományos etetés (kontroll), O – osztott etetés; ² NS – nem szignifikáns ($P > 0,05$)
Modell kísérlet: n=23/kezelés, Üzemi kísérlet: n=74/kezelés

22. táblázat Napi energia (AMEn) és nyersfehérje felvétel a modell (29-40.élethét) és üzemi kísérletben (átlag $\pm$ SEM)

Kezelés ¹	Modell kísérlet					
	AMEn-felvétel (kJ/nap/állat)			Nyersfehérje felvétel (g/nap/állat)		
	Délelőtt	Délután	Összes	Délelőtt	Délután	Összes
K	506,9 $\pm$ 3,9	776,3 $\pm$ 6,1	1283,3 $\pm$ 10,1	7,0 $\pm$ 0,1	10,8 $\pm$ 0,1	17,8 $\pm$ 0,1
O	494,5 $\pm$ 4,8	705,7 $\pm$ 4,6	1200,2 $\pm$ 9,1	6,7 $\pm$ 0,1	9,3 $\pm$ 0,1	16,0 $\pm$ 0,1
<i>P</i> érték	NS ² (0,053)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Kezelés	Üzemi kísérlet					
	AMEn-felvétel (kJ/nap/állat)			Nyersfehérje felvétel (g/nap/állat)		
K	1458,2 $\pm$ 11,5			20,4 $\pm$ 0,2		
O	1462,2 $\pm$ 6,19			19,9 $\pm$ 0,1		
<i>P</i> érték	NS			<0,001		

¹K – hagyományos etetés (kontroll), O – osztott etetés; Modell kísérlet: n=23/kezelés Üzemi kontroll - n=60, osztott – n=74; ² NS – nem szignifikáns ($P > 0,05$)

A kalcium és foszfor felvétel eredményeit a modell kísérlet esetében 23. táblázat mutatja be, míg az üzemi kísérlet mindezen adatait a 24. táblázat foglalja össze. A kísérleti állatok kevesebb kalciumot és foszfort vettek fel az osztott etetési rendszerben a modell kísérlet során ($P < 0,001$), míg az üzemi kísérletben ezt a különbséget nem tudtuk kimutatni. A modell kísérletben mért napi felvételen belül ellentétesen változott a kalcium felvétel a két napszakban, mert a délelőtti folyamán

kisebb, délután pedig nagyobb mennyiségű kalciumot vettek fel az osztott technológia kísérleti állatai a kontrollhoz képest ($P < 0,001$). A foszfor esetében mind a délelőtti, mind a délutáni felvétel szignifikánsan kisebb volt az osztott technológia esetében ($P < 0,001$).

23. táblázat Napi kalcium és foszfor felvétel a modell kísérletben (29-40. élethét; átlag $\pm$ SEM)

Kezelés ¹	Kalcium felvétel (g/nap/állat)			Foszfor felvétel (mg/nap/állat)		
	Délelőtt	Délután	Összes	Délelőtt	Délután	Összes
K	1,66 $\pm$ 0,01	2,54 $\pm$ 0,02	4,20 $\pm$ 0,03	207,2 $\pm$ 1,6	317,4 $\pm$ 2,5	524,8 $\pm$ 4,1
O	1,31 $\pm$ 0,01	2,74 $\pm$ 0,02	4,05 $\pm$ 0,03	197,3 $\pm$ 1,9	298,9 $\pm$ 2,0	496,1 $\pm$ 3,8
<i>P</i> érték	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

¹K – hagyományos etetés (kontroll), O – osztott etetés; n=23/kezelés

24. táblázat Napi kalcium és foszfor felvétel az üzemi kísérletben (29-38. élethét; átlag $\pm$ SEM)

Kezelés ¹	Kalcium felvétel (g/nap/állat)	Foszfor felvétel (mg/nap/állat)
K	4,43 $\pm$ 0,03	635,5 $\pm$ 5,0
O	4,51 $\pm$ 0,02	635,7 $\pm$ 2,7
<i>P</i> érték	NS	NS

¹K – hagyományos etetés (kontroll), n=60, O – osztott etetés, n=74;

²NS – nem szignifikáns ($P > 0,05$)

A kísérleti állatok tojástermelési paramétereinek eredményei a 25. (modell kísérlet) és a 26. táblázatban (üzemi kísérlet) láthatók. A kísérletek teljes időszakára vonatkozó tojástermelési intenzitás, tojástömeg, napi tojástömeg nem különbözött szignifikánsan a két etetési rendszer összehasonlítása során egyik kísérletben sem ($P > 0,05$). A modell kísérletben az osztott etetés szignifikánsan kedvezőbb takarmány-értékesítést eredményezett a hagyományos etetéshez képest ($P < 0,001$). Az üzemi mélyalmos kísérletben az etetési technológia a tojótyúkok takarmány-értékesítését nem befolyásolta ($P > 0,05$).

25. táblázat Tojástermelési jellemzők a modell kísérletben (29-40. élethét; átlag ± SEM)

Kezelés ¹	Tojástermelési intenzitás (%)	Tojástömeg (g)	Napi tojástömeg (g/nap)	Takarmány-értékesítés (kg/kg)
K	98,5 ± 0,4	60,1 ± 0,6	59,1 ± 0,6	1,93 ± 0,01
O	98,0 ± 0,2	60,3 ± 0,7	59,0 ± 0,7	1,83 ± 0,02
<i>P</i> érték	NS ²	NS	NS	<0,001

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

26. táblázat Tojástermelési jellemzők az üzemi kísérletben (29-40.élethét; átlag ± SEM)

Kezelés ¹	Tojástermelési intenzitás (%)	Tojástömeg (g)	Takarmány-értékesítés (kg/kg)
K	92,4 ± 0,2	61,3 ± 0,3	2,15 ± 0,04
O	93,0 ± 0,2	61,0 ± 0,7	2,16 ± 0,02
<i>P</i> érték	NS ²	NS	NS

¹K – hagyományos etetés (kontroll), O – osztott etetés; ²NS – nem szignifikáns (P>0,05), tojástermelési intenzitás: n=59, tojástömeg és takarmány értékesítés: n=10

A modell kísérletben elért eredményeinkkel összhangban egyes szerzők az osztott takarmányozási rendszerben a tojótyúkok csökkent napi takarmányfelvételét igazolták (Leeson et al., 1978; Lee et al., 2002). A délelőtti időszakban egész szemű búzát alkalmazó osztott etetési rendszer esetében több kutatás szintén kisebb napi takarmányfelvételtől számolt be a kontroll etetéssel összehasonlítva (Umar Faruk et al., 2010; Traineau et al., 2013). Más szerzők nem mutattak ki kisebb takarmányfelvételt az osztott etetési rendszernél a hagyományos takarmányozáshoz képest, ami a nagyüzemi kísérletünkben tapasztalt eredményekhez hasonló (Molnár et al., 2018b; Poudel et al., 2022). Üzemi kísérletünkben mindkét kezelési csoportban a tojótyúkok több takarmányt fogyasztottak, mint az egyedi ketreces modell kísérlet során, amit feltehetően a mélyalmos tartástechnológiában jellemző nagyobb mozgásigény energiaszükséglete magyarázhat.

Az osztott etetési technológia délelőtti keverékének AMEn-tartalma kb. 0,3 MJ/kg-mal nagyobb volt, mint a hagyományos keveréké. Az osztott etetésű csoport tyúkjainak kisebb takarmányfelvétele a délelőtti folyamán kompenzálta ezt a nagyobb energia tartalmat és a két csoportban nem különbözött szignifikáns módon a délelőtti energia felvétel. A délután folyamán ezt az energián alapuló takarmányfelvétel kompenzációt nem tapasztaltuk, és a teljes napi energia felvétel kisebb volt az osztott kezelési csoport esetében. Korábbi kutatások is a takarmányfelvételhez hasonlóan kisebb energia felvételtől számoltak be az osztott technológia

esetében a hagyományos takarmányozással összehasonlítva (Leeson et al., 1978; Lee et al., 2002). A délelőtti időszakban egész szemű gabonát alkalmazó osztott rendszer a délelőtti folyamán ugyancsak nagyobb energiatartalmú takarmány etetését jelenti a délutáni fehérjében és kalciumban gazdag takarmányhoz képest. Ebben a rendszerben viszont nem különbözött a tojók egész napra számított energia felvétele a kontroll kezeléssel szemben (Traineau et al., 2013; Umar Faruk et al., 2011). A délelőtti kisebb takarmányfelvétel az energián alapuló kompenzációs mechanizmus alapján az egész szemű gabonás rendszerénél is megfigyelhető volt (Traineau, M. et.al 2013; Umar Faruk et al., 2011). Chah és Moran (1985) a szabadon válogató technológiát vizsgálva mutatta ki, hogy a tojótyúkok energia felvétele nagyobb volt a délelőtti folyamán, az ovipozíció időszakában, illetve amikor az ovulált szik a petevezető infundibulum és magnum részében volt, mint a délutáni és későbbi napszakban. Ez a megfigyelés is részben magyarázhatja, hogy a modell kísérletünkben az osztott etetés során a kísérleti állatok miért nem kompenzálták nagyobb takarmányfelvétellel a délutáni keverék kontrollnál kisebb energia tartalmát.

A szabadon válogató takarmányozást vizsgáló korai kutatások igazolták, hogy az állatok élettani szükségleteinek megfelelő takarmányválogatás csökkentheti a tojótyúkok napi fehérjefelvételét (Leeson et al., 1978; Chah et al., 1985). Amint saját modell és üzemi kísérletünkben is megfigyeltük, az osztott etetési rendszerben a délelőtti és a délutáni takarmánykeverékek különböző nyersfehérje tartalma szintén alkalmas a tojótyúkok nyersfehérje felvételének csökkentésére a hagyományos takarmányozási rendszerhez képest (Leeson et al., 1978, Lee et al., 2002; de Los Mozos et al., 2015). Modell kísérletünkben a tyúkok kisebb napi összes nyersfehérje felvételéhez mind a délelőtti, mind a délutáni fehérjefelvétel szignifikáns csökkenése hozzájárult. Keshavarz et al. (1998a) vizsgálatában ugyanezt tapasztalta, amikor egy 16% nyersfehérjét tartalmazó kontroll keveréket, valamint osztott etetésben egy 16%-os nyersfehérje tartalmú délelőtti és egy 13%-os nyersfehérje szintű délutáni kísérleti keveréket hasonlított össze.

A modell és üzemi kísérletünkben az osztott etetési rendszer újdonsága a korábban vizsgált osztott rendszerekhez képest az új nyersfehérje- és aminosav szintek alkalmazása volt. A korábbi, szemes gabonát nem alkalmazó osztott etetési technológiát vizsgáló kísérletekben a délelőtti keverék nyersfehérje tartalma nagyobb volt a hagyományos etetési rendszer keverékének fehérje tartalmánál (Leeson et al., 1978; van Emous et al., 2021, Molnár et al., 2018b; Jahan et al., 2024). Keshavarz et al. (1998a, 1998b) vizsgálatai szerint a tojástermelési és tojásmínőségi jellemzők fenntarthatók anélkül, hogy a délelőtti takarmány nyersfehérje-tartalmát megemelnénk. A szerző azonban nem alkalmazott valódi osztott etetési rendszert kísérletei során, mert a délelőtti és délutáni fázis keverékeinek AME- és Ca-tartalma megegyezett. Saját kísérleteink valódi osztott

etetési rendszerében a fehérje szintek Keshavarz (1998a, 1998b) alapján történő beállításán túl nyolc esszenciális aminosav SID koncentrációját optimalizáltuk a kontroll és az osztott etetési rendszer takarmánykeverékeiben a pontosabb aminosav ellátás érdekében.

Saját kísérleteinkben az osztott etetésű tojótyúkوك fehérje- és aminosav ellátása a kisebb nyersfehérje felvétel ellenére is megfelelő volt, mivel hasonló tojástermelési %, tojástömeg és napi termelt tojástömeg eredményeket értünk el, mint a kontroll csoport esetében. Modell kísérletünkben az osztott etetéssel elért kisebb napi takarmányfelvétel és hasonló tojástermelési intenzitás miatt kedvezőbb takarmány-értékesítést értünk el a hagyományos etetéssel összehasonlítva. Korábbi kutatások kimutatták, hogy az osztott etetéssel nem csak az étkezési tojást termelő tojótyúkوك (de Los Mozos et al. 2015; Molnár et al., 2018; Poudel et al., 2022) hanem a brojler szülopár tojóك (van Emous et al., 2021, 2023) tojástermelési intenzitása, illetve tojástömege hasonló szinten tartható, mint a hagyományos takarmányozási technológiában. Más szerzőknek sikerült trendszerűen jobb tojástermelési intenzitást ($P=0,058$), illetve szignifikánsan ($P<0,05$) nagyobb napi termelt tojástömeget kimutatni az osztott technológiával etetett tojótyúkوك esetében a kontroll takarmányozással összehasonlítva (Jahan et al., 2024). Számos korábbi kísérletben az osztott etetési rendszerben a kontrollhoz képest tapasztalt kedvezőbb takarmányértékesítés a gyakorlati üzemeltetés során ökonómiai előnyt is biztosíthat (Lee et al., 2002; Umar Faruk et al., 2010; Traineau et al., 2013). Mélyalmos üzemi kísérletünkben viszont a takarmányfelvétel és a tojástermelés hasonló eredményei miatt a takarmányértékesítés nem különbözött a hagyományos és az osztott technológia között. Szabadtartású technológiában az osztott etetési rendszer a Hy-Line Brown tojóك takarmányértékesítését szignifikánsan javította a hagyományos etetéshez képest a 34-53. élethét közötti időszakban (Jahan et al., 2024).

A tyúkوك fehérje- és aminosav-ellátása az általunk is vizsgált osztott etetési rendszerben azon az elméleten alapul, hogy a tojásfehérje és a héjhártya fehérjeinek szintézise nagyobb mennyiségű aminosavat igényel a reggeli ovuláció után (Hiramoto et al., 1990; Muramatsu et al., 1991). A tojás jelenléte a petevezető tojásfehérjét termelő magnum részében megduplázza a fehérjeszintézis sebességét, összehasonlítva a petevezető más részeiben tartózkodó tojással szemben. (Hiramoto et al., 1990). Egy szabadon válogató etetést vizsgáló kísérlet során a tojótyúkوك a nagy energia tartalmú dercés keverék, a fehérje granulátum és az osztriga héj közül nagyobb mértékben a fehérje granulátumot választották, amikor petesejt a magnumban volt (Chah et al., 1985). Chah és Moran (1985) szabadon válogató és hagyományos etetés összehasonlítása során két óránként mérte a tojóك fehérje felvételét, ami a korábban ismertetett energia felvételhez hasonlóan alakult. A válogató csoport kísérleti állatai nagyobb mennyiségű fehérjét fogyasztottak, amikor a tojás a

magnumban tartózkodott, mint amikor az uterusban. Érdekes kísérleti eredmény, hogy az osztott etetés során etetett 16% nyersfehérje tartalmú délelőtti és 13% nyersfehérje tartalmú délutáni takarmány hasonló tojástermelési %-ot, tojástömeget és takarmányértékesítést eredményezett, mint az ellentétes fehérje szintű keverékek (délelőtti 13%, délután 16% nyersfehérje tartalmú keverék) alkalmazása (Keshavarz, 1998a). A kísérletben a tojótyúkok délutáni fehérjebevitelére mindkét kezelési csoportban nagyobb volt, mivel a délelőtti és a délutáni takarmányfelvétel közel 40-60%-os arányban oszlott meg mindkét nyersfehérje kombináció esetében. A szerző egy másik kísérletében, ahol a délelőtti és délutáni fázis takarmányának 16 és 10%-os nyersfehérje szintjeit cserélte meg, ismét hasonló tojástermelési eredményeket ért a két csoportban. Ebben a kísérletben viszont a 6%-os nyersfehérje különbség elegendő volt a nagyobb fehérjebevitel eléréséhez a délelőtti fázisban, ahol délelőtti 16%, délután pedig 10% nyersfehérje tartalmú keveréket etetett, szemben a 10-16%-os csoporttal (Keshavarz, 1998a). Modell kísérletünkben, hasonlóan Keshavarz (1998a) vizsgálatához, a délelőtti és délutáni periódus eltérő hosszúságához (7 óra (44%) és 9 óra (56%)), összesen 16 világos óra (100%) hasonló arányban kiosztott takarmány mennyisége és a takarmányfelvétel közel 40 és 60% volt mind a kontroll, mind az osztott kezelési csoportban. Így a tyúkok fehérjefelvételére nagyobb volt a délutáni 9 órás időszakban nemcsak a kontroll csoportban, hanem az osztott csoportban is, ahol a délutáni takarmány fehérjekoncentrációja kisebb volt, mint a délelőtti takarmányé. Az osztott csoportban az óránkénti számított fehérjefelvétel 70 mg/tyúk/óra különbséget mutatott: 960 és 1030 mg/tyúk/óra volt a délelőtti és a délutáni fázisban. A második típusú osztott etetési rendszerben egész szemű gabonát használtak nagyobb energia-csökkentett fehérje tartalmú délelőtti takarmánnyal és nagy fehérje- és Ca-tartalmú keveréket délután. A délutáni takarmány nagyobb fehérje koncentrációja ebben az osztott rendszerben nem volt hatással a tojástermelésre, a tojástömegre, a takarmányértékesítésre a hagyományos takarmányozáshoz képest (Umar Faruk et al., 2011). Ezek a megfigyelések nem támasztják alá azt a hipotézist, miszerint elsősorban a délelőtti megfelelő fehérje és aminosav felvétel kulcsfontosságú, vagy elfogadható tojástermelés csak akkor lehetséges, ha a délelőtti szakaszban a fehérje és aminosav felvétel nagyobb a délutáni időszakhoz képest. Az eredmények azt valószínűsítik, hogy optimális teljesítmény akkor várható, ha a napi fehérje és aminosav felvétel megfelelő mennyiségű és minőségű, függetlenül attól, hogy a maximális napi felvétel reggeli vagy a délutáni időszakban történik. Biológiai ismereteink a tojásképződéssel kapcsolatban szintén ezt erősítik meg. A magnumban előrehaladó, formálódó tojás nyomást gyakorol a nyálkahártyára és a mirigyek ennek hatására ürítik váladékukat (Péczy, 1987). Egyszerre a nyálkahártya redők kb. harmada érintkezik a tojással és üríti mirigyeit, míg a további kétharmadnyi redő mirigyeiben a következő tojásba szekretálódó fehérjék szintézise zajlik. A tojás áthaladását

követően elegendő idő, kb. 25 óra, áll rendelkezésre a kiürült mirigyek regenerációjára, új fehérjék szintézisére (Péczy, 1987).

A modell és üzemi kísérlet végén mért tojásminőségi jellemzőket a 27. és 28. táblázat tartalmazza.

27. táblázat Tojásminőség paraméterek a modell kísérlet végén (40. élethét; átlag ± SEM)

Paraméter	Kezelés		P érték
	Kontroll	Osztott	
Tojástömeg (g)	59,18 ± 0,87	60,15 ± 0,97	NS ³
Tojáshéj szilárdság (kgf) ¹	5,04 ± 0,29	5,31 ± 0,17	NS
Tojáshéj vastagság (mm)	0,39 ± 0,07	0,42 ± 0,07	<0,05
Sűrűfehérje magasság (mm)	6,01 ± 0,23	6,49 ± 0,21	NS
Haugh-egység	76,31 ± 1,92	79,67 ± 1,61	NS
Sárgája szín ²	14,71 ± 0,11	14,61 ± 0,10	NS
Sárgája magasság (mm)	15,52 ± 0,28	15,35 ± 0,17	NS
Sárgája átmérő (mm)	41,58 ± 0,56	41,47 ± 0,67	NS
Sárgája index	0,37 ± 0,01	0,37 ± 0,01	NS

¹ kgf – kilogramm törőerő; ² tojássárgája szín érték a DSM Yolk Color Fan skála alapján (1-16);

³ NS – nem szignifikáns (P>0,05); n=24/kezelés

28. táblázat Tojásminőség paraméterek az üzemi kísérlet végén (38. élethét; átlag ± SEM)

Paraméter	Kezelés		P érték
	Kontroll	Osztott	
Tojástömeg (g)	62,27 ± 0,82	62,17 ± 0,78	NS ³
Tojáshéj szilárdság (kgf) ¹	5,36 ± 0,14	5,33 ± 0,17	NS
Tojáshéj vastagság (mm)	0,42 ± 0,01	0,42 ± 0,01	NS
Sűrűfehérje magasság (mm)	8,56 ± 0,20	7,89 ± 0,19	<0,05
Haugh-egység	91,81 ± 1,00	88,13 ± 1,05	<0,05
Sárgája szín ²	14,80 ± 0,24	14,10 ± 0,29	NS
Sárgája magasság (mm)	18,20 ± 0,13	18,48 ± 0,15	NS
Sárgája átmérő (mm)	42,44 ± 0,90	40,65 ± 0,60	NS
Sárgája index	0,43 ± 0,01	0,46 ± 0,01	NS

¹ kgf – kilogramm törőerő; ² tojássárgája szín érték a DSM Yolk Color Fan skála szerint (1-16);

³ NS – nem szignifikáns (P>0,05); n=20/kezelés

A kísérletek kezdetén a mért paraméterek kiindulási értékei nem különböztek szignifikánsan a két kezelési csoport között. A modell kísérletben az osztott etetés hatására szignifikánsan nagyobb tojáshéj vastagság alakult ki a kontroll kezeléshez képest (P<0,05). A többi paraméter nem

mutatott igazolható különbségeket, így a tojáshéj vastagságának szignifikáns növekedése nem eredményezett szignifikánsan nagyobb tojáshéj szilárdságot sem. Az üzemi kísérletben a tojáshéj vastagság szignifikáns növekedése az osztott etetés hatására nem nyert megerősítést, viszont a kontroll kezelés esetében a sűrűfehérje magasság és a Haugh-egység meghaladta az osztott kezelés esetében mért értékeket ($P < 0,05$).

