DOKTORI (PhD) ÉRTEKEZÉS

TISCHLER ANNAMÁRIA

KAPOSVÁRI EGYETEM

AGRÁR- ÉS KÖRNYEZETTUDOMÁNYI KAR

Kaposvár

2018

KAPOSVÁRI EGYETEM

AGRÁR- ÉS KÖRNYEZETTUDOMÁNYI KAR

Takarmányozástani Intézeti Tanszék

Doktori Iskola vezető

PROF. DR. KOVÁCS MELINDA

akadémikus

témavezető

PROF. DR. TOSSENBERGER JÁNOS

egyetemi tanár

társ-témavezető

DR. HALAS VERONIKA

egyetemi docens

HOSSZÚ TERMELÉSRE PREDESZTINÁLT TOJÓHIBRIDEK TELJESÍTMÉNYÉNEK ÉS TOJÁSHÉJ MINŐSÉGÉNEK VIZSGÁLATA A FOSZFORELLÁTÁS FÜGGVÉNYÉBEN, A NYÚJTOTT TOJÓIDŐSZAKBAN

Kaposvár

2018

DOI: 10.17166/KE2019.014

Tartalomjegyzék

1. BEVEZETÉS 5

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS 8

2.1 MODERN TOJÓHIBRIDEK 8

2.2 TOJÓTYÚKOK KALCIUM ÉS FOSZFOR FORGALMA, AZ ÁSVÁNYIANYAGOK METABOLIZMUSÁNAK JELLEMZŐI 12

2.3 A TOJÓTYÚKOK FOSZFOR SZÜKSÉGLETE 14

2.4 A TOJÓTYÚKOK TAKARMÁNYÁNAK FITÁZ ENZIM KIEGÉSZÍTÉSE 20

2.5 KALCIUM ÉS FOSZFOR FORGALMI VIZSGÁLATOK ÉS JELENTŐSÉGÜK 28

2.6 AZ IRODALOMBÓL LEVONHATÓ KÖVETKEZTETÉSEK 31

2.7 CÉLKITŰZÉSEK 32

3. ANYAG ÉS MÓDSZER 33

3.1 KÜLÖNBÖZŐ GENOTÍPUSÚ TOJÓTYÚKOK TELJESÍTMÉNYÉNEK ÉS A TOJÁSHÉJ MINŐSÉGÉNEK VIZSGÁLATA A NYÚJTOTT TERMELÉS SORÁN, ELTÉRŐ FOSZFOR-ELLÁTÁS ESETÉN 34

3.1.1 KÍSÉRLETI ÁLLATOK ÉS ELHELYEZÉSÜK, ETETETT TAKARMÁNYOK 34

3.1.2 ALAPADATOK FELVÉTELE 35

3.1.3 ALKALMAZOTT STATISZTIKAI MÓDSZER 37

3.2 A KUKORICÁBAN ÉS AZ EXTRAHÁLT SZÓJADARÁBAN LÉVŐ FITIN-P LEBOMLÁSI KINETIKÁJÁNAK *IN VITRO* VIZSGÁLATA KÜLÖNBÖZŐ MÉRTÉKŰ FITÁZ KIEGÉSZÍTÉS ESETÉN 38

3.2.1 ALKALMAZOTT ENZIM 38

3.2.2 ENZIM AKTIVITÁS TESZT 38

3.2.3 REAKCIÓ VIZSGÁLAT 39

3.3 A TOJÓTYÚKOK TELJESÍTMÉNYÉNEK ÉS A TOJÁSHÉJ MINŐSÉG, VALAMINT A CSONTMINERALIZÁCIÓ VIZSGÁLATA A TAKARMÁNY NPP TARTALMÁNAK ÉS A NPP FORRÁSÁNAK FÜGGVÉNYÉBEN 41

3.3.1 KÍSÉRLETI ÁLLATOK ÉS ELHELYEZÉSÜK, ETETETT TAKARMÁNYOK 41

3.3.2 ALAPADATOK FELVÉTELE 43

3.3.3 ALKALMAZOTT STATISZTIKAI MÓDSZER 45

4. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK 46

4.1 A GENOTÍPUS ÉS AZ ELTÉRŐ P-ELLÁTÁS HATÁSA A TOJÓTYÚKOK TELJESÍTMÉNYÉRE ÉS A TOJÁSHÉJ MINŐSÉGÉRE HOSSZÚ TOJÁSTERMELÉSI IDŐSZAKBAN 46

4.2 FITÁZ ENZIM KIEGÉSZÍTÉS DÓZISFÜGGŐ HATÁSA A FELSZABADÍTOTT P-TARTALOMRA, AZ INKUBÁCIÓS IDŐ FÜGGVÉNYÉBEN 56

4.3 AZ ELTÉRŐ NPP-SZINTEK ÉS A FITÁZ KIEGÉSZÍTÉS HATÁSA A TERMELÉSI PARAMÉTEREKRE ÉS A HÉJMINŐSÉGRE A NYÚJTOTT TERMELÉSI IDŐSZAK UTOLSÓ 6 HÓNAPJÁBAN 62

4.4 KÜLÖNBÖZŐ NPP ELLÁTÁS HATÁSA A CSONT MINERALIZÁCIÓRA ELTÉRŐ GENOTÍPUSÚ TOJÓKNÁL A NYÚJTOTT TOJÁSTERMELÉS UTOLSÓ 6 HÓNAPJÁBAN 75

4.4.1 AZ *IN VIVO* CT VIZSGÁLAT EREDMÉNYE 75

4.4.2 A *TIBIA* FIZIKAI VIZSGÁLATÁNAK EREDMÉNYEI 78

5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK 82

5.1 AZ ELSŐ VIZSGÁLATBÓL LEVONHATÓ KÖVETKEZTETÉSEK 82

5.2 A MÁSODIK VIZSGÁLATBÓL LEVONHATÓ KÖVETKEZTETÉSEK 83

5.3 MÁSODIK VIZSGÁLATBÓL LEVONHATÓ KÖVETKEZTETÉSEK 83

6. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK 86

7. ÖSSZEFOGLALÁS 87

8. SUMMARY 94

9. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS 100

10. IRODALOMJEGYZÉK 101

11. A DISSZERTÁCIÓ TÉMAKÖRÉBEN MEGJELENT PUBLIKÁCIÓK 111

12. A DISSZERTÁCIÓ TÉMAKÖRÉN KÍVÜL MEGJELENT PUBLIKÁCIÓK 113

13. SZAKMAI ÖNÉLETRAJZ 115

14. MELLÉKLETEK 116

1. BEVEZETÉS

A világ tojáspiaci igényei megoszlanak: az USA-ban (és az európai országok közül Görögországban) főként a fehér héjú, Európában viszont a barna héjú tojást részesítik előnyben a fogyasztók. A fehér leghorn fajtából kialakított hibridek éves tojástermelése 300 db feletti, amely a teljes termelési évre vonatkozóan 80% körüli intenzitást jelent (Lamuno és mtsai, 2017), kifejlett kori testtömegük átlagosan 1900 gramm, a tojások egyedi tömege 58-62 gramm közötti. Takarmányértékesítésük 2,05-2,1 kg/kg. A barnahéjú tojást tojó hibridek nyugodt vérmérsékletű tyúkok, testtömegük a leghornénál 10-20%-kal nagyobb, tojásaik egyedi tömege valamivel (1,0-1,5 g) meghaladja a leghornét. Egy kilogramm tojás előállításához 2,1-2,15 kg takarmányt igényelnek. A kurrens fehér- és barnahéjú tojást tojó hibridek: Tetra-SL LL, ISA brown, ISA white, Lohmann Classic, Lohmann LSL-Classic.

A világ tojástermelésében vezető szerepet játszó fajták között tehát ott találjuk a magyar Tetra hibrideket. Hazai tekintetben a Tetra - Magyarországon a barna héjú tojást tojó, rhode típus - vonalai adják a tojás előállítás zömét. A hazai tyúktojás-termelést és fogyasztást az *1. táblázat* mutatja be (ksh.hu).

1. táblázat A hazai étkezési célú tyúktojás-termelés és –fogyasztás alakulása (ksh.hu)

Étkezési célú tyúktojás-termelés			
Év	**2014**	**2015**	**2016**
Millió db	2420	2555	2527
Tyúktojás-fogyasztás			
Év	**2014**	**2015**	**2016**
Db/fő	221	229	234

A fogyasztás növekedése más országokban is megfigyelhető, mely több dologra vezethető vissza. Egyrészt a tojást az egészséges élelmiszerek között tartják számon, így az egyre növekvő számú egészségtudatos fogyasztók miatt is nő a fogyasztás annak ellenére, hogy sok esetben a funkcionális élelmiszerként jegyzett termék esetleg magasabb árú. Az elmaradottabb régiókban viszont a tojásfogyasztás növekedése a húsfogyasztás csökkenését próbálja ellensúlyozni. Ebben az esetben éppen a tojásnak a húshoz képest

alacsonyabb ára az, ami vonzóvá teszi. A tojásfogyasztás folyamatos növekedése ellenére az Európai Unióban az ágazatnak nagy próbatételt jelentettek a hektikusan változó takarmány árak, a szigorodó élelmiszer-biztonsági és állatjóléti előírások, valamint a fogyasztói igények változása (Pascale, 2009).

Mivel a modern tojóhibridek átlagos éves tojástermelése a csúcstermeléstől számítva, 90% felett van és a klasszikus 12 hónapos tojóidőszak végén is meghaladják a 80%-ot, ezért az utóbbi években a tojótyúkok termelési időszakát megnyújtották. A beólazás és a tojástermelés megindulása ugyanúgy 19-20 hetesen történik, azonban a madarakat csak 90 élethetes koruk után selejtezik le, miközben a törvényi szabályozásnak megfelelően nem vedletnek. Az erre alkalmas tojóhibridek nyújtott termelési időszakra vonatkozó tojástermelési intenzitására jelenleg csak a tenyésztő cégek által kiadott technológiai ismertetők szolgáltatnak adattal.

Az egy évnél hosszabb tojástermelési időszak takarmányozási szempontból rendkívül összetett. Ismert, hogy az intenzív tojóhibridek által termelt tojásmassza a klasszikus termelés esetén is a madarak testtömegének több mint tízszerese, miközben saját testtömegét csak alig egyharmadával növeli a madár. Biológiai sajátosság, hogy a tojótyúk korának előrehaladtával a tojás súlya folyamatosan nő, amit azonban a takarmányok összetételével korlátozni tudunk. A tojás súlyának növekedése miatt, valamint a madarak ásványianyag forgalomban bekövetkező változásának köszönhetően a tojástermelés végén a tojáshéj minősége jellemzően romlik. Az egy éven túli, nyújtott tojástermelési időszakban különösen nagy hangsúlyt kell fektetni a repedt vagy törött tojások arányának visszaszorítására annak érdekében, hogy a termelés gazdaságossága ne romoljon.

A tojótyúkok esetében a kiesések nagy része a madarak ásványianyag forgalmához kötődő problémákra vezethető vissza, a tojástermelés során ugyanis a csontok Ca raktárként szolgálnak a mészhéj felépítéséhez. A csontban tárolt Ca felszabadításával a tojótyúk a P készleteinek egy részét is mobilizálja, ezért, bár a tojáshéjképződés nem igényel jelentős P mennyiséget, az ásványianyag-forgalmi zavarok hátterében a Ca mellett a P-nak is szerepe lehet. Elégtelen Ca ellátás esetén a madár nem csak az úgynevezett medulláris csontállományt használja fel a tojáshéj képzéséhez, hanem a kortikális, azaz a kemény csontállományt is részben demineralizálja, így az intenzív állományokban nem megfelelő takarmányozás mellett a

csontképződési zavarok, elsősorban az osteoporozis nagyobb arányban megfigyelhető (Whitehead és Fleming, 2000).

Az optimális P ellátás meghatározása során feltétlenül tekintettel kell lenni arra, hogy a tojótyúkok, főként gabona magvakból álló abraktakarmány keverékeiben, különösen kukorica-szója alapú keverék esetében a foszfor nagy része fitinsavhoz kötött formában van jelen. Ez a szerves kötésben lévő P nem hozzáférhető a monogasztrikus állatok számára. A fitin kötést ugyanis csak a fitáz enzim képes bontani. Ez az enzim azonban a tojótyúk emésztő rendszerében nem, vagy csak igen kis mennyiségben található meg (Vats és Banerjee, 2004., Liebert és mtsai, 2005). Az abrakkeverékek fitáz enzimmel való kiegészítése esetén a kötött állapotban lévő fitin-foszfor jelentős része (~55%-a – Dersjant-Li és mtsai, 2015) szabaddá válik és hozzájárul a madár P ellátásához.

A tojótyúkok P szükségletére vonatkozó irodalmi adatok alapján megállapítható, hogy az egy éves tojástermelési időszakban a nemzetközi ajánlásokhoz képest kisebb P ellátás is kielégíti a tojótyúkok igényét. Nincs, vagy rendkívül kevés azonban azoknak a publikációknak a száma, amelyek a nyújtott, vagyis az egy éven túli tojóidőszakban szükséges P ellátást vizsgálták.

Ezért a doktori munka fő célkitűzése, hogy hiánypótló adatokat szolgáltasson arról, hogy miképpen befolyásolja a tojótyúkok P ellátása a tojástermelést és a tojáshéj minőségét a nyújtott (18 hónapos perzisztenciájú) termelési időszakban, különös tekintettel annak egy év utáni időszakában. Kutatásom kiterjedt a madarak csontozatának vizsgálatára is, annak érdekében, hogy teljesebb képet kapjak a P ellátás, a tojástermelés és a csontban tárolt készletek állapotának feltérképezéséhez.

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1 MODERN TOJÓHIBRIDEK

A 20. század elején jellemzően az USA-ban kitenyésztett tiszta vonalú tojótyúkok (fehér leghorn, rhode island) 200-250 db 56-60 grammos - fajtára jellemzően mészfehér vagy barna héjú – tojásokat termeltek. Az 1930-as években világszerte elkezdődött a baromfitenyésztés átalakulása. Gyakorlatilag kettévált a tojástermelés és a hústermelés ágazata, melynek eredményeképpen a fajtatiszta tenyésztés helyett a fajtán belüli vonalak keresztezése vette át a vezető szerepet (Schutz és Jensen, 2001). A hibrid-előállítás jelentőségét adja, hogy viszonylag kismértékű ráfordítással költséghatékonyan lehet a piaci igényeknek megfelelő tojást termelni. A korszerű tojóhibridek kis- vagy közepes testűek, tojástermelési intenzitásuk és a tojáshéj minősége kiváló. A szelekciós munka célja, hogy a fajtatiszta vonalak eltérő tulajdonságait javítsák. A tojóhibrid tenyésztési programban két vonal keresztezésével a *2. táblázatban* bemutatott értékmérőket lehet javítani (Fulton, 2012).

2. táblázat Tojóhibridek apai és anyai vonalaiban jellemző szelekciós célok (Fulton, 2012)

Apai vonal (♂)	***Anyai vonal (♀)***
ideális tojástömeg	korai ivarérés
erős héj	kiemelkedő tojástermelés
viselkedés (szelídség)	nagy vitalitás

A keresztezett utódban a tulajdonságok optimális kombinációja jön létre. További előnyt jelent, hogy az utódok autoszex jellegűek, vagyis napos korban a tollszínük alapján könnyen szétválaszthatók a kakas és jérce egyedek. Így pl. a barna héjú tojást termelő Tetra-SL hibrid kakas csibe fehér, és minden jérce vörös.

A hatékony tojástermelés alapja az egy tojásra jutó összköltség (jérce bekerülési értéke, takarmány, munkaerő, energia ára) optimalizálása.

Napjainkban a szelekciós munka egyik fő célja a perzisztencia meghosszabbítása, hiszen a hangsúly a tojástermelés megnyújtásán van, mintsem a tojástermelés korábbi kezdetén (Bain és mtsai, 2016), így a tojástermelés hossza, a tojástermelés intenzitása és a kiesések aránya határozza meg a termelés gazdaságosságának mértékét. A tenyésztői munka egyik kardinális szempontja az apai vonalon öröklődő héjminőség javítására való szelektálás, mert a hajszálrepedt vagy törött héjú tojások árutojásként nem értékesíthetők. Az ebből adódó, akár 8-10%-os bevételkiesés (Swiatkiewich és mtsai, 2010) jelentős ökonómiai hátrányt jelent. A legjellemzőbb héjminőségi paraméterek, melyeket a tenyésztési programok kidolgozása során figyelembe vesznek a héjszilárdság (a tojáshéj megroppantásához szükséges törőerő (N) és a héjvastagság (mm), valamint a törött vagy hajszálrepedt héjú tojások aránya (%).

A tojótyúkok termelési mutatóit a genetikailag meghatározott termelőképesség, valamint a tartástechnológiai tényezők és a takarmányozás határozzák meg. A gazdaságos tojástermelést a jércenevelés alapozza meg, melynek elsődleges célja, hogy az optimális tojástermelésre érett madarat kapjunk, amely erős, jól fejlett csontozattal rendelkezik. A jól megválasztott, megfelelően összeállított takarmánnyal olyan tojótyúkot állítunk termelésbe, amely 19-20 élethetesen kezd el tojni és 7-8 héten belül eléri a 96-98%-os csúcstermelést és a magas szintű tojástermelést hosszú időn keresztül fenntartja. A tojástermelési időszakban a takarmányszükséglet a nevelési fázishoz képest többszörös, így ebben az életszakaszban a takarmányozás a tojástermelés jövedelmezőségét döntően befolyásolja. A tojók takarmányfelvételét elsősorban energiaigényük határozza meg. A napi takarmányadag kialakításánál a létfenntartás, a tojástermelés és a növekedés táplálóanyag igényeit kell figyelembe venni. Az állomány korának előrehaladtával fokozatosan nő a napi takarmányfelvétel, így a csúcstermelést követően már nem gazdaságos az NRC (1994) ajánlása szerinti fehérje szintű táppal etetni a madarakat. Ráadásul a tojás súlyának növekedése is jobban kontrollálható, ha a különböző fázisokban etetett fehérje- és az aminosav-ellátást az optimális szintre csökkentjük.

A madarak biológiai sajátossága a reprodukció szempontjából pihenőidőszaknak számító vedlés, ez a madárvilágban természetes folyamat. Korábban a tojástermelés megnyújtását egy mesterséges vedletés utáni második ciklus beiktatásával érték el, így küszöbölték ki az újabb állomány

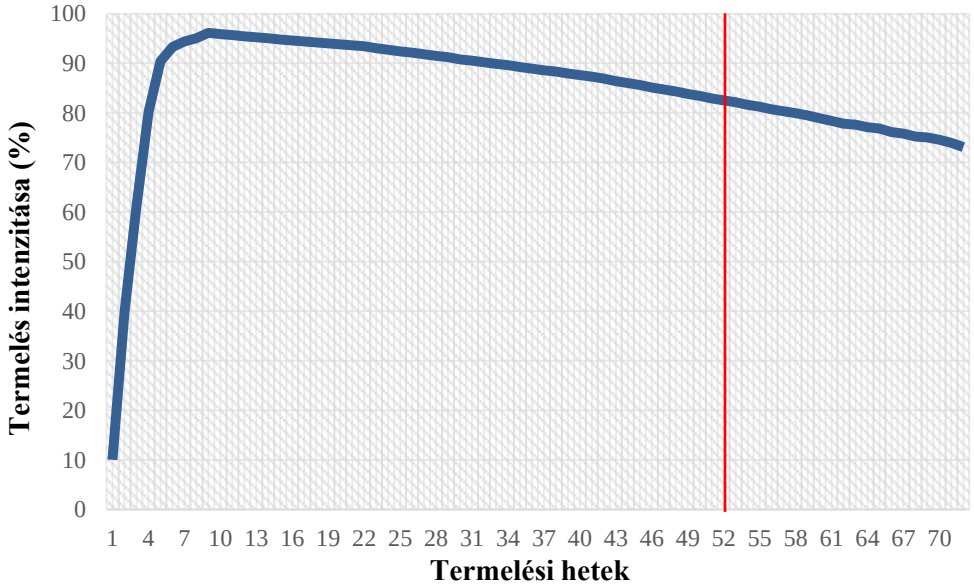
felnevelési költségét. A megnyújtott perzisztenciával elvileg jelentős mértékben csökkenthetők a költségek, ha a tojástermelés intenzitása a tenyésztő cégek ajánlása szerint a nyújtott időszak végén is 70-75%-os (www.babolnatetra.com, www.ltz.de, www.isa-poultry.com). Az egy évnél tovább termelésben tartott tojótyúkok termelési intenzitása a vedletési időszakot követően még 68-75% körüli, és az átlag tojástömeg megfelel a kívánatosnak (65-68 g; Garlich és mtsai, 1984). A második ciklusban a gyengébb héjminőség azonban nem minden esetben teszi gazdaságossá e technológiai elem beiktatását. A nyújtott termelési időszakra vonatkozóan csak vedletett állományoktól származó tojástermelési és héjminőségi adatok állnak rendelkezésre a nemzetközi szakirodalomban. Arpasova és mtsai (2010) a tojótyúkokat 110 élethetes korukig tartották termelésben, két, illetve három ciklusban (egy és két vedletést követően) és megállapították, hogy a héj %-os aránya a ciklusok számának növekedésével arányosan csökkent, ahogyan a héjvastagság is. Ez azt jelenti, hogy a vedletett madarak rosszabb héjminőséggel kezdték meg a következő ciklust. A mesterségesen előidézett vedlést az Európai Unió szabályozórendszere jelenleg tiltja.

Az utóbbi években a tenyésztő cégek szelekciós munkája főként a tojóhibridek teljesítmény mutatóiban, úgy, mint: tojástermelés, tojástömeg és a tojáshéj minőség javításában nyilvánul meg (Szentirmai és mtsai, 2013). A korábbi évtizedekhez képest a mai modern tojóhibridek szinte elérték biológiai képességeik határát és a tyúkok termelési intenzitása a tojóidőszak végén is kiváló. A 2010-es évek elejéig az általános gyakorlat szerint a hosszú (17-20 hét) és költséges nevelési időszakot egy közel egy éves termelési periódus követte. Azonban a modern tojóhibridek olyan sokáig megtartják a 90% feletti termelést, hogy az egy éves tojóidőszakban az átlagos tojástermelési intenzitás 87% körüli. Így, az intenzív tojóhibridek tenyészprogramjának köszönhetően a korábbi 52 hetes perzisztencia ma akár 110 élethetes korig (90 termelési hét) is kitolódhat. A 90 élethétig termelésben tartott barna- és fehérhéjú tojást termelő hibridek termelési mutatóit a *3. táblázat* foglalja össze:

3. *táblázat Nyújtott tojástermelésre képes tojóhibridek termelési mutatói* (www.babolnatetra.com, www.ltz.de, www.isa-poultry.com)

Tenyésztő vállalat	**Hibrid**	**Élethét**	**Tojás db beólazott tyúkra**	**Átlagos tojássúly** (g)
Bábolna TETRA	Tetra-SL LL	90 élethét	410	63
	Tetra Blanca		405-410	63
ISA	Brown layer		420	63
	White layer		429	63
LOHMANN	Brown-Classic		405-410	63
	LSL-Classic		415	63

Az *1. ábra* szemlélteti, hogy a TETRA-SL LL termelése 52 élethetes korban több mint 80%-os, ami igazolja, hogy az egy éves tojóperiódus gazdasági és termelési szempontból is pazarlónak bizonyul (www.babolnatetra.com).



1. *ábra A TETRA-SL LL tojóhibrid termelési görbéje (babolnatetra.com)*

2.2 TOJÓTYÚKOK KALCIUM ÉS FOSZFOR FORGALMA, AZ ÁSVÁNYIANYAGOK METABOLIZMUSÁNAK JELLEMZŐI

A kalcium a madarak szervezetében legnagyobb mennyiségben előforduló ásványianyag. A tojástermelő állományok nagy kalcium igényét a tojáshéjképződés indokolja. A szervezet kalcium-tartalmának jelentős részét a csontokban található hidroxi-apatit és a hozzá kötődő kalcium-foszfátok és kalcium-karbonátok képezik. Felszívódása az epés- és éhbélből történik egy kalcium megkötő fehérje segítségével, melynek szintéziséhez D_3-vitamin szükséges (Wasserman, 2004). A foszfor a csont- és izomfejlődés, a tojásképződés és a termelési mutatók nélkülözhetetlen tápanyaga. A foszfor szükséges az ozmotikus és a sav-bázis egyensúly fenntartásához, szerepet játszik az energia-anyagcserében (ATP), a fehérje-termelésben és az aminosav-metabolizmusban. A foszfor legnagyobb része a kalciumhoz hasonlóan a vékonybél éhbél szakaszán szívódik fel a D_3-vitamin segítségével.