Az osztott etetési technológia egyik nagy előnye, hogy támogatni tudja a tojótyúk délelőtti és délután lényegesen eltérő kalcium igényét. Modell kísérletünkben az osztott etetéssel elért, a kontrollhoz képest kisebb délelőtti és nagyobb délutáni kalcium felvétel magyarázhatja a vastagabb tojáshéj kialakulását. Ellentmondásos, hogy ezen elv alapján az üzemi kísérletünk során miért nem tudtuk a tojáshéj vastagság növekedését kimutatni az osztott technológia hatására. Az üzemi kísérlet a modelltől eltérően mélyalmos rendszerben folyt, de nem számunkra nem ismert, hogy ez a különbség befolyásolhatta-e az eredményeinket. A tojáshéj képződése a világítási program függvényében általában a késő délutáni, kora esti időszakban kezdődik, ami növeli a kalcium igényt és a rendelkezésre álló Ca^{2+} ion felszívódását (Hurwitz and Bonrstein 1963). A héj meszesedésének aktív szakaszaiban közvetlenül a bélből történő felszívódás által biztosított Ca^{2+} -ellátás hatékonyabb, mint a csontokból történő Ca^{2+} -reszorpció (Farmer et al., 1983). Az osztott etetési csoportban a héjképződés során a kontroll csoporthoz viszonyítva nagyobb mennyiségű felszívódott Ca^{2+} magyarázhatja a modell kísérletünk héjminőségi eredményeit. A korai tanulmányok kimutatták, hogy az osztott rendszer jelentős pozitív hatással van a tojáshéj vastagságára, törésszilárdságára (Hurwitz and Bar.1969) és a héj deformációjára (Leeson et al., 1978). Későbbi vizsgálatokban az osztott rendszer hatásai a tojáshéj minőség szempontjából nem egységesek. Nagyobb tojáshéjvastagságot figyeltek meg 83 hetes korú tojótyúkokban az osztott etetési rendszerben, ahol a tojáshéjképződés időszakában nagyobb kalcium tartalmú takarmányt etettek, mint a hagyományos takarmányozás esetében (Molnár et al., 2017). Keshavarz (1998a) viszont nem mutatott ki nagyobb tojáshéj vastagságot a kontroll csoporthoz képest (3,8% Ca), amikor a tojótyúk délutáni keverékének Ca-tartalma meghaladta a délelőtti keverékét (de: 2,0% és du: 5,0%). Jahan et al. (2024) kísérletében az osztott etetés szintén nem eredményezett vastagabb tojáshéjat a hagyományos etetéssel összehasonlítva. Az osztott rendszer nem befolyásolta a tojáshéj minőségét a brojler szülőpár tojókkal végzett vizsgálatok során (van Emous et al., 2021, 2023). Hy-LineW-36 tyúkokkal, 60-80 hetes életkorban folytatott kísérletben kisebb százalékban találtak lágy héjú tojásokat az osztott etetésű csoportban, mint a hagyományos kezelési csoportjában (Poudel et al., 2022). Idős állománnyal végzett vizsgálatban (72-83. élethét) a repedt vagy sérült tojások százalékos aránya az osztott technológiával etetett tyúkok csoportjában kisebb volt, mint a kontroll csoportban (Hurwitz et al., 1969).

Mind a modell, mind az üzemi kísérletben a 70-es érték feletti Haugh-egység mindkét kezelési csoportban, mint a frissesség egyik paramétere, nagyon jónak értékelhető. Számított értéke a tojástömegtől és a sűrűfehérje magasságtól függ. Mindkét kísérletünkben a kísérleti kezelések alapján a Haugh-egység hasonló változásai voltak indokoltak, ezzel szemben csak az üzemi kísérletben mutattuk ki a Haugh-egység csökkenését az osztott etetési rendszer hatására. Az üzemi kísérletben a szignifikánsan eltérő sűrűfehérje magasság volt a felelős az eltérő Haugh-egységért a két takarmányozási csoportban. A tojás tárolási idejének előrehaladtával a CO₂ távozása miatt a sűrűfehérje pH-ja megemelkedik, ami az ovomucin nevű fehérjében szerkezeti változást, a viszkozitás és a sűrűfehérje magasságának, a Haugh-egységnek a csökkenését eredményezi. A tojások tárolási ideje viszont nem különbözött a két kísérleti csoportban. Szabadon válogató takarmányozás nem befolyásolta a tojás sűrűfehérje magasságát és a Haugh-egységet a hagyományos etetéssel összehasonlítva, bár a belső híg fehérje súlya növekedett a sűrűfehérje mennyiségének csökkenésével párhuzamosan (Chah és Moran, 1985). Osztott etetés hatására sem változott a tojás Haugh-egység mérőszáma a kontroll takarmányozással összevetve Molnár et al. (2018b, 2018c) vizsgálataiban. Ezek az eredmények a modell kísérletünkben tapasztaltakat támasztják alá. Az üzemi kísérletünk eredményeit esetleg a fehérje- és aminosav ellátás különbségei is magyarázhatják, amely érinthette valamilyen módon az ovomucin fehérje szintézisét, de nem világos, hogy ezek a hatások miért nem érvényesültek a modell kísérlet során is. Hagyományos takarmányozási rendszerben végzett korábbi vizsgálatok beszámoltak olyan eredményről, hogy a takarmány nyersfehérje szintjének csökkentése növelte a Haugh-egységet (Heo et al., 2023; Shim et al., 2013). Második, osztott takarmányokkal végzett modell kísérletünkben mi is tapasztaltuk, hogy a csökkentett fehérje szintű osztott keverékek hatására nagyobb lett a sűrűfehérje magassága és a Haugh-egység, mint a normál fehérje szintű osztott kezelési csoportban. Az osztott etetés a délutáni időszakban tulajdonképpen egy csökkentett nyersfehérje tartalmú keverék etetését jelenti a kontrollhoz képest, így az üzemi kísérletben mért kisebb Haugh-egység kialakulását nehéz megmagyarázni, sokkal inkább a paraméter növekedése lett volna valószínű mind a modell, mind az üzemi kísérletben, ahogy ezt a 2. modell kísérletünkben tapasztaltuk.

5.1.2 Retenció és ürülék összetétel

A tojótyúkok napi N felvétele az osztott etetés során szignifikánsan kisebb volt a hagyományos etetéshez képest ($P < 0,001$; 29. táblázat). A két csoportban hasonló volt a N-retenció átlaga, így az osztott kezelés hatására szignifikánsan kisebb N emissziót mutattunk ki ($P < 0,05$).

29. táblázat Nitrogén felvétel, retenció és emisszió (29-40.élethét; átlag ± SEM)

Kezelés ¹	N felvétel (g/nap/állat)	N retenció (%)	N emisszió (g/nap/állat)
K	2,80 ± 0,02	42,93 ± 1,00	1,60 ± 0,26
O	2,51 ± 0,02	40,52 ± 0,80	1,49 ± 0,28
<i>P</i> érték	<0,001	NS ²	<0,05

¹ K – hagyományos etetés (kontroll), O – osztott etetés, n=23/kezelés;

² NS – nem szignifikáns ($P>0,05$)

Az ürülék szárazanyag tartalmában nem, de az ürülék különböző N formáiban, továbbá az összes N tartalomban is szignifikáns különbségeket mutattunk ki a kísérlet során (30. táblázat). Az osztott etetés szignifikánsan csökkentette az ürülékben a bélsár-N, NH_4^+ -N, húgysav-N, vizelet-N és az összes N koncentrációját a kontroll etetéssel összehasonlítva.

30. táblázat Az ürülék szárazanyag-tartalma és N formáinak koncentrációja (29-40.élethét) (átlag ± SEM)

Kezelés ¹	Szárazanyag (%)	Bélsár-N	NH_4^+ -N	Húgysav-N	Vizelet-N ²	Összes N
		mg/g sz.a				
K	20,18 ± 0,62	21,73 ± 0,43	7,12 ± 0,10	21,39 ± 0,20	28,51 ± 0,28	50,24 ± 0,54
O	21,60 ± 0,41	20,53 ± 0,29	6,63 ± 0,10	20,11 ± 0,19	26,75 ± 0,25	47,28 ± 0,47
<i>P</i> érték	NS ³	<0,05	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

¹ K–hagyományos (kontroll) etetés, O – osztott etetés; ² az NH_4^+ -N és húgysav-N összege;

³ NS – nem szignifikáns ($P>0,05$)

Az osztott etetés hatására kimutatott kisebb nyersfehérje- és nitrogén felvétel kisebb nitrogén emissziót is jelentett a modell kísérletünkben. Leeson és Summers (1978) korai kísérletében az osztott takarmányokkal etetett tojótyúkok N-felvétele szintén kisebb volt, mint a hagyományos takarmánnyal etetett madarak esetében. A takarmányok nyersfehérje-tartalmának és a tojótyúkok nyersfehérje/nitrogén felvételének csökkentése az egyik leghatékonyabb technika a baromfi telepek teljes nitrogén- és ammóniakibocsátásának csökkentésére. A takarmány minden nyersfehérje 1%-os csökkenése a N-kiválasztás körülbelül 10%-os csökkenéséhez vezethet (Santonja et al., 2017). Saját kísérletünkben a kisebb N-felvétel hasonló N-retenció mellett a tojótyúkok napi N-emissziójának 7%-os csökkenéséhez vezetett az osztott csoportban a kontroll csoporthoz képest. Szabadon válogató takarmányozás során a külön energia-, fehérje- és Ca-forrás választási lehetősége egyaránt csökkentette a teljes N-felvételt, -retenciót és -kibocsátást (Chah et al., 1985). A délelőtti és délutáni osztott takarmányok 16-10%-os nyersfehérje-koncentrációja

csökkentette a teljes fehérje- és N-felvételt, valamint növelte az állatok N-retencióját a 16% nyersfehérje tartalmú kontroll takarmányokhoz képest (Keshavarz, 1998b). A baromfitrágyából felszabaduló ammónia nagy része a vizelet N-ből ($\text{NH}_4^+\text{-N}$ + húgysav-N) származik, és a húgysav lebontása a fő ammóniaforrás (Santoso et al., 1999). A tojótyúkók által az ürülékben kibocsátott N formák részletes értékelését osztott rendszerben saját kísérletünket megelőzően még nem írták le. Eredményeink azt mutatták, hogy az osztott rendszer nemcsak az összes ürített N mennyiségét csökkentette, hanem az ürülék összetétele is kedvezőbbé vált az $\text{NH}_4^+\text{-N}$ és a húgysav-N összegéből származó vizelet-N koncentrációjának csökkenésével a hagyományos takarmányozáshoz képest.

A nitrogénhez hasonlóan a kísérleti állatok napi kalcium és foszfor felvétele is kisebb volt az osztott kezelési csoportban ($P < 0,001$; 31. és 32. táblázat). A kalcium esetében ehhez szignifikánsan nagyobb retenció is társult ($P < 0,001$), így az osztott etetés hatására a kalcium emissziója és az ürülékben mért koncentrációja ugyancsak szignifikánsan kisebb volt, mint a hagyományos etetés esetében ($P < 0,001$). A kísérleti állatok foszfor retenciója és emissziója nem különbözött a két kezelés között, míg az ürülékben mért foszfor szárazanyagra vonatkoztatott koncentrációja a kontroll kezelés esetében igazolhatóan kisebb volt ($P < 0,05$).

31. táblázat. Kalcium felvétel, retenció, emisszió és koncentráció az ürülékben (29-40.élethét)
(átlag $\pm$ SEM)

Kezelés ¹	Felvétel (g/nap/állat)	Retenció (%)	Emisszió (g/nap/állat)	Ürülék (mg/g sz.a)
K	4,20 $\pm$ 0,03	45,39 $\pm$ 0,51	2,29 $\pm$ 0,03	79,59 $\pm$ 0,91
O	4,05 $\pm$ 0,03	50,13 $\pm$ 0,45	2,02 $\pm$ 0,02	71,67 $\pm$ 1,13
<i>P</i> érték	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

¹ K–hagyományos (kontroll) etetés, O – osztott etetés

32. táblázat. Foszfor felvétel, retenció, emisszió és koncentráció az ürülékben (29-40. élethét)
(átlag $\pm$ SEM)

Kezelés ¹	Felvétel (g/nap/állat)	Retenció (%)	Emisszió (g/nap/állat)	Ürülék (mg/g sz.a)
K	0,52 $\pm$ 0,01	26,13 $\pm$ 1,00	0,39 $\pm$ 0,01	11,98 $\pm$ 0,17
O	0,50 $\pm$ 0,01	23,13 $\pm$ 1,92	0,38 $\pm$ 0,01	12,62 $\pm$ 0,18
<i>P</i> érték	<0,001	NS ²	NS	<0,05

¹ K–hagyományos (kontroll) etetés, O – osztott etetés; ² NS – nem szignifikáns ($P > 0,05$)

Modell kísérletünkben az osztott etetéssel szignifikánsan csökkent a napi kalcium felvétel a kontrollhoz képest, de ennek hátterében kisebb délelőtti és nagyobb délutáni kalcium felvétel állt, ami a héjképződés során nagyobb mennyiségű Ca^{2+} felszívódását tette lehetővé. A kisebb napi Ca-

felvétellel lényegesen nagyobb Ca-retenció és kisebb Ca-emisszió is együtt járt. Chah és Moran (1985) szabadon válogató etetési rendszerében a tyúkok szabályozhatták a nagy (3,75%) és kis (0,75%) Ca koncentrációjú takarmányból való Ca-felvételüket. Tojásrakási és ovipozíció nélküli napokon egyaránt a válogató csoport tyúkjainak átlagos Ca-felvétele szignifikánsan kisebb volt, mint a hagyományos kontroll keveréket fogyasztó állatoknak. A válogató rendszerben saját osztott etetési eredményeinkhez hasonlóan szignifikánsan csökkent az ürülékkel a környezetbe jutó Ca mennyisége és nőtt a retenció értéke (45,9% a kontroll, 60,9% a válogató rendszerben).

Modell kísérleti eredményeink alapján az alkalmazott osztott etetési rendszer a hagyományos takarmányozáshoz képest nem volt hatással a tojótyúkok foszfor emissziójára. A kalciumban gazdag, a késő délutáni, éjszakai órákban szintetizálódó tojáshéj a tojássárgájával és a -fehérjével ellentétben csak kis mennyiségű foszfort tartalmaz (Nys et al., 2011). Mindezen túl a délelőtti időszakban nagyobb mennyiségű P szükséges az előző éjszakai héjképződés során a csontból kioldódó P pótlására (Gunaratne et al., 1996). A délelőtti és délutáni P-szükségletek egymáshoz való viszonya ezért ellentétes a Ca-szükségletek viszonyával. Következésképpen az osztott etetési rendszer takarmánykeverékei nagyobb hasznosítható P-szintet biztosítanak a tojótyúkok számára a délelőtti fázisban a délutáni fázishoz képest (de Los Mozos et al., 2015; Keshavarz, 1998; Molnár et al., 2018b) Saját modell és üzemi kísérletünkben igazodva a korábbi vizsgálatokhoz a számított hasznosítható P-szintek beállításánál is ezt az elvet követtük. A tojótyúkok foszfor ellátásának kérdése nem egységes, a gyakorlati takarmányozás sokszor ellentmondásban van a tudományos adatokkal. A tenyésztő cégek napi 350-450 mg/nap/tyúk hasznosítható foszfor felvételét ajánlják (Hy-Line, 2024), tudományos kísérletek metaanalízise alapján fitáz kiegészítés nélkül kb. 240 mg/nap/tyúk NPP foszfor felvétele optimális a tojástermelési intenzitás, napi termelt tojástömeg és takarmányértékesítés maximális szintjének fenntartásához (Ahmadi és Rodehutschord, 2012; Keshavarz, 1998a). Modell kísérletünkben a számított hasznosítható P-felvétel átlaga a kontroll csoportban 374, az osztott etetési csoportban pedig 352 mg/nap/tyúk volt. Keshavarz (1998a) véleménye szerint, amennyiben a napi hasznosítható P-felvétel eléri a szükségletet (250 mg/nap NPP; NRC, 1994), akkor nem számít, hogy ez a mennyiség milyen arányban oszlik meg a délelőtti és délutáni időszak között. Kísérletében a kontroll tojótyúk csoport (T1) délelőtt és délután 0,25% hasznosítható P szintű keveréket fogyasztott (Keshavarz, 1998a) A T2 csoportban a délelőtti és délutáni keverék hasznosítható P-szintje 0,4 és 0,1% volt, míg a T3 csoportban megcserélte a P koncentrációkat (0,1-0,4%). A három csoport napi átlagos hasznosítható P-felvétele nem különbözött szignifikánsan (240-251 mg/tyúk/nap) és ugyanígy a tojástermelési %, tojástömeg és takarmány-értékesítés sem mutatott igazolható eltéréseket a kontrollhoz képest ($P>0,05$). A T4 és T5 csoportokban csökkentett hasznosítható P-szintekkel (T4 de-du: 0,25-0,1%, T5 de-du: 0,1-

0,25%) lényegesen, a szükséglet alá csökkent a napi hasznosítható P-felvétel (166-162 mg/nap/tyúk), ami szignifikánsan rontotta a termelési paramétereket. A kontroll T1 kezeléshez képest a T5 kezelés tojástermelési %-a csökkent legnagyobb mértékben, amely kezelés esetében a napi P-hiány mellett a délelőtti hasznosítható P-felvétel volt sokkal kisebb (45 mg/tyúk). Saját modell kísérletünkben ezért a kontroll és az osztott csoport között kimutatott szignifikáns P-felvételi eltérés a kielégítő napi P-felvétel miatt valószínűleg nem fejtett ki lényeges hatást a tojástermelési jellemzők alakulására. Az osztott etetés vonatkozásában kevés foszfor retenciával és emisszióval kapcsolatos korábbi kísérleti adat áll rendelkezésre. Keshavarz (1998) elemzett kísérletében a T1-T5 kezelések közötti eltérések ellenére sem talált különbséget a kísérleti állatok P-retenciójában (23 és 17% közötti átlagok). Az osztott etetési technológia organikus tartásban a tojótyúkok kisebb P-emisszióját eredményezte a hagyományos technológiával összehasonlítva (van Krimpen et al., 2018) Ezzel az eredménnyel ellentétben, hasonlóan Keshavarz (1998a) eredményeihez, modell kísérletünkben a szignifikánsan kisebb P-felvétel az osztott csoportban nem járt együtt szignifikánsan kisebb P-retenciával vagy -emisszióval a kontroll csoport eredményéhez képest.

5.1.3. Aminosavak látszólagos ileális emészthetősége

A kísérleti kezelések hatását a legfontosabb aminosavak látszólagos ileális emészthetőségére a 33. táblázat mutatja be. Az osztott etetési technológiával takarmányozott tojókból gyűjtött mintákban szignifikánsan nagyobb volt az esszenciális aminosavak közül a lizin, leucin és glicin, valamint a nem esszenciális aszparaginsav, tirozin és szerin emészthetősége ($P < 0,05$) a hagyományos technológiával etetett állatok mintáihoz képest. A többi mért aminosav emészthetősége esetében statisztikailag igazolható különbségeket nem tudtunk kimutatni a két csoport között ($P > 0,05$). Az aminosavak közül elsősorban az esszenciális lizin és leucin látszólagos ileális emészthetőségének szignifikáns, közel 3-5%-os növekedése elméletileg hozzájárulhatott ahhoz, hogy az osztott takarmányozásban részesült tyúkok hasonló tojástermelési eredményt érjenek el kisebb N-felvétel mellett a hagyományos takarmányozással összehasonlítva. Az egyes aminosavak emészthetőségében kimutatott különbségek oka nem világos, és további vizsgálatokat igényel. A tojásmínőségi paraméterek esetében a Haugh-egység értékelésénél leírtak itt is megfontolandók. Az osztott keverékek nagyobb koncentrációban tartalmaztak kristályos lizint, amelynek gyorsabb felszívódása szerepet játszhatott esetleg a kontrollnál nagyobb ileális emészthetőségi értékek kialakulásában (Sato et al., 1987; Sawadogo et al., 1997). Tudomásunk szerint osztott etetési rendszer esetében a látszólagos ileális aminosav emészthetőségi értékeket kísérletünk előtt még nem vizsgálták. Jahan et al. (2024) látszólagos ileális nitrogén emészthetőséget határoztak meg

osztott és hagyományos technológiával etetett tojótyúkók összehasonlításában. Az osztott csoportban mért 70%-os ileális nitrogén emészthetőséggel szemben a kontroll csoportban szignifikánsan nagyobb, 80%-os emészthetőséget mértek ($P < 0,001$). Kísérletükben titán-dioxidot használtak indikátorként és reggel, a délelőtti takarmány kiosztása előtt vették az ileális mintákat mindkét kezelési csoportban. Jogosnak tűnik a felvetésük, miszerint a mintavétel idején az osztott etetésű csoportban valószínűleg csak az előző napi délutáni keverékből származó tartalom volt jelen. Házityúk fajban a nem emészthető indikátor átlagos retenciós ideje 5-9 óra (Denbow, 2015). Az 1,8 kg-os tojótyúkók esetében átlagosan kb. 7,6 óra ez az időtartam és a felvett falat az ileumot kb. 3,5 óra alatt éri el (Shires et al., 1987). A reggel 8 órai mintavétel esetünkben 17 órára volt az előző napi délutáni és 24 órára a délelőtti keverék kiosztásának kezdetétől. Valószínűsítjük, hogy az ileális minta nagyobb arányban tartalmazhatta a délutáni keverékből származó tartalmat.

33. táblázat. A kísérleti kezelések hatása egyes aminosavak látszólagos ileális emészthetőségére (40.élethét; átlag $\pm$ SEM)

Aminosav	Kezelés		P érték
	Kontroll	Osztott	
Alanin	79,60 $\pm$ 1,21	81,50 $\pm$ 1,12	NS ¹
Arginin	82,43 $\pm$ 1,00	85,30 $\pm$ 1,35	NS
Aszparaginsav	74,72 $\pm$ 0,99	78,30 $\pm$ 1,22	<0,05
Cisztin	73,83 $\pm$ 1,00	75,65 $\pm$ 0,82	NS
Glutaminsav	87,06 $\pm$ 0,88	87,62 $\pm$ 0,72	NS
Glicin	69,73 $\pm$ 0,96	74,52 $\pm$ 1,26	<0,05
Izoleucin	79,53 $\pm$ 1,41	79,68 $\pm$ 1,70	NS
Leucin	83,61 $\pm$ 0,87	86,87 $\pm$ 0,92	<0,05
Lizin	73,75 $\pm$ 0,85	78,71 $\pm$ 0,83	<0,05
Metionin	84,54 $\pm$ 1,13	85,07 $\pm$ 0,85	NS
Fenilalanin	82,05 $\pm$ 0,79	84,40 $\pm$ 0,92	NS
Prolin	80,22 $\pm$ 0,92	81,74 $\pm$ 1,03	NS
Szerin	71,51 $\pm$ 1,29	76,04 $\pm$ 1,26	<0,05
Hisztidin	78,22 $\pm$ 1,03	80,91 $\pm$ 1,05	NS
Tirozin	73,49 $\pm$ 0,95	77,75 $\pm$ 0,76	<0,05
Treonin	62,08 $\pm$ 1,29	64,80 $\pm$ 0,95	NS
Valin	75,53 $\pm$ 1,04	79,00 $\pm$ 1,32	NS
Összes	75,95 $\pm$ 0,79	78,31 $\pm$ 0,87	NS

¹NS – nem szignifikáns ($P > 0,05$); n=12/kezelés

5.1.4 Sípcsont hamu, kalcium és foszfor tartalma, törésszilárdsága

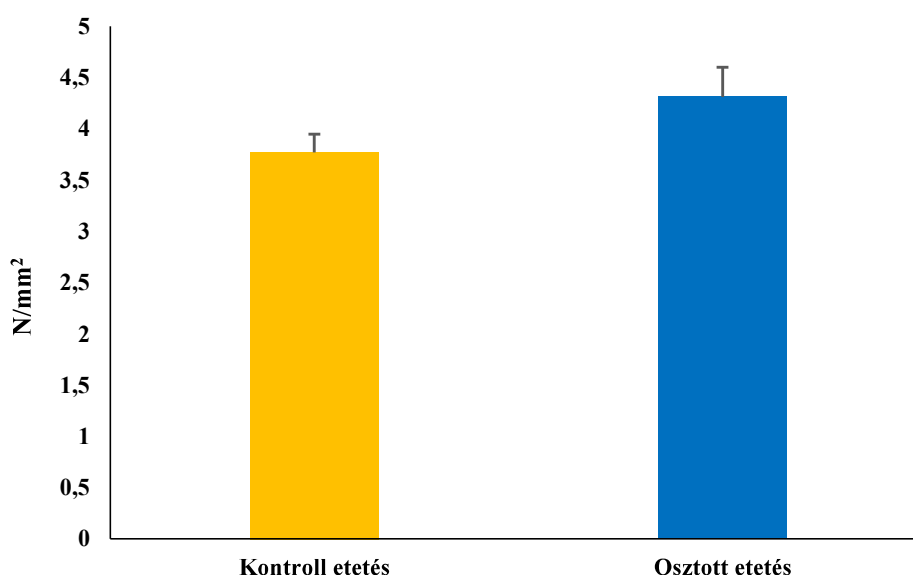
A kísérleti állatok sípcsontjának (tibia) nyershamu tartalma az osztott takarmányozási csoportban szignifikánsan kisebb volt, mint a kontroll csoportban ($P < 0,05$), a kalcium és foszfor tartalomra viszont nem hatott szignifikánsan a takarmányozási kezelés (34. táblázat). A sípcsont törésszilárdságát a takarmányozási kezelések nem befolyásolták szignifikáns mértékben (K: $3,80 \pm 0,18 \text{ N/mm}^2$, O: $4,31 \pm 0,30 \text{ N/mm}^2$; $P > 0,05$, 4. ábra).