A szervezet Ca-forgalmának szabályozása a tojásrakás ideje alatt a héjképződés miatt rendkívüli mértékben megnövekedett Ca-igénynek van alárendelve. A parathormon és kalcitonin szintjének köszönhetően a Ca-metabolizmus változása már két héttel a tojásrakás előtt megkezdődik, biztosítva a héjképződés megindulásával a folyamatos Ca-ellátást (Hincke és mtsai, 2012). A tojásképzés folyamatának szabályozásában az említetteken kívül természetesen a petefészek hormonjai (ösztrogén és progeszteron) is döntő szerepet játszanak.

A madaraknál az ivaréréskor bekövetkező hormonális változások következtében a vér Ca és P szintje jelentősen megemelkedik, a korábbi érték megduplázódik. Az extracelluláris Ca^{2+} homeosztázis fenntartása a tápcsatornából abszorbeálódott, a vesetubulusokon keresztül kiürült és a csontokban tárolt Ca mennyiségének szabályozásán keresztül valósul meg. Szükség esetén a vérszérum Ca-szintjének növekedése háromféle módon lehetséges: a Ca vékonybélből történő fölszívódásának fokozódásával, a Ca-ürítés csökkenésével, és a medulláris csontok Ca-tartalmának mobilizálásával (Khanal és Nemere, 2008). A Ca felszívódását a vékonybél éhbél szakaszából az aktív 1,25-dihidroxi-kolekalciferol serkenti, mely szabályozza az úgynevezett Ca-kötő fehérje (CaBP) szintézisének mértékét. A CaBP gyakorlatilag egy csoport specifikus fehérjét takar (kalbidinek, epitheliális

kalcium csatornák, plazma membrán kalcium-ATPáz, karbon anhidráz), melyek a Ca és P transzportért felelősek nem csak a felszívódás, hanem a Ca és P anyagcserében való hasznosulása (pl. csont demineralizáció) során is (Bar, 2009). Az ösztrogének, a tesztoszteron és a parathormon serkentik a D_3-vitamin 1,25-dihidroxi-kolekalciferollá való átalakulását (Nys és Le Roy, 2018). A Ca felszívódásának hatékonysága függ a Ca ellátás mértékétől: minél nagyobb a Ca felvétel, annál kisebb lesz az abszorpció mértéke, mivel a CaBP-ek mennyisége fordítottan arányos a vér Ca tartalmával (Bar és mtsai, 1979).

A tojásrakás megkezdődése előtt a megnövekedett kalcium-abszorpció következtében a madarak csöves csontjainak velőállományában kialakul az úgynevezett medulláris csontállomány, mely folyamatért a szexuálszteroidok és a parathormon felel. A parathormon növeli a Ca-visszaszívást a vesetubulusokban, illetve fokozza a foszfát-felszabadítást, és aktiválja az oszteoklaszt sejteket, amelyek a medulláris csontállományt bontják, így Ca-ot juttatva a vérbe (Bar, 2009). A medulláris csontállomány a Ca-forgalom napi ingadozásának kiegyenlítéséért felel. A tojótyúk napi Ca-felvétele nem folyamatos, mert az éjszakai órákban nem történik táplálékfelvétel. Így a medulláris csontban lévő Ca mobilizálására ebben a napszakban kerül sor, illetőleg, ha a takarmány Ca tartalma nem elégíti ki a tojótyúk szükségleteit (Reyes-Grajeda és mtsai, 2004). A takarmánnyal felvett Ca közvetlenül a tojáshéjba épül, a többlet pedig a medulláris csontba kerül, amennyiben a raktárak még nem feltöltöttek. Abban az esetben, ha a felvett takarmányban lévő kalcium mennyisége nem elegendő, kalciumhiányos állapot lép fel, melyet a tojótyúk a csontrendszer leépítésével kompenzál. Hiányos ellátás esetén a medulláris csontállomány mellett a tyúkok a csontok szivacsos állományának egy részét (közel negyedét) is képesek feláldozni a tojástermelésre. Ez a folyamat azonban tojáshéj minőségének romlásához vezet (héjvékonyodás), és a tojástermelés is leállhat (Kerschnitzki és mtsai, 2014).

A tojás képződés során az uteruszban zajló mészhéj képződés a leghosszabb folyamat (tojótyúkban 19–20 óra). Két szakasza van, a lassú meszesedési fázis (kb. 5 óra) és az intenzív meszesedés (kb. 12–13 óra), amikor óránként 0,33 g $CaCO_3$ épül be a tojáshéjba (Nys és Guyot, 2011). Az intenzív meszesedési fázisban a madár a csontokban tárolt kalciumot is felhasználja még akkor is, ha a takarmányból bőséges az ellátás. A mészhéjba

épülő kalcium a vérplazmából származik, melynek a méh lumenébe irányuló transzportja passzív és aktív transzportmechanizmusok által történik. A kalciumkarbonát-képződés hidrogén-karbonát-ionját a héjmirigy hámsejtjei és csöves mirigyei állítják elő az anyagcseréjük során képződő szén-dioxidból (Bar és mtsai, 2009). Az intenzív meszesedés időszakában az *uterus* héjmirigyei olyan mennyiségben vesznek fel kalciumot, ami a vér Ca szintjének csökkenéséhez vezet. A plazma Ca szintjének csökkenése azonban parathormon kiáramlást eredményez, ami fokozza a csontok oszteoklaszt (csontbontó) sejtjeinek érését és ezen keresztül a csontok, elsősorban a medulláris csontállomány demineralizációját. A kalcitonin a parathormonnal ellentétes folyamatokat generál, ezért ennek a hormonnak a Ca és P csontokba való beépülése során van jelentős szerepe.

A csontok demineralizációjának következménye, hogy a kalciumhoz kötött P is felszabadul, ami azonban nem tud felhasználódni a tojásképződés során és raktározódni sem képes a szervezetben. Az intenzív mészhéj képződés idején szabaddá vált P a vizelettel kiürül. A nappali órákban a takarmányfelvétel idején gyakorlatilag a csontképződés P szükségletét kell pótolni.

2.3 A TOJÓTYÚKOK FOSZFOR SZÜKSÉGLETE

A tojótyúkok táplálóanyag szükségletére számos független ajánlás áll rendelkezésre. Ezek közül az amerikai National Research Council (NRC) ajánlása a legszélesebb körben elfogadott, még akkor is, ha az NRC baromfira kiadott legfrissebb, tojótyúkokra is vonatkozó kiadása közel negyed évszázados (NRC, 1994). Az ez idő alatt történt genetikai fejlődés eredményeképp a modern tojóhibridek táplálóanyag szükséglete sok táplálóanyag tekintetében eltér korábbi fajtákétól. Ennek ellenére a legtöbb mértékadó nemzetközi vizsgálatban a pozitív kontroll takarmány táplálóanyag tartalmát még az elmúlt időszakban is ezen ajánlásnak megfelelően állították be.

A tojótyúkok ásványianyag szükségletét tekintve a két legfontosabb elemnek a kalcium és a foszfor tekintendő. Ismert, hogy a madarak életkora befolyásolja az ásványianyag szükségletet, mely egyrészt a csontok növekedésének és a tojóidőszakra való felkészülésnek, másrészt a

tojástermelés igényének a függvényében változik (De Araujo és mtsai, 2011). Mivel a takarmánnyal felvett Ca mennyisége napszaki ingadozást mutat és a tojáshéj képződése az éjszakai órákban történik, gyakorlatilag akkor a legnagyobb a tyúk Ca-szükséglete, amikor egyébként a madarak takarmányt nem fogyasztanak (Guinotte és mtsai, 1995). Ennek a speciális igénynek a kielégítésére a tyúk számára a bélben lassan oldódó kalciumforrást (mészkőgrittet, kagylóhéjdarát, nagy szemcseméretű takarmánymeszet) kell biztosítani, amelyből a tojáshéjképződés idején is rendelkezésre áll a tápcsatorna felől érkező szükséges kalcium mennyisége, vagy legalább annak egy része (Anwar és mtsai, 2016).

A tojáshéj döntően kalcium-karbonátból áll (94%), kevés foszfátot (1%) tartalmaz (Stadelman, 2000), ezért a tojótyúk foszforszükséglete lényegesen kisebb, mint a Ca-szükséglete (Rama Rao és mtsai, 2003). A tojástermelés Ca és P szükséglete a létfenntartás, a tojáshéj, valamint a szik és a tojásfehérje szintéziséhez szükséges mennyiségek összege. A legújabb kutatási eredmények szerint a létfenntartás kalcium szükséglete, mely a bélsárral és vizelettel ürült ún. endogén Ca mennyisége, 50 mg/kg takarmány (5,5 mg Ca/nap - Weber, 2009; Hamdi és mtsai, 2015). Ez az érték jelentősen nagyobb, mint az 1994-ben kiadott NRC által javasolt 7,5 mg Ca/kg takarmány, ami csupán 0,825 mg Ca felvételt jelentett naponta. A tojásképződés Ca igénye megegyezik a tojáshéj képződése során felhasznált Ca mennyiségével, ami 2,0-2,3 g/nap. Ez az érték azt mutatja, hogy 1 tojás képződése Ca hiányos takarmány esetén különösen megterhelő a tyúk számára, hiszen az egy tojással ürített kb. 2 g Ca a test teljes Ca tartalmának 10%-a (Nys és Guyot, 2011). A tojótyúk által igényelt Ca mennyiségének kiszámításakor figyelembe kell venni a Ca hasznosulás hatékonyságát is, ami 50-60% és amit döntően a Ca emészthetősége határoz meg. A Ca felszívódásának mértékét befolyásolja a takarmány kalciumtartalma, minél nagyobb a Ca tartalom, annál kisebb mértékű a felszívódás és ez a jelenség fordítva is igaz (Sahin és mtsai, 2018). Ez a fordított mechanizmus a kalciumkötő fehérjék telítődésével áll összefüggésben, azonban a takarmányokban előforduló fitátok, zsírsavak, oxalátok is képesek megkötni a bélben a kalciumot, akadályozva ezzel annak felszívódását. A D_3-vitamin hiánya is jelentősen csökkenti a Ca-felszívódást (Christakos és mtsai, 2014). A fentiek alapján érthető, hogy már kismértékű kalciumhiány is a termelési mutatók romlását eredményezi, és a negatív Ca mérleg következményeként csökken a csontok ásványianyag tartalma (Rodrigez-Navarro és mtsai, 2015).

Az egyes ajánlások, valamint a legfrissebb irodalmi adatok is egyetértenek a tojótakarmányok optimális Ca tartalmát illetően és abban is, hogy a Ca forrása lassan lebomló legyen.

A kalcium szükséglettel ellentétben tojótyúkok P szükségletére kiadott ajánlások és a témában végzett vizsgálatok eredményei időről időre más értékeket javasolnak a takarmányok optimális P tartalmára (Pelicia és mtsai, 2009). Az abrakkeverékben a fitin kötésben lévő foszfort a tojótyúkok nem képesek lebontani, ezért a takarmányok úgynevezett összes P tartalma nem ad megfelelő információt a madarak P ellátásáról. Ennek okán a foszfor esetében az összes P tartalom helyett egzaktabb a nem-fitin foszfor (NPP) vagy a hasznosítható P használata (Angel és mtsai, 2002). Ebből adódóan a tojótyúkok P szükségletét, illetve a takarmányok P tartalmát is általában az összes P értékén kívül az NPP és/vagy a hasznosítható P tartalommal, illetve szükséglettel jellemzik (NRC, 1994; MTK, 2004; CVB, 2008). Az össz foszfor magában foglalja a foszfor minden formáját. A szervetlen foszfor minden olyan foszfor, amely nem kötődik egy szerves molekulához. A fitát-foszfor szerves foszfor, amely egy 6 szénatomos gyűrűszerkezet (fitinsav) része, elsősorban a gabonanövény magjában található. A nem-fitát foszfor az a foszfor, amely nem kötődik a fitinsav molekulához. A fitin kötésben lévő foszfort felszabadító enzim (fitáz) hatására felszabadult foszfor, vagy az össz foszfor és a fitát foszfor különbözete. A hasznosítható foszfor a takarmányból az állati szervezetbe felszívódó foszfor (takarmány P tartalmának és a disztális *ileum* P tartalmának különbözete – Zhang és mtsai, 2016). A visszatartott foszfor a testben maradó foszforra utal, vagyis nem ürül a bélsárral/ürülékkel (Angel, 2006).

A tojásképzés nettó P szükségletét tekintve a héjképzés hozzávetőleg 9 mg/g (Stadelman, 2000), a szik 7,4-8,9 mg/g, míg a tojásfehérje 0,11-0,16 mg/g P-t tartalmaz (Manson és mtsai, 1993), ezért egy átlagos (63 g) tojás szintéziséhez nagyjából 210 mg P szükséges. Ezen felül a létfenntartás igénye 14 mg P/kg élősúly/nap (Kebreab és mtsai, 2009), azaz egy 2 kg súlyú tyúk esetében a nettó P szükséglet a tojástermelés csúcsán megközelíti a napi 240 mg-ot. Ez az érték azonban mindenképpen nagyobb, mivel a számítás során nem vették figyelembe azt a mennyiségű foszfort, ami az intenzív héjképződéskor a csontok demineralizációja során biztosan kiürül a szervezetből. Kebreab és mtsai (2009) számításai alapján a vizelettel ürült,

csontokból származó P az ovipozíció idejétől és a takarmányfelvételtől függően akár 200 mg-mal is növelheti az említett nettó P szükségletet.

A tojótyúkok P szükségletére megadott irodalmi adatok változatosságát valószínűleg a takarmányfelvétel és a tojásképződés ideje közti eltolódás mértéke okozza (Boorman és Gunaratne, 2001). Több vizsgálat is megerősíti, hogy a tojótyúkok a 16 órás megvilágítás első felében valamivel kevesebb takarmányt fogyasztanak, a napi adag 60%-át a sötét időszak beállta előtt veszik fel (Keshavarz, 1998). További vizsgálatok arról számolnak be, hogy ha a madarak választhatnak, akkor a fehérjében és energiában gazdagabb takarmányt a tojásrakás után, míg a Ca-ban gazdagabb keveréket az éjjeli órákat megelőzően fogyasztják el (Pál, 2018). A takarmányfelvétel, illetve az egyes napszakokban a különböző táplálóanyag preferenciák mindenképpen arra utalnak, hogy a madarak anyagcseréjének ritmusa különböző táplálóanyagokat kíván annak érdekében, hogy azokat a leghatékonyabban tudja felhasználni. A lassan lebomló Ca források használata is éppen ezt segíti, és valószínűleg a vizelettel ürített P mértékében és ezen keresztül a P szükségletben tapasztalt különbségek is legalább részben erre a dinamikára, többek között a különböző Ca források által kiegyenlített demineralizációra vezethető vissza (De Araujo és mtsai, 2011). Gyakorlati tapasztalat, hogy a tojóidőszak végéhez közeledve a nagy szemcseméretű Ca forrást (mészkő gritt) növelni kell annak érdekében, hogy a tojások héjminősége ne romoljon (Lichovnikova, 2007). Ennek oka, hogy a tojótyúkok korának előrehaladtával a csontokból történő Ca mobilizáció mértéke csökken. Snow és mtsai (2004) arról számoltak be, hogy míg az első tojóciklusban a madarak legalább 1,8 g/kg hasznosítható P-t igényeltek a takarmányban, addig a második tojóciklusban ez az érték több mint 2 g/kg volt.

A madarak P igényének pontos kielégítése azért fontos, mert mind a P hiány, mind pedig a feleslegben biztosított P csökkenti a termelés hatékonyságát. A témában végzett vizsgálatok eredményei azt mutatják, hogy foszforhiányos táp etetése esetén visszaesik a tojástermelés, hosszútávon csontritkulás alakulhat ki a tojótyúkokban, a foszfortöbblet pedig csökkentheti a héjszilárdságot (Bolukbasi és mtsai, 2005), ezzel gyakorlatilag növelve a kiesések számát. A szervetlen foszfort a takarmányban adalékként vagy kiegészítőként használjuk, amely drága takarmány alapanyag. A foszfor-értékesülés javítása és a szervetlen foszfor kiegészítés csökkentése alapvető fontosságú a fenntartható baromfitermelés

számára, valamint a takarmányköltségek és a túlzott foszfor-kibocsátás csökkentése érdekében. Gazdasági szempontból tekintve a fehérje és az energia után a foszfor a harmadik legdrágább komponens a takarmányban. Applegate és Angel (2008) számításai alapján a dikalcium-foszfát 370$-os tonnánkénti ára mellett a termelők évente 1489$-t tudnának megtakarítani 100 ezer tojótyúkra vetítve, ha tyúkonként naponta 100 mg-mal csökkentenék a P ellátást. Környezeti aspektusból, mivel a növényi eredetű foszfort a tojótyúkok csak kis mértékben képesek hasznosítani, az ürülékkel számottevő mennyiségű foszfor kerül a környezetbe.

A felszívódott kalciumnak és foszfornak csak egy része tud hasznosulni. A takarmányok ásványianyagainak emészthetőségét emésztési vizsgálatokkal mérjük. Az egyszerű emésztési vizsgálattal azonban csak az ásványianyagok látszólagos emészthetőségét lehet meghatározni. A baromfi esetében a táplálóanyagok emészthetőségét nehezebb megállapítani, mint az emlősállatoknál, mert a vizelet és a bélsár a kloákában keveredve együtt ürülnek. Az indikátor módszer szerint a fel nem szívódott kalcium és foszfor mennyisége a vékonybélből vett *chymus* minta vizsgálatával állapítható meg. Jelölő anyagként általában TiO_2 használatos. A vékonybélből két különböző módszerrel nyerhető a vizsgálatokhoz szükséges béltartalom: a bélbe műtéti úton kanült ültetnek be és ezen keresztül vesznek mintát a béltartalomból, illetve *post mortem* az állatok vékonybeléből veszik a vizsgálatokhoz szükséges mintákat. Az emésztési együtthatókat a takarmány Ca/P : TiO_2 aránya, valamint a csípőbélből vett *chymus* mintákban a Ca/P : TiO_2 arányai alapján számítjuk (Fan és mtsai, 2001).

Összehasonlítva az NRC (1994) nem-fitin foszfor (NPP) ajánlását (110 g/nap takarmányfogyasztással számolva barna héjú tojást tojó tyúk, és 100 g/nap takarmányfogyasztással számolva fehér héjú tojást tojó tyúk esetén), és a mai modern tojóhibrideket előállító tenyésztő cégek hasznosítható foszfor ajánlásait, az alábbi különbségeket állapíthatjuk meg, melyet a *4. táblázat* szemléltet (www.babolnatetra.com, www.ltz.de, www.isa-poultry.com):

4. táblázat Ajánlások a fehér és barna mészhéjú tojást tojó tyúkok takarmányainak NPP és hasznosítható P tartalmára

Fehér héjú tojást tojó tyúk	**élethetek**	**g/kg**	**élethetek**	**g/kg**	**élethetek**	**g/kg**	**élethetek**	**g/kg**
NRC***	2,5							
TETRA**	19-45.	4,0	46-65.	3,8	66-80.	3,6	81-90.	3,5
ISA**	17-28.	4,3	29-50.	3,8	50+	3,4	-	-
Lohmann**	19-45.	3,8	46-65.	3,7	65+	3,5	-	-
Barna héjú tojást tojó tyúk	**élethetek**	**g/kg**	**élethetek**	**g/kg**	**élethetek**	**g/kg**	**élethetek**	**g/kg**
NRC***	2,1							
TETRA**	19-45.	4,0	46-65.	3,8	66-80.	3,6	81-90.	3,5
ISA**	2%*-28.	4,3	28-50.	3,8	50+	3,4	-	-
Lohmann**	19-45.	3,8	46-65.	3,7	65+	3,5	-	-

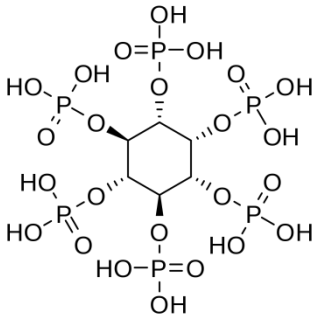
*2%-os tojástermeléstől, **ajánlott hasznosítható P tartalom, ***ajánlott NPP-tartalom,

Az NRC (1994) korcsoporttól függetlenül, de a könnyű és középnehéz testű tojókra különböző ajánlásokat ad az NPP tekintetében, míg az egyes tenyésztő cégek fázisos takarmányozást alkalmazva, az egyes fázisokban eltérő hasznosítható P szinteket javasolnak. Látható, hogy a tenyésztő cégek fehér és a barna héjú tojást tojó hibridek között nem tesznek különbséget. A barna mészhéjú tojást tojó TETRA-SL-LL hasznosítható P ajánlása (2014) az ISA által ajánlott hasznosítható P szint alatt van az első szakaszban, de a harmadik szakaszban az ISA kisebb mértékben csökkenti az hasznosítható P mennyiségét. Azon túlmenően, hogy az NRC egyáltalán nem tárgyalja a nyújtott termelési időszak igényeit, mindenképpen érdekes, hogy vajon van-e és ha igen, milyen mértékű az eltérés az egyes genotípusok esetében. Az utóbbi időben megjelent számos publikáció megerősíti, hogy az NRC (1994) ajánlásához képest probléma nélkül csökkenthető a tojótyúkok takarmányainak hasznosítható P tartalma (Boorman és Gunaratne, 2001; Keshavarz, 2003; Francesch és mtsai, 2005; Park és mtsai, 2009; Ahmadi és Rodehutscord, 2012). Igaz, ezek a vizsgálatok jellemzően a klasszikus 1 éves tojástermelés valamely szakaszában folytak, bizonyos esetekben csak néhány hetes időtartamban.

2.4 A TOJÓTYÚKOK TAKARMÁNYÁNAK FITÁZ ENZIM KIEGÉSZÍTÉSE

A takarmányban lévő táplálóanyagok értékét azok biológiai hozzáférhetősége határozza meg. Azon kémiai vegyületeket, melyek csökkentik bizonyos táplálóanyagok emészthetőségét, antinutritív anyagoknak nevezzük. Tágabb értelemben az antinutritív anyagok rontják a táplálóanyagok emészthetőségét és/vagy a szervezet anyagforgalmának hatékonyságát is. Ezek az anyagok a növények anyagcseréje során keletkeznek, elsősorban azok védekező mechanizmusaiban játszanak szerepet, ezért a növények számára nélkülözhetetlenek. Az antinutritív anyagok főként az állatok teljesítményét rontják, de az állati termék minőségét közvetlenül és közvetve is befolyásolhatják, ronthatják a tojás összetételét és héjminőségét is (Roberts, 2004).

A monogasztrikusok takarmány alapanyagául szolgáló gabona magvak és hüvelyesek összes foszfor tartalmának 51-73%-a fitin-foszfor (Vohra és Satyanarayana, 2003). A fitinsav a makro- és mikroelemekkel sókat alkot, melyek így nem képesek felszívódni a baromfi emésztőrendszerében. Ezek az anyagok az érés során a magban halmozódnak fel és raktározzák a foszfort és az inozitot. A fitinsav (mioinozit-1,2,3,4,5,6-hexakisz-dihidrogén foszfát) a növények szerves foszfor tartaléka, melynek hidrolízise során szervetlen foszfát és mioinozit képződik – valamint köztes termékek is keletkezhetnek: mioinozit-penta (IP_5), -tetra (IP_4), -tri (IP_3), -di (IP_2) és monofoszfát. A fitinsav molekulát a *2. ábra* mutatja.



2. ábra Fitinsav molekula

A fitinsav néhány csoportja erős kelátképző ágens, megköti az élettanilag fontos kationokat, pl. Ca^{2+}, Mg^{2+}, Zn^{2+}, Cu^{2+}, stb. (Konietzny és Greiner, 2003), továbbá a fehérje, a keményítő és a lipidek hasznosulását is gátolhatja.

A monogasztrikusok által 60-80%-ban emészthetetlen fitin kötésben lévő P (El-Sherbiny és mtsai, 2010) a bélsárral, illetve ürülékkel a környezetbe ürül, jelentős környezeti károkat okoz, és nagymértékben hozzájárul az eutrofizációhoz is. Azonban, ha a takarmányokat mikrobiológiai úton előállított fitáz enzimmel egészítjük ki, a fitin-kötésben lévő foszfor nagy része felszabadul és hasznosul, ami egyúttal lehetővé teszi - az egyébként jelentős költségtöbblettel is járó - anorganikus foszfor kiegészítés csökkentését, így a foszforkibocsátás mérséklését is (Tossenberger és Babinszky, 2006). A fitin kötésben lévő foszfor felszabadításához fitáz enzim szükséges, melynek aktivitását úgynevezett fitáz egységben határozták meg (FTU). A mértékegységet egy kilogramm takarmányra vetítve alkalmazzuk. A klasszikus meghatározás szerint egy FTU az az enzim aktivitás, mely 1µmol szervetlen foszfátot szabadít fel 1 perc alatt 5,5 pH-n, 37° C-on (Afify és mtsai, 2011).

A monogasztrikusok esetében négy lehetséges fitáz enzim-forrás létezik: a vékonybél nyálkahártya endogén fitáz aktivitása, a tápcsatorna mikroflóra fitáz aktivitása, valamint a növényi alapanyagok fitáz aktivitása és az exogén fitáz enzim aktivitása (Humer és mtsai, 2014). A baromfi bélcsatornájában elenyésző mennyiségben van jelen az enzim (Smith és mtsai, 1999), és a két leggyakrabban használt baromfi takarmány alapanyag, a kukorica és a szója együttes endogén fitáz aktivitása is csak 20 FTU/kg-ra tehető (Liebert és mtsai, 2005), ezért a jobb hasznosulás érdekében exogén fitázt szükséges a takarmányhoz keverni.

Mikrobiológiai úton gomba (pl. *Aspergillus niger*) és baktérium (pl. *E. coli*) eredetű fitáz állítható elő. A különböző eredetű fitáz enzimeknek 2,0 és 6,0 közötti pH optimuma van (Angel és mtsai, 2002), ugyanakkor a növényi fitáz pH optimuma 5,0 körüli (Kumar és mtsai, 2010). Az Elméleti és Alkalmazott Kémia Nemzetközi Egyesület, valamint a Biokémia és Molekuláris Biológia Nemzetközi Egyesület (IUPAC-IUBMB) igazolása alapján a fitáz enzimeket három csoportba sorolja aszerint, hogy az enzim az inozitol gyűrű hányas pozíciójában kezdi meg az IP_6 hidrolizációját. Ennek alapján 3-fitázokat, 4/6-fitázokat és 5-fitázokat különböztetünk meg (Oh és

mtsai, 2004). A mikroorganizmusokból (gomba, baktérium) általában a 3-fitáz izolálható, míg a növényi endogén enzim a 6-fitáz csoportba sorolható (Bohn és mtsai, 2008). Mindemellett azonban gomba vagy baktérium eredetű 6-fitáz is előállítható.

A fellelhető szakirodalmak többsége brojlerre vonatkozóan tárgyalja az enzim hatását, azonban számos vizsgálat foglalkozik a tojótyúkok takarmányához adott optimális fitáz dózis meghatározásával is (Cabuk és mtsai, 2004; Selle és Ravindran, 2007; Park és mtsai, 2009). Az ide vonatkozó kutatási eredmények szerint, amennyiben alacsony a takarmány P tartalma, akkor a fitáz-kiegészítés hatással van a tojástermelésre, a takarmányfogyasztásra, a foszfor felhasználására, a tojáshéj minőségére és a tojás súlyára (Lei és mtsai, 2011). Selle és mtsai (2006) arról számoltak be, hogy a fitázzal kiegészített takarmány hatására a madarak átlagosan 50%-kal több fitátot hasznosítottak. A különböző fitáz források eltérő aktivitása és bontási képessége befolyásolja a takarmányadalék hatékonyságát, csak úgy, mint a takarmány fizikai tulajdonságai (pl. az oldhatóság és a szemcseméret) és az állatok élettani tényezői (pl. az emésztőtraktus pH-ja, az abszorpciós időtartam és a kalcium és foszfor igény). A fitáz hatékonyságára hatással lehet a takarmány kalciumszintje is (Tamim és Angel, 2003). Tamim és mtsai (2004) beszámoltak arról, hogy a magas kalciumtartalom miatt az endogén fitáz hatékonysága romlott, mert a bél lumenében a nagy mennyiségű Ca oldhatatlan fitátot eredményezett.

Számos tanulmány beszámol arról, hogy a fitáz teljesítményjavító hatása a madarak esetében azzal is összefüggésben áll, hogy növeli az aminosavak és az energia hasznosíthatóságát és hatása nem korlátozódik az ásványianyagok retenciójának javítására (Cowieson és mtsai, 2006; Pirgozliev és mtsai, 2007). Hozzáadott fitáz hatására ugyanis a kelát kötésben lévő egyéb tápanyagok is felszabadulnak és javítják a baromfi takarmányok táplálóértékét, ami pozitívan befolyásolhatja a tojótyúkok termelését (Panda és mtsai, 2005). Ravindran és mtsai (2000) azt találták, hogy a fitát hidrolízise javította a mangán, a kalcium, a vas és a magnézium felszívódását és retencióját is baromfiban. Francesch és mtsai (2005) azt tapasztalták, hogy mikrobiális fitázzal kiegészített 1,1 g/kg NPP tartalmú táp etetése esetén javult a tojástermelés, a tojás tömege és a takarmányfogyasztás a tyúkokban. Picon-Rubio és mtsai (2009) arról számoltak be, hogy a fitáz hozzáadása növelte a foszfor felszívódását, a napi testtömeg gyarapodást, a tojástermelést

és a P-kiválasztást 300 és 600 FTU/kg takarmány enzim szinteknél, miközben a termelt tojás tömegére nem volt hatással a hozzáadott enzim. Ezen túlmenően a 1,1 g/kg NPP tartalmú táphoz adott *Escherichia coli* baktériumokból származó és a *Schizosacchromyces pombe* vagy az *Aspergillus nigerből* származó fitáz enzim hatására jelentősen csökkent a madarak P ürítése (58 és 54%) anélkül, hogy negatív hatással lett volna a tojástermelésre és a tojás tömegére (Wu és mtsai, 2006). A 1,5 g/kg NPP tartalmú táphoz adott fitáz hatására ugyanolyan mértékben nőtt a tojástermelés, mint a 3,5 g/kg nem-fitin foszfor tartalmú táppal etetett tyúkoké (Hughes és mtsai, 2008). A felsorolt vizsgálatokat az *5-6-7-8. táblázat* foglalja össze. Az adatokból látható, hogy az irodalomban fellelhető vizsgálatok az egy éves tojástermelés valamely időszakában mérték fel az enzim hatását, és hogy a takarmány P tartalma az NRC (1994) ajánlásához képest akár 44%-kal is csökkenthető, amennyiben a tojók takarmányát 250-300 FTU/kg fitáz enzimmel egészítették ki. A nyújtott időszakra vonatkozó szakirodalom azonban határozottan hiányos, mindössze a már az EU-ban tiltott vedletéses időszakra vonatkozóan található ebben az összefüggésben szakirodalom.

5. táblázat A takarmány P tartalmának és fitáz kiegészítésének hatása a tyúkok teljesítményére, irodalmi adatok alapján

Szerző, évszám	**Genotíp.**	**Állat kora a kísérlet kezdetén és elemszám** (éhét=élethét)	**Kísérleti kezelések**				**Eredmény**				
							Takarmány felvét	**Élőtömeg**	**Tojás-súly**	**Intenzitás**	**Héjminőség**
			kód	**össz P**	**NPP g/kg**	**fitáz FTU/kg**	**g/nap**	**g/madár**	**g/db**	**%**	**szil, vast, törött toj**
Cabuk és mtsai, 2004.	Nick Brown tojótyúk	54-74 éhét, n=120	**A**	6,3	4,5	0	B-D> 2,5% és 12% vs A-C	74 éhétenB > A és C	A=C > B=D	B>A,C,D	NS
			B	6,1	4,5	300					
			C	5,0	3,0	0					
			D	5,3	3,0	300					
Pirgozliev és mtsai, 2007.	Brojler	0-21 nap, n=480	**A**	5,2	2,8	0	enzimmel lineárisan nőtt brojler: 11,2%, pulyka: 6,5%-kal	TGy: enzimmel lineárisan nőtt: brojler: 10,2%, pulyka: 13,2%-kal			
			B			250					
			C			500					
			D			2500					
	Pulyka		**E**	6,6	3,7	0					
			F			25					
			G			500					
			H			2500					
Panda és mtsai, 2005.	Leghorn tojótyúk	32-48 éhét, n=150	**AésE**	N/A	1,2	0 és 300	A<B=C=D=E=F	A<B=C=D=E=F	NS	A<B=C=D=E=F	vast.: A<B=C=D=E=F; szil: A=B<C=D=E=F
			BésF		1,8	0 és 300					
			C		2,4	0					
			D		3,0	0					

6. táblázat A takarmány P tartalmának és fitáz kiegészítésének hatása a tyúkok teljesítményére, irodalmi adatok alapján

Szerző, évszám	Genotíp.	Állat kora a kísérlet kezdetén és elemszám (éhét=élethét)	Kísérleti kezelések				Eredmény				
							Takarmány felvét	Élőtömeg	Tojás-súly	Intenzitás	Héjminőség
			kód	össz P	NPP g/kg	fitáz FTU/kg	g/nap	g/madár	g/db	%	szil, vast, törött toj
Franesch és mtsai, 2005.	Hy-line tojótyúk	22-46 éhét, n=32	A	5,1	3,2	0	1,3 g/kg NPP-nél csökkent, de fitáz hozzáadással nőtt.				N/A.
			B	3,1	1,3	0					
			C		1,3	150					
			D		1,3	300					
			E		1,3	450					
Picón-Rubio és mtsai, 2009.	Babcock tojótyúk	36-40 éhét, n=36	A	4	N/A.	0	fitázzal javult		NS	3. és 4. héten fitázzal javult	P retenció fitáz hozzáadással nőtt
			B			300					
			C			600					
			D			0					
			E			300					
			F			600					
Wu és mtsai, 2006.	Leghorn tojótyúk	21-33 éhét, n=15	A	5,9	3,8	0/0	E<A=B=C=D=F=G	E<A=B=C=D=F=G	NS	E<A=B=C=D=F=G	tojásmassza: E<A=B=C=D=F=G
			B	4,7	2,6	0/0					
			C	4,7	2,6	300/0					
			D	4,7	2,6	0/300					
			E	3,2	1,1	0/0					
			F	3,2	1,1	300/0					
			G	3,2	1,1	0/300					

7. táblázat A takarmány P tartalmának és fitáz kiegészítésének hatása a tyúkok teljesítményére, irodalmi adatok alapján

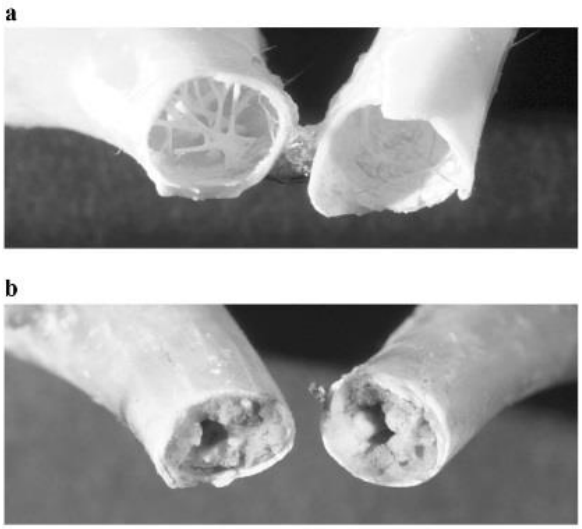
Szerző, évszám	**Genotípus**	**Állat kora a kísérlet kezdetén és elemszám** (éhét=élethét)	**Kísérleti kezelések**				**Eredmény**				
							Tak. felvét	**Élőtömeg**	**Tojás-súly**	**Intenzitás**	**Héjminőség**
			kód	**össz P**	**NPP g/kg**	**fitáz FTU/kg**	**g/nap**	**g/madár**	**g/db**	**%**	**szil, vast, törött toj**
Lei és mtsai, 2011.	Lohmann tojótyúk	56-76 éhét, n=108	**PC**	4,9	2,6	0	NC+0 FTU < többi kezelés	NC1+300 és NC2+300 a legnagyobb	NS	1-20 hétig: NC2 + 0 fitáz < PC = NC2+fitáz	NS
			NC1	3,7	1,4	0					
			NC1	3,7	1,4	300					
			NC2	3,7	1,4	0					
			NC2	3,7	1,4	300					
Park és mtsai, 2009.	Hy-line tojótyúk	75-81 éhét, n=304	**A**	N/A	3,0	OA: 0	NS		NS	különbség csak: B>C	NS
			B		3,0	OA: 2					
			C		4,0	OA: 0					
			D		4,0	OA: 2					
Hughes és mtsai, 2008.	Leghorn tojótyúk	21-61 éhét, n=120	**A**	5,4	3,5	0	NS			F < A; D = A, de D < B,C,E,F,G,H és I	A-nál törött héj nő!
			B	4,4	2,5	0					
			C	4,4	2,5	200					
			D	4,4	2,5	400					
			E	4,4	2,5	600					
			F	3,4	1,5	0					
			G	3,4	1,5	200					
			H	3,4	1,5	400					
			I	3,4	1,5	600					

8. táblázat A takarmány P tartalmának és fitáz kiegészítésének hatása a tyúkok teljesítményére, irodalmi adatok alapján

Szerző, évszám	Genotípus	Állat kora a kísérlet kezdetén és elemszám (éhét=élethét)	Kísérleti kezelések				Eredmény				
							Tak. felvét	Élőtömeg	Tojás-súly	Intenzi-tás	Héjminőség
			kód	össz P	NPP g/kg	fitáz FTU/kg	g/nap	g/madár	g/db	%	szil, vast, törött toj
Ravindran és mtsai, 2000.	Brojler	7-25 nap, n=50	**A**	2,9*	2,3	0	Ha a fitinsav szintje nőtt, a nitrogén és az esszenciális aminosavak ileális emészthetősége csökkent, de fitáz hozzáadásával javult; 400 és 800 FTU/kg enzim hatása között nem volt különbség -> brojlernek elég volt a 400 FTU/kg fitáz.				
			B	2,9	2,3	400					
			C	2,9	2,3	800					
			D	2,9	4,5	0					
			E	2,9	4,5	400					
			F	2,9	4,5	800					
			G	3,7	2,3	0					
			H	3,7	2,3	400					
			I	3,7	2,3	800					
			J	3,7	4,5	0					
			K	3,7	4,5	400					
			L	3,7	4,5	800					
			M	4,4	2,3	0					
			N	4,4	2,3	400					
			O	4,4	2,3	800					
			P	4,4	4,5	0					
			Q	4,4	4,5	400					
			R	4,4	4,5	800					

2.5 KALCIUM ÉS FOSZFOR FORGALMI VIZSGÁLATOK ÉS JELENTŐSÉGÜK

A foszfor szerves és szervetlen formában található meg az állati szervezetben, a csontok szervetlen, míg a lágy szövetek a P-t szerves vegyületek formájában tartalmazzák. A P 30-40%-a a lágy szövetekben található, azok P tartalma állandó (Pelicia és mtsai, 2009). A csontozatban van a szervezetben lévő P 60-70%-a és a Ca 99%-a. A csont Ca/P aránya közel állandónak vehető (2,2:1), azonban a csont ásványianyag, Ca és P tartalma a szervezet Ca és P mérlegének függvénye. A tojáshéj-képződéshez ~2,5 g Ca-ra van szükség, amihez a tojótyúknak a tápban 38 g/kg Ca-t kell biztosítani (NRC, 1994; Arpasova és mtsai, 2010), de a napszaki ritmusnak köszönhetően a héjképzéshez használt kalciumot a tojótyúk részben a takarmányból, részben pedig a *medulláris* csont Ca-raktárából fedezi (Whitehead és Fleming 2000, Fleming és mtsai, 2006). A tojásképződés miatt a tojótyúkok csöves csont *medulláris* állományában az ásványianyag forgalom egyedülálló (*1. kép – Whitehead, 2004*).



1. *kép: a: Normál, pneumatizált csontüreg, b: Medulláris csontállománnyal telt csontüreg (Whitehead, 2004)*

A fenti összefüggésekre való tekintettel a Ca és P forgalmi vizsgálatokat az alábbi módszerekkel végzik: Ca és P retenció vizsgálatok a felvett és ürített ásványianyagok különbsége alapján, a csonterősség vizsgálat (a csont megroppantásához szükséges erő mértéke) és a csont ásványianyag

(hamu, Ca és P) tartalom vizsgálata. A csontvizsgálatokban egy úgynevezett referencia csontot használnak, ez baromfi esetében a *tibia* csont. A csont erősségét a csontsűrűség befolyásolja (Casey-Trott, 2017), melynek becsléséhez a nemzetközi és hazai gyakorlatban is bevált eszköz a komputer tomográf (CT). Korábbi tanulmányok igazolják a komputer tomográfia hasznosságát *in vivo* vizsgálatokban brojlercsirkék vagy tojótyúkok testösszetételének meghatározására (Milisits és mtsai, 2013; Szentirmai és mtsai, 2013; Milisits és mtsai, 2015). A CT technikát Sir Godfrey Hounsfield 1972-ben Nagy-Britanniában dolgozta ki Allan Cormack elméleti alapját használva. A módszer az emberi és állati anatómiai struktúrák nagy pontosságú képalkotását biztosítja, és keresztmetszeti szeletek sorozatával lehetővé teszi a szövetek és szervek analízisét. A CT a röntgenfelvételekkel ellentétben - amelyek csak kétdimenziós anatómiai szerkezeteket mutatnak - fejlett szoftveres szkennerek, melyek a digitális adatok multi-planar-rekonstrukcióval (MPR) jobb felbontású és részletesebb struktúrákat mutatnak.

A nem megfelelő ásványianyag ellátás a csontállomány csökkenéséhez vezethet, ami a tojástermelés intenzitásának csökkenésével, de főként a tojáshéj minőségének romlásával jár együtt. A nyújtott tojástermelés során rendkívül fontos, hogy a madarak képesek legyenek a csontállomány folyamatos regenerációjára. E körülményeket figyelembe véve a csont ásványianyag-tartalmának megismerése a tojótyúkoknál kardinális kérdés a tojástermelési időszakban. A csont ásványianyag-tartalmának (hamu, Ca, P) meghatározására szolgáló analitikai módszerek, valamint a csont fizikai jellemzőinek (pl. csontszilárdság) meghatározása szükségszerűen *post mortem* végezhető.

A tojótyúkban a csont ásványianyag forgalmának méréséhez többek között olyan további nem invazív technikák állnak rendelkezésre, mint például a Dual Energy X-ray Abszorpciometria (DEXA), mely lehetővé teszi a csontok *in vivo* mérését és monitorozását a madarak bármely életkorában. A kvantitatív computer tomográfia (QCT) szintén egy nem invazív módszer, amely a volumetriás csontok ásványianyag-sűrűségét méri a csontváz bármely részén. A csontok g/cm^3-ben kifejezett ásványianyag sűrűség mérését lehetővé tevő DEXA módszerrel ellentétben a QCT a csontok kortikális és trabekuláris sűrűségének (VBMD) analízisét és meghatározását (g/cm^3) szolgálja. A QCT-vel a VBMD könnyen mérhető a környező

lágyrészekből és az esetleges *osteoarthritis* változásokból eredő hibák nélkül (Harrison és mtsai, 2004). A képalkotó módszerekkel végzett vizsgálatok eredményei és a csontok fizikokémiai tulajdonságai egymással összefüggést mutatnak. Schreiweis és mtsai (2003) a tojótyúkok esetében a *tibia* törésteszt és a *tibia* sűrűsége között r=0,65 (P<0,001), közepesen szoros korrelációt mértek. Brojlerekkel végzett vizsgálatokban Tossenberger és mtsai (2011) azt tapasztalták, hogy a *tibia* sűrűség és az ásványianyag tartalom eredményei egymással szinkronban voltak.

2.6 AZ IRODALOMBÓL LEVONHATÓ KÖVETKEZTETÉSEK

Az irodalmi adatok egyértelműen azt mutatják, hogy a hagyományos, 1 éves tojástermelési időszakban az NRC (1994) által javasolt P ellátás jelentősen, akár 55%-kal (Dersjant-Li és mtsai, 2015) is csökkenthető a tojástermelés és a héjminőség romlása nélkül. Kevés azonban azoknak a vizsgálatoknak a száma, melyek a tojástermelés teljes időszakát felölelik, illetve ugyancsak hiányos az irodalom a tekintetben, hogy mennyi a tojótyúkok P igénye az 1 évet meghaladó perzisztencia esetén.

A tojótyúkokkal végzett vizsgálatok eredményei már régóta igazolták, hogy a Ca forgalom szempontjából a lassan lebomló, nagy szemcseméretű Ca források előnyösebbek. A dinamikus csontmineralizáció és az ásványianyag forgalom jellegzetességei miatt a Ca és a P forgalom egymástól nem választható el. Viszonylag egységes az az álláspont, hogy a klasszikus 1 éves tojóidőszak során a tojótyúkok P igénye akár 1,5-1,8 g/kg nem-fitin foszforral kielégíthető, amennyiben a takarmányt fitáz enzimmel egészítik ki 300 FTU/kg mennyiségben. Felmerül a kérdés, hogy vajon különböző lebomlási sebességű P forrás, de azonos NPP ellátás esetén van-e különbség a madarak teljesítményében, különösen a nyújtott tojóidőszak utolsó 6 hónapjában.

Viszonylag kevés vizsgálatot végeztek annak értékelésére, hogy a különböző genotípusok azonos módon reagálnak-e a P ellátás szintjére. Ismereteink szerint nincs olyan irodalmi adat, ami a genotípusok összehasonlítását a nyújtott tojástermelés utolsó, kritikusnak tekinthető időszakában végezte volna.

2.7 CÉLKITŰZÉSEK

- Annak vizsgálata, hogy hogyan befolyásolja a különböző genotípusú tojótyúkok termelését és a tojáshéj minőségét az eltérő foszforellátás a nyújtott tojóidőszakban (18 hónapos perzisztencia)

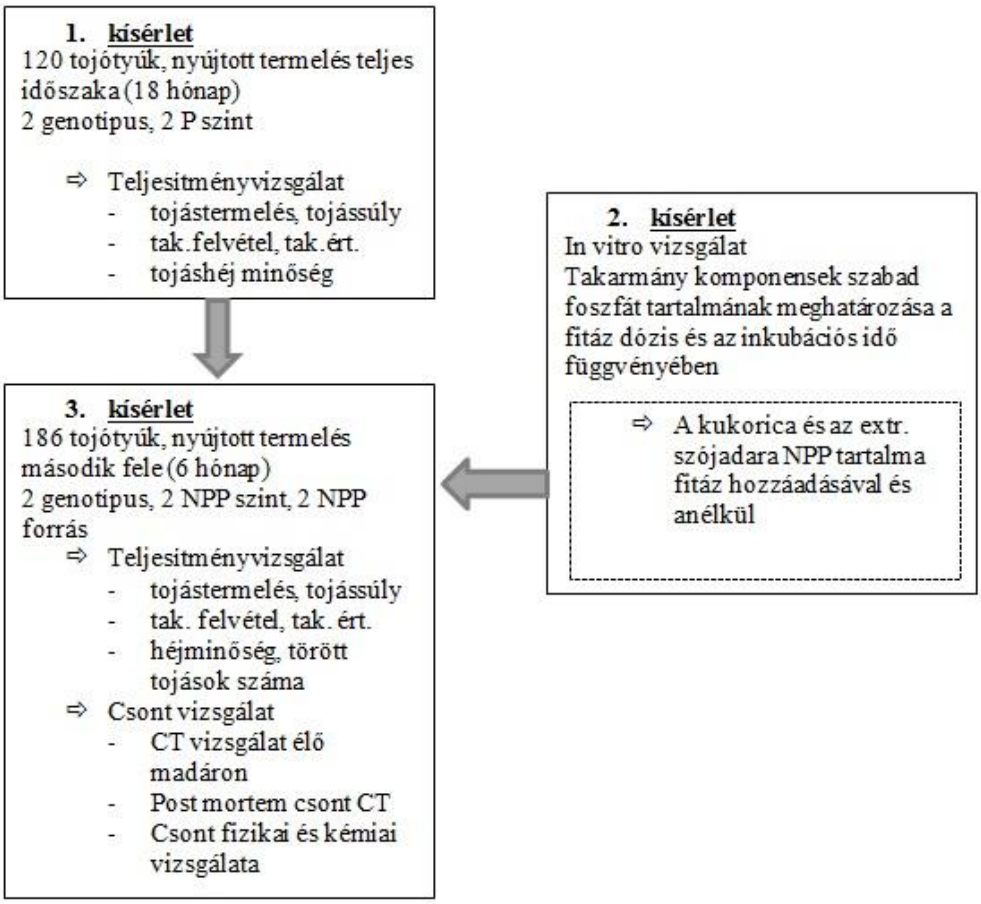
- Az *in vitro* vizsgálatban célunk volt meghatározni a fitáz enzim kiegészítés dózis függő hatását a kukorica és az extrahált szójadara NPP tartalmára az inkubációs idő függvényében

- Az *in vitro* vizsgálatban kapott eredmények alapján összeállított keverékekkel végzett vizsgálatban a különböző szintű és lebomlási dinamikájú NPP ellátás hatását vizsgáltuk a tojótyúkok termelésére, a tojáshéj minőségére és csontmineralizációra a hosszú tojástermelés utolsó 6 hónapjában.