34. táblázat A sípcsont (tibia) hamu, kalcium és foszfor tartalma (40.élethét; átlag $\pm$ SEM)

Kezelés ¹	Hamu (%)	Kalcium (%)	Foszfor (%)
K	$51,67 \pm 0,39$	$18,56 \pm 0,30$	$8,58 \pm 0,21$
O	$49,65 \pm 0,44$	$19,07 \pm 0,32$	$8,61 \pm 0,18$
<i>P</i> érték	$<0,05$	NS ²	NS

¹K – hagyományos etetés (kontroll), O – osztott etetés, $n=12/\text{kezelés}$;

²NS – nem szignifikáns ($P > 0,05$),



4. ábra A kísérleti kezelések hatása a sípcsont törésszilárdságára (átlag $\pm$ SEM)

A kapcsolódó szakirodalmak között csak Keshavarz (1998b) tanulmánya számolt be a sípcsont hamu tartalmának méréséről a foszfor ellátást vizsgáló kísérletükben. A kontroll kezeléshez képest az osztott, délelőtti és délutáni eltérő P-ellátás nem befolyásolta szignifikánsan a sípcsont hamu tartalmát. Kísérletünkben az osztott etetés hatására kialakult kisebb tibia hamu tartalom azonban nem vezetett a csont törésszilárdságának csökkenéséhez ($P > 0,05$). Idős tojótyúkokban, a 75. és 92. élethét között alkalmazott osztott etetési rendszer nem járt a sípcsont törésszilárdságának, Ca és P tartalmának szignifikáns eltéréssel a kontroll etetéshez képest Molnár et al. (2018c) kísérletében.

Molnár et al. (2018b) egy másik, teljes tojócikluson, a 21. és 85. élethét között folytatott vizsgálatukban szintén nem találtak szignifikáns különbséget az osztott, illetve a hagyományos takarmányozási technológiával etetett tojók sipesontjának törésszilárdságában. A termelés késői fázisában, a 70. és 79. élethét között Poudel et al. (2022) ugyancsak nem tudtak kimutatni szignifikáns különbségeket a sipesont törésszilárdságában, átmérőjében, hosszában és súlyában a kontroll és az osztott kezelési csoportok között.

5.1.5 Takarmányozási költségek

Az 1. modell kísérletében szereplő hagyományos, kontroll takarmánykeverék ára csak az alapanyagok árával számolva 108,97 Ft/kg volna a jelenlegi alapanyag árakkal kalkulálva. Az osztott technológia délelőtti keveréke 110,48 Ft/kg-ba, a délutáni pedig 100,10 Ft/kg-ba kerülne. A napi adagban a délelőtti táp 40%-ban, a délutáni pedig 60%-ban szerepelt, így a napi keverék ára 104,25 Ft/kg lenne, ami 4,72 Ft/kg különbség az osztott keverék javára. A kísérletben az egy állat által elfogyasztott takarmány ára a 12 hét folyamán a kontroll csoportban (114 g/nap takarmányfogyasztás) 1034 Ft/állat, az osztott etetés során (107,8 g/nap takarmányfogyasztás) pedig 944 Ft/állat volna.

5.2. Eltérő fehérje és aminosav ellátás hatásának összehasonlítása osztott etetési technológiában (2. modell kísérlet)

5.2.1. Testsúly, tojástermelési és tojásminőségi paraméterek

A kísérlet kezdetén a tojótyúkok testsúlya nem különbözött a két takarmányozási csoportban, illetve a kísérleti kezelések nem befolyásolták szignifikáns mértékben a heti mérések során, valamint a kísérlet végén mért testsúlyokat, a kísérlet során mért testsúlygyarapodást ($P>0,05$, 35. táblázat).

35. táblázat A kísérleti kezelések hatása a tojótyúkok testsúlyára (47-53.élethét; átlag $\pm$ SEM)

Kezelés ¹	Testsúly (kg)		
	Kezdősúly	Végsúly	Súlyváltozás
K	1,85 $\pm$ 0,02	1,86 $\pm$ 0,03	0,02 $\pm$ 0,02
LP	1,80 $\pm$ 0,02	1,85 $\pm$ 0,02	0,02 $\pm$ 0,02
<i>P</i> érték	NS ²	NS	NS

¹K – Kontroll kezelés, LP – Csökkentett nyersfehérje kezelés; n=24/kezelés;

²NS – nem szignifikáns ($P>0,05$)

A hagyományos etetési rendszerben alkalmazott csökkentett nyersfehérje tartalmú (13% nyersfehérje) takarmány etetése nem befolyásolta a tojók testsúlyváltozását a kísérlet során a kontrollal szemben (16% nyersfehérje), amennyiben lizinnel, metioninnal és triptofánnal kiegészítésre került (Keshavarz és Austic, 2004). Négy különböző takarmány nyersfehérje szint alkalmazása (19, 17, 15, 13%) azonos összes lizin, metionin és treonin szintekkel szintén nem befolyásolta a tojótyúkok súlygyarapodását és kísérlet végi súlyát (Heo et al., 2023).

A kísérleti állatok délelőtti, délutáni és napi takarmányfelvétele hasonló volt a két kezelési csoportban ($P>0,05$, 36. táblázat). A csökkent nyersfehérje szintű keverékek alkalmazása nem befolyásolta a kísérleti állatok AMEn felvételét, de szignifikánsan kisebb délelőtti, délutáni és napi nyersfehérje felvételt mértünk a kontroll kezeléshez képest ($P<0,001$, 37. táblázat). A takarmány kezelések a tyúkok kalcium felvételét nem befolyásolták ($P>0,05$), míg a csökkentett nyersfehérje szintű kezelés a kontrollhoz képest szignifikánsan kisebb délelőtti, délutáni és napi foszfor felvételhez vezetett (38. táblázat).

36. táblázat A kísérleti kezelések hatása a napi takarmányfelvételre (47-53.élethét; átlag $\pm$ SEM)

Kezelés ¹	Takarmányfelvétel (g/nap/állat)		
	Délelőtt	Délután	Összes
K	44,5 $\pm$ 0,3	67,9 $\pm$ 0,4	112,5 $\pm$ 0,7
LP	44,6 $\pm$ 0,3	67,7 $\pm$ 0,5	112,3 $\pm$ 0,8
<i>P</i> érték	NS ²	NS	NS

¹ K – Kontroll kezelés, LP – Csökkentett nyersfehérje kezelés; n=24/kezelés;

² NS – nem szignifikáns ($P>0,05$)

37. táblázat A kísérleti állatok napi energia (AMEn) és nyersfehérje felvétele (47-53.élethét) (átlag $\pm$ SEM)

Kezelés ¹	AMEn-felvétel (kJ/nap/állat)			Nyersfehérje felvétel (g/nap/állat)		
	Délelőtt	Délután	Összes	Délelőtt	Délután	Összes
K	502,1 $\pm$ 3,8	729,6 $\pm$ 4,4	1231,7 $\pm$ 7,9	7,2 $\pm$ 0,1	10,2 $\pm$ 0,1	17,4 $\pm$ 0,1
LP	504,1 $\pm$ 3,4	732,1 $\pm$ 5,4	1236,3 $\pm$ 8,5	6,5 $\pm$ 0,1	8,9 $\pm$ 0,1	15,4 $\pm$ 0,1
<i>P</i> érték	NS ²	NS	NS	<0,001	<0,001	<0,001

¹ K – Kontroll kezelés, LP – Csökkentett nyersfehérje kezelés; n=24/kezelés; ² NS – nem szignifikáns ($P>0,05$)

38. táblázat A kísérleti kezelések hatása a napi kalcium és foszfor felvételre (47-53.élethét)
(átlag ± SEM)

Kezelés ¹	Kalcium felvétel (g/nap/állat)			Foszfor felvétel (mg/nap/állat)		
	Délelőtt	Délután	Összes	Délelőtt	Délután	Összes
K	1,42 ± 0,01	3,38 ± 0,02	4,80 ± 0,03	196,0 ± 1,5	258,1 ± 1,5	454,0 ± 2,9
LP	1,41 ± 0,01	3,33 ± 0,02	4,74 ± 0,03	183,0 ± 1,2	250,4 ± 1,8	433,5 ± 3,0
<i>P</i> érték	NS ²	NS	NS	<0,001	<0,05	<0,001

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

A kísérleti kezelések hatása a tojástermelési paraméterekre a 39. táblázatban látható. A csökkentett nyersfehérje szintű takarmányok fogyasztása növelte a kísérleti állatok tojástermelési intenzitását, ugyanakkor csökkentette a tojástömeget (P<0,001), és így nem befolyásolta szignifikánsan a megtermelt napi tojástömeg értékét. A két kísérleti csoportban a takarmányértékesítés nem különbözött igazolható mértékben (P>0,05).

39. táblázat A kísérleti kezelések hatása a tojástermelési paraméterekre (47-53. élethét)
(átlag ± SEM)

Kezelés ¹	Tojástermelési intenzitás (%)	Tojástömeg (g)	Napi tojástömeg (g/nap)	Takarmány értékesítés (kg/kg)
K	90,78 ± 1,4	63,9 ± 0,7	57,3 ± 0,8	1,97 ± 0,02
LP	94,75 ± 0,8	59,9 ± 0,7	56,7 ± 0,8	1,99 ± 0,03
<i>P</i> érték	<0,05	<0,001	NS ³	NS

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

Kísérletünkben az osztott etetési rendszer vonatkozásában először alkalmaztuk a csökkentett nyersfehérje ellátás koncepcióját. A csökkentett nyersfehérje szintű (LP) kezelés takarmányainak számított nyersfehérje szintje közel 2%-kal kisebb volt, mint a kontroll kezelésé, de a SID lizin, metionin, metionin+cisztin, treonin és valin koncentrációja nem változott. A K és LP kezelések nem befolyásolták a tojók takarmányfelvételét, amit a testsúly eredmények értékelésénél feltüntetett két kutatócsoport is hasonlóan tapasztalt (Keshavarz és Austic, 2004; Heo et al., 2023). A 15%-nál kisebb nyersfehérje tartalmú keverékekből álló LP kezelés kisebb délelőtti, délutáni és napi fehérje felvételhez, megnövekedett tojástermelési intenzitáshoz és csökkent tojástömeghez vezetett a kontroll kezeléshez képest. A két kezelési csoport rendkívül hasonló AMEn felvétele hozzájárulhatott, hogy a napi megtermelt tojástömegben nem volt szignifikáns különbség a takarmányozás hatására. Korábbi kutatásában a délelőtti, mind a délutáni takarmány (13 és 13%) nyersfehérje tartalmának 3%-os csökkenése 10%-kal (93-ról 83%-ra) csökkentette a tojástermelést

a kontroll kezeléshez (16 és 16%) képest (Keshavarz, 1998a) A tojás tömege azonban nem különbözött szignifikánsan a kezelési csoportok között. A szerző hasonló összes lizin, metionin+cisztin, triptofán tartalmat állított be a takarmányokban, de nem számolt emészthető esszenciális aminosav szintekkel. Mint korábban említettem, ezek a kísérlet kezeléseik nem tekinthetők valódi osztott etetési rendszernek, mivel a reggeli és délutáni takarmányok energia (AME) és Ca tartalma megegyezett. A szakirodalom szerint a húsz évvel ezelőtti tojó genotípusok is magas szinten tudták tartani tojástermelés intenzitásukat akár 13-13,5%-os nyersfehérje tartalmú takarmányok hagyományos etetésével, ha a fő esszenciális aminosavak, mint a lizin, metionin, treonin, triptofán (Blair et al., 1999) vagy a lizin, metionin, triptofán, izoleucin, valin (Keshavarz és Austic, 2004) megfelelő szintű kiegészítése megtörtént. Az új genotípusú egyedeknél 19-32 hetes korban is hasonló volt a tojás termelés intenzitása hagyományos takarmányozási rendszerben 19, 17, 15 és 13% nyersfehérje szintek és aminosav kiegészítést tartalmazó takarmányok alkalmazásával (Heo et al., 2023). Vizsgálatunkhoz hasonlóan azonban a tojás tömege szignifikánsan csökkent a fehérjeszint csökkenésével.

Saját kísérletünkben az arginin, leucin, izoleucin és triptofán SID szintjeit nem korrigáltuk kristályos aminosavakkal az LP keverékek esetében. Az LP kezelés délelőtti keverékében a 0,75%-os SID arginin szint megfelelt a Hy-Line Brown hibrid követelményeinek (Tojó 2 fázis, 115 g/nap/tyúk takarmányfelvétel, Hy-Line Performance Guide, 2024; Hy-Line International) és a SID arginin és a SID lizin aránya (103%) szintén megfelelő volt mind a reggeli, mind a délutáni LP takarmányban. A leucin ajánlott 0,81%-os SID szintje minden K és LP keverékben teljesült. A SID argininnal és leucinnal ellentétben az LP csoportban a SID izoleucin és triptofán takarmány szintje és felvétele hozzájárulhat a tojástömeg csökkenéséhez a K csoportéhoz képest. A K kezelés délelőtti keverékében az izoleucin (0,60%) és a triptofán (0,16%) SID szintje megfelelt a hibrid ajánlásainak, és a K csoport délutáni takarmányában mindkét aminosav SID szintjének a SID lizinhez viszonyított aránya megfelelő volt. A SID izoleucin és a SID lizin aránya azonban mindkét LP keverékben 66% volt az ideális 81%-os fehérje referencia érték (Hy-Line, 2024) és a SID izoleucin napi felvétele közel 21%-kal kisebb volt az LP csoportban a K csoportéhoz képest (505 mg/nap/tyúk vs. 640 mg/nap/tyúk). Hasonlóképpen, a 18%-os SID triptofán/SID lizin arány nem érte el az ajánlott 22%-ot az LP takarmányokban, és a SID triptofán napi felvétele körülbelül 17%-kal csökkent az LP csoportban a K csoportéhoz képest (139 g/nap/tyúk vs. 168 g/nap/tyúk). Így kísérletünkben az esszenciális izoleucin és triptofán felvétele limitáló hatású lehetett az LP csoportban. Eredményeink alapján az osztott etetési rendszerben a 2%-os nyersfehérje-csökkentést tartalmazó LP keverékek optimalizálása során a lizin, metionin, metionin+cisztin, treonin, valin, arginin, leucin, izoleucin és triptofán aminosavak SID szintjeinek figyelembe vétele és beállítása

szükséges. Az LP csoportban az izoleucin és a triptofán hiányos ellátása ellenére a megtermelt tojástömeg (g/nap) nem változott a tojástermelési %-ban és a tojástömegben bekövetkezett ellentétes irányú szignifikáns változások miatt. Peganova és Eder (2002) hagyományos takarmányozással végzett vizsgálatában a maximális napi tojástömeget 412 mg és 770 mg közötti napi izoleucin felvétel mellett érték el. A többi tanulmányhoz képest a maximális tojástömegre vonatkozó kisebb izoleucin-igény oka a kísérlet viszonylag rövid időtartama (8 hét) lehetett. Rövid, 6 hetes vizsgálatunkban az izoleucin felvétele 718, illetve 566 mg/nap/tyúk volt a K és LP csoportokban, ami a két szerző vizsgálatában megfigyelt tartományba esik (Peganova és Eder, 2002). A szerzők az eredmények értékelése során felvetették, hogy a hosszabb kísérleti időszak a tojástömeg csökkenéséhez vezethet a viszonylag kevés, 500 mg/nap/tyúknál kisebb izoleucin felvétel hatására. Ezzel összhangban további, hosszabb megfigyelési időszakú kísérletekre van szükség az osztott, csökkentett nyersfehérje szintű takarmányok termelési hatásainak vizsgálatához.

A tojásmínőségi paraméterekben a kísérlet kezdetén nem volt szignifikáns különbség a két kezelési csoport között ($P>0,05$). A csökkentett nyersfehérje kezelés hatására a kísérlet végére kialakult kisebb tojástömeg együtt járt a sűrűfehérje magasság és a Haugh-egység szignifikáns növekedésével a kontroll kezeléshez képest ($P<0,05$; 40. táblázat).

40. táblázat Tojásmínőség paraméterek a kísérlet végén (53. élethét; átlag $\pm$ SEM)

Paraméter	Kezelés ¹		P érték
	K	LP	
Tojástömeg (g)	63,72 $\pm$ 0,95	59,85 $\pm$ 0,87	<0,05
Tojánhéj szilárdság (kgf) ²	4,04 $\pm$ 0,22	4,00 $\pm$ 0,20	NS ⁴
Tojánhéj vastagság (mm)	0,42 $\pm$ 0,01	0,43 $\pm$ 0,01	NS
Sűrűfehérje magasság (mm)	6,03 $\pm$ 0,34	6,80 $\pm$ 0,15	<0,05
Haugh-egység	74,00 $\pm$ 2,73	81,74 $\pm$ 1,04	<0,05
Sárgája szín	14,54 $\pm$ 0,13	14,67 $\pm$ 0,10	NS
Sárgája magasság (mm)	17,44 $\pm$ 0,33	17,53 $\pm$ 0,23	NS
Sárgája átmérő (mm)	40,92 $\pm$ 0,47	41,12 $\pm$ 0,36	NS
Sárgája index	0,43 $\pm$ 0,01	0,43 $\pm$ 0,01	NS

¹ K – Kontroll kezelés, LP – Csökkentett nyersfehérje kezelés; n=24/kezelés; ² kgf – kilogramm törőerő;

³ tojássárgája szín érték a DSM Yolk Color Fan skála szerint (1-16); ⁴ NS – nem szignifikáns ($P>0,05$)

A tojás minőségi paramétereit osztott rendszerben, fehérje-csökkentett takarmánnyal etetett tyúkok esetében mindezidáig nem vizsgálták. A Haugh-egység a tojás frissességét jelző, a tojástömeg és a sűrűfehérje magasság értékéből képzett jellemző, ami kapcsolatban van a fehérje-

és aminosav ellátással is. Kísérletünkben az LP keverékek etetésének hatására valószínűleg kedvezőbb volt az aminosavak elérhetősége az albumen szintézis során (Hammershøj et al., 2001). A hagyományos takarmányozási rendszerben végzett korábbi vizsgálatok szintén beszámoltak arról, hogy a takarmány nyersfehérje szintjének csökkentése növelte a Haugh-egységet (Heo et al., 2023; Shim et al., 2013), ami összefüggésben lehet egyes aminosavak jobb emészthetőségével. Az aminosavak jobb emészthetősége nyersfehérje csökkentett takarmányokban egyes kutatók szerint részben a kristályos aminosavak nagyobb arányú kiegészítésével és ezek gyorsabb felszívódásával is magyarázható (Liu et al., 2021; Wu et al., 2009). Esetünkben ez az LP takarmányok nagyobb L-lizin, L-treonin és L-valin kiegészítésére vonatkozik, de ezen aminosavak jobb ileális emészthetőségét nem mutattuk ki.

5.2.2. Retenció és ürülék összetétel

Kísérletünkben a csökkentett fehérje tartalmú keverékek etetésének hatására szignifikánsan kisebb volt a tojótyúk N felvétele ($P < 0,001$), viszont a N retenció és a N emisszió nem különbözött szignifikánsan a kontroll kezeléshez képest (41. táblázat).

41. táblázat Nitrogén felvétel, retenció és emisszió (47-53. élethét; átlag $\pm$ SEM)

Kezelés ¹	N felvétel (g/nap/állat)	N retenció (%)	N emisszió (g/nap/állat)
K	2,67 $\pm$ 0,02	38,23 $\pm$ 1,80	1,65 $\pm$ 0,05
LP	2,42 $\pm$ 0,02	35,60 $\pm$ 2,16	1,57 $\pm$ 0,06
<i>P</i> érték	<0,001	NS ²	NS

¹ K – Kontroll kezelés, LP – Csökkentett nyersfehérje kezelés; n=24/kezelés; ² NS – nem szignifikáns ($P > 0,05$)

A fehérje-csökkentett takarmányok etetése szignifikánsan nagyobb ürülék szárazanyag tartalmat eredményezett a kontroll takarmányok etetésével összehasonlítva (40. táblázat). Az ürülék összes N tartalmát és N formáinak koncentrációját a kísérleti kezelések nem befolyásolták szignifikáns mértékben ($P > 0,05$; 42. táblázat)

42. táblázat Az ürülék szárazanyag-tartalma és N-formáinak koncentrációja (47-53. élethét) (átlag $\pm$ SEM)

Kezelés ¹	Szárazanyag (%)	Bélsár-N	NH ₄ ⁺ -N	Húgysav-N	Vizelet-N ²	Összes N
		mg/g sz.a				
K	22,43 $\pm$ 0,63	29,97 $\pm$ 0,77	6,63 $\pm$ 0,18	16,76 $\pm$ 0,39	23,39 $\pm$ 0,54	53,35 $\pm$ 1,26
LP	25,56 $\pm$ 0,51	27,87 $\pm$ 0,84	6,38 $\pm$ 0,17	16,05 $\pm$ 0,34	22,43 $\pm$ 0,59	50,30 $\pm$ 1,41
<i>P</i> érték	$P < 0,001$	NS ³	NS	NS	NS	NS

¹ K – Kontroll kezelés, LP – Csökkentett nyersfehérje kezelés; n=24/kezelés;

² az NH₄⁺-N és húgysav-N összege; ³ NS – nem szignifikáns ($P > 0,05$)

Korábbi, hagyományos etetési rendszerben végzett kísérletek során a csökkentett nyersfehérje tartalmú takarmánykeverékek a normál fehérje szintű keverékekkel szemben szignifikánsan nagyobb N retenciót, illetve a N felvétel és kiválasztás szignifikáns csökkenését eredményezték (Blair, et al.1999; Keshavarz és Austic, 2004; Heo et al., 2023; Alagawany et al., 2016). Saját kísérletünkben ugyan a N felvétel kisebb volt az LP csoportban a K kezeléshez képest, de a retenció változása miatt a N ürítésben nem tudtunk igazolt különbséget kimutatni ($P>0,05$). A takarmány nyersfehérje tartalmának csökkentése számos esszenciális aminosav SID szintjének fenntartása mellett növelte az ürülék szárazanyag-tartalmát, ami összhangban van a brojlerekkel (Lambert et al., 2023) és a tojótyúkokkal (Blair et al., 1999) végzett, hagyományos fehérje-csökkentett takarmányozással végzett vizsgálatok eredményeivel. Az ürülék N formáinak koncentrációiban látható változások kedvező irányúak voltak az LP kezelés javára, de a nagy szórás értékek miatt nem tudtunk szignifikáns különbségeket kimutatni. Osztott etetési rendszerre vonatkozóan nincsenek összehasonlító adataink. Iio et al. (2023) hagyományos etetési technológiában a csökkentett nyersfehérje szintű (14%), de azonos összes lizin, metionin, metionin+cisztin, triptofán koncentrációjú keverék esetében 19,6%-kal kisebb NH_4^+ -N tartalmat mutatott ki az ürülékben, illetve 24,8%-kal kisebb ammónia emissziót mért a kontroll nyersfehérje tartalmú (16%) takarmány etetésével összehasonlítva.