A tervezett vizsgálatok eredményei várhatóan hozzájárulnak a tojótyúkok költséghatékony és fenntartható takarmányozásához, és hiánypótló adatokat szolgáltathatnak a nyújtott tojástermelés során etetendő takarmánykeverékek P tartalmának meghatározásához.

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

Doktori munkám 3 vizsgálatsorozatot ölel fel, melyek közül két kísérletben különböző genotípusú tojótyúkok teljesítményvizsgálatát végeztem különböző takarmányozási kezelések esetén, egy kísérletben pedig *in vitro* vizsgálattal határoztam meg különböző takarmányminták össz P és inozitol foszfor tartalmát, és a kettő ismeretében a minták nem-fitin P tartalmát kiszámítottam. A disszertációban bemutatott vizsgálatok logikai kapcsolatát a *3. ábra* mutatja.



3. ábra: A doktori munka során végzett vizsgálatok összefoglalása

3.1 KÜLÖNBÖZŐ GENOTÍPUSÚ TOJÓTYÚKOK TELJESÍTMÉNYÉNEK ÉS A TOJÁSHÉJ MINŐSÉGÉNEK VIZSGÁLATA A NYÚJTOTT TERMELÉS SORÁN, ELTÉRŐ FOSZFOR-ELLÁTÁS ESETÉN

A kísérletet a Kaposvári Egyetem Agrár- és Környezettudományi Karán, a Takarmányozástani Intézeti Tanszék baromfi kísérleti termében végeztem. Állatkísérleti engedély szám: 232.1/02405/0004/2011

3.1.1 KÍSÉRLETI ÁLLATOK ÉS ELHELYEZÉSÜK, ETETETT TAKARMÁNYOK

A kísérletbe összesen 120 db (genotípusonként 60 db), 19 hetes, 2 genotípusú, nagy teljesítményre képes tojóhibrid került beállításra: TETRA-SL LL (SL) és TETRA Blanca (BL). A madarakat anyagcsere ketrecben (1520 cm^2/ketrec), hármasával helyeztük el. A megvilágítást a hibridek technológia szerinti világítási program ajánlását alkalmazva állítottuk be (babolnatetra.com). A kísérleti takarmányok csupán a P tartalomban különböztek: a pozitív kontrol (PC) kezelés takarmánya az NRC (1994) ajánlásának megfelelő, míg a negatív kontrol (NC) kezelésben etetett keverék az PC-hez képest 10,2%-kal csökkentett P tartalommal rendelkezett. A nyersfehérje, az aminosav, az energia és a Ca tartalom mindkét takarmányban azonos, az NRC (1994) ajánlása szerinti volt. A kísérlet a tojástermelési időszak 72. hetéig tartott (madarak 90. élethetéig). A keverékek összetételét és táplálóanyag tartalmát az *9. táblázat* mutatja be.

9. táblázat A kísérlet során etetett takarmány összetétele és táplálóanyag tartalma

Összetétel (g/kg)	**PC**	**NC**	**Táplálóanyag-tartalom (g/kg)**	**PC**	**NC**	**PC**	**NC**
				számított		**mért**	
Kukorica	630,6	635,1	Szárazanyag	893	892	902	905
Extr. szójadara	252,0	252,0	Nyersfehérje	160	160	162	160
Növényi olaj	2,0	0,0	AMEn (MJ/kg)*	11,5	11,5		
MCP	8,0	5,5	Lizin	8,8	8,8		
Takarmánymész	94,0	94,0	Metionin+Cisztin	7,8	7,8		
NaCl	4,0	4,0	Treonin	6,8	6,9		
Lys-HCl	1,0	1,0	Triptofán	2,1	2,1		
DL-Metionin	2,7	2,7	Ca	38,5	38,1	33,4	34,2
L-Treonin	0,5	0,5	**P (összes)**	**4,9**	**4,4**	**4,9**	**4,4**
L-Triptofán	0,2	0,2	**P (nem-fitin)**	**2,5**	**2,0**		
Ásv.a. és vit. premix*	5,0	5,0	Na	1,6	1,6		

PC: pozitív kontrol, NC: negatív kontrol, *:1 kg premix: Zn: 7974 mg, Cu: 1100 mg, Fe: 1100 mg, Mn: 10980 mg, I: 350 mg, Se: 40 mg, Co: 75 mg, A Vit.: 1600800 NE, D3 Vit.: 370000 NE, E Vit.: 9700 mg, K3 Vit: 990 mg, Vit. B1: 495 mg, B2 Vit.: 1280 mg, B3 Vit.: 5000 mg/kg, B5 Vit.: 1985 mg, B6 Vit.: 600 mg, B12 Vit: 6 mg, Kolin: 45900 mg, Folsav: 450 mg, Biotin: 50 mg

3.1.2 ALAPADATOK FELVÉTELE

A teljesítményt a nyújtott termelés teljes időszakában, a 19. élethéttől a 90 élethétig (18 termelési hónap) vizsgáltam. A madarak teljesítményét 1 hónapra számítottam, melyet 28 naposnak vettem.

A termelési intenzitás (%) mérésére a madarak által megtermelt tojások naponta kerültek gyűjtésre. Az intenzitási mutató kiszámítása:

$$\frac{\textbf{Ketrecenként havonta gyűjtött tojások száma (db)}}{\textbf{Takarmányozási napok száma}} \textbf{x100}$$

Mivel a madarakat hármasával helyeztük el anyagcsere ketrecben, a havi takarmányozási napok száma az alábbiak szerint került meghatározásra:

Takarmányozási napok száma = bennálló madarak száma ketrecenként x 28 nap

A tojótyúkok átlagos takarmányfelvételét (gramm/nap/madár) az alábbi módon számoltam:

$$\frac{\text{Hetente bemért takarmány (g/ketrec)} - \text{visszamért takarmány (g/ketrec)}}{\text{Madarak száma ketrecenként x 7 (nap)}}$$

A tojáshéj minőségét a nyolcadik hónaptól kezdve 11 hónapon át mértem. A madarak testsúlyát havonta, a takarmányfogyasztást hetente, a ketrecenként megtermelt tojások számát és egyedi súlyát naponta, grammnyi pontossággal mértük. A madarak teljesítményét az alábbi értékmérőkkel jellemeztem: tojástermelés intenzitása (%), tojássúly (g/db), átlagos napi takarmányfelvétel (g/nap/madár) és takarmány-értékesítés (kg takarmány /kg tojás). A tojáshéj szilárdságát és vastagságát kezelésenként 20 tojás mérése alapján határoztuk meg, melyeket a havonta gyűjtött tojásokból választottam ki úgy, hogy a kiválasztott tojások átlagsúlya és szórása a 4 heti tojások átlagával és szórásával megegyező legyen. A tojáshéj szilárdságát a tojás függőleges állásában, a hegyesebb csúcson, annak áttörésével mértük. Az alkalmazott műszer Zwick Roell Z005 típusú volt. A mérések során rögzítettük a héj roppanásakor fellépő maximális erőt (N). A héjvastagságot elektromos Mitutoyo mikrométerrel határoztuk meg ezredmilliméter pontossággal (*2. kép*). A takarmányok táplálóanyag-tartalmának meghatározását az AOAC (1990) szerint végeztük a Kaposvári Egyetem, Agrár- és Környezettudományi Kar, Élelmiszer-, Mezőgazdasági Termék és Takarmányminősítő Laboratóriumában.

2. kép Tojáshéj vastagság mérés (Mitutoyo mikrométer)(saját kép)

3.1.3 ALKALMAZOTT STATISZTIKAI MÓDSZER

Adataimat kéttényezős variancia-analízissel elemeztem a tojástermelés minden egyes hónapjában (SAS, 2004), az alábbi modell szerint:

$Y_{ijk} = \mu + G_i + P_j + G_i*P_j + e_k$, ahol: Y_{ijk} = a függő változó, μ = a főátlag, G_i = a genotípus hatása (i=2: SL, BL), P_j = a takarmány P-tartalmának hatása (j=2: 4,4 g/kg, 4,9 g/kg), G_i*P_j = interakcióhatás; e_k = nem definiált hiba.

Szignifikáns kezeléshatás esetén ($P<0,05$) a kezelések közötti eltérések statisztikai megbízhatóságát Tukey-teszttel ellenőriztem (SAS, 2004).

A héjvastagság és –szilárdság közötti korreláció-számítást azt alábbi modell szerint végeztem:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{N}(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N}(x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^{N}(y_i - \bar{y})^2}}$$

ahol

az x_i értékek,

az y_i értékek átlagait jelöli.

3.2 A KUKORICÁBAN ÉS AZ EXTRAHÁLT SZÓJADARÁBAN LÉVŐ FITIN-P LEBOMLÁSI KINETIKÁJÁNAK *IN VITRO* VIZSGÁLATA KÜLÖNBÖZŐ MÉRTÉKŰ FITÁZ KIEGÉSZÍTÉS ESETÉN

3.2.1 ALKALMAZOTT ENZIM

A vizsgálathoz egy piaci forgalomban lévő - az Európai Unióban az EFSA által engedélyezett - fermentált *Schizosaccharomyces* (fitáz-6; EC 3.1.3.26) élesztőgomba eredetű enzimet használtam, melyet a gyártó baromfi és sertés tápokhoz ajánl. Az enzim 95° C-ig hőstabil, garantált aktivitása 10000 FTU/g. Meghatároztuk a termék enzimaktivitását (FTU/g) különböző pH szinteken, és mértük a kötött állapotú P lebomlásának dinamikáját az inkubációs idő és hozzáadott enzim aktivitásának függvényében kukorica és extrahált szójadara mintákból. A vizsgálatok során a kijelölt időpontokban (óránként) az oldatban lévő szabad P mennyiségét mértük, ezt tekintettük a mintában lévő nem-fitin foszfornak (NPP).

Az *in vitro* vizsgálataimat a Bonafarm-Bábolna Takarmány Kft. nagyigmándi laboratóriumában végeztem.

3.2.2 ENZIM AKTIVITÁS TESZT

Enzim készítmény fitáz aktivitás vizsgálata: A foszfát standard oldatot 0,25 mol/l acetát pufferrel hígítottuk, amely 0,01 tömeg%-os poliszorbátot tartalmazott. A foszfát standard oldat elkészítéséhez 1080 µl 0,25 mol/l acetát puffert és 0,01 tömeg%-os poliszorbát 20-at pipettázzuk egy 2 ml-es csőbe (*3. kép*). 120 µl hígított foszfát standard oldatot adunk hozzá és a mintát összekevertük. Az oldatokat előmelegítettük 5 percig 37 ° C-on. Ezután 2,4 ml acetát pufferoldatot előmelegítettünk 37 ° C-ra és 30 percig inkubáltuk. 30 perc elteltével 2,4 ml-es stop reagenst (1 rész ammónium-vanadát 1 rész ammónium-heptamolibdát és 2 rész híg salétromsav elegye - Nyannor és mtsai, 2009) adtunk hozzá, majd összekevertük. Az oldatokat 10 percig szobahőmérsékleten tartottuk, majd 6 percig centrifugáltuk. A felszabadult inozitol-foszfátot (IP) 415 nm-en spektrofotométerrel mértük.

Valamennyi mérést háromszor ismételtük 1,0-től 8,5 pH-ig 0,5-ös léptékben, és az eredményeket átlagoltuk (Igbasan és mtsai, 2000; Carlson és Poulsen, 2002).

3. kép In vitro vizsgálat (saját kép)

3.2.3 REAKCIÓ VIZSGÁLAT

Takarmány alapanyagban felszabadított P mennyiségének mérése: Erlenmeyer lombikban, 2,5 gramm (kukorica / szója) mintához 50 ml, 37° C-on előinkubált, 0,25 mol/l (0,01 m/m% poliszorbát 20 acetát puffert adtunk. Az oldatot vízfürdőn kevertetük, mely módszerrel az extrakciót és a fitinsav enzimes bontását egyszerre végeztük. A kevertetés ideje: 30 perc, 1, 2 és 3 óra volt, minden mérési pontban 3 párhuzamos mérést végeztünk. A kevertetés ideje alatt 3-3, 10 ml-es centrifugacsőbe előkészítettük a reagenseket, amihez a kiextrahált mintát adtuk. A kémcsőbe került oldatok: 900 µl, 0,25 mol/l (0,01 m/m% poliszorbát 20 tartalmú) acetát puffer, 2400 µl stop reagens, 2400 µl acetát puffer. Az előkészített mátrixhoz az inkubációs idő letelte után 300 µl-t adunk a kiextrahált mintából. 10 perc színreakciót követően 6,5 perc centrifugálás következett, majd 415 nm-en mértük a felszabadult IP mennyiségét spektrofotométeren (*4. kép*) (Igbasan és mtsai, 2000; Carlson és Poulsen, 2002).

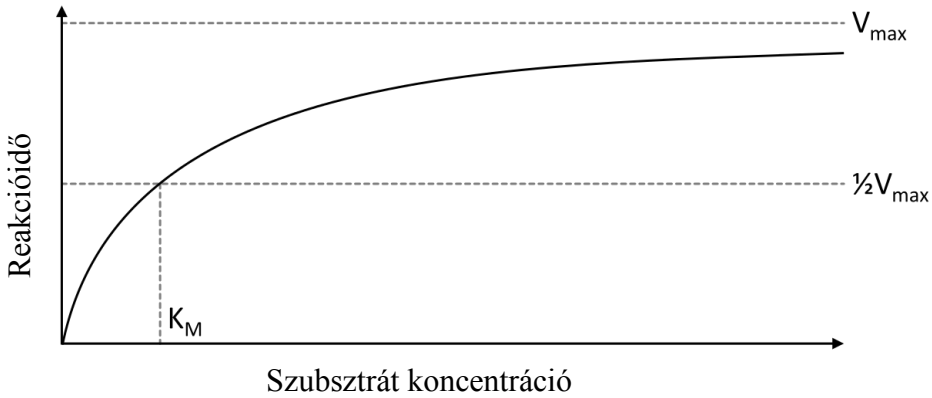
4. kép Spektrofotométer (saját kép)

Az enzim kinetikai vizsgálata során a felszabaduló foszfát mennyiségének becsléséhez a Leonor Michaelis és Mand Menten (1913) nyomán ismert modellt alkalmaztam, az alábbi képlet alapján:

$$\mathbf{Y = V_{max} / (1 + K_m/T)}$$

ahol: Y a kötésből felszabadult P, V_{max} a maximális reakció sebesség, K_m a teljes felszabadítható foszfor mennyiségének feléhez szükséges idő, meghatározva a görbe sebességét, T=inkubációs idő (*4. ábra*).

A szubsztráthoz, vizsgálatainkban a takarmány kukorica és szója mintákhoz fitáz enzimet kevertünk 100, 200 és 300 FTU/kg koncentrációban.



4. ábra A Michaelis Menten enzimkinetika modellje

3.3 A TOJÓTYÚKOK TELJESÍTMÉNYÉNEK ÉS A TOJÁSHÉJ MINŐSÉG, VALAMINT A CSONTMINERALIZÁCIÓ VIZSGÁLATA A TAKARMÁNY NPP TARTALMÁNAK ÉS A NPP FORRÁSÁNAK FÜGGVÉNYÉBEN

A kísérletet a Kaposvári Egyetem Agrár- és Környezettudományi Karán, a Takarmányozástani Intézeti Tanszék baromfi kísérleti termében végeztem. Állatkísérleti engedély száma: 232.1/02405/0004/2011

3.3.1 KÍSÉRLETI ÁLLATOK ÉS ELHELYEZÉSÜK, ETETETT TAKARMÁNYOK

A vizsgálatba 184 db Tetra-SL LL tojóhibrid került bevonásra a 45. termelési héttől a 68. termelési hétig (63-86. élethét között). A madarak két csoportba kerültek (A, B) a tojáshéj minőségre történt szelekció alapján. A tenyésztő cég előzetes mérései szerint az A-csoport madarainak héjszilárdsági és héjvastagsági mutatói jobbak voltak, mint a B-csoporté. A tojótyúkok hármasával kerültek elhelyezésre anyagcsere ketrecben (1520 cm^2/ketrec). A megvilágítást a hibridek technológia szerinti világítási program ajánlását alkalmazva állítottuk be (babolnatetra.com). A kísérleti takarmányok két eltérő nem-fitin foszfor (NPP) szinten és enzim kiegészítéssel vagy anélkül kerültek beállításra négy kísérleti kezelésben. A pozitív kontrol (PC) kezelés keveréktakarmányának NPP szintje 2,45 g/kg, a negatív kontrol (NC) kezelésé pedig 2,15 g/kg volt. Az enzimes pozitív kontrol (PCE) és az enzimes negatív kontrol (NCE) kezelés takarmányainál az előzetes *in vitro* vizsgálat eredményei alapján a kukoricához és szójához adott 300 FTU fitáz enzim által felszabadított P szerint számítottuk és állítottuk be az NPP szinteket (2,45 és 2,15 g/kg).

A kísérleti takarmányok összetételét és táplálóanyag tartalmát a *10. táblázat* mutatja be.

10. táblázat A kísérlet során etetett takarmány összetétele és táplálóanyag tartalma

Kezelések*	**PC**	**NC**	**PCE**	**NCE**
Összetétel (g/kg)				
Kukorica	653,7	654,6	657,3	658,3
Extr. szójadara	224,0	224,0	224,0	224,0
Növényi olaj	2,0	2,0	2,0	2,0
MCP	**7,3**	**5,8**	**1,6**	**0,0**
Takarmánymész	95,0	95,6	97,2	97,8
NaCl	4,0	4,0	4,0	4,0
L-lizin-HCl	0,8	0,8	0,7	0,7
DL- metionin	2,4	2,4	2,4	2,4
L-treonin	0,8	0,8	0,8	0,8
L-triptofán	0,0	0,0	0,0	0,0
Premix 1%	10,0	10,0	10,0	10,0

Kezelések	**PC**	**NC**	**PCE**	**NCE**	**PC**	**NC**	**PCE**	**NCE**
Táplálóanyag tartalom (g/kg)	**számított**				**mért**			
Szárazanyag	897	897	897	897	902	900	901	900
Nyersfehérje	160	160	160	160	163	163	159	163
AMEn (MJ/kg)	11,6	11,6	11,6	11,6				
Lizin	8,2	8,2	8,2	8,2				
Met+Cisz	7,3	7,3	7,3	7,3				
Treonin	6.4	6.4	6.4	6.4				
Triptofán	1,7	1,7	1,7	1,7				
Ca	38,2	38,2	38,2	38,2	32,5	32,9	36,1	34,2
Össz foszfor	5,0	4,7	3,8	3,5	4,84	4,38	3,49	3,15
Hozzáadott fitáz enzim	**0 FTU**	**0 FTU**	**300 FTU**	**300 FTU**				
Nem-fitin P	**2,45**	**2,15**	**1,31**	**0,99**				
In vitro adatok alapján becsült **NPP**	**2,45**	**2,15**	**2,46**	**2,15**				

*PC: 2,45 g/kg NPP+0 FTU/kg enzim, NC: 2,15 g/kg NPP+0 FTU/kg enzim, PCE: 2,45 g/kg NPP+300FTU/kg enzim, NCE: 2,15 g/kg NPP+300 FTU/kg enzim.

1 kg premix: Zn: 7974 mg, Cu: 1100 mg, Fe: 1100 mg, Mn: 10980 mg, I: 350 mg, Se: 40 mg, Co: 75 mg, A Vit.: 1600800 NE, D3 Vit.: 370000 NE, E Vit.: 9700 mg, K3 Vit: 990 mg, Vit. B1: 495 mg, B2 Vit.: 1280 mg, B3 Vit.: 5000 mg/kg, B5 Vit.: 1985 mg, B6 Vit.: 600 mg, B12 Vit: 6 mg, Kolin: 45900 mg, Folsav: 450 mg, Biotin: 50 mg

3.3.2 ALAPADATOK FELVÉTELE

A teljesítményt a nyújtott termelési periódus (17 hónap) utolsó 6 hónapjában vizsgáltuk. A madarak takarmányfogyasztását hetente, a ketrecenként megtermelt tojások számát - melyben külön jelöltük a repedt és törött tojásokat is - és egyedi súlyát naponta, grammnyi pontossággal mértük. A madarak teljesítményét az alábbi értékmérőkkel jellemeztük: tojástermelés intenzitása (%), tojássúly (g/tojás), átlagos napi takarmányfelvétel (g/nap/madár) és takarmány-értékesítés (kg takarmány /kg tojás). Az alkalmazott módszerek azonosak voltak a 3.1.2. pontban leírtakkal.

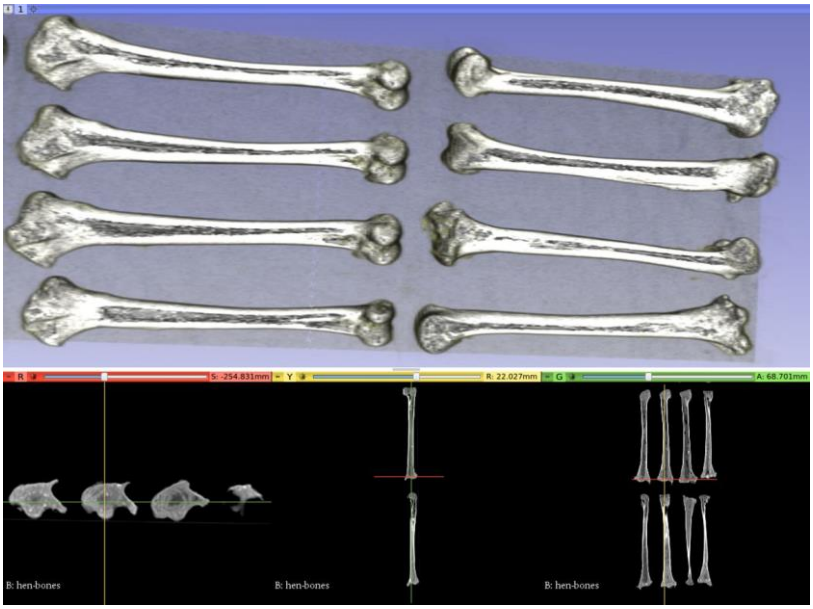
A tojáshéj szilárdságát és vastagságát kezelésenként 20 tojás mérése alapján határoztuk meg, a kéthetente gyűjtött tojásokból választottunk ki úgy, hogy a kiválasztott tojások átlagsúlya és szórása a 2 heti tojások átlagával és szórásával megegyező legyen. Az alkalmazott módszer azonos volt a 3.1.2. pontban leírtakkal. A megtojt tojások héját makroszkópikus vizsgálattal mérve a repedt (vagy törött) héjú mintához vettem. Az ép héjú tojásokhoz viszonyított arányukat egyszerű százalékszámítással végeztem.

A madarak csontvizsgálatát képalkotó módszerrel, CT felvételek analízisével élő madarakon végeztük. A vizsgálatba vont madarak közül genotípusonként 72, kezelésenként 36 tojótyúkon, két időpontban végeztük: a kísérlet kezdetétől számított 60. napon (71. élethét/53. termelési héten) és a kísérlet utolsó előtti napján, 86 hetes korban, a tojástermelési időszak 68. hetében. A vizsgálatok befejeztével *post mortem* vizsgáltuk a *tibia* tulajdonságait, kezelésenként 15, genotípusonként 30 madár csontjával.

A CT vizsgálatokat a Kaposvári Egyetem Diagnosztikai Képalkotó és Sugárbiológiai Onkológiai Intézetének Siemens Somatom Sensation 16 Cardiac (Siemens, Erlangen, Németország) szkennerével végeztük (*5. kép*). Az *in vivo* eljárások során a madarakat speciális műanyag tartályban rögzítettük, anesztetikum nélkül, és három állatot egyszerre szkenneltünk. Az akvizíció paramétereit 140 kV-os csőfeszültségre, 200 mA-es áramerősségre, 16 x 1,5 mm kollimációra, 500 mm látómezőre, spirál adatgyűjtésre: pitch 0,7 értékre állítottuk be (Schreiweis, 2003).

5. *kép A tyúkok elhelyezése a CT készülékben (saját kép)*

A madarakat a második *in vivo* CT vizsgálat utáni napon, a kísérlet utolsó napján levágtuk és a bal láb csontjait a környező izmok és a lágy szövetektől megtisztítottuk. A *tibiotarsalis* csontot elválasztottuk a *fibulát*ól. A csontokat 2 x 4 mátrixba rendeztük a vizsgálóasztalon. A *tibiotarsalis* csontokat a fent leírt protokoll segítségével vizsgáltuk (*6. kép*). A Kalender és mtsai (1987) által leírt külső kalibrációs fantomot (syngo Osteo CT, Siemens, Erlangen, Németország) a fent leírt protokoll alkalmazásával vizsgáltuk.



6. *kép Tibia keresztmetszeti CT felvétele (saját kép)*

A kémiai vizsgálati eljárás előtt a *tibiotarsalis* csontok törési szilárdságát (N) Zwick Roell Z005 vizsgálógépen határoztuk meg. A tartók közötti távolságot a csontok végrészén állítottuk be. A törőlap sebessége 20 mm/perc volt. A takarmányok táplálóanyag-tartalmának meghatározását az AOAC (1990) szerint végeztük a Kaposvári Egyetem, Agrár- és Környezettudományi Kar, Élelmiszer-, Mezőgazdasági Termék és Takarmányminősítő Laboratóriumában. A *tibiotarsalis* csont szárazanyag, hamu-, Ca és P-tartalmát a következő módszerek szerint határoztuk meg: AOAC 934.01, AOAC 942.05.

3.3.3 ALKALMAZOTT STATISZTIKAI MÓDSZER

Adataimat kéttényezős variancia-analízissel elemeztem (SAS, 2004), az alábbi modell szerint:

$Y_{ijk} = \mu + G_i + NP_j + V_i*NP_j + ek$, ahol: Y_{ijk} = a függő változó, μ = a főátlag, G_i = a genotípus hatása (i=2: A, B), NP_j = takarmányozási kezelések (j=4: PC: becsült NPP 2,45 g/kg enzim nélkül; NC: becsült NPP 2,15 g/kg enzim nélkül; PCE: becsült NPP 2,45 g/kg 300 FTU/kg enzim kiegészítéssel; becsült NPP 2,15 g/kg 300 FTU/kg enzim kiegészítéssel) V_i*NP_j = interakcióhatás; e_k = nem definiált hiba.

Szignifikáns kezeléshatás esetén ($P<0,05$) a kezelések közötti eltérések statisztikai megbízhatóságát Tukey-teszttel ellenőrizzük (SAS, 2004).

A törött héjú tojások aránya és a tojáshéj törőerő közötti korreláció-számítást azt alábbi modell szerint végeztem:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{N}(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N}(x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^{N}(y_i - \bar{y})^2}}$$

ahol

az x_i értékek,

az y_i értékek átlagait jelöli.

4. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

4.1 A GENOTÍPUS ÉS AZ ELTÉRŐ P-ELLÁTÁS HATÁSA A TOJÓTYÚKOK TELJESÍTMÉNYÉRE ÉS A TOJÁSHÉJ MINŐSÉGÉRE HOSSZÚ TOJÁSTERMELÉSI IDŐSZAKBAN

Ezzel a vizsgálattal arra kerestem a választ, hogy a hagyományos egy éves tojóidőszakon túl termelésben tartott modern tojóhibridek teljesítménye és tojáshéjának minősége miként változik az ajánlás szerinti és egy csökkentett P tartalmú takarmány etetése esetén.

A kísérletbe állított tojóhibridek termelési mutatóit *11-12. táblázat* mutatja be.

11. táblázat A genotípus és az eltérő foszforszintek hatása a termelési paraméterekre az egyes termelési hónapokban

Paraméterek	Kezelések	Termelésben eltöltött hónapok																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Termelési intenzitás (%)	SL[I]	61,7	98,5[a]	98,2[a]	96,9[a]	96,0[a]	95,4[a]	94,1[a]	93,0[a]	90,3	88,8[a]	87,8[a]	85,7[a]	84,6[a]	81,4[a]	80,2[a]	79,5[a]	78,4[a]	76,6[a]
	BL[II]	61,4	96,9[b]	96,1[b]	94,6[b]	92,9[b]	92,2[b]	90,3[b]	90,4[b]	87,7	85,1[b]	83,5[b]	82,6[b]	81,0[b]	79,2[b]	77,6[b]	76,5[b]	74,9[b]	71,9[b]
	PC [III]	61,7	98,1	97,5	96,0	95,1	94,2	92,9	91,8	90,0	88,1[a]	87,5[a]	85,2[a]	84,2[a]	81,4[a]	80,3[a]	78,8[a]	78,1[a]	76,4[a]
	NC[IV]	61,4	97,3	96,8	95,5	93,9	93,5	91,5	90,5	88,1	86,0[b]	83,0[b]	82,1[b]	81,4[b]	78,8[b]	76,8[b]	76,0[b]	74,8[b]	71,1[b]
	RMSE[V]	9,84	1,84	1,96	2,29	2,92	2,78	4,88	3,2	4,62	7,43	11,03	6,66	5,13	6,69	6,91	8,65	7,51	8,34
	P-ért.[VI]		*	*	*	*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*
	P-ért.[VII]										*	*	*	*	*	*	*	*	*
Tak. fogyasztás (g/nap)	SL[I]	102,1[a]	110,5[a]	111,2[a]	110,9[a]	111,1[a]	112,2[a]	117,3[a]	119,1[a]	118,2[a]	117,1[a]	117,2[a]	115,9[a]	111,7	112,2	115,6[a]	110,4	107,8	105,6
	BL [II]	91,0[b]	91,8[b]	96,3[b]	100,2[b]	101,4[b]	103,3[b]	105,2[b]	107,4[b]	108,1[b]	108,1[b]	109,3[b]	107,9[b]	107,7	107,7	107,4[b]	107,3	105,1	103,6
	PC[III]	91,7	100,9	104,5	104,7	105,1	106,6	110,7	111,5[a]	111,9[a]	111,8[a]	112,8[a]	111,1	110,2	109,5	109,1[a]	107,1[a]	105,5[a]	104,7
	NC[IV]	91,4	101,4	103,0	106,3	107,4	108,9	111,7	115,1[b]	114,5[b]	113,3[b]	113,6[b]	112,8	109,2	110,4	113,9[b]	110,6[b]	107,5[b]	104,5
	RMSE[V]	7,68	5,91	5,44	6,33	6,47	8,87	6,46	6,49	7,68	7,45	7,25	7,52	9,56	8,71	9,37	10,01	9,19	12,03
	P-ért.[VI]	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	NS	NS	*	NS	NS	NS
	P-ért.[VII]	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*	*	*	*	NS	NS	NS	*	*	*	NS

*: szignifikáns különbség, NS: nem szignifikáns különbség. A genotípusok és a takarmányok foszfortartalmának hatása között nem volt interakció (P>0,05). SL[I]: Tetra-SL LL, BL[II]: TETRA Blanca; PC[III]: 4,9 g/kg össz P-tartalom, NC[IV]: 4,4 g/kg össz P-tartalom RMSE[V]: Átlagos négyzetes hiba gyöke; P-ért[VI].: genotípus hatás,b: P<0,05 P-ért[VII].: takarmányok P tartalmának hatása

12. táblázat A genotípus és az eltérő foszforszintek hatása a termelési paraméterekre az egyes termelési hónapokban

Paraméterek	Kezelések	Termelésben eltöltött hónapok																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Tojássúly (g/db)	SL[I]	54,2[a]	59,8[a]	60,4[a]	62,6[a]	63,5[a]	63,5[a]	64,0	64,5	64,2	64,5	65,1	65,1	65,1	66,1	65,9	66,3	67,2	67,1
	BL[II]	51,7[b]	55,5[b]	57,7[b]	59,9[b]	60,7[b]	62,1[b]	62,9	63,5	64,3	65,1	65,0	66,0	66,4	66	66,7	66,7	66,7	67,3
	PC [III]	53,3	58,0	59,3	60,8	61,8	62,5	63,2	63,8	63,7	64,6[a]	64,6[a]	65,2[a]	65,7[a]	65,5	66	65,9	66,3[a]	67,5[a]
	NC[IV]	52,6	57,2	58,8	61,7	62,5	63,1	63,7	64,2	64,8	63,0[b]	63,2[b]	63,1[b]	63,8[b]	64,9	65,6	66,0	65,1[b]	65,9[b]
	RMSE[V]	2,24	2,23	3,09	2,24	2,26	2,13	2,31	2,45	2,2	2,49	2,51	3,47	3,16	3,91	3,09	3,16	3,31	3,18
	P-ért.[VI]	*	*	*	*	*	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
	P-ért.[VII]	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*	*	*	*	NS	NS	NS	*	*
Tojásmassza (kg)	SL[I]	3363[a]	4923[a]	4980[a]	4948[a]	4950[a]	4894	4978[a]	5001[a]	4874[a]	4826[a]	4832[a]	4595	4335	4373	4265	4251	3980	3839
	BL[II]	2510[b]	4389[b]	4604[b]	4666[b]	4616[b]	4740	4623[b]	4515[b]	4327[b]	4327[b]	4243[b]	4238	4221	4032	4012	4009	3990	3922
	PC [III]	3104	4628	4803	4816	4784	4802	4789	4710	4605	4557	4534	4371	4342	4230	4152	4152	4104[a]	4039[a]
	NC[IV]	3070	4683	4781	4798	4782	4832	4813	4806	4597	4594	4539	4462	4214	4175	4125	4108	3886[b]	3721[b]
	RMSE[V]	678	206	281	346	339	539	386	351	357	367	444	557	652	582	678	590	595	610
	P-ért.[VI]	*	*	*	*	*	NS	*	*	*	*	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
	P-ért.[VII]	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	*	*
Tak. érték. (kg/kg)	SL[I]	2,49	1,89	1,88	1,89	1,89	1,95[a]	1,99	2,01	2,06	2,05	2,06	2,17	2,22	2,21	2,35	2,21	2,34	2,36
	BL[II]	2,41	1,92	1,89	1,88	1,85	1,84[b]	1,93	2,00	2,10	2,12	2,17	2,23	2,29	2,30	2,37	2,38	2,43	2,49
	PC [III]	2,43	1,90	1,86	1,86	1,85	1,88	1,95	2,00	2,05	2,07	2,10	2,19	2,24	2,23	2,30	2,26	2,29	2,30
	AP[IV]	2,46	1,91	1,92	1,91	1,89	1,91	1,97	2,01	2,11	2,09	2,14	2,20	2,27	2,27	2,42	2,34	2,49	2,54
	RMSE[V]	0,33	0,19	0,21	0,16	0,13	0,15	0,13	0,14	0,22	0,17	0,21	0,33	0,33	0,31	0,38	0,29	0,36	0,3
	P-ért.[VI]	NS	NS	NS	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
	P-ért.[VII]	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

*: szignifikáns különbség, NS: nem szignifikáns különbség. A genotípusok és a takarmányok foszfortartalma között nem volt interakció. SL[I]: Tetra-SL LL, BL[II]: TETRA L Blanca; PC [III]: 4,9 g/kg össz P-tartalom, NC[IV]: 4,4 g/kg össz P-tartalom RMSE[V]: Átlagos négyzetes hiba gyöke; P-ért[VI].: genotípus hatás,b: P<0,05 P-ért[VII].: takarmányok P tartalmának hatása

Adataim szerint a tojóhibridek genotípusa a teljes nyújtott tojóidőszakban szignifikáns hatással volt a tojástermelési intenzitásra. A TETRA-SL LL genotípus a 18 hónapos tojóidőszakban átlagosan 4,0 relatív %-kal (P<0,05) nagyobb intenzitással tojt, mint a TETRA Blanca. A hagyományos, egy éves tojóidőszak (12 termelési hónap) végén az SL madarak átlagosan 85,7%-os, a BL madarak pedig 82,6%-os intenzitással termeltek, míg a nyújtott, 18 hónapos termelési időszak végén az SL 76,6%-os, a BL pedig 71,9%-os tojástermelési intenzitást mutatott. A hagyományos egy éves tojóidőszakon túl, a TETRA-SL LL genotípusú tojóhibrid átlagosan 3,2%-kal nagyobb termelési intenzitással tojt, mint a TETRA Blanca. A TETRA-SL LL hibrid átlagosan 87,1%-os, a TETRA Blanca pedig átlagosan 84,2%-os tojó intenzitást mutatott a teljes, 18 hónapos tojóidőszak alatt. A takarmányok P tartalma a termelési időszak első 9 hónapjában nem volt hatással a termelési intenzitásra, azonban a 10. hónaptól kezdődően az NRC (1994) ajánlása szerinti 4,9 g/kg P tartalmú takarmánnyal etetett madarak tojástermelése átlagosan 3,3%-kal (P<0,05) jobb volt, mint az ajánláshoz képest alacsonyabb P tartalmú takarmánnyal etetett madaraké. Az ajánlás szerinti P tartalmú táppal etetett tojótyúkok átlagos termelési intenzitása 86,5% volt, míg a csökkentett P tartalmú táppal etetett társaiké 84,4% volt.

Más vizsgálatok is megerősítik, hogy a tojástermelés későbbi szakaszában a P-szint csökkentése nem javasolható. A tojótakarmányok hasznosítható P tartalmának 4,0 g/kg-ról 3,0 g/kg-ra való csökkentésével a tojótyúkok tojástermelése 2,4%-kal csökkent a 75 élethetes madarak esetében (Park és mtsai, 2009). Lei és mtsai (2011) azt találták, hogy a takarmányok 4,9 g/kg össz foszfor tartalmát 3,7 g/kg-ra csökkentve, a tojótyúkok termelési intenzitása még a csúcstermelés körül is romlott a 9-12 és 17-20. termelési héten. Tossenberger és mtsai (2008) a 12 hónapos termelési időszakot vizsgálva azt találták, hogy az NRC (1994) ajánlásához viszonyított 40%, illetve 50%-kal kevesebb foszfortartalmú takarmánykeverékek hatására a tojótyúkok által megtermelt tojások száma 12%-kal csökkent.

A takarmányfogyasztásra a tojótyúkok genotípusa a nyújtott tojástermelési időszak első 12 hónapjában, és a 15. hónapban volt szignifikáns hatással oly módon, hogy az SL genotípus átlagosan 9,7%-kal (P<0,05) több takarmányt fogyasztott az első évben, mint a BL genotípus. Az SL a teljes tojóidőszak alatt 112,6 gramm takarmányt fogyasztott naponta, a BL pedig 103,8 grammot. A nyújtott tojástermelési időszak első egy évében a

TETRA-SL LL gentoípusú tojóhibrid takarmányfelvétele nagyobb volt, mint a TETRA Blancáé, mely eredmény adódhat a hibridekre jellemző átlagos testtömeg-különbségből, de magyarázhatja azt a nagyobb teljesítmény nagyobb táplálóanyag igénye is.

Az etetett takarmányok eltérő foszfor tartalma a tojóidőszak 8-11. és 15-17. hónapjaiban befolyásoló tényezőként hatott a madarak takarmányfogyasztására. Ez azt jelentette, hogy ezekben a hónapokban az ajánlás szerinti 4,9 g/kg P tartalmú tápot fogyasztó hibridek takarmányfelvétele átlagosan 2,4%-kal ($P<0,05$) kisebb volt, mint a csökkentett, 4,4 g/kg P tartalmú tápot fogyasztó madaraké. A 18 hónapig tartó tojóidőszak alatt azonban a genotípusok között mért különbség minimális volt, a nagyobb P tartalmú tápból átlagosan 107,2 grammot a kisebb P tartalmú tápból pedig 108,6 grammot fogyasztottak átlagosan naponta a madarak.

Sohail és mtsai (2001) a tojótyúkokkal etetett takarmányok össz foszfortartalmát 2,9 és 6,5 g/kg között állították be és azt tapasztalták, hogy a takarmány P tartalmának növekedésével a takarmányfogyasztás is nőtt. Lei és mtsai (2011) a takarmányok össz foszfortartalmát 4,9 g/kg-ról 3,7 g/kg-ra csökkentették és azt találták, hogy a tojástermelés 1-20 hetében a tyúkok takarmányfogyasztása szignifikáns mértékben csökkent.

A megtojt tojások súlyában a tojóidőszak első 6 hónapjában mutatkozott szignifikáns eltérés a tojótyúkok genotípusának hatására. A TETRA-SL LL hibrid ebben az időszakban átlagosan 4,5%-kal ($P<0,05$) nagyobb tojást tojt, mint a TETRA Blanca. Az SL átlagos tojássúlya 63,8 gramm, a BL-é pedig 63 gramm volt a teljes tojóidőszakot tekintve.

Szentirmai és mtsai (2013) a TETRA-SL (TSL) és TETRA Blanca (TBL) genotípusú tojóhibridek összehasonlítási vizsgálatában azt találták, hogy a tojástermelés 24-48 hetében a TSL tyúkok által megtermelt tojások szignifikánsan nagyobbak voltak, mint a TBL-é, de az azt követő időszakokban, a tojástermelés 72. hetéig a tojások súlya már nem különbözött ($P>0,05$).

A tojóidőszak 1-13. és 17-18. hónapjában a nagyobb P tartalmú takarmány hatására a tojótyúkok átlagosan 2,5%-kal ($P<0,05$) nagyobb tojást tojtak, mint a csökkentett P tartalmú takarmányt fogyasztó madarak. A magas

P tartalmú táppal etetett tyúkok átlagosan 63,2 grammos, az alacsony P tartalmú táppal etetett madarak által megtermelt tojás súlya pedig átlagosan 62,7 grammos volt a teljes tojóidőszakot tekintve. A nagyobb takarmányfogyasztás okozhatta a nagyobb tojássúlyt az SL madaraknál. A hibridek genotípusa statisztikailag igazolható mértékben befolyásolta a megtermelt tojásmasszát a nyújtott tojástermelési időszak első 11 hónapjában (a 6. hónap kivételével). Az SL genotípus átlagosan 9,5%-kal ($P<0,05$) több tojást termelt az említett időszakban, mint a BL genotípus. A takarmányok P tartalma a tojásmasszára a nyújtott tojóidőszak utolsó két hónapjában (17-18.) volt szignifikáns hatással ($P<0,05$). Az ajánlás szerinti, 4,9 g/kg P tartalmú tápot fogyasztó madarak átlagosan 6,6%-kal ($P<0,05$) több tojást termeltek ebben az időszakban, mint a csökkentett P tartalmú tápot fogyasztó társaik.

Francesch és mtsai (2005) kukorica alapú, 3,2 g/kg-ról 1,1 g/kg-ra csökkentett NPP tartalmú és azok 0, 150, 300 és 450 FTU/kg fitáz enzimmel kiegészített tojótakarmány hatását vizsgálták. Az enzim kiegészítés nélküli 1,1 g/kg NPP tartalmú takarmány hatására a tojótyúkok tojásmassza termelése szignifikánsan kevesebb volt, mint a többi kezelésben. Park és mtsai (2009) 75 élethetes madarakon vizsgálta 4,0 és 3,0 g/kg hasznosítható P tartalmú takarmányok hatását és azt találták, hogy ez a 25%-os csökkentés a tojások súlyára nem volt hatással. A takarmányok össz foszfortartalmának 25%-os csökkentése (4,9-ről 3,7 g/kg-ra) nem okozott változást a megtermelt tojások átlagos súlyában Lei és mtsai (2011) vizsgálataiban sem.

A takarmányértékesítésre sem a madarak genetikai különbözősége, sem az etetett takarmányok foszfortartalma nem volt hatással a nyújtott tojástermelési időszak során. Adataink alapján elmondható, hogy a madarak rendkívül jó takarmányértékesítéssel jellemezhetők, a csúcstermelés időszakában 1,85-1,90 kg takarmányból állítottak elő 1 kg tojásmasszát, míg ez az érték a másfél éves tojástermelés végén sem haladta meg a 2,5 kg/kg-ot.

A tojótápok NPP tartalmának nagymértékű, 65,6%-kal való csökkentése szignifikánsan csökkentette a tojótyúkok takarmányértékesítését Francesch és mtsai (2005) vizsgálatában.

A tojótyúkok P ellátásának hatását vizsgáló kísérletek eredményei alapján kijelenthető, hogy a takarmányok összes P, valamint NPP tartalma rendre 4,4 g/kg, valamint 1,8 g/kg értékig csökkenthető a teljesítmény

romlása nélkül (Pirgozliev és mtsai, 2007; Panda és mtsai, 2005; Wu és mtsai, 2006; Hughes és mtsai, 2008), azonban az is világosan látszik, hogy 1,3-1,5 g/kg NPP tartalom esetén a termelési mutatók romlásával kell számolni (Francesch és mtsai, 2005; Wu és mtsai, 2006; Hughes és mtsai, 2008; Lei és mtsai, 2011). Egy 14 kísérletet értékelő meta-analízis eredménye alapján Ahmad és Rodehutscrod (2012) arra a következtetésre jutott, hogy 36-76. élethét közötti tojótyúkok esetében a takarmány optimális NPP tartalma 2,2 g/kg a tojástermelés intenzitása és a termelt tojásmassza tekintetében, és ennél valamivel kisebb, 2,0 g/kg NPP tartalom a megfelelő a takarmányértékesítés szempontjából, amennyiben a keverék nem tartalmaz fitáz kiegészítést.

A genotípus és az eltérő foszforszintek hatását a tojóhibridek által megtermelt tojások héjának vastagságára és héjszilárdságára a *13. táblázat* mutatja be.

13. táblázat A genotípus és az eltérő foszforszint hatása a héjszilárdságra és vastagságra az egyes mérési időpontokban

Paramé-terek		**Termelési hónapok**										
		8	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**
		Héjszilárdság (törőerő N)										
Gen.	**SL**	4,0	4,1	4,0	3,9	4,0	4,0	3,9	3,8	3,8	3,7	3,6
	BL	3,9	4,0	4,0	4,0	3,9	3,9	3,8	3,7	3,6	3,6	3,5
P-tart.	**PC**	3,9	4,1	4,0	4,0	4,0	4,0	3,8	3,8	3,7	3,6	3,6
	NC	3,9	4,0	3,9	3,9	3,9	3,9	3,8	3,8	3,7	3,5	3,5
RMSE		0,39	0,58	0,37	0,49	0,58	0,77	0,71	0,45	0,39	0,29	0,33
P-érték	**G**	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	0,0263	NS	NS
	P	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
		Héjvastagság (mm)										
Gen.	**SL**	0,359	0,358	0,356	0,358	0,359	0,357	0,353	0,352	0,352	0,353	0,353
	BL	0,356	0,356	0,355	0,354	0,354	0,354	0,353	0,352	0,350	0,350	0,349
P-tart.	**PC**	0,357	0,358	0,356	0,356	0,357	0,356	0,354	0,354	0,353	0,353	0,352
	NC	0,357	0,356	0,355	0,356	0,355	0,356	0,355	0,354	0,352	0,351	0,350
RMSE		0,26	0,20	0,26	0,18	0,20	0,24	0,22	0,18	0,19	0,02	0,13
P-érték	**G**	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
	P	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

*Gen: genotípus; P-tart: takarmányok P-tartalma; G: genotípus, P: foszfor, SL: TETRA-SL LL genotípus; BL: TETRA Blanca genotípus; PC: 4,9 g/kg foszfor, NC: 4,4 g/kg foszfor; szignifikancia-szint: P<0,05; NS: nem szignifikáns különbség. A genotípusok és a foszfortartalom hatása között nem volt interakció. RMSE: Átlagos négyzetes hiba gyöke.

Az első hét hónapban a madarak foszfortartaléka elegendő a megfelelő tojáshéj minőség megtartásához (Arpasova és mtsai, 2010). Eredményeim szerint a tojótyúkok által megtermelt tojások héjának megroppantásához szükséges törőerőben és a tojások héjának vastagságában sem a genotípus, sem a kísérleti takarmányok eltérő P tartalma nem okozott szignifikáns különbséget. A nyújtott termelési időszak utolsó 11 hónapjában mért adatok azt mutatják, hogy a héjszilárdsági érték 37,3 N, a héjvastagsági pedig átlagosan 0,354 mm között változott a vizsgált időszakban.