A tojótyúkok napi kalcium felvétele, retenciója és emissziója hasonló volt mindkét kezelési csoportban, az ürülék kalcium koncentrációja viszont statisztikailag igazoltan kisebb volt a csökkentett nyersfehérje szintű takarmány kezelés esetében ($P<0,05$; 43. táblázat). A foszforra vonatkozó retenció nagyobb volt, így az emisszió esetében szignifikánsan kisebb értéket mértünk a csökkentett nyersfehérje kezelés hatására a kontrollhoz képest ($P<0,001$; 44. táblázat).

43. táblázat. Kalcium felvétel, retenció, emisszió és koncentráció az ürülékben (47-53. élethét)
(átlag $\pm$ SEM)

Kezelés ¹	Felvétel (g/nap/állat)	Retenció (%)	Emisszió (g/nap/állat)	Ürülék (mg/g sz.a)
K	4,79 $\pm$ 0,03	58,38 $\pm$ 0,29	1,99 $\pm$ 0,02	67,62 $\pm$ 1,19
LP	4,74 $\pm$ 0,03	59,11 $\pm$ 0,40	1,94 $\pm$ 0,02	63,19 $\pm$ 1,30
<i>P</i> érték	NS ²	NS	NS	<0,05

¹ K – Kontroll kezelés, LP – Csökkentett nyersfehérje kezelés; n=24/kezelés;

² NS – nem szignifikáns ($P>0,05$)

44. táblázat. Foszfor felvétel, retenció, emisszió és koncentráció az ürülékben (47-53. élethét)
(átlag $\pm$ SEM)

Kezelés ¹	Felvétel (g/nap/állat)	Retenció (%)	Emisszió (g/nap/állat)	Ürülék (mg/g sz.a)
K	0,45 $\pm$ 0,01	30,90 $\pm$ 0,85	0,31 $\pm$ 0,01	10,08 $\pm$ 0,18
LP	0,43 $\pm$ 0,01	37,87 $\pm$ 0,82	0,27 $\pm$ 0,01	8,81 $\pm$ 0,16
<i>P</i> érték	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

¹ K – Kontroll kezelés, LP – Csökkentett nyersfehérje kezelés; n=24/kezelés

A takarmány és az ürülék eredmények alapján számított Ca és P mutatószámok esetében a ténylegesen mért Ca és P koncentrációkat vettük alapul. A K és LP takarmány-keverékekben az összes Ca és P számított szintjei a délelőtti, illetve a délutáni összehasonlításban megegyeztek, ugyanakkor a mért szintek esetében az LP keverékekben kisebb koncentrációt mértünk mindkét elem esetében. Ezek az eltérések valószínűleg nem befolyásolták a Ca-felvételi eredményeket, de hatással lehettek a P-felvételre, ahol az LP takarmányok etetése szignifikánsan kisebb P-felvételhez vezetett, ami szignifikánsan befolyásolta a tojótyúkok P retencióját és emisszióját is, torzítva a takarmány kezelések hatásait. Keshavarz és Austic (2004) hagyományos etetési kísérletében a kontroll (T1 kezelés; 16,5% nyersfehérje) és csökkentett nyersfehérje szintű (T4 kezelés; 13%) keverékek nem-fitin P koncentrációja megegyezett (0,4%). A napi takarmányfelvételben volt ugyan kb. 5 g különbség (T1 és T4: 109,6 g vs. 104,7 g), ami nem volt szignifikáns, de a napi összes P felvétele már szignifikánsan ($P < 0,05$) kisebb volt a csökkentett fehérje szintű kezelés esetében (T1: 638 mg/tyúk/nap, T4: 578 mg/tyúk/nap). A két csoport azonos retenciós értéke mellett az ürülékbe kiválasztott napi P mennyisége is saját eredményeinkhez hasonlóan szignifikánsan kisebb ($P < 0,05$) volt a csökkentett fehérjeszintű takarmánnyal etetett tyúkok esetében (T1: 518 mg/tyúk/nap, T4: 430 mg/tyúk/nap).

5.2.3. Aminosavak látszólagos ileális emészthetősége

A kísérleti kezelések hatását a legfontosabb aminosavak látszólagos ileális emészthetőségére a 45. táblázat mutatja be. Az esszenciális aminosavak közül a leucin és az izoleucin, a nem esszenciális aminosav közül pedig az alanin és aszparaginsav emészthetőségét növelte szignifikáns mértékben a csökkentett nyersfehérje szintű keverékek alkalmazása. A csökkentett nyersfehérje tartalmú takarmányok etetése több kísérletben is növelte az aminosavak látszólagos ileális emészthetőségét brojlerekben (Awad et al., 2016; Liu et al., 2021) és hízó sertésekben (He et al., 2016). Amint azt a tojásmínőségi eredmények értékelésénél megemlítettem, ezekre az eredményekre is az egyik lehetséges magyarázat a kristályos aminosavak nagyobb koncentrációjú alkalmazása az LP takarmányokban (Liu et al., 2021; Sato et al., 1987; Sawadogo et al., 1997). Kísérletünkben az LP

takarmányok nagyobb kristályos L-lizin, L-treonin és L-valin kiegészítés nem realizálódott ezen aminosavak jobb ileális emészthetőségében. Az eredmények értékelésénél felvethetők újra az 1. modell kísérletnél leírt módszertani problémák. A reggeli béltartalom mintavétel idején valószínűleg az előző napon délután etetett keverékekből származó tartalmak voltak jelen a csípőbélben mindkét kezelési csoportban. A délutáni keverékek esetében különbség volt a SID arginin, leucin és izoleucin szintekben a K takarmány javára, ami valószínűleg szerepet játszott a leucin és izoleucin nagyobb emészthetőségi értékeinek kialakulásában az LP csoportban.

45. táblázat. A kísérleti kezelések hatása egyes aminosavak látszólagos ileális emészthetőségére (53.élethét; átlag $\pm$ SEM)

Aminosav	Kezelés ¹		P érték
	K	LP	
Alanin	83,08 $\pm$ 0,64	86,71 $\pm$ 0,59	<0,001
Arginin	87,08 $\pm$ 0,48	86,94 $\pm$ 0,74	NS ²
Aszparaginsav	79,17 $\pm$ 0,71	82,04 $\pm$ 0,54	<0,05
Cisztin	76,30 $\pm$ 0,51	77,73 $\pm$ 0,62	NS
Glutaminsav	91,36 $\pm$ 0,30	91,22 $\pm$ 0,54	NS
Glicin	76,27 $\pm$ 0,64	76,58 $\pm$ 0,58	NS
Izoleucin	79,66 $\pm$ 0,75	83,44 $\pm$ 0,57	<0,001
Leucin	88,97 $\pm$ 0,30	90,36 $\pm$ 0,37	<0,05
Lizin	79,41 $\pm$ 0,83	80,34 $\pm$ 0,83	NS
Metionin	88,81 $\pm$ 0,60	90,12 $\pm$ 0,62	NS
Fenilalanin	86,03 $\pm$ 0,58	87,42 $\pm$ 0,73	NS
Prolin	84,40 $\pm$ 0,75	85,78 $\pm$ 0,61	NS
Szerin	79,22 $\pm$ 0,83	78,92 $\pm$ 1,00	NS
Hisztidin	80,86 $\pm$ 0,68	80,86 $\pm$ 0,78	NS
Tirozin	78,24 $\pm$ 0,73	78,99 $\pm$ 0,84	NS
Treonin	67,34 $\pm$ 1,00	69,44 $\pm$ 0,84	NS
Valin	79,92 $\pm$ 0,65	80,79 $\pm$ 0,64	NS
Összes	81,54 $\pm$ 0,34	82,81 $\pm$ 0,52	NS

¹ K – Kontroll kezelés, LP – Csökkentett nyersfehérje kezelés; n=12/kezelés;
NS – nem szignifikáns (P>0,05)

5.2.4 Sípcont hamu, kalcium és foszfor tartalom

A kísérleti kezelések nem befolyásolták a sípcont nyershamu, kalcium és foszfor tartalmát, hasonló átlagértékeket mértünk mindkét takarmányozási csoportban (P>0,05, 46. táblázat).

46. táblázat A sípcsont (tibia) hamu, kalcium és foszfor tartalma (53.élethét; átlag ± SEM)

Kezelés ¹	Hamu (%)	Kalcium (%)	Foszfor (%)
K	50,87 ± 0,33	18,27 ± 0,11	8,40 ± 0,10
LP	50,87 ± 0,33	18,52 ± 0,13	8,44 ± 0,11
<i>P</i> érték	NS ²	NS	NS

¹K – hagyományos etetés (kontroll), O – osztott etetés, n=12/kezelés;

²NS – nem szignifikáns (P>0,05),

Ahogy korábban írtam, kísérletünkben az osztott etetési rendszer vonatkozásában először alkalmaztuk a csökkentett nyersfehérje ellátás koncepcióját, így a sípcsont eredményeinket sem tudjuk ilyen módszertanú vizsgálat eredményeivel összehasonlítani. Osztott és hagyományos etetési rendszer idős tojótyúkokkal (75. és 92. élethét között) végzett összehasonlítása során az osztott etetési rendszer nem járt a sípcsont törésszilárdságának, Ca és P tartalmának szignifikáns eltéréseivel a kontroll etetéshez képest Molnár et al. (2018b) kísérletében. A hagyományos takarmányozásban vizsgált csökkentett nyersfehérje szintű kezelés (16,5 vs. 13% nyersfehérje szintek) 36-48. élethetek között nem változtatta meg a tojótyúk sícsonjtjának nyershamu tartalmát (P>0,05; Keshavarz és Austic, 2004). Brojlerek esetében a csökkentett nyersfehérje tartalmú keverék etetése szintén nem eredményezett szignifikáns különbségeket a tibia csont Ca és P tartalmában a kontroll fehérje szintű takarmánnyal összehasonlítva (Jahan., 2024).

5.2.5 Takarmányozási költségek

Az 2. modell kísérletemben szereplő, kontroll osztott takarmánykeverék ára az technológia délelőtti keveréke 107,05 Ft/kg-ba, a délutáni pedig 101,94 Ft/kg-ba kerülne. A kísérleti csökkentett nyersfehérje tartalmú osztott technológia délelőtti keveréke 101,2 Ft/kg-ba, a délutáni pedig 96,5 Ft/kg-ba kerülne. A napi adagban a kontroll délelőtti táp 40%-ban, a délutáni pedig 60%-ban szerepelt, így a napi keverék ára 103,98 Ft/kg lenne. A napi adagban a kísérleti délelőtti táp 40%-ban, a délutáni pedig 60%-ban szerepelt, így a napi keverék ára 98,4Ft/kg lenne. Különbség a kísérleti takarmány javárák 5,58 Ft/kg. A kísérletben az egy állat által elfogyasztott takarmány ára a 6 hét folyamán a kontroll osztott csoportban (112,5 g/nap takarmányfogyasztás) 490,56 Ft/állat, a fehérje csökkentett osztott etetés során (112,2 g/nap takarmányfogyasztás) pedig 463,8 Ft/ állat volna.

5.3. Eltérő kalcium ellátás hatásának összehasonlítása osztott etetési technológiában (3. modell kísérlet)

5.3.1. Testsúly, tojástermelési és tojásminőségi paraméterek

A kísérleti állatok kísérlet kezdetén mért testsúlya nem különbözött a kezelési csoportok között (47. táblázat). A takarmányozási kezelések nem befolyásolták a tojótyúkok kísérlet végi testsúlyát és a kísérlet során mért súlyváltozást ($P>0,05$). A tojótyúkok takarmányfelvételében nem tudtunk kimutatni szignifikáns különbségeket a két kezelési csoport között ($P>0,05$; 48. táblázat). Ugyanígy a kisebb délelőtti és nagyobb délutáni Ca-szintet biztosító kalcium ellátás (CA) nem befolyásolta a napi AMEn felvételt ($P>0,05$; 47. táblázat). A nyersfehérje felvétel esetében a délelőtti hasonló fehérje felvételt követően a tojók fehérje felvétele délután a CA csoportban szignifikánsan ($P<0,05$) meghaladta a K csoportra jellemző értéket, de a teljes napi fehérje felvételben a két csoport közötti különbségek nem mutatkoztak szignifikánsnak (49. táblázat).

47. táblázat A kísérleti kezelések hatása a tojótyúkok testsúlyára (62-68.élethét; átlag $\pm$ SEM)

Kezelés ¹	Testsúly (kg)		
	Kezdősúly	Végsúly	Súlyváltozás
K	2,02 $\pm$ 0,03	2,01 $\pm$ 0,03	-0,04 $\pm$ 0,01
CA	1,98 $\pm$ 0,02	1,97 $\pm$ 0,02	-0,05 $\pm$ 0,01
<i>P</i> érték	NS ²	NS	NS

¹K – Kontroll kezelés, CA – Kalcium kezelés; n=24/kezelés;

²NS – nem szignifikáns ($P>0,05$)

48. táblázat A kísérleti kezelések hatása a napi takarmányfelvételre (62-68. élethét; átlag $\pm$ SEM)

Kezelés ¹	Takarmányfelvétel (g/nap/állat)		
	Délelőtt	Délután	Összes
K	45,6 $\pm$ 0,3	68,1 $\pm$ 0,4	113,7 $\pm$ 0,7
CA	45,3 $\pm$ 0,2	67,7 $\pm$ 0,5	113,0 $\pm$ 0,7
<i>P</i> érték	NS ²	NS	NS

¹K – Kontroll kezelés, n=24; CA – Kalcium kezelés, n=23/kezelés;

²NS – nem szignifikáns ($P>0,05$)

49. táblázat A kísérleti állatok napi energia és fehérje felvétele (62-68. élethét; átlag ± SEM)

Kezelés ¹	AMEn-felvétel (kJ/nap/állat)			Nyersfehérje felvétel (g/nap/állat)		
	Délelőtt	Délután	Összes	Délelőtt	Délután	Összes
K	513,8 ± 3,4	712,1 ± 4,5	1225,4 ± 7,7	7,8 ± 0,1	10,5 ± 0,1	18,3 ± 0,1
CA	510,9 ± 2,4	708,3 ± 5,6	1219,1 ± 7,5	7,7 ± 0,1	10,8 ± 0,1	18,5 ± 0,1
<i>P</i> érték	NS ²	NS	NS	NS	<0,05	NS

¹K – Kontroll kezelés, n=24; CA – Kalcium kezelés, n=23/kezelés; ²NS – nem szignifikáns (P>0,05)

A CA kezelés hatására a délelőtti kalcium felvétel szignifikánsan lecsökkent a kontrollhoz képest (P<0,001, 50. táblázat), majd a csoport tojótyúkjai délután nagyobb mennyiségű kalciumot vettek fel (P<0,001). A teljes napi kalcium felvétel a délelőttihez hasonlóan kisebb volt a CA csoportban a K csoporttal összehasonlítva. A tojótyúkok foszfor felvétele a délelőtti időszakban nem különbözött a két kezelési csoportban, a délutáni időszakban, valamint a teljes napra számítva viszont szignifikánsan kisebb volt a CA kezelés hatására a K csoporthoz képest (P<0,05).

50. táblázat A kísérleti kezelések hatása a napi kalcium és foszfor felvételre (62-68.élethét) (átlag ± SEM)

Kezelés ¹	Kalcium felvétel (g/nap/állat)			Foszfor felvétel (mg/nap/állat)		
	Délelőtt	Délután	Összes	Délelőtt	Délután	Összes
K	1,76 ± 0,01	3,81 ± 0,02	5,56 ± 0,03	241,7 ± 1,9	353,3 ± 2,4	596,3 ± 3,6
CA	1,38 ± 0,01	3,98 ± 0,03	5,36 ± 0,04	239,1 ± 1,2	344,3 ± 2,9	585,7 ± 3,6
<i>P</i> érték	<0,001	<0,001	<0,001	NS ²	<0,05	<0,05

¹K – Kontroll kezelés, n=24; CA – Kalcium kezelés, n=23/kezelés; ²NS – nem szignifikáns (P>0,05)

Az 51. táblázat a kísérleti kezeléseknek a tojástermelési paraméterekre kifejtett hatását mutatja be.

51. táblázat A kísérleti kezelések hatása a tojástermelési paraméterekre (62-68.élethét) (átlag ± SEM)

Kezelés ¹	Tojástermelési intenzitás (%)	Tojástömeg (g)	Napi tojástömeg (g/nap)	Takarmány értékesítés (kg/kg)
K	92,56 ± 0,9	62,3 ± 0,9	57,2 ± 0,8	1,99 ± 0,03
CA	94,87 ± 1,0	61,1 ± 0,6	57,5 ± 0,9	1,97 ± 0,03
<i>P</i> érték	NS ² (0,05)	NS	NS	NS

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

Az eltérő Ca-ellátás nem befolyásolta szignifikáns mértékben a tojástermelési intenzitást, a tojástömeget, a napi tojástömeg és a takarmány-értékesítés értékét. A tojástermelési intenzitás esetében erős tendenciát mutattam ki a CA kezelés javára, amely csoportban kb. 2%-kal nagyobb volt a tojástermelési % a K csoporthoz képest ($P=0,05$). Az osztott etetési rendszert vizsgáló korábbi kísérletekben a délelőtti és délutáni keverékek számos különböző Ca koncentrációját vizsgálták. Umar-Faruk et al. (2010b) kísérletében a délelőtti csak szemes gabonát alkalmazó osztott technológia vizsgálata során a délelőtti Ca szint (0,03%) a kontroll keverék Ca szintjének (3,6%) csak 0,8%-át jelentette, míg a délutáni takarmánynál ez 200% volt (7,2%). A délelőtti teljes értékű keveréket alkalmazó osztott koncepció vizsgálataiban is előfordult a délelőtti és délutáni keverékek Ca tartalmának szélsőségesen nagy különbsége. Leeson és Summers (1978) a délelőtti takarmányban 0,47% Ca-ot, míg a délutániban 13,1%-ot alkalmazott, ami a kontroll takarmányban mért Ca szint (3,0%) 15,6, illetve 436%-a volt. Saját kísérletemben a K kezelés délelőtti keverékében a kísérleti állatok Ca szükségletének megfelelő Ca szinthez (4,38%) képest kb. 20%-kal kisebb (3,55%), a délutániban pedig kb. 20%-kal nagyobb Ca szintet (5,37%) alkalmaztam. A 2. modell kísérletben is ezt az elvet követtem, míg az 1. modell kísérletben a délutáni keverék Ca szintje a szükséglethez képest csak kb. 13%-kal volt nagyobb. A CA kezelés délelőtti keverékében a K kezelésnél nagyobb mértékű csökkentést, illetve a délutáni keverékben nagyobb mértékű növelést alkalmaztam. A délelőtti keverékben a szükségletnél 38%-kal kisebb (2,73%), a délutániban 35%-kal nagyobb volt (5,92%) a Ca tartalom. Ezen Ca szintkülönbségekhez hasonló eltérések hatásairól már több külön kísérletben beszámoltak. A délelőtti és délutáni keverékek Ca tartalma példaként három vizsgálatban a következőképpen alakult (zárójelben a kontroll, 100%-nak tekintett Ca szinthez viszonyított eltérés): Molnár et al. (2018b): de-2,68% (76,5%), du-4,04% (115%); Emous és Mens (2021): de-2,87% (84%), du-4,45% (131%); Jahan et al. (2024): de-2,5% (61%), du-5,6% (136%).

Az eredményeink értékelése szempontjából kiemelendők azok a kísérletek, ahol egy kísérleten belül több délelőtti és/vagy délutáni Ca szint hatásait vizsgálták. Ezek között voltak olyanok, amelyekben a délelőtti és délutáni takarmányok azonos energia és fehérje szinttel rendelkeztek (nem valódi osztott rendszer: Keshavarz (1998a, 1998b)), nem kerültek részletesen bemutatásra az energia és fehérje tartalmak (Waldroup és Hellwig, 2000), illetve a délutáni többféle Ca koncentrációhoz eltérő energia és fehérje szintek tartoztak (Lee és Ohh, 2002). Saját kísérletünkben ezekhez a vizsgálatokhoz képest újszerűen a kétféle Ca ellátáshoz tartozó délelőtti keverékek, illetve ugyanígy a délutáni keverékek energia, fehérje és hasznosítható foszfor tartalma is megegyezett, lehetővé téve a Ca hatások pontosabb vizsgálatát. Eredményeinkkel összhangban Keshavarz (1998b) kísérletében a délelőtti és délutáni keverékek Ca szintjeiben alkalmazott

különbségek (Kontroll: de-3,5%, du-3,5%; T2: de-2,5%, du-4,5%; T4: de-1,5%, du-5,5%) nem befolyásolták szignifikáns mértékben a tojók testsúlygyarapodását és takarmányértékesítését ($P>0,05$). Saját eredményeinkhez hasonlóan a délelőtti keverékben az egyre csökkenő Ca szintek szignifikánsan egyre kisebb Ca felvételhez, a délutáni keverékben pedig a növekvő Ca koncentrációk egyre nagyobb Ca felvételhez vezettek (Keshavarz, 1998b). Az eltérő Ca ellátás, akárcsak a saját vizsgálatunkban, nem hatott szignifikáns ($P>0,05$) mértékben a tojástermelési paraméterekre (tojástermelési intenzitás, tojástömeg, napi tojástömeg, takarmány-értékesítés). A kísérlet T5-ös kezelése az ellátási logikát megfordítva délelőtt nagy (5,5%), délután nagyon kicsi (1,5%) Ca szinteket vizsgált, amelynek hatására szignifikánsan lecsökkent a takarmány- és a napi Ca felvétel, illetve a tojástermelési intenzitás és a napi tojástömeg. Lee és Ohh (2002) tanulmányában arról számolt be, hogy a kontroll kezelés (de-du: 3,55% Ca), illetve a délelőtti takarmány Ca szint (0,6%) mellett alkalmazott három délutáni keverék Ca koncentrációja (T1:6,5%, T2:9,45%, T3:12,40%) nem okozott szignifikáns különbségeket a takarmányfelvételben, a tojástermelési intenzitásban és a tojástömegben ($P>0,05$). Waldroup és Hellwig (2000) vizsgálatában a kontroll keverék Ca tartalma délelőtt és délután egyaránt 3,25% volt. A T1 kezelésben ehhez képest növelték a délutáni keverék Ca szintjét (de-3,25%, du-6,5%), a T2 kezelésben pedig a délelőtti Ca szint is kisebb volt (de-1,0%, du-6,5%). Megerősítve a saját és az előzőekben ismertetett kísérletek eredményeit (Keshavarz, 1998b; Lee és Ohh, 2002), a három kezelés tojótyúkjainak takarmányfelvétele, tojástermelési intenzitása és tojástömege ebben a kísérletben sem különbözött. A kontrollhoz (3,55g) képest mind a T1 (5,53g), mind a T2 (4,22g) kezelés nagyobb napi Ca felvételt tett lehetővé.