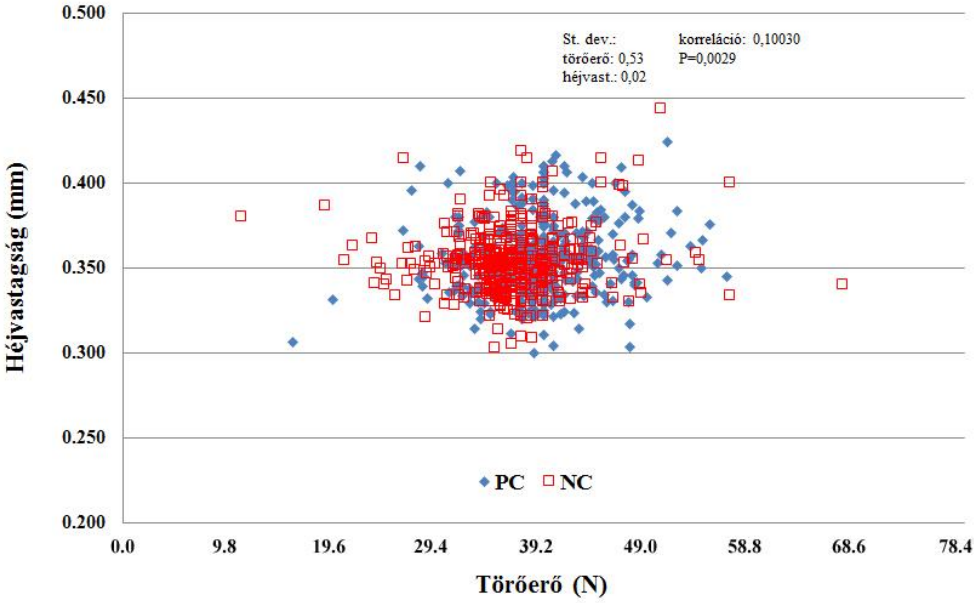
A tojáshéj vastagsága genetikai tényezők által is befolyásolt tulajdonság. Zita és mtsai (2009) az ISA brown, barna mészhéjú tojást tojó hibrid vizsgálatakor átlagosan 0,382 mm-es héjvastagságot állapított meg. A vastag héj egyébként egészen kiemelkedő, 44,1 N-os törőerőt igényelt az 54-60 élethét között gyűjtött tojások esetében (Zita és mtsai, 2009). A vizsgált madarak kereskedelmi forgalomban kapható átlagos tojótápot fogyasztottak. Ketta és Tumova (2016) a Hy-Line tojótyúknál 0,361 mm-es héjvastagságot mért, és a 40,2 N-os törőerőt állapítottak meg (ketreces tartás esetén). Tumova és mtsai (2016) a két barna mészhéjú tojást tojó hibrid összehasonlításakor azt tapasztalták, hogy a cseh tojótyúk tojásainak héja mintegy 11,6%-kal vékonyabb volt a Lohmann tyúkokéhoz képest (0,316 mm vs. 0,353 mm), amely érték azonban még mindig elfogadható (Jacob és mtsai, 1998). A Lohmann madarak tojásainak törőereje szignifikánsan nagyobb volt (42,7 N), mint a cseh tyúk tojásaié (40,6 N).

Ismert, hogy a tojótyúkok a tojóidőszak előrehaladtával a tojásméret nő. Bell (2003) vizsgálatában a vedletett tojóállomány az első tojó ciklushoz képest 5,7%-kal nagyobb tojásokat tojt a második ciklusban. A nagyobb tojások általában gyengébb héjminőséggel rendelkeznek. Ez az általánosítás azonban nem minden esetben állja meg a helyét. Arpasova és mtsai (2010) a 110 élethétig termelésben tartott vedletett állománynál a 2. és a 3. ciklusban még mindig átlagosan 0,396 mm héjvastagságot állapítottak meg, míg Sun és mtsai (2012) 9 hónapja termelő barna mészhéjú tojást tojó tyúkok tojásainak héjánál 0,359 mm átlagos vastagságot mértek. Arpasova és mtsai (2010) vizsgálataiban azonban figyelemfelkeltő, hogy a vedletett állomány 3. ciklusában átlagosan csupán 22,5 N-os törőerőt mértek.

Swiatkiewicz és mtsai (2010) vizsgálataiban a 70 élethetes állomány tojásainak héjvastagságára a takarmány P tartalma nem volt szignifikáns hatással (P>0,05). A vizsgálatokban rendkívül magas P szinteket etettek, a

kontroll 6,5 g/kg P-tartalmú takarmányt fogyasztó tojótyúkok tojásainak héja átlagosan 0,384 mm, míg a csökkentett, 6,0 g/kg-os foszfortartalmú takarmányt fogyasztó tojótyúkoké átlagosan 0,377 mm vastag volt. A kontroll (6,5 g/kg össz foszfort tartalmazó) takarmánnyal etetett tojótyúkok tojásainak héjához 33,1 N-os törőerőre volt szükség, míg a csökkentett (6,0 g/kg) foszfor tartalmú takarmányt fogyasztó tyúkok tojásaihoz elegendő volt 31,6 N törőerő a héj megroppantásához. Igaz, a különbség nem volt szignifikáns. Skrivan és mtsai (2016) vizsgálatában az 5,1 g/kg össz foszfor tartalmú takarmányt fogyasztó tojótyúkok tojásainak héját 42,5 Newtonnyi törőerővel lehetett megroppantani, és ennél 19%-kal kisebb törőerő volt szükséges a 4,6 g/kg össz P-tartalmú takarmánnyal etetett tojótyúkok tojásainak héjroppantásához. A tojótyúkok a vizsgálatkor 52 hetesek voltak. Elképzelhető, hogy a mi vizsgálataink és az irodalomban talált eredmények eltérése a különböző genotípusok eltérő P igényével, és még inkább a takarmányok eltérő NPP tartalmával magyarázható. Az idevonatkozó vizsgálatok eredményei ugyanis megerősítik, hogy ha a takarmány NPP tartalma legalább 1,5 g/kg vagy 1,1 g/kg, de 300 FTU/kg hozzáadott fitáz aktivitással rendelkezik, akkor a tojáshéj minőségének romlásával nem kell számolni (Wu és mtsai, 2006; Hughes és mtsai, 2008). Vizsgálataim eredményei azt mutatják, hogy ha a tojótyúkok takarmányának NPP tartalmát 2,5 g/kg-ról 2,0 g/kg-ra lecsökkentjük, akkor annak nincs hatása a tojáshéj minőségére, annak vastagságára és a töréshez szükséges erő mértékére.

A törőerő és a héjvastagság korreláció vizsgálatának eredményeit az *5. ábra* mutatja.



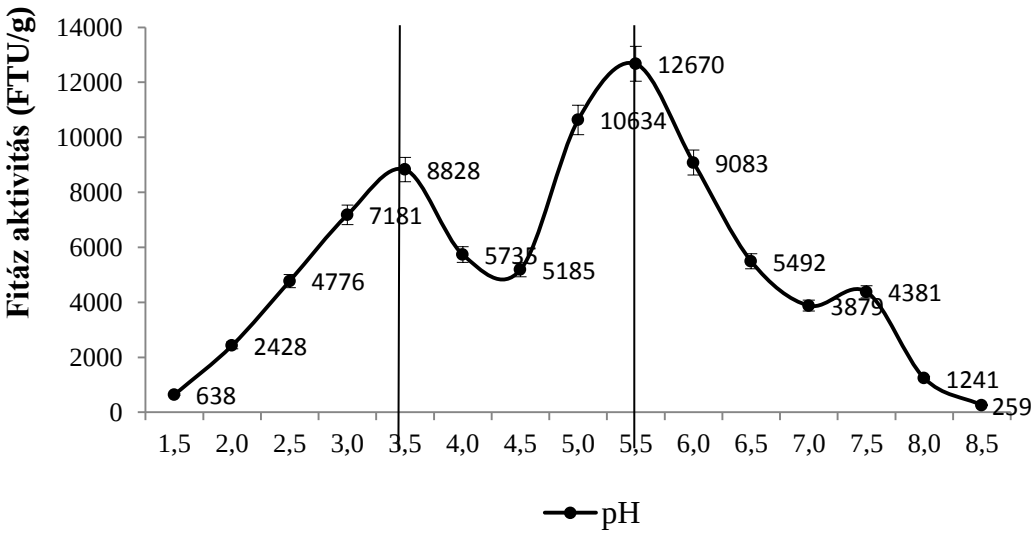
5. ábra A törőerő és a héjvastagság közötti korreláció

A tojáshéj megroppantásához szükséges törőerő és a héj vastagsága a takarmányok eltérő foszfortartalma alapján r=0,1003, vagyis gyengén korrelál (P<0,05). Eredményeim szerint a takarmány 4,9 g/kg vagy 4,4 g/kg össz foszfor tartalma nem befolyásolja a két tojáshéj paraméter közti szorosságot. Egyes vizsgálatok szerint a héjvastagság és a tojások megroppantásához szükséges törőerő között közepesen erős kapcsolat van (Zhang és mtsai, 2005), a mi adataink ezt nem erősítik meg.

4.2 FITÁZ ENZIM KIEGÉSZÍTÉS DÓZISFÜGGŐ HATÁSA A FELSZABADÍTOTT P-TARTALOMRA, AZ INKUBÁCIÓS IDŐ FÜGGVÉNYÉBEN

Az *in vitro* vizsgálatban arra kerestem a választ, hogy az alkalmazott enzim készítmény milyen pH optimummal rendelkezik, és hogy a takarmány alapanyagokhoz adott fitáz enzim dózisának függvényében milyen mértékű és sebességű a fitin-P felszabadulása. A vizsgálatok eredményei a fő takarmány összetevők NPP tartalmának pontosabb értékeléséhez szolgáltattak adatot különböző fitáz dózis hozzáadása mellett.

Az alkalmazott enzimkészítmény különböző pH-n mért fitáz aktivitását a *6. ábra* mutatja be.



6. ábra Az alkalmazott fitáz enzim mért aktivitása és pH optimumai

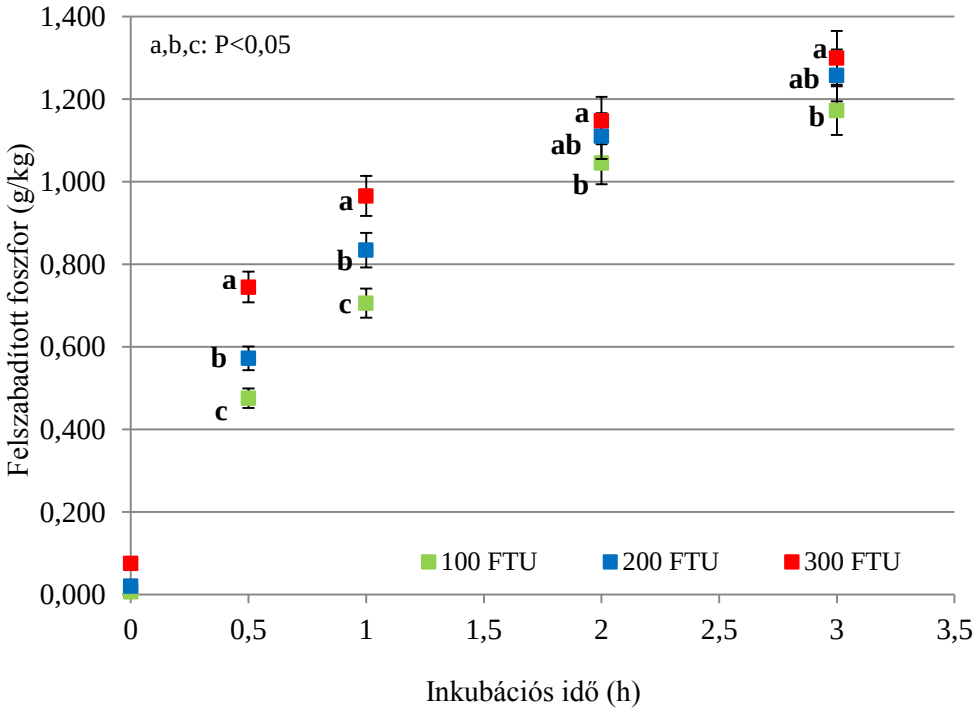
Vizsgálataim során az egyes pH értéken mért enzimaktivitást tekintve két jól elkülönülő és egy kisebb pH optimumot határoztunk meg. A pH 3,5-nél egy gramm enzimben 8828 FTU aktivitást mértünk, mely a garantált aktivitásnak már több mint 85%-át kiteszi, azonban pH 5,5-nél az aktivitási érték 12670 FTU, ami a garantált aktivitás 127%-a. Egy kisebb értékű (4381 FTU/g), de jól megfigyelhető optimum is kirajzolódik a 7,5 pH-nál. Angel és mtsai (2002), *Aspergilus Niger* eredetű enzim pH optimumát határozták meg és az eredményeimhez hasonlóan azt találták, hogy a vizsgált enzimnek két

optimuma volt, pH 2,5 és 5,5-ön. Angel közleménye szerint az általuk mért enzim az emésztő traktus 2,0 körüli pH-ján, vagyis a zúzóban és a begyben a legaktívabb. A több pH optimum mindenképpen arra utal, hogy a készítmények többféle eredetű fitáz enzimet is tartalmazhatnak, mivel egy adott enzimnek csak egy pH optimuma lehetséges. Az a tény, hogy mi a legnagyobb aktivitást 5,5 pH-n mértük arra utal, hogy az általunk használt enzim hatékonyan tudja kifejteni hatását a baromfi tápcsatornájában, mert mind a begyben, mind pedig a vékonybél elülső szakaszában a pH viszonyok ehhez az értékhez közelítenek (Ao és mtsai, 2008). A takarmány tranzit ideje a tápcsatorna egyes szakaszaiban 2-4 óra (Ravindran, 2013), mialatt az elfogyasztott takarmány, kötésben lévő foszfor tartalma az említett bélszakaszokban felszabadulni képes.

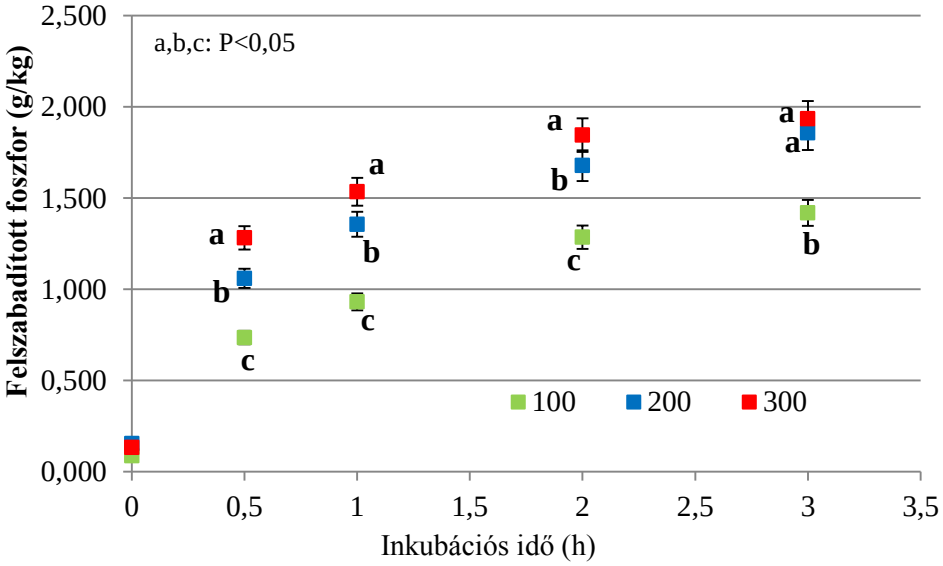
Igbasan és mtsai (2000) többek között *Aspergillus Niger* és *E. coli* eredetű fitáz enzim aktivitását mérték. Egy gramm gomba eredetű (*Asp. Nig.*) enzim pH optimuma 5,5. A baktérium eredetű (*E. coli*) enzim pH optimuma 4,5 volt. A fitáz enzim pH optimumainak meghatározására azért volt szükség, mert a tojótyúk bélcsatornájának különböző szakaszaiban eltérő pH értékek mérhetők (Igbasan és mtsai, 2000), melyek meghatározzák az enzimek működésének hatékonyságát.

Dersjant-Li és mtsai (2015) búza-kukorica-szója alapú takarmánnyal etetett tojótyúk béltraktusában vizsgálták a fitáz aktivitást, és azt találták, hogy a vizsgált enzim fitinsav hirdolizáló képessége a vékonybélben volt a legnagyobb (a begyben: 10,2 µmol fitinsav/óra, a zúzóban 9,2 µmol fitinsav/óra, a vékonybélben pedig 14,6 µmol fitinsav/óra).

A *7. ábra* a kukoricából, a *8. ábra* a szójából felszabaduló P mennyiségét mutatja be a hozzáadott fitázaktivitás és az inkubációs idő függvényében.



7. ábra A kukoricából felszabaduló P mennyisége a hozzáadott fitázaktivitás és az inkubációs idő függvényében



8. ábra A szójában felszabadult P mennyisége

A fität hidrolízisét a kukorica és szója mintákban, 5,5 pH-n mértem 100, 200 és 300 FTU g/kg enzim hozzáadásával, majd a mérési pontokra illesztettem a Michaelis Menten egyenletet a legjobban illeszkedő V_{max} és K_m paraméterek meghatározásával.

A Michelis Menten kinetikai paraméterek eredményeit a *14. táblázat* mutatja be. A felszabadított P mennyiségre a görbéket pontosan illeszteni tudtam (P<0,0001).

14. táblázat A Micahelis Menten kinetikai paraméterek eredményei

Takarmány alapanyagok	**Enzim dózis (FTU)**	**K_m[1]**	**V_{max}[2]**	**RMSE[3]**	**P-érték**
Kukorica	100	1,34[a]	55,1[a]	0,66	0,0004
	200	0,97[b]	53,4[a]	0,12	<0,0001
	300	0,52[c]	48,1[ab]	1,27	0,0005
Szója	100	0,80[a]	57,6[ab]	3,31	0,0013
	200	0,55[b]	69,9[a]	1,84	0,0004
	300	0,36[c]	69,6[a]	2,01	0,0003

*$Y=V_{max}/(1+K_m/T)$
[1]A felszabadítható maximum P mennyiség felének hidrolíziséhez szükséges idő.
[2]A reakció maximális sebessége
[3]Átlagos négyzetes hiba gyöke
a,b: P<0,05

Ismert, hogy a kukoricában és a szójában a fitin P aránya az összes foszforból rendkívül nagy. Az össz foszfor tartalomhoz képest Eeckhout és De Paepe (1993) kukoricában 68%, szójadarában 53% fität foszfort mértek. Hasonló eredményre jutott Vohra és Satyanarayama (2003), akik 64% fität foszfor arányt mértek kukoricában és 68%-ot szójában. Adataink azt mutatják, hogy a kötött állapotú P akár az említett értékeknél magasabb is lehet. Vizsgálataink eredményei szerint a P mindkét takarmánykomponens esetében döntően kötött állapotban volt, az inkubációs vizsgálatok kezdőpontjában (t = 0) a kukorica mintákban 0,07 és 0,076 g/kg, az extrahált szójadara esetében 0,09 és 0,15 g/kg között mértük a szabad foszfor tartalmat. A kinetikai mérések eredménye azt mutatja, hogy az enzim kiegészítés a fitin kötésben lévő P felszabadulás mértékét már az első mérési

pontban statisztikailag igazolhatóan befolyásolta, 30 perc inkubációs idő elteltével a szabad P mennyisége a fitáz aktivitással arányosan nőtt (*11. és 12. ábra*). A 30. percben 30%-kal több P szabadult fel a 300 FTU-t tartalmazó kukorica mintából, mint a 200 FTU-t tartalmazóból és 56,5%-kal több mint a 100 FTU-t tartalmazóból ($P<0,05$). A szójadara esetében a 30. percben a 200 FTU-t tartalmazó mintában 44%-kal ($P<0,05$), a 300 FTU-t tartalmazó mintában pedig 74,3%-kal több ($P<0,05$) foszfor szabadult fel, mint a 100 FTU-t tartalmazóban. A 200 és 300 FTU közötti különbség 21% ($P<0,05$) volt.

Ugyanez a tendencia érvényesült az inkubációs idők hosszának növelésekor is azzal a kiegészítéssel, hogy a kukorica esetében 120. perctől, a szójadara esetében a 180. percben a 200 és 300 FTU/kg kiegészítés nem okozott szignifikáns különbséget a mintában lévő szabad P mennyiségében ($P>0,05$). A legkisebb, 100 FTU/kg enzim kiegészítés mindvégig a legkisebb mértékű NPP értéket eredményezte, de a kukorica esetében a 120. és 180. percben mért értékek szignifikánsan nem különböznek a 100 és 200 FTU hozzáadott enzim hatására felszabadult P mennyiségétől.

A 180. percben a 300 FTU-t tartalmazó kukorica mintában 1,3 g/kg a szójadarából 1,9 g/kg foszfor szabadult fel a fitinkötésből.

A kinetikai vizsgálatok eredményei alapján megállapítható, hogy 300 FTU/kg enzim aktivitás esetén a P felszabadulás relatív gyors ütemű. Az *in vitro* adatok alapján megállapítható, hogy a tápcsatorna azon szakaszain, ahol a pH 5,5, a takarmányhoz kevert fitáz enzim nagy hatékonysággal képes a fitin kötésben lévő P felszabadítani. Amennyiben a takarmány legalább 3 órát tölt a tápcsatorna adott szakaszában az enzim számára optimális környezeti (pH) viszonyok között, akkor 300 FTU/kg kiegészítés esetén a kukoricából 1,3 g/kg a szójadarából 1,9 g/kg NPP-hoz juthat a madár. A takarmány tápcsatornán való áthaladásának sebessége a kor előrehaladtával nő. A fiatal, néhány napos madár esetében a takarmány kiürülése jóval rövidebb időt vesz igénybe, mint a kifejlett madárnál, mert a növekedés során a béltraktus hossza megnő, fala vastagabb lesz, így a tápanyagok felszívódásához és a felesleg ürüléséhez több időre van szükség (Pigrozliev és mtsai). Valószínűleg ez az oka annak, hogy a brojlerek számára ajánlott fitáz dózis általában több mint a tojótyúkokra javasolt aktivitás (Ravidran és mtsai, 2000; Hughes és mtsai, 2008; Ahmad és Rodehutscord, 2012). Tojótyúkok esetében a takarmány begyben, zúzóban és a vékonybélben töltött ideje már

jóval meghaladja a 3 óra időtartamot (Ravindran, 2013). Tekintettel arra, hogy az inkubációs idő hosszának növelésével (180. percben) a mintához adott 200 és 300 FTU/kg hatásában nem volt különbség, és vizsgálataink eredményeit a tojótyúkok takarmányának összeállításához használtuk fel, ezért a 300 FTU/kg-nál nagyobb fitáz dózissal végzett *in vitro* vizsgálatot nem tartottuk indokoltnak.

A táblázatból kiderül, hogy a hozzáadott 100 FTU/kg enzim hidrolizálta a fitátot kukoricában és a szójában is a legtöbb idő alatt. A 300 FTU/kg enzim dózis pedig a legrövidebb idő alatt szabadította fel a foszfort a fitinkötésből. A reakció maximum sebességében nem volt különbség az enzim dózisok között. Eredményeinkkel összhangban Adeola és mtsai (2004) is azt találták, hogy a fitáz kiegészítés hatására az extrahált szójadarából szignifikánsan több foszfor szabadul fel, mint a kukoricából. *In vivo*, brojlerekkel végzett vizsgálatban a hozzáadott 600 FTU/kg fitáz enzim hatására a kukoricában 28,2%-kal, szójadarában pedig 37,5%-kal nőtt a fitát hidrolízise (Selle és Ravindran 2007). Dersjant-Li és mtsai (2015) vizsgálatukban azt találták, hogy a tojótyúk takarmány szója és kukorica alapanyagaiban, 300 FTU/kg fitáz enzim a szója össz foszfor tartalmából (2,73 g/kg) az IP 62,4%-át, a kukorica össz foszfor tartalmából (1,83 g/kg) pedig az IP 62%-át szabadította fel.

4.3 AZ ELTÉRŐ NPP-TARTALOM ÉS A FOSZFOR LEBOMLÁSI SEBESSÉGÉNEK HATÁSA A TERMELÉSI PARAMÉTEREKRE ÉS A HÉJMINŐSÉGRE A NYÚJTOTT TERMELÉSI IDŐSZAK UTOLSÓ 6 HÓNAPJÁBAN

Ebben a vizsgálatban azokra a kérdésekre kerestem a választ, hogy miképpen befolyásolja a takarmányok NPP tartalma és az NPP forrása az eltérő genotípusú TETRA-SL LL tojótyúkok teljesítményét, a tojáshéj minőségét és a madarak csontozatát a nyújtott termelés utolsó 6 hónapjában.

A genotípus és a kísérleti takarmányok hatását a tojóhibridek termelési mutatóira a *15. táblázat* mutatja be.

15. táblázat A hibridek eltérő genotípusa és az eltérő NPP szintek hatása a termelési paraméterekre a nyújtott tojástermelési időszak utolsó 6 hónapjában

Para-méterek	Kez.[1]	12. hónap	13. hónap	14. hónap	15. hónap	16. hónap	17. hónap
Termelési intenzitás (%)	A[2]	82,9[b]	81,1[b]	80,0[b]	78,5[b]	76,6[b]	74,4
	B[3]	84,2[a]	83,4[a]	82,3[a]	80,7[a]	78,8[a]	75,5
	PC[4]	83,9	82,9[ab]	81,5[ab]	79,8[ab]	78,0[ab]	76,8[ab]
	NC[5]	84,5	82,1[b]	80,4[b]	78,0[b]	76,8[b]	74,4[b]
	PCE[6]	83,9	83,3[a]	81,0[ab]	80,4[ab]	78,6[ab]	76,8[ab]
	NCE[7]	84,5	83,3[a]	82,1[a]	81,0[a]	79,8[a]	78,0[a]
	RMSE[8]	3,12	6,25	5,40	3,65	9,00	5,50
	P-ért[9]	*	*	*	*	*	*
	P-ért[10]	NS	*	*	*	*	*
	Inter.[11]	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Takarmány felvét (g/nap)	A[2]	115,9	110,2	116,3	115,0	118,1[a]	115,3[a]
	B[3]	116,7	112,5	114,8	114,1	112,5[b]	102,5[b]
	PC[4]	115,5	114,2[a]	117,3	113,8	114,5	111,1
	NC[5]	117,7	111,1[ab]	115,6	114,3	117,3	109,6
	PCE[6]	115,9	112,9[a]	116,0	114,8	114,2	109,4
	NCE[7]	116,2	107,2[b]	113,3	115,2	115,5	105,5
	RMSE[8]	9,55	11,26	9,73	10,46	11,04	14,44
	P-ért[9]	NS	NS	NS	NS	<0,0001	<0,0001
	P-ért[10]	NS	0,0034	NS	NS	NS	NS
	Inter.[11]	NS	NS	NS	0,0361	NS	NS
Tojássúly (g/db)	A[2]	62,1	62,3	61,8	62,6[a]	63,1[a]	62,1
	B[3]	62,1	62,6	61,2	61,3[b]	61,9[b]	62,7
	PC[4]	62,4	62,6	62,3	62,2	62,8[a]	62,9
	NC[5]	62,0	62,1	62,0	62,0	62,9[a]	62,7
	PCE[6]	61,9	62,4	61,7	61,1	61,6[b]	61,5
	NCE[7]	61,9	62,6	61,9	62,4	62,8[a]	62,6
	RMSE[8]	2,50	2,78	2,75	2,81	3,00	3,41
	P-ért[9]	NS	NS	NS	0,0002	0,0031	NS
	P-ért[10]	NS	NS	NS	NS	0,0363	NS
	Inter.[11]	NS	0,0428	NS	NS	NS	NS
Tojás-massza (g)	A[2]	8113,7[b]	8017,1[b]	7317,3[b]	6814,0[b]	6625,3[b]	6058,9
	B[3]	8785,4[a]	8702,5[a]	8255,0[a]	7868,5[a]	7377,6[a]	6302,8
	PC[4]	8519,4	8575,7[a]	8137,9[a]	7603,6[a]	7228,1[a]	6522,9
	NC[5]	7915,0	7781,6[b]	7259,3[b]	6761,1[b]	6595[b]	5606,3
	PCE[6]	8621,5	8776,2[a]	8199,6[a]	7762,5[a]	7201[a]	6463,9
	NCE[7]	8742,1	8305,7[ab]	7547,8[b]	7237,8[ab]	6980[ab]	6130,4
	RMSE[8]	616,50	473,84	374,76	395,48	318,92	731,84
	P-ért[9]	0,0051	0,0004	<0,0001	<0,0001	<0,0001	NS
	P-ért[10]	NS	0,0020	<0,0001	0,0002	0,0015	NS
	Inter.[11]	NS	NS	NS	0,0015	<0,0001	0,0427

1: Kezelések
2: A-csoport: jobb héjminőségre szelektált
3: B-csoport: nem szelektált
4: 2,45 g/kg takarmány NPP
5: 2,15 g/kg takarmány NPP
6: 2,45 g/kg takarmány NPP 300 FTU/kg fitázzal
7: 2,15 g/kg takarmány NPP 300 FTU/kg fitázzal
8 Átlagos négyzetes hiba gyöke
9 Gentoípus hatás P<0.05
10 Kezelés hatás P<0.05
11 Interakció: gen x NPP szint
a,b: P <0,05
NS: nem szignifikáns különbség

A tenyésztő cég termelési intenzitásra vonatkozó adatot előzetesen nem közölt, de eredményeim alapján jól látszik, hogy a tenyésztő által korábban mért gyengébb héjszilárdsági és héjvastagsági eredményeket mutató B csoportba tartozó tojóhibrid egyedei a nyújtott tojástermelési időszak utolsó 6 hónapjában (kivétel az utolsó hónap) végig szignifikánsan, átlagosan 1,9%-kal (P<0,05) nagyobb intenzitással termeltek, mint az erősebb héjminőségi mutatókkal rendelkező A csoport madarai. Az A csoport hibridjei a nyújtott tojóidőszak végén átlagosan 74,4%-os, a B csoportba tartozó társaik pedig átlagosan 75,5%-os intenzitást értek el.

Az előzőekben már kiderült, hogy a B csoportba tartozó hibridek termelési intenzitása szignifikánsan jobb volt, mint az A csoport hibridjeié, azonban a takarmány kezelések hatása között is eltérés volt tapasztalható. Adataim szerint, a nyújtott tojástermelés utolsó 6 hónapjában végig, a kisebb nem-fitin foszfor tartalmú (2,15 g/kg) táp átlagosan 2,6%-kal (P<0,05) nagyobb tojástermelési intenzitást eredményezett fitáz hozzáadásával (lassú lebomlású P), mint az enzim nélkül beállított, ugyanilyen NPP tartalmú táp.

Az NCE tápot fogyasztott madarak termelési intenzitása 1,4, 2,1, 3,7, 3,8 és 4,6%-kal (P<0,05) volt nagyobb, mint az NC tápot fogyasztóké, a hat hónapos vizsgálati időszak 13-17 hónapjaiban. A PC és az NC tápokkal etetett madarak termelési intenzitása között nem volt statisztikailag igazolható eltérés. A leggyengébb intenzitással a kisebb NPP tartalmú és csak szervetlen P kiegészítést tartalmazó (gyors lebomlású P) takarmánykeveréket fogyasztó madarak tojtak: 70,4% (P<0,05). Összegezve, a tojástermelés intenzitása azon madarak esetében volt a legnagyobb, amelyeknek abrakkeverékében az NPP tartalom 2,15 g/kg volt úgy, hogy azt fitáz enzim hozzáadásával alakítottuk ki (lassú lebomlású P). Igaz, hogy statisztikailag igazolt különbség nem volt az NCE és a nagy NPP tartalommal rendelkező takarmányokat fogyasztó csoportok között.

Keshavarz és mtsai (1993) vizsgálatukban azt találták, hogy a takarmánnyal adott hasznosítható foszfor mennyiségének 4 g/kg-ról 3 és 2 g/kg-ra való csökkentése nem volt hatással a tojók termelésére. Boling és mtsai (2000) kukorica-szója alapú takarmánykeverékekben az NRC (1994) által javasolt NPP értékhez képest kisebb és annál nagyobb P tartalmú takarmányokat etettek (1,0; 1,5; 2,0; 2,5 és 4,5 g/kg NPP) 20-70 hetes tojótyúkokkal. A vizsgálatok eredményei azt mutatták, hogy a keverék NPP tartalma akár 1,5 g/kg-ig is csökkenthető, ha a takarmányt 300 FTU/kg

enzimmel kiegészítik. Az 1 g/kg NPP tartalmú táp még 300 FTU/kg fitáz kiegészítéssel is csökkentette a tojótyúkok termelését.

Meyer és Parsons (2011) vizsgálatukban három szinten állították be a takarmánykeverék NPP tartalmát: 1,05, 2 és 4,5 g/kg-on. Csak az 1,05 g/kg NPP tartalmú táphoz kevertek 150, 250 és 15000 FTU/kg enzimet. Azt az eredményt kapták, hogy az 1,05 NPP/kg takarmányhoz kevert 150 FTU/kg fitáz enzimet is elegendő volt biztosítani a kísérleti állatok számára, teljesítményromlás nélkül.

A tojótyúkok takarmányfogyasztása tekintetében a hibrid csoport csak a 16. és 17. termelési hónapban mutatott szignifikáns eltérést. Az A csoportba tartozó tojóhibridek a 16. termelési hónapban 4,7%-kal, a 17.-ben pedig 11,1%-kal több ($P<0,05$) takarmányt vettek fel, mint a B csoport madarai. A naponta elfogyasztott mennyiséget a takarmányozási kezelések nem befolyásolták, csak a 13. termelési hónapban volt tapasztalható kismértékű, de statisztikailag igazolható eltérés. A legkevesebb takarmányt (107,2 g/nap) a NCE kezelés madarai ették, ami átlagosan 5,2%-kal volt kevesebb, mint a többi kezelésben. Ez az egy adott hónapban mutatkozó kismértékű különbség azonban véleményem szerint véletlen hatásnak is tekinthető, és a teljes vizsgált időszakban kapott eredmények alapján megállapítható, hogy sem a P ellátás szintje (NRC, 1994 ajánlása szerinti vs. az ajánlásához képest 12,2%-kal csökkentett NPP tartalom), sem a fitáz kiegészítés nem befolyásolta a tojótyúkok takarmányfogyasztását.

Lei és mtsai (2011) jelentős mértékben, 2,6 g/kg-ról 1,4 g/kg-ra csökkentették a takarmányok NPP tartalmát úgy, hogy a kisebb NPP tartalmú táphoz 300 FTU/kg enzimet kevertek. Eredményeik szerint a kontrollhoz képest csökkent a tojótyúkok takarmányfelvétele. Azt azonban érdemes kiemelni, hogy a korábban bemutatott *in vitro* vizsgálataink eredményei alapján 300 FTU/kg fitáz kiegészítés valószínűleg nem tudta kompenzálni azt a mennyiségű P hiányt (1,2 g/kg NPP különbség), amit a kísérleti takarmányok hozzáférhető P tartalmának csökkentése okozott. Meyer és Parsons (2011) nem talált statisztikailag igazolható eltérést a tojótyúkok takarmányfelvételében, ha a keverék nagyon kis mennyiségben tartalmazott (1,05 g/kg) NPP-t, de azt 150, 300 vagy 15000 FTU/kg fitázzal egészítették ki, vagy ha az ajánlásoknak megfelelő, vagy attól több NPP tartalmú volt (2,0 g/kg vagy 4,5 g/kg NPP). Tossenberger és mtsai (2008) vizsgálataiban a

nem-fitin P ajánláshoz képest jelentős, 40%-os csökkenés 9%-kal rontotta a tojótyúkok takarmányfelvételét.

A tojássúlyt a hibridek genotípusa csak a 15. és 16. hónapban befolyásolta. Az A csoportba tartozó hibridek a 15. hónapban 62,6, a B csoportba tartozók pedig átlagosan 61,3 grammos tojásokat tojtak. Ez 2,1%-os ($P<0,05$) különbséget jelent. A 16. termelési hónapban pedig átlagosan 1,9%-kal ($P<0,05$) nehezebb tojást tojtak az A csoport madarai. A nyújtott szakaszban megtermelt tojások átlagsúlya ezen tojóidőszak alatt végig 62 gramm körüli volt, ami mindenképpen figyelemre méltó, hiszen ilyen korban a nagyméretű tojások jellemzőek. A statisztikai eredmények szerint a kísérleti takarmányok hatása csak a 16. hónapban érvényesült, ekkor a 2,45 g/kg NPP tartalmú, fitáz kiegészítést tartalmazó (lassú lebomlású P) tápot fogyasztó madarak átlagosan 2%-kal kisebb ($P<0,05$) tojást tojtak, mint a többi kezelés madarai. Összességében a kezelések között nem volt különbség. A tojássúly tekintetében a genotípus és a takarmányok NPP tartalma közötti interakció nem volt statisztikailag igazolható ($P>0,05$).

Sohail és mtsai (2001) vizsgálatukban 1,5, 2,5, 3,5 és 4 g/kg NPP tartalmú takarmánykeverékeket etettek fitáz kiegészítés nélkül. Azt találták, hogy a 2,5 és az 1,5 g/kg NPP tartalmú tápot fogyasztó madarak tojásainak súlya kisebb volt a másik két kezelést fogyasztó madarak tojásaihoz képest. Meyer és Parsons (2011) vizsgálatából kiderül, hogy az 1,05 g/kg-ra csökkentett NPP tartalom 300 FTU/kg enzim kiegészítéssel a tojások súlya nem csökkent a pozitív kontrollhoz (4,0 g/kg NPP) képest.

Mivel a tojássúlyban alig volt különbség az egyes csoportok között, ezért a tojásmasszában mutatkozó eltérések a termelési intenzitáshoz hasonlóan alakultak. A nyújtott termelési időszak utolsó hónapját kivéve, minden termelési hónapban statisztikailag igazolható különbség volt a csoportok között a tojásmasszára vonatkozóan. Az A csoportba tartozó tojótyúkok havonta megtermelt átlagos összes tojástömege a 12. termelési hónapban 8,3%, a 13.-ban 8,5%, a 14.-ben 12,8%, a 15.-ben 15,5% és a 16.-ban 11,4%-kal volt kevesebb ($P<0,05$), mint a B csoport tojótyúkjaié.

A kísérleti takarmányok a 13. és 16. termelési hónap között befolyásolták a tojásmassza alakulását. A 13. termelési hónapban a csökkentett NPP tartalmú takarmánykeveréket fogyasztó madarak átlagosan 11,5%-kal kevesebb ($P<0,05$) tojásmasszát termeltek, mint a nagyobb NPP

tartalmú tápot fogyasztó társaik függetlenül a foszfor lebomlási sebességétől (a takarmány tartalmazott-e enzim kiegészítést vagy sem). A 14. hónapban a két 2,15 g/kg NPP tartalmú (fitáz nélküli és enzimmel beállított) takarmánykeveréket fogyasztó madarak átlagosan 10,8% és 7,3%-kal termeltek kevesebb ($P<0,05$) tojásmasszát a PC-hez képest. A termelés 15. és 16. hónapjában csak a NC- kísérleti takarmányt fogyasztó hibrideknél volt kimutatható különbség, átlagosan 13,6% és 9,4%-kal ($P<0,05$) kevesebb masszát állítottak elő, mint a többi kezelés tojói.

Meyer és Parsons (2011) a tojótyúkok 32-62 élethetes korában mért tojásmassza tekintetében is arra a következtetésre jutottak, hogy a 0,4%-ról lecsökkentett, 0,105% NPP tartalmú 300 FTU/kg fitázzal kiegészített táp elegendő hozzáférhető foszfort biztosít ahhoz, hogy ez a vizsgált paraméter megfelelő maradjon. Tossenberger és mtsai (2008) az 52 hetes termelési ciklusban nem találtak szignifikáns különbséget az eltérő NPP tartalmú* takarmányokat fogyasztó tojótyúkok tojásmassza előállítás tekintetében még fitáz enzim hozzáadása mellett sem /*A: termelés első 6 hónapjában 2,5 g/kg NPP, fitáz kiegészítés nélkül, második 6 hónapban 2,0 g/kg NPP, fitáz kiegészítés nélkül; B: termelés első 6 hónapjában 1,5 g/kg NPP fitáz kiegészítés nélkül, második 6 hónapban: 1,0 g/kg NPP fitáz kiegészítés nélkül; C: B+250 PPU/kg fitáz; D: B+500 PPU/kg fitáz/.

A tojáshéj megroppantásához szükséges törőerőt és a tojáshéj vastagságát több tényező is befolyásolja. Többek között a tojóhibrid típusa, állomány életkora, a termelésben eltöltött idő és az etetett takarmány is, elsősorban a Ca és P tartalom, azok hozzáférhetősége és a madarak D_3 vitamin ellátottsága. A héjszilárdság (törésteszt) valamint a héjvastagság mérése nem utal közvetlenül a tojások sérülékenységére, azonban irodalmi adatok alapján legalább közepesen szoros pozitív kapcsolat van e paraméterek között. Zang és mtsai (2005) erős genetikai korrelációt talált a héjszilárdság és a héjvastagság között.

A vizsgálatban gyűjtött tojások héjának törésteszt és héjvastagság mérési eredményeit a *16. táblázat* mutatja be.

16. táblázat A hibridek eltérő genotípusa és az eltérő NPP szintek hatása a törőerőre és a héjvastagságra a nyújtott tojástermelési időszak utolsó 6 hónapjában

Param.	Kez.[1]	12. hónap	13. hónap	14. hónap	15. hónap	16. hónap	17. hónap
Törőerő (N)	A[2]	37,4	36,1	38,1	37,3	36,1	34,1
	B[3]	35,5	35,3	33,8	35,6	34,8	35,2
	PC[4]	36,3	36,2	35,9	37,0	33,6	35,3
	NC[5]	36,2	34,1	33,8	35,3	34,6	33,8
	PCE[6]	36,3	37,4	37,1	36,7	37,3	35,2
	NCE[7]	37,0	35,0	36,8	36,5	36,1	34,3
	RMSE[8]	10,11	10,89	10,27	11,31	11,30	12,20
	P-ért[9]	NS	NS	<0,0001	NS	NS	NS
	P-ért[10]	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Héj-vastag-ság (mm)	A[2]	0,353[a]	0,347[a]	0,351[a]	0,346	0,349	0,349[a]
	B[3]	0,341[b]	0,337[b]	0,342[b]	0,338	0,343	0,336[b]
	PC[4]	0,349	0,346	0,350	0,345	0,351	0,348[ab]
	NC[5]	0,351	0,346	0,346	0,349	0,350	0,349[a]
	PCE[6]	0,345	0,338	0,345	0,335	0,344	0,340[ab]
	NCE[7]	0,344	0,338	0,346	0,338	0,342	0,333[b]
	RMSE[8]	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04
	P-ért[9]	<0,0001	0,0007	0,0071	NS	NS	0,0033
	P-ért[10]	NS	NS	NS	NS	NS	0,0299

1: Kezelések
2: A-csoport: jobb héjminőségre szelektált
3: B-csoport: nem szelektált
4: 2,45 g/kg takarmány NPP
5: 2,15 g/kg takarmány NPP
6: 2,45 g/kg takarmány NPP 300 FTU/kg fitázzal
7: 2,15 g/kg takarmány NPP 300 FTU/kg fitázzal
8 Átlagos négyzetes hiba gyöke
9 Gentoípus hatás P<0.05
10 Kezelés hatás P<0.05
Interakció nem volt.
a,b: P <0,05
NS: nem szignifikáns különbség

A TETRA-SL LL tojóhibrid egyedeinek tojáshéjra vonatkozó szelekciós munkája során a tenyésztő cég arra jutott, hogy az A csoportba tartozó TETRA-SL LL tojótyúkok által megtermelt tojások héja nagyobb törőerő és héjvastagsági mutatókkal bír, mint a B csoport egyedeié (Forgács, szóbeli közlés). Ugyan a tenyésztő cég adatai alapján a két csoport a héjminőségben különbözött egymástól, azonban a vizsgálatok során a tojások héjszilárdsági értékei csak a 14. termelési hónapban mutattak szignifikáns eltérést: az A csoport hibridjeinek a tojáshéj megroppantásához átlagosan 36,3 N, a B csoportnál 35,3 N-nak megfelelő erőt kellett kifejteni.

A kísérleti takarmányok egyike sem volt hatással a törőerő értékére, ami azt jelenti, hogy a takarmánnyal felvett nem-fitin foszfor mennyisége és annak lebomlási sebessége nem befolyásolta a héjszilárdságot.

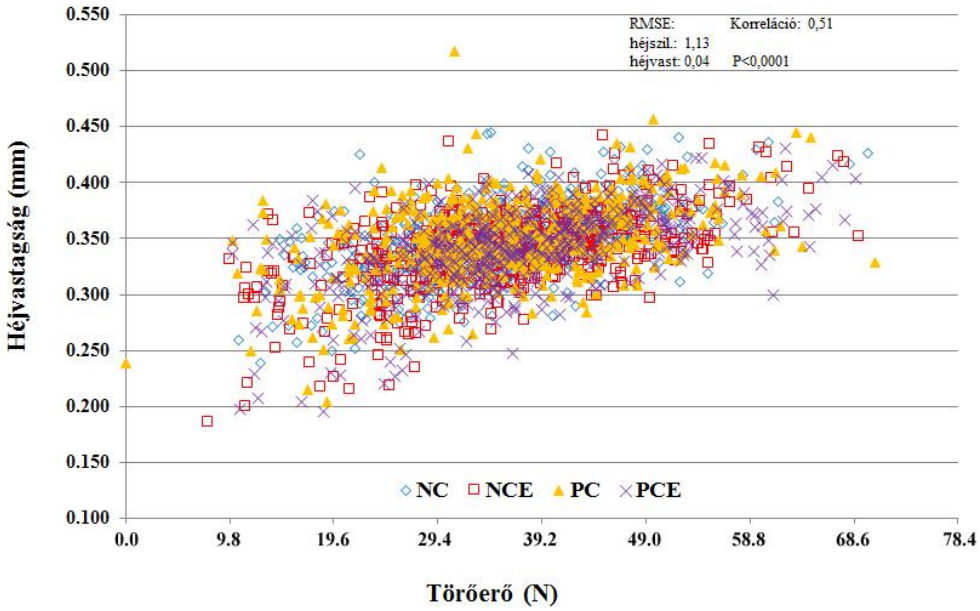
Tossenberger és mtsai (2008) két időszakban (I: 1-6 hó, II: 7-12 hó), ciklusonként eltérő NPP szinteken (PC I: 2,5 g/kg, NC I: 2,0 g/kg; PC II: 1,5 g/kg, NC II: 1,0 g/kg) mértek héjszilárdsági mutatókat. Eredményeik szerint a pozitív kontroll csoport madarainak tojáshéj szilárdsága volt a legkisebb, a megroppantásához ezen csoport esetében volt szükség a legkisebb mértékű törőerőre az első és a második ciklusban is. Azonban az első ciklusban az 1,5 g/kg NPP tartalmú táphoz adott 250 PPU/kg fitáz enzim hatására ennek a kezelésnek a törőereje megegyezett a pozitív kontrolléval, a második ciklusban pedig szignifikánsan megnőtt a pozitív kontrollhoz képest ($P>0,05$).

A tojáshéj minősége azért kulcsfontosságú minőségi paraméter, mert a héj fizikai védelmet jelent a tojásbelső, (tenyésztojás esetén a benne fejlődő csibe) számára. Tároláskor, szállításkor (és keltetéskor) a tojáshéj nem sérülhet, mert a baktériumok és fertőző vírusok könnyen bejutnak (illetve károsodik, esetenként elhal a tojásban fejlődő embrió).

A tojások héjának vastagságára csak a genotípus volt hatással. A termelés 12., 13., 14. és 17. hónapjában a B csoportba tartozó hibridek tojásainak héja átlagosan 0,010 mm-rel volt vékonyabb ($P<0,05$), mint az A csoport madaraié. Az átlagos héjvastagság minden kezelésben 0,330 mm és 0,355 mm közötti volt. Ez az eredmény igazolja a tenyésztő cég szóbeli közlését.

A tojóidőszak és a tojóállomány korának előrehaladtával romlik a tojáshéj minősége (Jacob, 1998). A hosszú ideig termelésben tartott tojótyúkok a termelési időszak végéhez közeledve egyre több hajszálrepedt vagy törött héjú tojást tojnak. A sérült héjú tojások a piacon nem értékesíthetők árutojásként (természetesen tenyésztojásként sem), a tenyésztő cégek számára hatalmas bevételkiesést okozva ezzel.