A tojásmínőségi jellemzők esetében a CA kezelés hatására termelt tojások sárgája indexe szignifikánsan meghaladta a K csoportban termelt tojásokét ($P<0,05$; 52. táblázat). Az eltérő délelőtti és délutáni Ca szintek a takarmányban saját kísérletünkben nem befolyásolták a tojáshéj Ca-ellátástól nagy mértékben függő vastagságát és a szilárdságát jellemző törőerőt. A Lee és Ohh (2002) által alkalmazott T1-2-3 kezelések mindegyike szignifikánsan növelte a tojáshéj vastagságát a kontroll kezeléshez képest, de saját eredményeinkhez hasonlóan közöttük nem volt különbség e paraméter tekintetében. A kontrollhoz képest a tojáshéj szilárdságát csak a T2 és T3 kezelések növelték, és a T3-as kezelés a T1-2 eredményeinél is szignifikánsan nagyobb törőerőt eredményezett ($P<0,05$). Waldroup és Hellwig (2000) a kontroll kezeléshez képest a nagyobb Ca szint különbségeket alkalmazó T2 kezelés esetében mutatta ki a tojáshéj szilárdság szignifikáns növekedését.

52. táblázat Tojásmínőség paraméterek a kísérlet végén (68. élethét; átlag ± SEM)

Paraméter	Kezelés ¹		P érték
	K	CA	
Tojástömeg (g)	61,68 ± 1,24	62,59 ± 1,28	NS ⁴
Tojánhéj szilárdság (kgf) ²	3,72 ± 0,31	3,78 ± 0,24	NS
Tojánhéj vastagság (mm)	0,45 ± 0,01	0,44 ± 0,01	NS
Sűrűfehérje magasság (mm)	6,95 ± 0,27	7,18 ± 0,21	NS
Haugh-egység	81,91 ± 1,73	83,69 ± 1,44	NS
Sárgája szín ³	14,50 ± 0,18	14,50 ± 0,12	NS
Sárgája magasság (mm)	17,05 ± 0,23	17,59 ± 0,29	NS
Sárgája átmérő (mm)	41,06 ± 0,40	40,31 ± 0,75	NS
Sárgája index	0,42 ± 0,01	0,44 ± 0,01	<0,05

¹K – Kontroll kezelés, CA – Kalcium kezelés; n=24/kezelés;

²kgf – kilogramm törőerő; ³ tojássárgája szín érték a DSM Yolk Color Fan skála szerint (1-16);

⁴NS – nem szignifikáns (P>0,05)

5.3.2. Retenció és ürülék összetétel

A kísérleti kezelések hatása a tojótyúkوك nitrogén felvételére, retenciójára és emissziójára az 53. táblázatban látható. A CA kezelés nem befolyásolta a kísérleti állatok N felvételét, de nagyobb N retenciót és kisebb N emissziót eredményezett a K kezelés eredményeivel összehasonlítva (P<0,001).

53. táblázat Nitrogén felvétel, retenció és emisszió (62-68. élethét; átlag ± SEM)

Kezelés ¹	N felvétel (g/nap/állat)	N retenció (%)	N emisszió (g/nap/állat)
K	2,93 ± 0,02	44,18 ± 1,46	1,64 ± 0,04
CA	2,95 ± 0,02	51,79 ± 1,44	1,42 ± 0,04
P érték	NS ²	<0,001	<0,001

¹K – Kontroll kezelés, CA – Kalcium kezelés; n=24/kezelés;

²NS – nem szignifikáns (P>0,05)

Az ürülék szárazanyag-tartalma nem különbözött a két takarmányozási kezelés vonatkozásában, viszont valamennyi vizsgált N-forma szignifikánsan kisebb értékét mértük a CA kezelés hatására a K kezeléshez képest (P<0,05; 54. táblázat).

54. táblázat Az ürülék szárazanyag-tartalma és N-formáinak koncentrációja (62-68.élethét)
(átlag $\pm$ SEM)

Kezelés ¹	Száraz anyag (%)	Bélsár-N	NH ₄ ⁺ -N	Húgysav-N	Vizelet-N ²	Összes N
		mg/g sz.a.				
K	26,65 $\pm$ 0,50	24,17 $\pm$ 0,60	4,51 $\pm$ 0,13	12,18 $\pm$ 0,24	16,69 $\pm$ 0,31	40,86 $\pm$ 0,81
CA	25,25 $\pm$ 0,53	22,30 $\pm$ 0,69	3,86 $\pm$ 0,19	11,44 $\pm$ 0,25	15,30 $\pm$ 0,32	37,60 $\pm$ 0,91
P érték	NS ³	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05

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

² az NH₄⁺-N és húgysav-N összege; ³ NS – nem szignifikáns (P>0,05)

Eredményeink alapján a délelőtti és délutáni takarmány Ca szintek közötti nagyobb különbség pozitív hatású a tojótyúk N retenciójára, az ürülék N tartalmára és összetételére. Tojótyúk osztozott etetési rendszerének vonatkozásában kísérletünket megelőzően nem voltak még erre vonatkozóan eredmények. Brojlersirkékkel végzett kutatások alapján nem teljesen egyértelmű, hogy a takarmány Ca tartalmának változása hogyan hat a nitrogén retenciójára. A kutatások többsége a növekvő takarmány Ca koncentrációknak a nitrogén retenciójára kifejtett negatív hatásáról számol be. A nagyobb takarmány Ca tartalom eléréséhez használt megnövelt takarmánymész arány hatására megnövekedhet a béltartalom pH értéke, amely csökkentheti a N felszívódását és retencióját. Ez lehet az élettani magyarázata annak, hogy pl. Shafey és McDonald (1991), illetve Donato et al. (2013) kísérleteiben a takarmány nagyobb Ca koncentrációja csökkentette a N retenciót. Gautier et al. (2017) tanulmánya két kísérletet is ismertet, amelyek közül az elsőben a takarmány növekvő Ca szintje az előzőekkel ellentétben szignifikánsan növelte a nitrogén retenciót, a másodikban pedig nem volt rá szignifikáns hatással. Ha elfogadjuk a nagyobb béltartalomban mérhető Ca koncentráció negatív hatását a N retencióra, akkor a kísérletünkben alkalmazott CA kezelés eredményeképpen a délelőtti időszakban szignifikánsan létrejövő kisebb Ca felvétel és bélbeni Ca szint valószínűleg hozzájárult a megnövekedett N retencióhoz és kisebb N emisszióhoz. A délutáni időszakban az ellentétes irányú Ca-hatás szintén érvényesülhetett, de valószínűleg kisebb mértékű volt.

A CA kezelési csoport állatai szignifikánsan kevesebb kalciumot és foszfort vettek fel, mint a K kezelés egyedei, de a kalcium és foszfor retenció, emészthetőség, emisszió és ürülék koncentráció nem különbözött a két csoport összehasonlításában (P>0,05; 55. és 56. táblázat). Az emissziós értékekben tendencia jelleggel a CA kezelés hatására kisebb értékeket mutattunk ki mindkét makroelem esetében (P<0,10).

55. táblázat. Kalcium felvétel, retenció, látszólagos ileális emészthetőség, emisszió és koncentráció az ürülékben (62-68. élethét; átlag ± SEM)

Kezelés ¹	Felvétel (g/nap/állat)	Retenció (%)	Emészthetőség (%)	Emisszió (g/nap/állat)	Ürülék (mg/g sz.a)
K	5,56 ± 0,03	67,52 ± 0,30	59,30 ± 0,34	1,81 ± 0,02	45,30 ± 0,76
CA	5,33 ± 0,04	67,03 ± 0,28	58,46 ± 0,58	1,76 ± 0,02	46,84 ± 0,95
<i>P</i> érték	<0,001	NS	NS	NS (0,078)	NS

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

56. táblázat. Foszfor felvétel, retenció, látszólagos ileális emészthetőség, emisszió és koncentráció az ürülékben (62-68. élethét; átlag ± SEM)

Kezelés ¹	Felvétel (g/nap/állat)	Retenció (%)	Emészthetőség (%)	Emisszió (g/nap/állat)	Ürülék (mg/g sz.a)
K	0,60 ± 0,01	50,83 ± 1,02	73,52 ± 0,96	0,29 ± 0,01	7,27 ± 0,14
CA	0,59 ± 0,01	54,22 ± 1,85	75,60 ± 0,53	0,27 ± 0,01	7,10 ± 0,28
<i>P</i> érték	<0,05	NS ²	NS	NS (0,067)	NS

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

Az osztott etetési technológia különböző délelőtti és délutáni Ca szintjeit egy kísérleten belül összehasonlító, már részben elemzett kutatások (Keshavarz, 1998ab; Lee és Ohh, 2002; Waldroup és Hellwig, 2000) a nitrogénhez hasonlóan a kalcium és foszfor retencióra és környezeti emisszióra vonatkozóan sem végeztek méréseket. Olyan osztott etetési vizsgálatot, ahol egy hagyományos (kontroll) és egy osztott rendszer összehasonlítása történik meg, szintén nem találtam az említett eredménykörre. A szabadon válogató etetés lehetőséget biztosít, hogy a tojótyúkok az élettani szükségleteikhez jobban igazodva elégítsék ki energia, fehérje és kalcium igényüket. A válogató rendszerben etetett csoport tyúkjainak átlagos nitrogén és kalcium felvétele, valamint emissziója szignifikánsan (P<0,05) kisebb volt, mint a hagyományos kontroll keveréket fogyasztó állatoknak (Chah és Moran, 1985). A kísérlet válogató rendszerében szignifikánsan nőtt a nitrogén és kalcium retenció értéke is. Ebben a kísérletben sem lehet azonban külön értékelni a kalcium hatását, mert itt is egyszerre több fontos takarmányozási tényező (energia, nyersfehérje, aminosav szintek) különbözik a két kezelés között. Baromfiban a szükségletet meghaladó takarmány Ca szintek általában negatívan befolyásolják a táplálóanyagok és a Ca retencióját, a P emészthetőségét és felszívódását (Selle et al., 2009; Gautier et al., 2017). Eredményeink alapján az eltérő délelőtti és délutáni Ca ellátás különbségének kísérletünkben alkalmazott mértéke nincs szignifikáns hatással a Ca és P retencióra, emészthetőségre és emisszióra.

5.3.3. Aminosavak látszólagos ileális emészthetőségé

Az 57. táblázat az aminosavak látszólagos ileális emészthetőségének eredményeit mutatja be.

57. táblázat. A kísérleti kezelések hatása egyes aminosavak látszólagos ileális emészthetőségére (68. élethét; átlag $\pm$ SEM)

Aminosav	Kezelés ¹		P érték
	K	CA	
Alanin	83,17 $\pm$ 1,57	81,72 $\pm$ 1,38	NS ²
Arginin	85,35 $\pm$ 0,76	85,29 $\pm$ 1,48	NS
Aszparaginsav	77,65 $\pm$ 0,91	80,37 $\pm$ 1,70	NS
Cisztin	74,44 $\pm$ 2,43	75,49 $\pm$ 1,59	NS
Glutaminsav	88,57 $\pm$ 0,64	88,07 $\pm$ 1,27	NS
Glicin	76,34 $\pm$ 2,35	77,90 $\pm$ 1,54	NS
Izoleucin	81,57 $\pm$ 1,48	83,27 $\pm$ 1,47	NS
Leucin	87,43 $\pm$ 0,85	87,05 $\pm$ 0,97	NS
Lizin	80,20 $\pm$ 1,74	79,88 $\pm$ 1,55	NS
Metionin	86,29 $\pm$ 1,36	87,58 $\pm$ 1,15	NS
Fenilalanin	84,49 $\pm$ 0,58	86,37 $\pm$ 1,16	NS
Prolin	84,79 $\pm$ 1,35	82,82 $\pm$ 2,06	NS
Szerin	76,65 $\pm$ 1,39	77,94 $\pm$ 1,61	NS
Hisztidin	80,39 $\pm$ 1,52	81,77 $\pm$ 1,48	NS
Tirozin	79,20 $\pm$ 1,61	79,96 $\pm$ 1,98	NS
Treonin	67,61 $\pm$ 2,86	68,45 $\pm$ 3,15	NS
Valin	80,17 $\pm$ 1,38	80,70 $\pm$ 1,40	NS
Összes	80,84 $\pm$ 1,23	81,45 $\pm$ 1,43	NS

¹ K – Kontroll kezelés, CA – Kalcium kezelés; n=5/kezelés;

² NS – nem szignifikáns (P>0,05)

Kísérletünkben nem volt olyan aminosav, amelynek ileális emészthetőségét az elértő Ca ellátás szignifikánsan befolyásolta volna (P>0,05). A tojótyúkوك osztott etetési rendszerének vonatkozásában ezt új tudományos eredménynek tartjuk, de a korábbi kísérleteknél már leírt módszertani kérdések miatt további vizsgálatok szükségesek ennek megerősítésére.

5.3.3 Sípcont hamu, kalcium és foszfor tartalom

A kísérleti kezelések hatásának a sípcont hamu, kalcium és foszfor tartalmára kifejtett hatását az 58. táblázat tartalmazza. A sípcont hamu, Ca és P tartalmában nem tudtunk szignifikáns különbségeket kimutatni a K és a CA kezelés között (P>0,05), azaz a sípcont ezen paraméterei nem voltak érzékenyek a délelőtti és délutáni takarmánykeverékek általunk alkalmazott eltérő Ca

szintjeire. Megemlítendő azonban, hogy a CA kezelési csoportban a sípcsont hamu tartalom átlaga tendenciaszerűen nagyobb volt, mint a K kezelési csoportban mért érték ($P=0,051$).

58. táblázat A sípcsont (tibia) hamu, kalcium és foszfor tartalma (68. élethét; átlag $\pm$ SEM)

Kezelés ¹	Hamu (%)	Kalcium (%)	Foszfor (%)
K	52,27 $\pm$ 0,26	18,68 $\pm$ 0,17	8,60 $\pm$ 0,15
CA	52,98 $\pm$ 0,22	18,72 $\pm$ 0,20	8,72 $\pm$ 0,17
<i>P</i> érték	NS ² (0,051)	NS	NS

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

A kapcsolódó osztott etetést vizsgáló szakirodalmak között nem találtam olyan tanulmányt, amelyben kifejezetten a kísérletünkhöz hasonlóan az eltérő takarmány Ca szinteknek a sípcsont paramétereire kifejtett hatásairól számolt volna be. A hagyományos és osztott rendszer összehasonlítását célzó 1. modell kísérletünkben a hagyományos etetés hatására szignifikánsan nagyobb tibia hamu tartalmat mértünk az osztott etetéssel összehasonlítva, ami viszont nem járt együtt a törésszilárdság igazolható különbségével. Korábbi kísérletek a hamu tartalomra vonatkozó eredményt nem tudták megerősíteni. Molnár et al. (2018c) nem tudtak szignifikáns különbséget kimutatni a két takarmányozási rendszer között idős tojótyúk (75. és 92. élethét között) sípcsontjának Ca és P tartalmában ($P>0,05$). Poudel et al. (2022) vizsgálatában ugyancsak nem tudtak kimutatni szignifikáns különbségeket a sípcsont törésszilárdságában, átmérőjében, hosszában és súlyában a kontroll és az osztott kezelési csoportok között a termelés késői fázisában (70. és 79. élethét között).

5.3.4 Takarmányozási költségek

Az 3. modell kísérletemben szereplő, kontroll osztott kezelés esetében a délelőtti keverék 114,2 Ft/kg-ba, a délutáni pedig 103,7 Ft/kg-ba kerülne. A kísérleti módosított kalcium tartalmú osztott technológia délelőtti keveréke 114,18 Ft/kg-ba, a délutáni pedig 105,8Ft/kg-ba kerülne. A napi adagban a kontroll délelőtti táp 40%-ban, a délutáni pedig 60%-ban szerepelt, így a napi keverék ára 107,8 Ft/kg lenne. A napi adagban a kísérleti délelőtti táp 40%-ban, a délutáni pedig 60%-ban szerepelt, így a napi keverék ára 109,15 Ft/kg lenne. A kísérletben az egy állat által elfogyasztott takarmány ára a 6 hét folyamán a kontroll osztott csoportban (113,7 g/nap takarmányfogyasztás) 514 Ft/állat, a módosított kalcium tartalmú osztott etetés során (113,5 g/nap takarmányfogyasztás) pedig 517 Ft/állat volna.

6. Következtetések és javaslatok

Kísérleteimben az osztott takarmányozási rendszer vizsgálata során az eddig alkalmazott technológiához képest több új módosítást is alkalmaztam a fehérje- és aminosav ellátás tekintetében. Az eddigi gyakorlat szerint az egész szemű gabonát nem alkalmazó osztott rendszer délelőtti keverékének nyersfehérje tartalma meghaladta a hagyományos technológiában ajánlott szükségleti értéket. Vizsgálataim során olyan délelőtti keverékeket állítottam össze, amelyek nyersfehérje tartalma újszerű módon megegyezett a technológiai ajánlásokban feltüntetett értékkel, a délutáni takarmánykeverékek nyersfehérje tartalma pedig ennél az értéknél kisebb volt. Ennek a módosításnak a feltételeként a keverékek aminosav tartalmának optimalizálása során nyolc esszenciális aminosav (lizin, metionin, arginin, valin, treonin, leucin, izoleucin, triptofán) SID koncentrációját vettem figyelembe a pontosabb aminosav ellátás érdekében. A délelőtti keverék kisebb nyersfehérje tartalmának következtében az új rendszer nemcsak gazdasági, hanem a kisebb nitrogén emisszió révén környezetvédelmi szempontból is előnyösebb. Kísérleteim során az új osztott rendszert két tojóhibriddel (Nick Brown és Hy-Line Brown) vizsgáltam, a jövőben ajánlott volna a technológia tesztelése további étkezési tojást termelő genotípusok bevonásával, illetve brojler szülőpár állományokkal. A kutatás során megfogalmazott tudományos eredmények a tojóciklus meghatározott vizsgált kísérleti időszakaira vonatkoznak, amelyek egyik témakör esetében sem fedték le a teljes tojástermelési időszakot. A vizsgálatokat ezért célszerű volna a teljes termelési időszakra kiterjeszteni.

Az ismertetett elvek alapján összeállított takarmánykeverékeket az 1. modell és üzemi kísérletben a hagyományos technológiával hasonlítottam össze a csúcstermelés időszakában. Az összehasonlítás során az osztott rendszer semmiféle negatív hatását nem tapasztaltam a kísérleti állatok testsúlya, a tojástermelési paraméterek, a tojásmínőség szempontjából. Az 1. modell kísérletben az osztott rendszernél tapasztalt kisebb takarmányfelvétel, illetve energia (AMEn) és nyersfehérje felvétel ellenére a hagyományos takarmányozási csoporttal megegyező volt a tojótyúkok tojástermelési intenzitása és tojástömege, így a kontrollnál kedvezőbb takarmányértékesítés volt mérhető. A tojásmínőség tekintetében kiemelő a hagyományos rendszerhez képest tapasztalt nagyobb tojáshéj vastagság az osztott rendszerben. A csúcstermelésben lévő tojótyúkok sípcsontjának összetétele és törésszilárdsága hasonló volt a vizsgált két rendszerben, a csont egészségét az osztott technológia nem veszélyeztette. Kedvező eredményeim alapján a vizsgált osztott rendszerünk feljavított ketreces technológiájú nagyüzemi körülmények között is kipróbálásra ajánlható. A teljes tojóciklusú nagyüzemi alkalmazás előtt javaslom az idős, a termelési ciklus végén lévő kísérleti állatokkal is egy összehasonlító modell

kísérlet elvégzését. Amennyiben az osztott keverékek a hagyományos takarmánykeverékekkel azonos, vagy a nyersfehérje tartalmuk alapján valószínűsíthetően kisebb áron állíthatók elő, akkor az osztott rendszer a működés során gazdaságosabb termelést tehet lehetővé. A Fuchs Tojás Kft. által a gyakorlatban jelenleg is működtetett osztott rendszerben mélyalmos körülmények között végezhettem üzemi kísérletet, ahol a hagyományos technológiával összehasonlítva hasonló termelési eredmények születtek a tojók kisebb nyersfehérje felvétele ellenére. Az üzemi körülmények között viszonylag rövidnek számító vizsgálatomat érdemes volna a teljes tojóciklusra, illetve a madárház és a szabadtartásos tartástechnológiákra is kiterjeszteni.

Kísérleteim során először mutattam ki, hogy az osztott takarmányozási rendszerben termelő tojótyúkok nem csak kevesebb nitrogént bocsátanak ki a környezetükbe, elsősorban a kisebb N felvételük miatt, mint a hagyományos takarmányozásban részesülők, hanem az ürülékben jelen lévő N formák koncentrációja is kedvezőbb. Eredményeim alapján az ammónia emisszió szempontjából előnyösebb az osztott technológiában keletkező ürülék, amely kisebb koncentrációban tartalmazza az NH_4^+ - és húgysav-N összegeként számított vizelet-N-t. Az osztott rendszerben termelő kísérleti állatok esetében a kontrollnál kisebb napi mennyiségben, de az élettani szükségleteknek megfelelőbb napi ritmusban felvett kalcium azonos termelési színvonalat biztosított és közben a környezetbe jutó kalcium állatonként mért napi mennyisége is csökkent. Az osztott etetés viszont ezzel szemben nem alkalmas a tojótyúkok foszfor emissziójának csökkentésére, mert modell kísérletemben a hagyományos és az osztott rendszerben termelő tojótyúkok P emissziója nem különbözött szignifikáns mértékben.

Az osztott technológiában alkalmazott takarmánykeverékek látszólagos ileális aminosav emészthetőségét tudomásom szerint korábban még nem vizsgálták. Az általam alkalmazott, a csípőből tartalom mintavételére vonatkozó módszertan viszont fejlesztésre szorul, további kísérletek szükségesek az eredmények pontosítása érdekében. Jahan et al. (2024) látszólagos ileális nitrogén emészthetőséget határoztak meg osztott és hagyományos technológiával etetett tojótyúkok összehasonlításában. Megállapították, hogy az osztott etetés során, indikátor alkalmazása esetén több, legalább kettő mintavételre lehet szükség a kétféle keverék miatt. Javaslatukkal egyetértünk, saját kísérleteimben is az ileális minta valószínűleg nagyobb arányban tartalmazhatta a délutáni keverékből származó tartalmat, ami így torzította az aminosav emészthetőségi értékeket. Javasolnám, hogy az egyik mintavétel a reggeli 8 órás etetéstől számított 5 óra múlva, 13 órakor történjen, illetve a második mintavétel időpontja lehetne a délutáni 15 órás etetéstől számított 5 óra múlva, 20 órakor.

A 2. modell kísérletben az 1. modell kísérletben alkalmazott osztott rendszert és annak csökkentett nyersfehérje szintű változatát (LP) hasonlítottam össze, amelyet korábban még nem vizsgáltak. A kontroll osztott takarmánykeverékekhez képest mind a délelőtti, mind a délutáni LP keverékek 2%-kal kisebb nyersfehérje szinttel rendelkeztek, de a SID lizin, metionin, metionin+cisztin, treonin, valin és arginin koncentrációk azonosak voltak. Az LP keverékek hatására a tojótyúkوك több, de kisebb tömegű tojást termeltek a kísérlet hat hete során. A tojástömeg csökkenésének megelőzésére véleményem szerint megoldást jelenthet az LP keverékek SID leucin, izoleucin, triptofán szintjeinek optimalizálása. A csökkentett nyersfehérje szintű keverékekkel etetett tojótyúkوك ürülékében, bár nitrogén felvételük kisebb volt, nem csökkent szignifikánsan az összes N tartalom, illetve a különböző N-formák koncentrációiban sem volt eltérés a kontroll nyersfehérje szintű kezeléshez képest.

A 3. modell kísérletem lehetővé tette két eltérő kalcium ellátás osztott rendszerben történő összehasonlítását a korábbi vizsgálatokhoz sokkal pontosabb módon, az eltérő energia, fehérje és foszfor ellátás befolyásoló hatásait mellőzve. A kontroll kalcium ellátáshoz képest a CA kezelés, amely a délelőtti keverékben kisebb, a délutániban nagyobb Ca tartalommal rendelkezett. A délelőtti és délutáni Ca szintek között nagyobb különbséget biztosító CA keverék kombináció nem befolyásolta szignifikánsan a tojástermelési jellemzőket, a tojáshéj vastagságát és a héj törésszilárdságát, a sípcsont összetételét ($P>0,05$), de jobb N retenciót, így kisebb N emissziót és az ammónia emisszió szempontjából kedvezőbb N összetételű ürüléket eredményezett. A CA kezelés valószínűleg nagyüzemben is kisebb és kedvezőbb összetételű N emisszióval együtt járó tojástermelést biztosít, tesztelését mindenképpen javaslom.

7. Új tudományos eredmények

1. Tojótúkokkal (Nick Brown és Hy-Line Brown hibridekkel) végzett vizsgálataim során elsőként alkalmaztam olyan osztott takarmányozási rendszert, ahol a délelőtti keverék nyersfehérje tartalma megegyezett a technológiai ajánlásokban feltüntetett értékkel (100%), a délutáni takarmánykeverékek nyersfehérje tartalma pedig ennél az értéknél kisebb volt (92%). Ennek a módosításnak a feltételeként a keverékek aminosav tartalmának optimalizálása során nyolc esszenciális aminosav (lizin, metionin, arginin, valin, treonin, leucin, izoleucin, triptofán) SID koncentrációját vettem figyelembe a pontosabb aminosav ellátás érdekében.

2. A vizsgált új osztott takarmányozási rendszer feljavított ketreces technológiában, a csúcstermelés időszakában (29-40. élethét) kisebb takarmányfelvétel mellett a hagyományos takarmányozási technológiával megegyező tojástermelési intenzitást és tojástömeget, így kedvezőbb takarmány-értékesítést biztosít, illetve mélyalmos üzemi körülmények között is (29-38. élethét) alkalmas a hagyományos takarmányozási technológiához hasonló tojástermelés eredmények (tojástermelési intenzitás, tojástömeg, takarmány-értékesítés) elérésére.

3. A vizsgált új osztott takarmányozási rendszerben termelő tojótúkok kisebb nitrogén felvételük miatt kevesebb nitrogént bocsátanak ki a környezetükbe, mint a hagyományos takarmányozásban részesülők, illetve az ürülékben jelen lévő nitrogénformák koncentrációja az ammónia emisszió szempontjából kedvezőbb a kisebb koncentrációban jelen lévő vizelet nitrogén (NH_4^+ - és húgysav-tartalom) miatt.

4. A vizsgált új osztott takarmányozási rendszer 2%-kal csökkentett nyersfehérje szintű, de azonos SID lizin, metionin, metionin+cisztein, treonin, valin és arginin koncentrációjú takarmánykeverékekkel összeállított változata feljavított ketreces technológiában a 47-53. élethét között a kontroll osztott takarmánykeverékekhez képest hasonló takarmányfelvétel és takarmány-értékesítés mellett kisebb nyersfehérje felvételt, nagyobb tojástermelési intenzitást és kisebb tojástömeget eredményez

5. A vizsgált új osztott takarmányozási rendszerben a délelőtti keverékben a kalcium-tartalom a szükségletnél 38%-kal kisebb, a délutáni keverékben 35%-kal nagyobb értékre történő beállítása nem befolyásolja számottevően a tojástermelési paramétereket, a tojáshéj vastagságát és törésszilárdságát, valamint a sípcsont összetételét. Ugyanakkor, hatására nagyobb nitrogén retenció és kisebb nitrogén emisszió, továbbá az ammónia emisszió szempontjából kedvezőbb nitrogén összetételű ürülék képződik a 62-68. élethéten, modell körülmények között, feljavított ketreces tartásban.

8. Összefoglalás

Doktori kutató munkám során tojótyúkok osztott takarmányozási rendszerét vizsgáltam három modell és egy üzemi kísérletben.

Az 1. modell és a kapcsolódó üzemi kísérletben az osztott etetési rendszert a hagyományos takarmányozási technológiával hasonlítottam össze Nick Brown genetikájú tojótyúkkal a csúcstermelés időszakában. A 12 hétig (29-40. élethéten) tartó modell kísérlet során a 48 egyedileg elhelyezett állatból 24 egyed részesült hagyományos (kontroll, K) takarmányozásban és ugyancsak 24 állat tartozott az osztott (O) etetési rendszerhez. Az osztott etetésű csoport délelőtti takarmányának nagyobb volt az energia (AMEn; 102,7%) és kisebb a Ca tartalma (80,4%) a K csoporthoz képest, míg a délutáni takarmánynak kisebb volt az energia (96,4%) és nagyobb Ca koncentrációja (113,4%) a K csoporthoz képest (100%). Az osztott technológia délelőtti keverékének nyersfehérje szintje megegyezett a hagyományos rendszer keverékének nyersfehérje szintjével, viszont az osztott etetés délutáni keverékének nyersfehérje koncentrációja kisebb volt (92%), mint a kontroll esetében számított érték (100%). A nyersfehérje szintek beállításán túl a keverékek aminosav tartalmának optimalizálása során nyolc esszenciális aminosav (lizin, metionin, arginin, valin, treonin, leucin, izoleucin, triptofán) SID koncentrációját vettük figyelembe a pontosabb aminosav ellátás érdekében. Az összehasonlítás során a hagyományos és az osztott rendszerben a kísérleti állatok testsúlya, a tojástermelési paraméterek (tojástermelés intenzitása, tojástömeg, napi tojástömeg) nem különbözött szignifikáns mértékben, annak ellenére, hogy az osztott etetés során kisebb napi energia (AMEn) és nyersfehérje felvétel volt mérhető ($P<0,05$). Az osztott rendszerben kedvezőbb volt a kísérleti állatok takarmányértékesítése, illetve nagyobb volt a tojáshéj vastagsága a hagyományos kezelési csoport eredményeihez képest ($P<0,05$). A csúcstermelésben lévő tojótyúkok sípcsontjának összetétele és törésszilárdsága hasonló volt a vizsgált két rendszerben, a csont egészségét az osztott technológia nem veszélyeztette. Az osztott takarmányozási rendszerben termelő tojótyúkok kevesebb összes nitrogént bocsátottak ki a környezetükbe, elsősorban a kisebb N felvételük miatt, mint a hagyományos takarmányozásban részesülők ($P<0,05$). Az osztott etetés hatására az ürülékben jelen lévő egyes vizeletből származó N formák (NH_4^+ - és húgysav-N) kisebb koncentrációja az ammónia emisszió szempontjából előnyösebbnek nevezhető ($P<0,05$). A Fuchs Tojás Kft. által a gyakorlatban működtetett telepen mélyalmos körülmények között végeztem 10 hetes (29-38. élethéten) üzemi kísérletet a modell kísérletben is használt két kezelési csoporttal (K, $n=6000$; O, $n=6000$). Az osztott rendszerű etetés hatására a tojótyúkok testsúlya és napi takarmányfelvétele nem különbözött a hagyományos etetéshez képest, de a napi nyersfehérje felvétel szignifikánsan

kisebb volt ($P<0,05$). A tojástermelési intenzitásban, a tojástömegben és a takarmányértékesítésben nem mutattunk ki szignifikáns eltéréseket a két kezelési csoport között.

A 2. modell kísérletben az 1. modell kísérletben alkalmazott kontroll osztott rendszert (K, $n=24$) és annak csökkentett nyersfehérje szintű változatát (LP, $n=24$) hasonlítottam össze 48 Hy-Line Brown genetikájú tojótyúkokkal, a kísérleti állatok 47-53. élethetes korában. A kontroll osztott takarmánykeverékekhez képest mind a délelőtti, mind a délutáni LP keverékek 2%-kal kisebb nyersfehérje szinttel rendelkeztek, de a SID lizin, metionin, metionin+cisztin, treonin, valin és arginin koncentrációk azonosak voltak. Az LP keverékek hatására a tojótyúkok testsúlya, takarmányfelvétele nem különbözött, de nagyobb tojástermelési intenzitást mutattak, és kisebb tömegű tojásokat termeltek a kontroll osztott csoporthoz képest ($P<0,05$). Az LP csoport állatainak tojásai esetében a sűrűfehérje-magasság és a Haugh-egység szignifikánsan nagyobb volt, mint a K kezelés tojásainál ($P<0,05$). A csökkentett nyersfehérje szintű keverékekkel etetett tojótyúkok ürülékében, bár nitrogén és nyersfehérje felvételük kisebb volt, nem csökkent szignifikánsan az összes N tartalom, illetve a különböző N-formák koncentrációiban sem volt eltérés a kontroll nyersfehérje szintű kezeléshez képest. Bár az LP kezelési csoportban a K kezeléshez képest nem különbözött szignifikánsan a N emisszió, a napi foszfor emisszió értéke igazolhatóan kisebb volt ($P<0,05$).

A 3. modell kísérletben két eltérő kalcium ellátást biztosító osztott takarmányozási kezelést hasonlítottam össze Hy-Line Brown tojótyúkok 62. és 68. élethete között. A kontroll (K, $n=24$) kalcium ellátáshoz képest (a szükséglethez képest a délelőtti keverékében kb. 20%-kal kisebb, a délutáni pedig kb. 20%-kal nagyobb kalcium szint) a CA kezelés ($n=24$) délelőtti keverék kalcium tartalma a szükségletnél 38%-kal kisebb, a délutáni 35%-kal nagyobb volt. A délelőtti és délutáni Ca szintek között nagyobb különbséget biztosító CA keverék kombináció nem befolyásolta szignifikánsan a tyúkok testsúlyát, a tojástermelési jellemzőket (tojástermelés intenzitása, tojástömeg, napi tojástömeg, takarmány-értékesítés), a tojáshéj vastagságát és a héj törésszilárdságát, a sárgasínt összetételét ($P>0,05$), de jobb N retenciót, kisebb N emissziót és az ammónia emisszió szempontjából kedvezőbb N összetételű ürüléket (kisebb vizelet-N ($\text{NH}_4^+\text{-N}$ + húgysav-N) tartalom) eredményezett ($P<0,05$).

9. Summary

During my doctoral research work, I investigated the split feeding system of laying hens in three model and one field experiment.

In model 1 and the related farm experiment, the split feeding system was compared with the conventional feeding technology using Nick Brown laying hens during the peak production period. Hens (n=48) were housed individually and fed for 12 weeks (from 29 to 40 weeks of age) in a conventional (control, C; n=24) or in a split (O; n=24) feeding system. The morning diet of the split-fed group had higher energy (AMEn; 102.7%) and lower Ca content (80.4%) compared to the C group, while the afternoon diet had lower energy (96.4%) and higher Ca concentration (113.4%) compared to the C group (100%). The crude protein level of the morning diet of the split technology was the same as the dietary crude protein level of the conventional system, but the crude protein concentration of the afternoon mixture of the split feeding was lower (92%) than the value calculated for the control (100%). In addition to adjusting the crude protein levels, the standardised ileal digestible (SID) concentration of eight essential amino acids (lysine, methionine, arginine, valine, threonine, leucine, isoleucine, tryptophan) was considered during the optimization of the amino acid content of the diets to provide more accurate amino acid supply. The body weight and egg production parameters (egg production intensity, egg weight, daily egg mass) of the experimental animals in the conventional and split systems did not differ significantly, even though lower daily energy (AMEn) and crude protein intake were measured in the split feeding group ($P<0.05$). In the split system, the feed conversion ratio of the experimental animals was more favourable, and the eggshell thickness was greater compared to the results of the conventional treatment group ($P<0.05$). The composition and breaking strength of the tibia of the laying hens in peak production were similar in the two systems examined, so the split technology did not impair bone health. The laying hens producing in the split feeding system emitted less total nitrogen into their environment, primarily due to their lower N intake than those receiving conventional feeding ($P<0.05$). As a result of split feeding, the lower concentration of some N forms (NH_4^+ -, uric acid- and urinary-N) present in the excreta can be considered more advantageous in terms of ammonia emission ($P<0.05$).)

A field experiment under deep litter conditions on a farm operated by Fuchs Tojás Ltd was conducted for 10 weeks (from 29 to 38 weeks of age) with the two treatment groups used in the model experiment (C, n=6000; O, n=6000). The body weight and daily feed intake of the laying hens in the split feeding system did not differ compared to conventional feeding, but the daily

crude protein intake was significantly lower ($P<0.05$). Significant differences in the egg production intensity, egg weight and feed conversion ratio between the two treatment groups were not detected.

In the 2nd model experiment, the control split system (C, $n=24$) used in the 1st model experiment and its version with reduced dietary crude protein level (low protein, LP; $n=24$) were investigated with 48 Hy-Line Brown laying hens from 47 to 53 weeks of age. Compared to the control split diets, both the morning and afternoon LP diets had 2% lower crude protein levels, but the SID lysine, methionine, methionine+cystine, threonine, valine and arginine concentrations were the same. The body weight and feed intake of the laying hens fed the LP diets did not differ compared to the control split group, but they showed higher egg production intensity and produced eggs with lower egg weight ($P<0.05$). The eggs in the LP group had significantly higher thick albumen height and Haugh unit than the eggs in the C group ($P<0.05$). Although the nitrogen and crude protein intake of hens fed the LP diets were lower, there was no significant decrease in total N content, or the concentrations of different N forms of excreta compared to the C treatment. The daily N emission of hens in the LP treatment group did not differ significantly in comparison with the C treatment, however, the daily phosphorus emission of hens fed the LP diets was significantly lower ($P<0.05$).

In the 3rd model experiment, two split feeding treatments providing different calcium supplies were investigated with Hy-Line Brown laying hens from 62 to 68 weeks of age. Compared to the control (C, $n=24$) calcium supply (calcium level in the morning diet was about 20% lower than the requirement of the birds, and it was about 20% higher in the afternoon diet), the calcium content of the morning diet of the CA treatment ($n=24$) was 38% lower than the requirement, while the calcium level of the afternoon diet was 35% higher. The CA diet combination, which provided a greater difference between morning and afternoon Ca levels, did not significantly affect the hens' body weight, egg production characteristics (egg production intensity, egg weight, daily egg mass, feed conversion ratio), eggshell thickness and shell breaking strength, tibia composition ($P>0.05$), but resulted in better N retention, lower N emission and a more favourable N composition of excreta in terms of ammonia emission (lower NH_4^+ -, uric acid- and urinary-N content) ($P<0.05$).

10. Mellékletek

M1. Irodalomjegyzék

Abe E., R. Tanabe, T. Suda, S. Yoshiki, H. Horikawa, T. Masumura, and M. Sugahara (1979) Circadian rhythm of 25-dihydroxy vitamin D3 production in egg-laying hens. In: *Biochemical and Biophysical Research Communications* 88: 500-507p. doi: 10.1016/0006-291X (79)92076-X

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

Agricultural Research Council (ARC) (1975) The Nutrient Requirements of Farm Livestock, No. 1 Poultry, 153 pp.

Ahmadi, H., and M. Rodehutsord (2012) A meta-analysis of responses to dietary nonphytate phosphorus In: *Poultry Science*, 91(8) 2072-2078.p, doi:10.3382/ps.2012-02193

AKI - Agrárközgazdasági Intézet/Research Institute of Agricultural Economics. (2021): The poultry sector in Hungary. A report update.

Alfonso-Avila, A. R., Lambert, Q. C. W., and Letourneau-Montminy, M. P. (2022). Effect of low-protein diets on nitrogen utilization and litter quality in broiler chicken production: insight from meta-analysis. In: *Animal* 16 (3), 100458. doi: 10.1016/j. animal.2022.100458

Andersen, C. (2015). Bioactive egg components and inflammation In: *Nutrients*, 7(9), 7889–7913p.

Angel, R., Venter, K., Li, W., Plumstead, P. (2023) Calcium digestibility of ingredients and limestone digestible calcium equation development – How close are we to implementation? FEDNA 2023 Proceedings. Madrid. December 11, 2023.

Antonio M. Penz, Jr. and Leo S. Jensen (1991) Influence of Protein Concentration, Amino Acid Supplementation, and Daily Time of Access to High- or Low-Protein Diets on Egg Weight and Components in Laying Hens In: *Poultry Science* 70:2460-2466.p.

Arbeitsgemeinschaft für Wirkstoffe in der Tierernährung (AWT) (2000) Aminosäuren in der Tierernährung, Agrimedia Verlag, Bergen/Dumme, 59 pp.

- 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. In: *Indian Journal of Animal Sciences* 86, (6) 691–701 p. doi: 10.56093/ijans. v86i6.59233
- Azzam, M., X. Dong, and X. Zou. (2017) Effect of dietary threonine on laying performance and intestinal immunity of laying hens fed low- crude-protein diets during the peak production period. In: *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 101, (5) 55-66p. doi: 10.1111/jpn.12559
- Azzam, M., X. Dong, L. Dai, and X. Zou. (2015) Effect of excess dietary L-valine on laying hen performance, egg quality, serum free amino acids, immune function and antioxidant enzyme activity. In: *British Poultry Science* 56, (1) 72–78. p. doi:10.1080/00071668.2014.989487
- Bar, A., A. Cohen, S. Edelstein, M. Shemesh, G. Montecuccoli, and S. Hurwitz, (1978.) Involvement of cholecalciferol metabolism in birds in the adaptation of calcium absorptions to the needs during reproduction. In: *Comparative Biochemistry and Physiology* 59:245-249.p.
- Barzegar, S., J. Wu, J. Noblet, M. Choct, and R. Swick. (2019) Energy efficiency and net energy prediction of feed in laying hens. In: *Poultry Science* 98:5746–5758. doi: 10.3382/ps/pez362
- Batal, A., and N. Dale. (2019) Feedstuffs Ingredient Analysis Table. 2016 edition University of Georgia, Athens, GA.
- Bennett, C.D. And Classen, H.L. (2003) Performance of two strains of laying hens fed ground and whole barley with and without access to insoluble grit. In: *Poultry Science* 82: 147-149. doi: 10.1093/ps/82.1.147
- Birkel, P., L. Franke, T. B. Rodenburg, E. Ellen, and A. Harlander- Matauschek (2017) A role for plasma aromatic amino acids in injurious pecking behavior in laying hens. In: *Physiology & Behavior* 175:88–96.p. doi: 10.1016/j.physbeh.2017.03.041
- Blair R. and D. J. W. Lee (1973) The effects on egg production and egg composition of adding supplements of amino acids and/or urea or dried auto-claved poultry manure to a low-protein layer diet In: *British Poultry Science* 14, 9-16.p.
- Blair, R.; Jacob, J.P.; Ibrahim, S.; Wang, P. A (1999) Quantitative Assessment of Reduced Protein Diets and Supplements to Improve Nitrogen Utilization. In: *Journal Applied. Poultry Research.*, 8, 25–47p. doi: 10.1093/japr/8.1.25

- Boling S.D., Douglas M.W., Shirley R.B., Parsons C.M., Koelkebeck K.W. (2000) The effects of various dietary levels of phytase and available phosphorus on performance of laying hens In: *Poultry Science* 79 (4) 535-538p. doi: 10.1093/ps/79.4.535
- Bondi, A. (1987) The Nutritional Requirements for Production of Body Gain. In: *Animal Nutrition*. 370–412p. John Wiley & Sons, Chichester, UK.
- Bouvarel, I., Nys, Y. And Lescoat, P. (2011) Hen nutrition for sustained egg quality, in: Nys, Y., Bain, M. & Van Immerseel, F. (Eds) Improving the safety and quality of eggs and egg products: Volume 1: Egg chemistry, production and consumption, 261-299p.
- Bregendahl, K., Sell, J.L., Zimmerman, D.R. (2002) Effect of Low-Protein Diets on Growth Performance and Body Composition of Broiler Chicks. In: *Poultry Science* 81: 1156–1167.p. doi: 10.1093/ps/81.8.1156
- Bregendahl, K., S. Roberts, B. Kerr, and D. Hoehler (2008) Ideal ratios of isoleucine, methionine, methionine plus cystine, threonine, tryptophan, and valine relative to lysine for white leghorn-type laying hens of twenty-eight to thirty-four weeks of age In: *Poultry Science*. 744–758 p doi: 10.3382/ps.2007-00412 87
- Brumano, G., P. C. Gomes, J. L. Donzele, H. S. Rostagno, T. C. d. Rocha, and R. L. d. Almeida. (2010) Níveis de metionina digestível em rações para poedeiras leves no período de 24 a 40 semanas de idade. In: *Revista Brasileira de Zootecnia*. 1228–1236.p.doi: 10.1590/S1516-35982010000600010 39
- Bustany Al, Z. And Elwinger, K. (1988) Whole grains, unprocessed rapeseed and beta-glucanase in diets for laying hens. In: *Swedish Journal of Agricultural Research* 18: 31-40
- Carlos, A. B., and H. M. Edwards, Jr., (1998) The effects of 1,25-dihydroxycholecalciferol and phytase on the natural phytate phosphorus utilization by laying hens. In: *Poultry Science* 77:850–858.doi:10.1093/ps/77.6.850
- Carre, B., M.r. Lessire, and H. Juin. (2014). Prediction of the net energy value of broiler diets. In: *Animal* 8:1395–1401.doi: 10.1017/S175173111400130X
- Carvalho, T., L. Sousa, F. Nogueira, D. Vaz, M. Saldanha, M. Triginelli, M. Pinto, N. Baiao, and L. Lara. (2018) Digestible methionine1 cysteine in the diet of commercial layers and its influence on the performance, quality, and amino acid profile of eggs and economic evaluation. In: *Poultry Science* 97; 2044–2052.p.

Chah, C.C, (1972) A study of the hen's nutrient intake as it relates to egg formation. M.S. Thesis, University of Guelph, Guelph, ON, Canada

Chah, C.C.; Moran, E.T. Egg (1985) Characteristics of High-Performance Hens at the End of Lay When Given Cafeteria Access to Energy, Protein, and Calcium. In: *Poultry Science* doi: 10.3382/ps.0641696 64, (9) 1696–1712. p.

Chaiyapoom Bunchasak (2009) Role of Dietary Methionine in Poultry Production In: *The Journal of Poultry Science*, 46 (3) 169-179.p. doi: 10.2141/jpsa.46.169

Christina Rufener, Sarah Baur, Ariane Stratmann, and Michael J. Toscano (2019) Keel bone fractures affect egg laying performance but not egg quality in laying hens housed in a commercial aviary system In: *Poultry Science* 98:1589–1600.p.

Comar C.L. and J. Clyde Driggers (1949) Secretion of Radioactive Calcium in the Hen's Egg In: *Science* 2829;282.p.

CVB.Feed Table (2018): Chemical composition and nutritional values of feedstuffs. Centraal Veevoederbureau (CVB), Lelystad, Netherlands.

Dacke C.G., S. Arkle, D. J. Cook, I. M. Wormstone, S. Jones, M. Zaidi, Z. A. Bascal (1993) Medullary Bone and Avian Calcium Regulation In: *Journal of Experimental Biology*;184 (1): 63–88.p.

Das, C., Roy, B.C., Ranvig, H., Riise, J.C., Chowdhury, S.D., Iwamoto, H., & Tabata, S. (2008). Performance of Layers Supplemented with Either Complete Feed or Diets in Cafeteria Feeding System Under Semi-scavenging Condition in a Tropical Environment In: *Journal of The Faculty of Agriculture Kyushu University*, 53, 435-440.p.

David A. Roland Sr. (1986) Egg Shell Quality III: Calcium and phosphorus requirements of commercial Leghorns In: *World's Poultry Science Journal*; 42 ,154 – 165.p.

Dean, D., T. Bidner, and L. Southern. (2006) Glycine supplementation to low protein, amino acid-supplemented diet supports optimal performance of broiler chicks. In: *Poultry Science* 85:288–296. doi: 10.1093/ps/85.2.288

DeLuca, H. F., J. Krisinger, and H. Darwick (1990) The vitamin D system: In *Kidney Int.* 38(Suppl. 29): S 2-S

Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft (1992): DLG-Mischfutterstandards, Teil 2 für Rinder, Schafe, Pferde, Kaninchen, Geflügel und Fische.

- Dima White, Roshan Adhikari, Jinquan Wang, Chongxiao Chen, Jae Hwan Lee,y and Woo Kyun Kim (2021) Effects of dietary protein, energy and b-mannanase on laying performance, egg quality, and ileal amino acid digestibility in laying hens, In: *Poultry Science*, 9, 101312p, doi: 10.1016/j.psj.2021.101312
- Donato, DCZ., Ribeiro, P de AP., Magalhães, JD., Polycarpo, G do V., Garcia, PDSR., Burbarelli, MF de C., & Albuquerque, R. (2013) Nutritional Balance of Broilers Fed Diets Containing Two Calcium Levels and Supplemented with Different Phytase Levels." In: *Brazilian Journal of Poultry Science* (Revista Brasileira de Ciência Avícola)15, (4) 353-363p.doi: 10.1590/S1516-635X2013000400010
- Edwards, H. M., Jr., (1993) Dietary 1,25-dihydroxycholecalciferol supplementation increases natural phytate phosphorus utilization in chickens. In: *Journal Nutrition*. 123:567–577.p.
- Emmert, J. L., and D. H. Baker (1997) Use of the ideal protein concept for precision formulation of amino acid levels in broiler diets. In: *Journal Applied Poultry Research* 6:462–470.p; doi: 10.1093/japr/6.4.462
- Emous van, R.A. (2023) Effects of Feeding Strategies during Lay on Broiler Breeder Production Performance, Eggshell Quality, Incubation Traits, and Behavior In: *Poultry Science* 102(6) doi: 10.1016/j.psj.2023.102630
- Emous van, R.A., Mens, A.J.W. (2021) Effects of Twice a Day Feeding and Split Feeding during Lay on Broiler Breeder Production Performance, Eggshell Quality, Incubation Traits, and Behavior Behavior In: *Poultry Science* 100(11), doi: 10.1016/j.psj.2021.101419
- FAO. (2022). World Food And Agriculture Statistical Yearbook 2022. FAO, Rome.
- Faria, D., R. Harms, and G. Russell. (2002) Threonine requirement of commercial laying hens fed a corn-soybean meal diet. In: *Poultry Science*.81:809–814 p.doi: 10.1093/ps/81.6.809
- Farmer, M.; Roland, D.A.; Eckman, M.K. (1983) Calcium Metabolism in Broiler Breeder Hens: 2. The Influence of the Time of Feeding on Calcium Status of the Digestive System and Eggshell Quality in Broiler Breeders. In: *Poultry Science* doi: 10.3382/ps.0620465, 62, (3) 465–471p.
- Farrell, D.J., Hamid, R. And Hutagalung, R.I. (1981) Free-choice feeding of laying hens in the humid tropics. In: *Tropical Animal Production* 6: 22-29 p.

- 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. In: *Poultry Science* 77: 1481–1487.p.
- Fernandez, Sergio R., Seiji Aoyagi, Yanming Han, Carl M. Parsons, David H. Baker (1994) Limiting Order of Amino Acids in Corn and Soybean Meal for Growth of the Chick, In: *Poultry Science*, 73(12):887-1896p. doi:10.3382/ps.0731887.
- Fernstrom, J. D., and M. H. Fernstrom. (2007) Tyrosine, phenylalanine, and catecholamine synthesis and function in the brain. In: *Journal Nutritional* 137:1539–1547p. doi: 10.1093/jn/137.6.1539S
- Fisher, C., and K. Boorman (1984) Nutrient requirements of poultry and nutritional research. Proceedings of the 19th Poultry Science Symposium, September, Butterworths; Edinburgh, London, UK Fluorochrome Injection on Egg Production Traits In: *Poultry Science* 72:1537-1547.p.
- Forbes, J.M. And Covasa, M. (1995) Application of diet selection by poultry with particular reference to whole cereals. World's In: *Poultry Science Journal* 51: 149-165.p. doi: doi.org/10.1079/WPS19950010
- Frost, T.J. and D.A. Roland, Sr., (1991) The influence of various calcium and phosphorus levels on tibia strength and eggshell quality of pullets during peak production In: *Poultry Science*, 70: 963-969.p.
- Gautier AE, Walk CL, Dilger RN. (2017) Influence of dietary calcium concentrations and the calcium-to-non-phytate phosphorus ratio on growth performance, bone characteristics, and digestibility in broilers. In: *Poultry Science* 96(8):2795-2803.p. doi: 10.3382/ps/pex096. PMID: 28431178.
- 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.
- Gholamhasan Vaezi, Masoud Teshfam, Shahab Bahadoran, Heyder Farazyar and Saeed Hosseini (2011) Effects of Different Levels of Lysine on Small Intestinal Villous Morphology in Starter Diet of Broiler Chickens; In: *Global Veterinaria* 7 (6): 523-526.p
- Gilbert, A. B., (1983.) Calcium and reproduction function in the hen. Proc. In: *The Nutrition Society* 42:195-212p.

- Gomez, S. and M. Angeles (2009) Effect of threonine and methionine levels in the diet of laying hens in the second cycle of production In: *Journal Applied Poultry Research* 18 :452–457p. doi: 10.3382/japr.2008-00090
- Gordon, R. W., and D. A. Roland, (1997) Performance of commercial laying hens fed various phosphorus levels, with and without supplemental phytase. In: *Poultry Science* 76:1172–1177p. doi: 10.1093/ps/76.8.1172
- Guangbing Wu, P. Gunawardana, M. M. Bryant and D.A. Roland, Sr., (2007) Effect of Dietary Energy and Protein on Performance, Egg Composition, Egg Solids, Egg Quality and Profits of Hy-Line W-36 Hens During Phase 2. In: *International Journal of Poultry Science*, 6: 739-744.p doi: 10.3923/ijps.2007.739.744
- Gunaratne, S.P.; Boorman, K.N. (1996) Egg-Shell Deposition and Blood Plasma Inorganic Phosphorus Concentration in Individual Laying Hens. Br In: *Poultry Science* 213–222 p. doi: 10.1080/00071669608417849
- Han, Y.-K., and P. A. Thacker. (2011) Influence of energy level and glycine supplementation on performance, nutrient digestibility and egg quality in laying hens. Asian Austral. In: *Journal of Animal Science* 24:1447–1455p. doi: 10.5713/ajas.2011.11123
- Harms, R. H. and P. W. Waldroup (1971) The Effect Of High Dietary Calcium On The Performance doi: 10.3382/ps.0500967
- Harold Copp, D., Donald W. Cockcroft, and Yankoon Kueh (1967) Ultimobranchial origin of calcitonin. hypocalcemic effect of extracts from chicken glands In: *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology* 45.
- He, L.; Wu, L.; Xu, Z.; Li, T.; Yao, K.; Cui, Z.; Yin, Y.; Wu, G. (2016) Low-Protein Diets Affect Ileal Amino Acid Digestibility and Gene Expression of Digestive Enzymes in Growing and Finishing Pigs. 48, 21–30p. In: *Amino Acids*, doi: 10.1007/s00726-015-2059-1
- Hendrix Genetics. 2020. Nutrition management guide. Accessed Aug. 2021. <https://www.hendrix-genetics.com/en/animalbreeding/laying-hen-breeding/>.
- Henuk, Y., Thwaites, C. J., Hill, M. K., and Dingle, J. G. (2000). The effect of fluctuating environmental temperature on responses of laying hens to choice feeding in a single feeder. Research - how is it working for you?, Gatton, The University of Queensland, 14 September 2000. Gatton, Qld: World's Poultry Sci Assoc(Qld) & University of Queensland.

- Heo, Y.-J.; Park, J.; Kim, Y.-B.; Kwon, B.-Y.; Kim, D.-H.; Song, J.-Y.; Lee, K.-W. Effects of (2023) Dietary Protein Levels on Performance, Nitrogen Excretion, and Odor Emission of Growing Pullets and Laying Hens In: *Poultry Science* doi: 10.1016/j.psj.2023.102798,
- Hiramoto, K.; Muramatsu, T.; Okumura, J. (1990) Protein Synthesis in Tissues and in the Whole Body of Laying Hens During Egg Formation¹ In: *Poultry Science* doi: 10.3382/ps.0690264 69(2) 264–269 p. doi: 10.3382/ps.0690264
- Holly L. Brenza and Hector F. DeLuca (2000) Regulation of 25-Hydroxyvitamin D3 1 α -Hydroxylase Gene Expression by Parathyroid Hormone and 1,25-Dihydroxyvitamin D3; In: *Archives of Biochemistry and Biophysics* 381, 143-152.p.
- Hudson H.A., W. M. Britton, G. N. Rowland, and R. J. Buhr (1993) Histomorphometric Bone Properties of Sexually Immature and Mature White Leghorn Hens with Evaluation of
- Hurwitz, S.; Bar, A. (1969) Intestinal Calcium Absorption in the Laying Fowl and Its Importance in Calcium Homeostasis. In: *The American Journal of Clinical Nutrition*. 22, (4) 391–395 p. doi: 10.1093/ajcn/22.4.391
- Hurwitz, S. and S Bornstein (1963) The effect of calcium and phosphorus in the diet of laying hens on egg production and shell quality. In: *Israel Journal of Agricultural Research*, 13, 147-154p.
- Hy-Line Brown management guide 2024 <https://www.melbournroyal.com.au/media/2304/hy-line-brown-management-guide-commercial-layers.pdf>
- Hy-Line, 2020. Hy-Line nutritional levels. Accessed Aug. 2021. <https://www.hyline.com/asp/resourcelibrary/downloads.aspx>.
- Iio W, Shimada R, Nonaka I, Ogino A. (2023) Effects of a low-protein diet supplemented with essential amino acids on egg production performance and environmental gas emissions from layer-manure composting in laying hens in the later laying period. In: *Animal Science Journal* 94(1)13853p. doi: 10.1111/asj.13853.
- IIR (2022): Hungary Informative Inventory Report 1990-2020; <https://cdr.eionet.europa.eu/hu/un/clrtap/iir/envyjdna/>
- INRAE-CIRAD-AFZ. 2021. Feed tables. Accessed Aug. 2021. <https://www.feedtables.com/>.ISA Brown Nutrition Guide https://layinghens.hendrixgenetics.com/documents/883/Nutrition_Guide_English_vs4.pdf

Jadhao, S. B., C. M. Tiwari, Chandramoni, and M. Y. Khan. (1999) Energy balance by carbon and nitrogen balance technique in white leghorn and rhode island red hens fed maize- and broken rice-based diets. Asian Aust. J. In: *Animal Science* 12:1080–1084p. doi: 10.5713/ajas.1999.1080

Jahan, A.A.; Dao, T.H.; Morgan, N.K.; Crowley, T.M.; Moss, A.F. (2024) Effects of AM/PM Diets on Laying Performance, Egg Quality, and Nutrient Utilisation in Free-Range Laying Hens. In:*Applied. Science*, 14, 2163p. doi:10.3390/app14052163

Jeroch H., K. Kozłowski, J. Jankowski (2011) National and international recommendations for the energy and nutrient supply of poultry In: *European Poultry Science*, 75(4) 218-225.p.

John D. Summers and S. Leeson (1994) Laying Hen Performance as Influenced by Protein Intake to Sixteen Weeks of Age and Body Weight at Point of Lay In:Poultry Science 73, (4) 1 April, Pages 495-501.p.

Kakhki, A. M., R., A. Golian, and H. Zarghi. (2016) Effect of dietary digestible lysine concentration on performance, egg quality, and blood metabolites in laying hens. In:*Journal. Applied Poultry Resarch* 25:506–517p; doi :10.3382/japr/pfw032

Karunajeewa, H. (1978) The performance of cross-bred hens given free choice feeding of whole grainsand a concentrate mixture and the influence of source of xanthophylls on yolk colour.In: *British Poultry Science* 19, 699-708.p. doi: 10.1080/00071667808416532

Kerschnitzki, M., Zander T., Zaslansky P., Fratzl P., Shahar R., and Wagermaier W.. 2014. “Rapid Alterations of Avian Medullary Bone Material During the Daily Egg-Laying Cycle.” In: *Bone*; 69, 109-117.p. doi: 10.1016/j.bone.2014.08.019.

Keshavarz Kavous and Jackson Mark E. (1992) Performance of Growing Pullets and Laying Hens Fed Low-Protein, Amino Acid-Supplemented Diets In:Poultry Science 71, (5) 1 May, 905-918p.

Keshavarz, K and S. Nakajima (1993) Revaluation of calcium and phosphorus requirements of laying hens for optimum performance and eggshell quality In: Poultry Science, 72: 144-153.p.

Keshavarz, K. (1998a) Investigation on the possibility of reducing protein, phosphorus, and calcium requirements of laying hens by manipulation of time of access to these nutrients. In:*Poultry Science* 77:1320-1332.p. doi: 10.1093/ps/77.9.1320

Keshavarz, K. (1998b) Further investigations on the effect of dietary manipulation of protein, phosphorus, and calcium for reducing their daily requirement for laying hens. In: *Poultry Science* 77: 1333-1346p. doi: 10.1093/ps/77.9.1333

- Keshavarz, K.; Austic, R.E. (2004) The Use of Low-Protein, Low-Phosphorus, Amino Acid- and Phytase-Supplemented Diets on Laying Hen Performance and Nitrogen and Phosphorus Excretion. In: *Poultry Science*, 83, 75–83.p.doi: 10.1093/ps/83.1.75
- Kidd M.T., P. B. Tillman, P. W. Waldroup and W. Holder (2013) Feed-grade amino acid use in the United States: The synergetic inclusion history with linear programming In: *Journal Applied Poultry Res.* 22 :583–590p.; doi: 10.3382/japr.2012-00690
- Kidd, M. (2004) Nutritional modulation of immune function in broilers. In: *Poultry Science*. 83:650–657.p.doi: 10.1093/ps/83.4.650
- Klein van der, S. A. S., J. A. More-Bayona, D. R. Barreda, L. F. Romero, and M. J. Zuidhof. (2020) Comparison of mathematical and comparative slaughter methodologies for determination of heat production and energy retention in broilers In: *Poultry Science* 99:3237–3250.p.
- Kleyn, F.J., Peter V. Chrystal, Mariana Ciacchiariello (2022) Energy systems and laying hens an evaluation of energy systems for the formulation of practical diets for laying hens, In: *Journal of Applied Poultry Research*, 31, (2), 1056-6171p.doi: 10.1016/j.japr.2022.100249.
- Klis van der, J. D., H.A.J. Versteegh, P.C.M. Simons, A. K. Kies, (1997) The efficacy of phytase in corn-soybean meal-based diets for laying hens. In: *Poultry Science* 76:1535–1542p. doi: /10.1093/ps/76.11.1535
- Krimpen van M.M.; van Binnendijk, G.P.; van Emous, M.A. (2018) Effect of Split-Feeding in Organic Layers on Phosphorus Excretion and Eggshell Quality; In: *Animal Nutrition Livestock Research Report*: Wageningen, The Netherlands.
- Larbier M., Leclercq M. (1994) Nutrition and Feeding of Poultry. Nottingham University Press, Loughborough /GB, 305 pp.
- Lee, K. H., and Y. S. Ohh. (2002) Effects of nutrient levels and feeding regimen of a.m. and p.m. diets on laying hen performances and feed cost. *Korean Journal Poultry Science* 29, 195–204.p.
- Lee, K.H.; Ohh, Y.S. (2002) Effects of Nutrient Levels and Feeding Regimen of a.m. and p.m. Diets on Laying Hen Performances and Feed Cost. In: *Korean Journal of Poultry Science*, 29 195–204 p.
- Leeson S., Summers J.D. (2001) Scott's Nutrition of the Chicken, 4th ed., University Books, Guelph, Ontario, Canada, 591 pp

Leeson S., Summers J.D. (2005) Commercial Poultry Nutrition, 3rd ed., Nottingham University Press, UK, 398 pp

Leeson, S. And Summers, J.D. (1979) Dietary Self-Selection by Layers. In: *Poultry Science* 58: 646-651p.doi: 10.3382/ps.0580646

Leeson, S.; Summers, J.D. (1978) Voluntary Food Restriction by Laying Hens Mediated through Dietary Self-selection In: *BritishPoultryScience*19(4) 19, 417–424p., doi: 10.1080/00071667808416496

Lemme, A., (2009) Amino acid recommendations for laying hens. In *Lohmann Information* 44, 21-32.p.

Lemme, A., H.S. Rostagno, A. Knox and A. Petri, (2004): Responses of laying hens to graded levels of dietary methionine. 22nd World's Poultry Congress, June 8-13, Istanbul, Turkey

Letícia Soares, Nilva Kazue Sakomura, Juliano Cesar de Paula Dorigam, Frank Liebert, Mariana Quintino do Nascimento, João Batista Kochenborger Fernandes (2019) Nitrogen maintenance requirements and potential for nitrogen retention of pullets in growth phase In: *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*Volume 103 (4) 1168-1173.p.

Lieboldt, M.-A., I. Halle, J. Frahm, L. Schrader, S. Weigend, R. Preisinger, G. Breves, and S. Danicke. (2015) Effects of graded dietary l-arginine supply on organ growth in four genetically diverse layer lines during rearing period.In: *Journal Poultry Science* doi: 10.2141/jpsa.0150131

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 In: *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 12, (20) doi: 10.1186/s40104-021-00550-w

Luck M.R. and C.G.Scenes,C. (1979) The relationship between reproductive activity and blood calcium in the calcium-deficient hen In: *British Poultry Science* 20(6) 559-564.p.

Macelline, S.P.; Chrystal, P.V.; Liu, S.Y.; Selle, P.H. (2021) The Dynamic Conversion of Dietary Protein and Amino Acids into Chicken-Meat Protein In: *Animals*, 11,2288.p. doi:0.3390/ani11082288

MacLeod, M. G. (2011)"Environmental sustainability of egg production and processing." Improving the Safety and Quality of Eggs and Egg Products In:*Woodhead Publishing*. 445-462.p.

Magyar Takarmánykódex: Országos Mezőgazdasági Minősítő Intézet., 2004.

- Mahmoud Alagawany, Mohamed E. Abd El-Hack, Muhammad Arif and Elwy A. Ashour (2016). Individual and combined effects of crude protein, methionine, and probiotic levels on laying hen productive performance and nitrogen pollution in the manure. In: *Environmental Science Pollution Research* 23, 22906–22913.p. doi:10.1007/s11356-016-7511-6
- Mahmoud Alagawany, Mohamed M. El-Hindawy, Mohamed E. Abd El-Hack, Mumammad Arif & Sabry A. El-Sayed (2020) Influence of low-protein diet with different levels of amino acids on laying hen performance, quality and egg composition, In: *Anais da Academia Brasileira de Ciências* ISSN 0001-3765 I Online ISSN 1678-2690.p. doi: 10.1590/0001-3765202020180230
- Marianne Hammershøj, Lotte B. Larsen, Richard H. Ipsen and Karsten B. Qvist (2001) Effect Of Hen Egg Production and Protein Composition On Textural Properties Of Egg Albumen Gels In: *Journal of Texture Studies*; 32, 105-129.p.
- Marquardt, R.R.; Ward, A.T.; Campbell, L.D. (1983) A Rapid High-Performance Liquid Chromatographic Method for the Quantitation of Uric Acid in Excreta and Tissue Samples. In: *Poultry Science* 62, (10), 2099-2105 p, doi: 10.3382/ps.0622099
- McNamara D.J. (2015) The Fifty Year Rehabilitation of the Egg. In: *Nutrients*.7(10)8716–8722p. doi: 10.3390/nu7105429.
- Micaela Sinclair-Black, R. Alejandra Garcia-Mejia, Lyssa R. Blair, Roselina Angel, Xabier Arbe, David Caverro, Laura E. Ellestad (2023) Circadian regulation of calcium and phosphorus homeostasis during the oviposition cycle in laying hens. In: *Poultry Science*.103(2) doi.org/10.1016/j.psj.2023.103209.
- Michael Denbow D. and Mark A. Cline (2015) Food Intake Regulation *Sturkie's Avian Physiology* (Sixth Edition) 469-485.p.
- Michael Kerschnitzki, Thomas Zander, Paul Zaslansky, Peter Fratzl, Ron Shahar and Wolfgang Wagermaier (2014) Rapid alterations of avian medullary bone material during the daily
- Mitchell HH. (1964) Comparative nutrition of man and domestic animals. New York: Academic Press;
- Molnár, A.; Hamelin, C.; Delezie, E.; Nys, Y. (2018a) Sequential and Choice Feeding in Laying Hens: Adapting Nutrient Supply to Requirements during the Egg Formation Cycle. In: *World's Poultry Science Journal* 74 (2)199–210 p. doi: 10.1017/S0043933918000247

- Molnár, A.; Kempen, I.; Sleenckx, N.; Zoons, J.; Maertens, L.; Ampe, B.; Buyse, J.; Delezie, E. (2018b) Effects of Split Feeding on Performance, Egg Quality, and Bone Strength in Brown Laying Hens in Aviary System. In: *Journal Applied Poultry Research*, 401–415.p.
- Molnár, A.; Maertens, L.; Ampe, B.; Buyse, J.; Zoons, J.; Delezie, E.(2018c) Effect of Different Split-Feeding Treatments on Performance, Egg Quality, and Bone Quality of Individually Housed Aged Laying Hens. In: *Poultry Science* 97(1) 88-101 p. doi: 10.3382/ps/pex255
- Molnár, A.; Maertens, L.; Ampe, B.; Buyse, J.; Zoons, J.; Delezie, E. (2017) Supplementation of Fine and Coarse Limestone in Different Ratios in a Split Feeding System: Effects on Performance, Egg Quality, and Bone Strength in Old Laying Hens In: *Poultry Science* 97(1). doi:10.3382/ps/pew424
- Mongin, P. And Sauveur, B. (1974) Voluntary food and calcium intake by the laying hen. In: *British Poultry Science* 15: 349-359p. doi: 10.1080/00071667408416118
- Moshtaghian, J., C. M. Parsons, R. W. Leeper, P. C. Harrison, and K. W. Koelkebeck (1991) Effect of sodium aluminosilicate on phosphorus utilization by chicks and laying hens. In: *Poultry Science* 70:955–962.p. doi: 10.3382/ps.0700955
- Mousavi, S., A. Afsar, S. Khalaji, and M. Abbasi (2018) Estimation of digestible tryptophan: lysine ratios for maximum performance, egg quality and welfare of white-egg-laying hens by fitting the different nonlinear models. In: *Journal of Applied Animal Research*. Res. 46:411–416.p.
- Mozos De Los, J.; Navarro-Villa, A.; García-Ruiz, A.I. (2015) Splitfeeding System Reduces Second Grade Eggs in the Late Production Phase of Laying Hens. In Proceedings of the 20th European Symposium on Poultry Nutrition, Prague, Czech Republic, 24–27 August 2015.
- Muramatsu, T.; Hiramoto, K.; Okumura, J. (1991) Changes in Ovalbumin and Protein Synthesis In Vivo in the Magnum of Laying Hens during the Egg Formation Cycle In: *Comparative Biochemistry and physiology. B, Comparative Biochemistry*, doi: 10.1016/0305-0491(91)90019 141–146 p.
- Musigwa, S., N. Morgan, R. Swick, P. Cozannet, and S-B. Wu. (2021) Optimization of dietary energy utilisation for poultry – a literature review. In: *World's Poultry Science Journal* 77:5–27.p.doi: 10.1080/00439339.2020.1865117
- National Research Council (NRC), 1994: Nutrient requirements of poultry, 9th revised ed., National Academie Press, Washington, D. C., 155 pp.

- Nelson, T. S., (1976) The hydrolysis of phytate phosphorus by chicks and laying hens. In: *Poultry Science* 55, (6), 2262-2264 p. doi: 10.3382/ps.0552262
- Noblet, J. (2015). Comparative interests and limits of metabolizable energy and net energy for evaluating poultry and pig feeds. Proceedings of 20th. ESPN, Prague.
- Novak C., H.M. Yakout, S.E. Scheideler (2006) The Effect of Dietary Protein Level and Total Sulfur Amino Acid:Lysine Ratio on Egg Production Parameters and Egg Yield in Hy-Line W-98 Hens1, In:*Poultry Science*,85(12)2195-2206p, doi:10.1093/ps/85.12.2195.
- Novak, C., H. Yakout, and S. Scheideler (2004): The Combined Effects of Dietary Lysine and Total Sulfur Amino Acid Level on Egg Production Parameters and Egg Components 83, (6)977-984p.
- Nys, Y.; Guyot, N. 6 (2011) Egg Formation and Chemistry. In: *Improving the Safety and Quality of Eggs and Egg Products*; 83–132 p. doi: 10.1533/9780857093912.2.83
- O'dell, B.L., Woods, W.D., Laerdal, O.A., Jeffay, A.M., Savage, J.E. (1960) Distribution of the major nitrogenous compounds and amino acids in chicken Urine1. *Poultry Science* 39: 426–432.p. doi: 10.3382/ps.0390426
- OECD/FAO. (2023). OECD-FAO Agricultural Outlook 2023-2032, OECD Publishing, Paris.
- Olver, M.D. And Malan, D.D. (2000) The effect of choice-feeding from 7 weeks of age on the production characteristics of laying hens.In: *South African Journal of Animal Sciences* 30: 110-114.p.
- Ouart, M.D., Marion, J.E. And Harms, R.H. (1986) Influence of Wheat Particle Size in Diets of Laying Hens.In: *Poultry Science*: 1015-1017p.doi: 10.3382/ps.0651015
- Parsons A.H. and Combs G.F. Jr. (1981) Blood Ionized Calcium Cycles in the Chicken In: *Poultry Science* ,7, 1520-1524.p.
- Payne, CG (1967): The influence of environmental temperature on egg production; a review. In: Environmental control in poultry production, Ed. T.C. Carter. Pbl. Lomgmans. London., 40-54.p.
- Péczei, P. (1987). A madarak szaporodásbiológiája. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- Peganova, S.; (2002) Eder, K. Studies on Requirement and Excess of Isoleucine in Laying Hens. In: *Poultry Science*. Volume 81, Issue 11, 1714–1721 p. doi: 10.1093/ps/81.11.1714

Peters, J.; Combs, S.; Hoskins, B.; Jarman, J.; Kovar, J.; Watson, M.; Wolf, A.; Wolf, N. (2003) Recommended Methods for Manure Analysis. In Proceedings of the ASA-CSSA-SSSA Annual Meeting Abstracts, Denver, CO, USA, 2–6 november; ASA-CSSASSSA: Madison, WI, USA, 25–29 p.

Polnische Akademie der Wissenschaften (PAN) (2005) Nährstoffbedarf des Geflügels-Nährwert der Futtermittel und Fütterungsempfehlungen, 4th ed., Kielanowski-Institut für Tierphysiologie und Ernährung, Jablonna/Warszawa, 135 pp (in Polish).

Poore, J., & Nemecek, T. (2018). Reducing food's environmental impacts through producers and consumers In: *Science*, 360(6392), 987-992.p.

Poudel, I.; McDaniel, C.D.; Schilling, M.W.; Pflugrath, D.; Adhikari, P.A. (2022) Role of Conventional and Split Feeding of Various Limestone Particle Size Ratios on the Performance and Egg Quality of Hy-Line® W-36 Hens in the Late Production Phase. In: *Animal Feed Science and Technology*. doi: 10.1016/j.anifeedsci.2021.115153

Powell, S., T. Bidner, and L. Southern. (2009.) The interactive effects of glycine, total sulfur amino acids, and lysine supplementation to corn-soybean meal diets on growth performance and serum uric acid and urea concentrations in broilers. In: *Poultry Science* 88:1407–1412.p. doi: 10.3382/ps.2008-00433

Réhault-Godbert S, Guyot N, Nys Y. The Golden Egg: Nutritional Value, In: *Bioactivities, and Emerging Benefits for Human Health. Nutrients*.11(3):684. doi: 10.3390/nu11030684.

Report. Defra Research Project IS0205. Bedford: Cranfield University and Defra. www.silsoe.cranfield.ac.uk or www.defra.gov.uk

Reynolds, C. (2000). Measurement of energy metabolism 87–107p. In *Feed Evaluation: Methods, Systems and Models*. M. K. Theodorou, and J. France, eds. CAB International, Wallingford, UK

Robinson, D. (1985) Performance of laying hens as affected by split time and split composition dietary regimens using ground and unground cereals. In: *British Poultry Science* 26: 299-309.p. doi: 10.1080/00071668508416818

Rodehutscord, M., Vera Sommerfeld, C. Roselina Angel, Douglas R. Korver (2023) Minimum phosphorus requirements for laying hen feed formulations. In: *Poultry Science*, 102, (2) 102344, <https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.102344>.

- Roland, D. A., Sr., M. M. Bryant, And H. W. Rabon (1996) Influence of Calcium and Environmental Temperature on Performance of First-Cycle (Phase 1) Commercial Leghorns In: *Poultry Science* 75:62-68p. doi: 10.3382/ps.0750062
- Roland, DA, Sr. (1988) Egg shell quality III: Calcium and phosphorus requirements of commercial leghorns In: *World's Poultry Science Journal*, 42 154-156.p.
- Roland, Sr. D.A, M. M. Bryant, J. X. Zhang, D. A., Jr. Roland and J. Self (1999) Econometric feeding and management of commercial Leghorns: optimizing profits using new technology; In: *Egg nutrition and biotechnology*, 463-472.p.
- Rosemary Spencer Marilyn Charman; Peter W. Wilson; D.and Eric M. Lawson (1978) The relationship between vitamin D-stimulated calcium transport and intestinal calcium-binding protein in the chicken In: *Biochem Journalist*; 170 (1): 93–101.p.
- Rostagno, H. S., L. F. T. Albino, HI. Hannas, J. L. Donzele, N. K. Sakomura, F. G. Perazzo, A. Saraiva, M. L. T. de Abreu, P. B. Rodrigues, R. F. de Oliveira, S. L. Barereto, and C. O. Brito. (2017) Brazilian Tables for Poultry and Swine. Universidade Federal de Vicosa, Brazil.
- Roush, W., B.M. Mylet, JL. Rosenberger and J. Derr(1986) Investigation of calcium and available phosphorus requirements for laying hens by response surface methodology In: *Poult Science*, 65: 964-970.p.
- Ryden, J. C., J. K. Syers, and R. F. Harris, (1973.) Pages 1–44 in: *Advances in Agronomy*. Vol. 25. Academic Press, New York, NY doi: 10.1016/S0065-2113(08)60777-4
- Santonja, G.S.; Georgitzikis, K.; Scalet, B.M.; Montobbio, P.; Roudier, S.; Delgado, S.L. Best Available Techniques (BAT) (2017) Reference Document for the Intensive Rearing of Poultry or Pigs.In: *Industrial Emissions Directive 2010/75/EU (Integrated Pollution Prevention and Control)*; European Parliament and of the Council: Brussels, Belgium,
- Santoso, U.; Ohtani, S.; Tanaka, K.; Sakaida, M. (1999) Dried *Bacillus Subtilis* Culture Reduced Ammonia Gas Release in Poultry House. Asian-Australas. J. In: *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*,12 (5) 806–809 p. doi: 10.5713/ajas.1999.806
- Sato, H., T.Kobayashi, R.W.Jones, and R.A.Easter (1987) Tryptophan Availability of Some Feedstuffs Determined by Pig Growth Assay In: *Journal.Animal Science*.64:191–200.p.

- Sawadogo, M.L., A.Piva, A.Panciroli, E.Meola, Mordenti, B. S (1997) Marginal efficiency of free or protected crystalline L-tryptophan for tryptophan and protein accretion in early-weaned pigs. In: *Journal Animal Science* 75:1561–1568. p. doi: 10.2527/1997.7561561x
- Schutte, J. B. and W. Smink (1998) Requirement of the Laying Hen for Apparent Fecal Digestible Lysine In: *Poultry Science* 77:697–701, doi: 10.1093/ps/77.5.697
- Schutte, J. V., and E. Van Weerden (1978) Requirement of the hen for sulphur-containing amino acids In: *Broiler Poultry Science* 19:573–581.p.
- Schwarz, G., (1994) Phytase supplementation and waste management. Pages 21–44 in: Proceedings BASF Symposium Arkansas Nutrition Conference. BASF Corp., Mount Olive, NJ.
- Selle, P. H., A. J. Cowieson, and V. Ravindran. (2009) Consequences of calcium interactions with phytate and phytase for poultry and pigs. *Livest. In: Science*. 124:126–141.p. doi: 10.1016/j.livsci.2009.01.006
- Shafer D.J., J.B. Carey, J.F. Prochaska (1996) Effect of Dietary Methionine Intake on Egg Component Yield and Composition¹, In: *Poultry Science*, 75(9)1080-1085p, doi:10.3382/ps.0751080.
- Shafer DJ., JB Carey, JF Prochaska, AR Sams (1998) Dietary methionine intake effects on egg component yield, composition, functionality, and texture profile analysis, In: *Poultry Science*, 77, (7)1056-1062p, doi:10.1093/ps/77.7.1056.
- Shafey, T.M.; McDonald, M.W. (1991) The effects of dietary calcium, phosphorus, and protein on the performance and nutrient utilisation of broiler chickens. In: *Poultry Science* 70, 548–553p.
- Shim, M.Y.; Song, E.; Billard, L.; Aggrey, S.E.; Pesti, G.M.; Sodsee, P. (2013) Effects of Balanced Dietary Protein Levels on Egg Production and Egg Quality Parameters of Individual Commercial Layers In: *Poultry Science*. 92 (10) 2687–2696 p. doi: 10.3382/ps.2012-02569
- Shires, J.R. Thompson, B.V. Turner, P.M. Kennedy, Y.K. Goh (1987) Rate of Passage of Corn-Canola Meal and Corn-Soybean Meal Diets Through the Gastrointestinal Tract of Broiler and White Leghorn Chickens, *Poultry*, In: *Science* 66(2), 289-298, p. doi:10.3382/ps.0660289.
- Silva, L., A. Murakami, J. Fernandes, D. Dalla Rosa, and J. Ugnani. (2012) Effects of dietary arginine supplementation on broiler breeder egg production and hatchability In: *Brazilian Journal Poultry Science* 14:267–273p. doi: 10.1590/S1516-635X2012000400006

- Sohan S. Jande, L. Maler & D. Eric M. Lawson (1981) Immunohistochemical mapping of vitamin D-dependent calcium-binding protein in brain In: *Nature*; 294, 765–767.p.
- Soomro R.N, J. Yao, M. E. Abd El-Hack, M. Asif Arain, I. H. R. Abbasi, M. Saeed, S. A. Soomro, M. A. E. Mohamed, R. Hu, Y. Qiao, X. Yang, M. Alagawany, V. Laudadio, K. Dhama and V. Tufarelli (2018) Significance of endogenous amino acid losses in the nutrition of some poultry species: a review In: *The Journal of Animal & Plant Sciences*, 28(6): Page: 1547-1557p., ISSN: 1018-7081
- Summers, J. D., (1995) Reduced dietary phosphorus levels for layers. In: *Poultry Science* 74:1977–1983p. doi: 10.3382/ps.0741977
- Tauson, R. And Elwinger, K. (1986) Prototypes for Application of Choice Feeding in Caged Laying Hens Using Flat Chain Feeders. In: *Acta Agriculturae Scandinavica* 36: 129-146p. doi: 10.1080/00015128609436518
- Taylor, T.G., Belanger, L.F. (1969) The mechanism of bone resorption in laying hens In: *Calcified Tissue International and Musculoskeletal Research* 4, 162–173.p. doi:10.1007/BF02279117
- Traineau M, Bouvarel I, Mulsant C, Roffidal L, Launay C, Lescoat P. (2015) Modulation of energy and protein supplies in sequential feeding in laying hens. In: *Animal*. 9(1):49-57p. doi: 10.1017/S1751731114002092
- Traineau, M., I. Bouvarel, C. Mulsant, L. Roffidal, C. Launay, and P. Lescoat (2013) Effects on performance of ground wheat with or without insoluble fiber or whole wheat in sequential feeding for laying hens In: *Poultry Science* 92 :2475–2486p. doi: 10.3382/ps.2012-02871
- Trevisi , P., Corrent E., Mazzoni M., Messori S., Priori D., Gherpelli Y., Simongiovanni A., Bosi P. Effect of added dietary threonine on growth performance, health, immunity and gastrointestinal function of weaning pigs with differing genetic susceptibility to *Escherichia coli* infection and challenged with *E. coli* In: *Journal Animal Physiology Animal Nutritional* 99:511–520.p. doi: 10.1111/jpn.12216.
- Umar Faruk, M., Bouvarel, I., Mème, N., Rideau, N., Roffidal, L., Tukur, H.M., Bastianelli, D., Nys, Y. and Lescoat, P. (2010a) Sequential feeding using whole wheat and a separate protein-mineral concentrate improved feed efficiency in laying hens. In: *Poultry Science* 89: 785-96.p. doi:10.3382/ps.2009-00360

- Umar Faruk, M., Bouvarel, I., Meme, N., Roffidal, L., Tukur, H.M., Nys, Y. Andlescoat, P. (2010b) Adaptation of wheat and protein-mineral concentrate intakes by individual hens fed ad libitum sequential or in loose-mix systems. In: *British Poultry Science* 51: 811-820.p. doi:10.1080/00071668.2010.532772
- Umar Faruk, M.; Bouvarel, I.; Mallet, S.; Ali, M.N.; Tukur, H.M.; Nys, Y.; Lescoat, P. (2011) Is Sequential Feeding of Whole Wheat More Efficient than Ground Wheat in Laying Hens In: *Animals*, 5(2) 230–238 p. doi: 10.1017/S1751731110001837
- Velde, J.P. van de J.P.W Vermeiden, J.J.A. Touw and J.P. Veldhuijzen (1984) Changes in activity of chicken medullary bone cell populations in relation to the egg-laying cycle In: *Metabolic Bone Disease and Related Research*; 5,91-193.p.
- Venter K.M., R. Angel, D.R. Korver, M. Cunha and P.W. Plumstead (2025) Implementation of a digestible calcium system: Why is it needed and where are we? In: *Journal of Applied Poultry Research* 34(2), doi.org/10.1016/j.japr.2025.100529
- Venter, K.M., R. Angel, D.R. Korver, M. Cunha, P.W. Plumstead, Implementation of a digestible calcium system: Why is it needed and where are we? *Journal of Applied Poultry Research*, 34(2), 2025, 100529, ISSN 1056-6171, doi.org/10.1016/j.japr.2025.100529.
- Viney P. Aneja, William H. Schlesinger and Jan Willem Erisman (2006) Effects of Agriculture upon the Air Quality and Climate: Research, Policy, and Regulations In: *Environmental Science & Technology*, 12, 4219-4612.p.
- Vogt H. (1987) Fütterung des Geflügels. In: Scholtyssek S. (Hrsg.) Geflügel, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, pp 216-311p.
- Waldroup P.W. and Hellwig H.M(2000): The Potential Value of Morning and Afternoon Feeds for Laying Hens, In: *Journal of Applied Poultry Research* 9(1), 98-110.p. doi: 10.1093/japr/9.1.98
- Wang, W., Zeng X., Mao X., Wu G., Qiao S. (2010) Optimal dietary true ileal digestible threonine for supporting the mucosal barrier in small intestine of weanling pigs in: *The Journal of Nutrition* 2010; 140:981–986. doi: 10.3945/jn.109.118497.
- Wen, J., A. Helmbrechtisa, M. Elliot, J. Thomson, and M. Persia. (2019a). Evaluation of the tryptophan requirement of small-framed first cycle laying hens. In: *Poult. Sci.* 98:1263–1271.p; doi: 10.3382/ps/pey447

Whitehead C.C. (2004) Overview of Bone Biology in the Egg-Laying Hen In: *Poultry Science* 83:193–199.p.

Wijtten, P. J. A., A. Lemme, and D. J. Langhout. (2004). Effects of different dietary ideal protein levels on male and female broiler performance during different phases of life: single phase effects, carryover effects, and interactions between phases. In: *Poult. Sci.* 83:2005–2015.p.

William Lambert, Julio Diaz Berrocoso, Bart Swart, Marije van Tol, Erik Bruininx and Els Willems (2023) Reducing dietary crude protein in broiler diets positively affects litter quality without compromising growth performance whereas a reduction in dietary electrolyte balance further improves litter quality but worsens feed efficiency In: *Animal Feed Science and Technology*; 297, 115571 doi: 10.1016/j.anifeedsci.2023.115571

Williams, a.g., Audsley, e. and Sandars, d.l. (2006), Determining the environmental burdens and resource use in the production of agricultural and horticultural commodities, Main Report. Defra Research Project IS0205. Bedford: Cranfield University and Defra. www.silsoe.cranfield.ac.uk or www.defra.gov.uk

Wilson S. and S.R.I. Duff (1990) Morphology of medullary bone during the egg formation cycle In: *Research in Veterinary Science*; 48; 216-220.p.

Wu G., Z. Liu, M.M. Bryant and D.A. Roland, St. (2005) Performance Comparison and Nutritional Requirements of Five Commercial Layer Strains in Phase IV. In: *International Journal of Poultry Science* 4 (4): 182-186.p.

Wu, G. (2009) Amino acids: metabolism, functions, and nutrition. In: *Amino Acids* 37, 1–17.p. doi:10.1007/s00726-009-0269-0

Wu-Haan, W., W. J. Powers, C. R. Angel, C. E. Hale III, and T. J. Applegate (2007) Effect of an Acidifying Diet Combined with Zeolite and Slight Protein Reduction on Air Emissions from Laying Hens of Different Ages In: *Poultry Science* 86:182–190.p. doi: 10.1093/ps/86.1.182

Wurtman, R. J., F. Hefti, and E. Melamed. (1980) Precursor control of neurotransmitter synthesis. In: *Pharmacol. Rev.* 32:315–335.p. doi:10.1016/S0031-6997(25)06841-3

Xiaoran Li, Chong Wang, Shunying Li, Liyang Zhang, Xiudong Liao, Lin Lu, (2024) Low protein diet influences mineral absorption and utilization in medium-growing yellow-feathered broilers from 1 to 30 days of age, In: *Poultry Science*, 103(12)104512p. doi: 10.1016/j.psj.2024.104512.

Youssef, S. F., S. Shaban, and I. I. Inas. (2015) Effect of l-arginine supplementation on productive, reproductive performance, immune response and gene expression in two local chicken strains: 1-egg production, reproduction performance and immune response. Egypt. In: *Poultry Science* 35:573–590.p.

Yu, J., H. Yang, Z. Wang, H. Dai, L. Xu, and C. Ling. (2018) Effects of arginine on the growth performance, hormones, digestive organ development and intestinal morphology in the early growth stage of layer chickens. Ital. In: *J. Animal. Science*. 17:1077–1082.p. doi: 10.1080/1828051X.2018.1434692

Yuan, C., J. Li, Y. Ding, Q. He, H. Yan, J. Lu, and X. Zou. (2015.) Estimation of L-arginine requirement for Xinyang Black laying hens from 33 to 45 weeks of age. In: *Journal Applied Poultry Research*. doi: 10.3382/japr/pfv049

Zhang B, Coon CN (1997) The relationship of calcium intake, source, size, solubility in vitro and in vivo, and gizzard limestone retention in laying hens In. *Poultry Science* 76, (12), 1702-1706.p. doi: 10.1093/ps/76.12.1702

11. Köszönetnyilvánítás

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



Köszönettel tartozom Dr. Pál Lászlónak, aki elindított szakmai pályámon és vezet rajta, köszönöm az elmúlt 10 év közös munkáját, szakdolgozatomat, diplomadolgozatomat és disszertációm.

Köszönettel tartozom a MATE ÉTI Takarmányozástani és Takarmányozás-élettani Tanszék (Georgikon Campus) összes munkatársának, kiemelten Dr. Husvéth Ferencnek és Dr. Dubleczy Károlynak, továbbá Dr. Such Nikolettának, akiknek mindig van egy kedves szava és segítő gondolata hozzám. Szeretnék köszönetet mondani Szegleti Csabának is, hogy segítségével a Georgikon diákja lehettem.

Köszönöm Ábrahám Tamás és Osvald József segítségét az állatkísérletek sikeres lebonyolításában.

Szeretném megköszönni az UBM FEED Zrt. hosszú éves támogató munkáját, különös köszönettel tartozom Bustyaházai Lászlónak. Janecskó Szilvia mentoromnak külön köszönöm, hogy mindig támogatott és segített.

Továbbá hálás köszönettel tartozom családomnak édesanyámnak, édesapámnak, bátyámnak és nagymamámnak, akik mindig velem voltak és támogattak ezen a hosszú úton. Külön köszönet páromnak, aki végig kísért és segített a dolgozat megírásában.