A tojáshéj megroppantásához szükséges erő és a héjvastagság közötti korreláció mértékét a *9. ábra* mutatja.



9. ábra A törőerő és a héjvastagság közötti korreláció

Eredményeim szerint a takarmányok eltérő forrásból származó nem-fitin foszfor tartalma a tojáshéj megroppantásához szükséges törőerő és a tojáshéj vastagsága közötti lineáris kapcsolat közepes, r=0,51 (P<0,0001).

Li és mtsai (2018) vizsgálatában a takarmányok eltérő hasznosítható P szintjei (1,5, 4,1 és 8,2 g/kg) nem befolyásolták a tojáshéj szilárdságát és vastagságát.

A kísérletben részt vett tojóhibridek összes előállított tojásában előforduló repedt vagy törött héjú tojások arányát a *17. táblázat* mutatja be.

17. táblázat A repedt vagy törött tojások aránya a nyújtott termelési időszak utolsó 6 hónapjában (%)

Kezelések[1]	**Termelési hónapok**					
	12	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**
A[2]	5,74[a]	7,74[a]	5,94[a]	6,55	10,39[a]	10,54
B[3]	2,74[b]	4,72[b]	3,73[b]	6,18	7,27[b]	8,34
PC[4]	5,88[a]	8,00[a]	5,44[a]	8,69	11,28[a]	14,68[a]
NC[5]	3,48[ab]	3,14[b]	3,58[b]	5,05	6,81[ab]	7,24[b]
PCE[6]	5,24[ab]	8,04[a]	6,63[a]	6,64	11,43[a]	9,63[b]
NCE[7]	2,38[b]	5,75[ab]	3,70[b]	5,08	5,80[b]	6,24[b]
RMSE[8]	2,3	3,2	2,3	2,9	4,0	3,2
P-ért[9]	0,001	0,0129	0,0131	NS	0,0358	NS
P-ért[10]	0,0184	0,0151	0,0427	NS	0,0133	0,0001
Inter.[11]	0,0100	0,0076	0,0064	0,0716	0,0109	0,0024

1: Kezelések
2: A-csoport: jobb héjminőségre szelektált
3: B-csoport: nem szelektált
4: 2,45 g/kg takarmány NPP
5: 2,15 g/kg takarmány NPP
6: 2,45 g/kg takarmány NPP 300 FTU/kg fitázzal
7: 2,15 g/kg takarmány NPP 300 FTU/kg fitázzal
8 Átlagos négyzetes hiba gyöke
9 Gentoípus hatás P<0.05
10 Kezelés hatás P<0.05
11 Interakció: gen x NPP szint
a,b: P <0,05
NS: nem szignifikáns különbség

Az eltérő csoportba tartozó tojóhibridek között a 15. és a 17. termelési hónap kivételével végig szignifikáns különbség mutatkozott a sérült héjú tojások tekintetében. A B csoportba tartozó tojótyúkok átlagosan 38,4%-kal (P<0,05) kevesebb repedt vagy törött héjú tojást tojtak, mint az A csoport madarai, amelyek tojásának héja a termelés 16 és 17. hónapjában már 10% fölötti mértékben volt sérült a tojásrakáskor.

A kísérleti takarmánykezelések között is jelentős eltérést mértem. A 15. termelési hónapot kivéve minden hónapban volt különbség a kezelések között. A 12. termelési hónapban a 2,45 g/kg NPP tartalmú (gyors lebomlású P) takarmányt fogyasztó madarak 3,5%-kal több (P<0,05) törött héjú tojást állítottak elő, mint a 12,2%-kal csökkentett NPP tartalmú, fitáz kiegészítést tartalmazó (lassú lebomlású P) tápot fogyasztó madarak. A 13. hónapban az NC kezelés madaraihoz képest a PC és PCE kezelést fogyasztó madarak átlagosan 4,9%-kal több (P<0,05) repedt vagy törött héjú tojást tojtak. A 14.

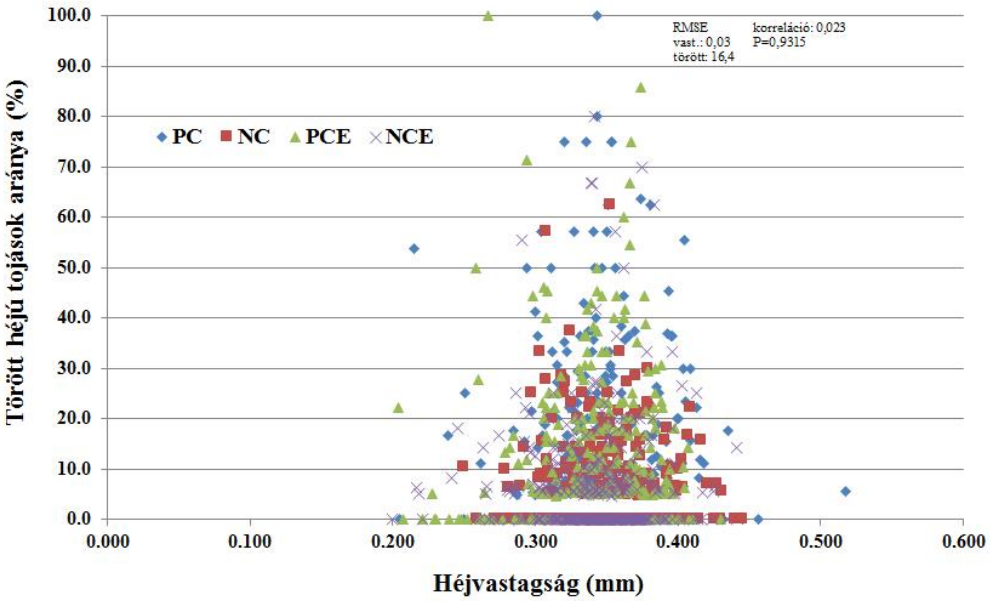
hónapban az NC és NCE kezelést fogyasztó madarakhoz képest a PC és PCE takarmányt fogyasztók által tojt sérült héjú tojások aránya 2,4 % ponttal volt több (P<0,05). A 16. termelési hónap során szintén a PC és PCE kísérleti takarmányt fogyasztó hibridek tojtak szignifikánsan több törött héjú tojást (5,6% - P<0,05), mint az NCE társaik. A nyújtott tojástermelési időszak utolsó hónapjában csak a 2,45 g/kg NPP tartalmú, fitáz kiegészítés nélküli tápot fogyasztó madarak törött héjú tojásainak aránya különbözött (P<0,05) statisztikailag igazolható mértékben a többi madárétól.

Megállapítható továbbá az is, hogy a legtöbb esetben a kisebb NPP tartalmú takarmány fitázzal kiegészítve 2,7%-kal kevesebb (P<0,05) törött tojást eredményezett, mint a több foszfort vagy csak MCP-t, mint hasznosítható P forrást tartalmazó takarmány.

Um és mtsai (1999) azt találták, hogy az 1,1 g/kg NPP tartalmú, 250 FTU/kg fitázzal kiegészített tápot fogyasztó tojótyúkok 0,32%, míg a 2,6 g/kg NPP tartalmú tápot fogyasztó tyúkok 0,8% repedt vagy sérült héjú tojást termeltek. Ez a különbség szignifikáns volt (P<0,05).

Lim és mtsai (2003) 1,5 és 2,5 NPP tartalmú tápokhoz kevertek 0 vagy 300 FTU/kg fitáz enzimet. A tojótyúkok 21-41 élethetén mért eredményeik azt mutatták, hogy a nagyobb NPP tartalmú, enzimmel kiegészített táp hatására csökkent a törött tojások száma. Lei és mtsai (2011) azonban nem találtak szignifikáns eltérést a 2,6 g/kg és 1,4 g/kg NPP + 300 FTU tápokkal etetett tojótyúkok által tojt gyenge héjú, törött tojások száma között. A vizsgálatban a törött vagy hajszálrepedt héjú tojások számát a takarmányok NPP tartalma nem befolyásolta, még 300 FTU/kg fitáz enzim hozzáadásával sem. A sérült héjú tojások aránya az 1-20 termelési héten mért eredmények alapján átlagosan 2,6% volt.

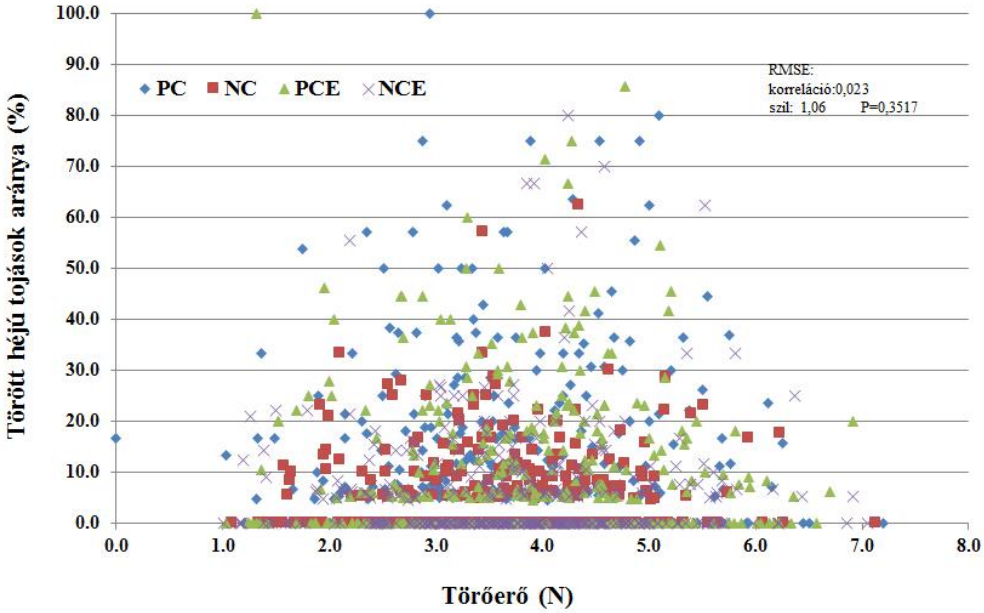
A sérült héjú tojások aránya és a héjvastagság közötti korreláció mértékét a *10. ábra* mutatja.



10.ábra A törött héjú tojások aránya és a héjvastagság közötti korreláció

Eredményeim szerint a takarmányok eltérő forrásból származó nem-fitin foszfor tartalma a tojáshéj vastagsága és a törött vagy repedt héjú tojások között nincs kapcsolat (r=0,023; P=0,9315).

A tojáshéj megroppantásához szükséges erő és a törött vagy repedt héjú tojások közötti korreláció mértékét a *11. ábra* mutatja.



11.ábra A törőerő és a törött héjú tojások aránya közötti korreláció

Eredményeim szerint a takarmányok eltérő forrásból származó nem-fitin foszfor tartalma a héj megroppantásához szükséges törőerő és a törött vagy repedt héjú tojások között nincs kapcsolat (r=0,023; P=0,3517).

4.4 KÜLÖNBÖZŐ NPP ELLÁTÁS HATÁSA A CSONT MINERALIZÁCIÓRA ELTÉRŐ GENOTÍPUSÚ TOJÓKNÁL A NYÚJTOTT TOJÁSTERMELÉS UTOLSÓ 6 HÓNAPJÁBAN

A vizsgálatok célja az volt, hogy értékeljük a beállított kísérleti kezelések hatását élő madarakban és *post mortem* mért csontszövet sűrűség, valamint a *tibia* csontok sűrűség értékére, és fiziko-kémiai tulajdonságára két különböző héjminőséggel rendelkező genotípus esetében.

4.4.1 AZ *IN VIVO* CT VIZSGÁLAT EREDMÉNYE

A CT felvételekkel meghatározható a csontozat térfogata és sűrűsége vagy sűrűsége. A csont sűrűsége a csontok térfogategységenkénti tömegét mutatja. A különböző csoportokban mért, élő madáron végzett CT vizsgálatok eredményeit a *18. táblázat* mutatja be.

18. táblázat A hibridek eltérő genotípusa és az eltérő NPP szintek hatása az in vivo mért CT paraméterekre

Paraméterek		Teljes csontozat sűrűsége (mg/cm^3)	Teljes csontozat térfogat (cm^3)	Teljes test térfogat (cm^3)	Csont arány teljes testben (%)
1. mérés (53. termelési hét)					
Csoportok[1]	**A**	264,8[a]	155,3[a]	1846	11,9[b]
	B	256,3[b]	141,4[b]	1874	13,3[a]
Kezelések[2]	**PC**	263,8	144,4	1832	12,73
	NC	255,4	155,5	1907	12,39
	PCE	261,4	146,2	1819	12,61
	NCE	261,6	147,3	1883	12,82
RMSE		8,32	10,25	210,66	1,65
P-érték	**csoportok**	0,0010	<0,0001	NS	0,0059
	kezelés	NS	NS	NS	NS
	interakció	0,0010	NS	NS	NS
2. mérés (68. termelési hét)					
Csoportok[1]	**A**	270,4[a]	156,3	1686	10,8
	B	263,4[b]	151,3	1717	11,5
Kezelések[2]	**PC**	270,4	150,7	1667	11,18
	NC	263,4	159,3	1767	11,16
	PCE	267,3	154,1	1727	11,28
	NCE	266,7	150,9	1644	10,99
RMSE		9,61	14,93	153,89	1,33
P-érték	**csoportok**	0,0153	NS	NS	NS
	kezelés	NS	NS	NS	NS
	interakció	NS	NS	NS	0,0180

[1]: A: jobb héjminőségre szelektált, B: nem szelektált; [2]: PC: 2,45 g/kg NPP; NC: 2,15 g/kg NPP; PCE: 2,45 g/kg NPP + 300 FTU/kg enzim; NCE: 2,15 g/kg NPP + 300 FTU/kg enzim; [3]: 1. mérés: nyújtott termelési időszak 2. hónapja; 2. mérés: nyújtott termelési időszak 6. hónapja; a,b,c: P<0,05; NS: nem szignifikáns különbség, RMSE: Átlagos négyzetes hiba gyöke

Eredményeim azt mutatják, hogy az első mérési időpontban a TETRA-SL LL genotípus A és B csoportba tartozó madarai között a teljes csontozat sűrűsége szignifikáns mértékben különbözött egymástól. Az A csoportba tartozó állomány csontjainak sűrűsége 3,2%-kal (P<0,05) nagyobb volt, mint a B csoport tojótyúkjaié. A teljes csontozat térfogatában is, az A csoport madarainál kaptunk 9%-kal (P<0,05) nagyobb értékeket. Ugyanakkor, a

teljes test térfogatában a két genotípus között nem volt statisztikailag igazolható különbség. A csontozat testhez viszonyított aránya a B csoport tojótyúkjainak 10,5%-kal (P<0,05) volt nagyobb, mint az A genotípusé. A kísérleti takarmányok eltérő NPP tartalma és a P lebomlási sebessége nem volt hatással az *in vivo* mért csont paraméterekre az első mérési időpontban.

A második mérési időpontban csak a teljes csont sűrűségében volt szignifikáns különbség az eltérő genotípusoknál. Az A csoport madarainak 2,6%-kal (P<0,05) nagyobb volt a csontozat sűrűsége. A további paraméterekre sem a hibridek genotípusa, sem a takarmányok NPP tartalma és a P lebomlási sebessége nem volt hatással (P>0,05).

Az első mérési időpontban a teljes csontozat sűrűségében, a második mérési időpontban a csontozat arányában a genotípus és a kezelések közötti interakció statisztikailag igazolt volt (P<0,05). Ez azt jelenti, hogy erre a két paraméterre a tojóhibridek genotípusa és az etetett takarmány NPP tartalma és a P lebomlási sebessége együttesen különböző mértékben hatott, de ennek jelentősége kicsi, mivel a fő hatások nem voltak statisztikailag igazolhatók.

A *post mortem tibia* computer tomográf vizsgálat eredményeit a *19. táblázat* mutatja be.

19. táblázat A hibridek eltérő genotípusa és az eltérő NPP szintek hatása a post mortem tibia CT vizsgálatának eredményire

Paraméterek		***Tibia* sűrűség (mg/cm^3)**	**Csonttérfogat (cm^3)**
Csoportok[1]	**A**	415,98	9,79[a]
	B	396,41	8,86[b]
Kezelések[2]	**PC**	399,6	9,13
	NC	408,4	9,27
	PCE	418,0	9,51
	NCE	398,9	9,39
RMSE		62,19	0,69
P-érték	**csoportok**	NS	<0,0001
	kezelés	NS	NS
	interakció	NS	NS

[1]: Hibridek eltérő genotípusa; [2]: PC: 2,45 g/kg NPP; NC: 2,15 g/kg NPP; PCE: 2,45 g/kg NPP + 300 FTU/kg enzim; NCE: 2,15 g/kg NPP + 300 FTU/kg enzim a,b,c: P<0,05, NS: nem szignifikáns különbség, RMSE: Átlagos négyzetes hiba gyöke

A *tibia* CT eredményei szerint a *tibia* sűrűségre (mg/cm^3) sem a hibridek eltérő genotípusa, sem a takarmánykezelések nem voltak szignifikáns hatással (P>0,05). A csont térfogatára (cm^3) csak a tojóhibridek genotípusa hatott oly módon, hogy az A csoportba tartozó madarak csontjainak térfogata 9,5%-kal nagyobb volt, mint a B csoport madaraié (P<0,05).

Silversides és mtsai (2006) fehér és barna tojást tojó tyúkok *tibia* sűrűségét mérték 3 g/kg és 2,5 g/kg hasznosítható P-tartalmú tápot 2,0 g/kg és 1,5 g/kg hasznosítható P-tartalomra csökkentették, és a kisebb hasznosítható P tartalmú tápokhoz 300 FTU/kg enzim kiegészítést adtak. Vizsgálatukban azt találták, hogy a kísérleti tápok nem voltak hatással egyik paraméterre sem.

4.4.2 A *TIBIA* FIZIKAI VIZSGÁLATÁNAK EREDMÉNYEI

A nyújtott termelési időszak végén, a CT vizsgálatokat követően a csontokat fizikai vizsgálatoknak vetettük alá. A *tibia* csontokon mért fizikai vizsgálatok eredményeit a *20. táblázat* mutatja be.

20. táblázat A hibridek eltérő genotípusa és a takarmány különböző NPP szintjének és forrásának hatása a tibia fizikai paramétereire

Paraméterek		**Átmérő átlag**	**Hossz**	**Keresztmetszet**	**F_{max}**
		(mm)	(mm)	(mm^2)	(N/mm^2)
Csoportok[1]	**A**	7,54^a	125,1^a	44,3^a	3,07
	B	7,31^b	122,5^b	41,7^b	2,88
Kezelések[2]	**PC**	7,41	123,7	42,7	3,01
	NC	7,52	124,0	44,1	2,89
	PCE	7,39	124,5	42,6	2,98
	NCE	7,39	123,0	42,5	3,01
RMSE		0,35	3,32	4,20	0,51
P-érték	**csoport**	0,0368	0,0088	0,0382	NS
	kezelés	NS	NS	NS	NS

[1]: A: jobb héjminőségre szelektált, B: nem szelektált; [2]: PC: 2,45 g/kg NPP; NC: 2,15 g/kg NPP; PCE: 2,45 g/kg NPP + 300 FTU/kg enzim; NCE: 2,15 g/kg NPP + 300 FTU/kg enzim; a,b: P<0,05; a genotípus és az NPP tartalom/forrás között nem volt interakció. NS: nem szignifikáns különbség. F_{max}: törőerő. RMSE: Átlagos négyzetes hiba gyöke

A hibridek genotípusai szignifikáns hatással voltak a csont átmérőjére. Az A csoportba tartozó madarak csontjainak átmérője, hossza és keresztmetszete nagyobb volt (P<0,05), mint a B csoport madaraié.

A fizikai paraméterekben megmutatkozó különbségek ellenére a csontok törőerejére nem volt hatással a genotípus (P<0,05). Ebből az eredményből arra következtethetünk, hogy a csontok méretétől függetlenül, azok szerkezete (rugalmassága) között nincs különbség. A takarmányok eltérő nem-fitin foszfor tartalma és az enzim kiegészítés nem volt hatással egyik fizikai paraméterre sem (P>0,05). Ez azt jelenti, hogy a 12,2%-kal csökkentett NPP tartalmú takarmány és a P forrás nem okozott nagyobb kifáradást a csontokban. Hasonlóan az eredményeimhez, Silversides és mtsai (2006) is azt találták, hogy az etetett takarmányok eltérő hasznosítható foszfor tartalma (3 és 2,5 g/kg-ról 2 és 1,5 g/kg-ra csökkentett) és azok lebomlási sebessége (300 FTU/kg fitáz enzim) nem volt hatással a tojótyúkok csontjainak törőerejére. Lei és mtsai (2011) a takarmányok NPP tartalmát 2,6 g/kg-ról (PC) 1,4 g/kg-ra (NC) csökkentették és az NC-hez 0 és 300 FTU/kg fitáz enzimet kevertek. Eredményeik szerint a *tibia* törési szilárdságát 33,5%-kal rontotta a fitáz nélküli NC a PC-hez képest, azonban a fitáz kiegészítés javította ezt a paramétert.

A CT vizsgálatokat és a fizikai vizsgálatokat követően a csontok hamu, Ca és P tartalmát is megvizsgáltuk. Ennek eredményeit a *21. táblázat* mutatja be.

21. táblázat A hibridek eltérő genotípusa és a takarmány különböző NPP szintjeinek és forrásának hatása a tibia kémiai paramétereire

Paraméterek		Csont arány	Extr. csont aránya	Szár. csont aránya	Hamu	Ca szárított csontban	P szárított csontban
		%	%	%	g/kg	g/kg	g/kg
Vona-lak[1]	A	0,58[a]	0,37[a]	0,32[a]	4,14[a]	209,4[a]	94,0
	B	0,52[b]	0,30[b]	0,27[b]	3,47[b]	173,7[b]	93,1
Keze-lések[2]	PC	0,55	0,33	0,30	3,82	193,6	94,7
	NC	0,56	0,34	0,30	3,83	186,9	93,5
	PCE	0,54	0,34	0,30	3,79	192,3	92,5
	NCE	0,55	0,34	0,29	3,79	193,6	93,6
RMSE		1,01	1,02	0,83	0,58	10,68	3,57
P-érték	csoport	0,0001	<0,0001	0,0002	0,0003	<0,0001	NS
	kezelés	NS	NS	NS	NS	NS	NS

[1]: A: jobb héjminőségre szelektált, B: nem szelektált; [2]: PC: 2,45 g/kg NPP; NC: 2,15 g/kg NPP; PCE: 2,45 g/kg NPP + 300 FTU/kg enzim; NCE: 2,15 g/kg NPP + 300 FTU/kg enzim; a,b: P<0,05; a genotípus és az NPP tartalom/forrás között nem volt interakció. NS: nem szignifikáns különbség. RMSE: Átlagos négyzetes hiba gyöke

A csontok egyes kémiai paraméterei a vizsgált hibrid különböző genotípusainál szignifikáns eltéréseket mutattak. A nyers csontok eredeti tömegének a testtömeghez viszonyított aránya az A csoportba tartozó tojóhibrideknél 10,3 relatív %-kal volt nagyobb (P<0,05), mint a B csoport madarainál. A zsírtalanított csonttömeg, a szárított csonttömeg és a hamu esetében is statisztikailag igazolható különbséget mértük a genotípusok között. A csontokban mért ásványianyag tartalom vonatkozásában csak a Ca-tartalomban volt statisztikailag igazolható különbség a két genotípus között. Az A csoport madarainak csontjaiban 17,1%-kal volt nagyobb (P<0,05) a Ca-tartalom, mint a B csoportba tartozó tojóhibridek csontjaiban. A genotípus a csontok foszfor tartalmára nézve nem volt szignifikáns hatással. A takarmánykeverékek eltérő nem-fitin foszfor tartalma és a P forrása nem volt hatással egyik kémiai paraméterre sem, azaz a legkisebb NPP tartalmú, fitázzal kiegészített takarmánnyal etetett madarak csontjaiba átlagosan azonos mértékű P épült be, mint a többi csoport esetében.

Liebert és mtsai (2005) fitázzal kiegészített kukorica-szója alapú takarmánykeverékek (3,9 g/kg össz foszfor; 3,9 g/kg össz foszfor + 300

FTU/kg fitáz enzim) hatását vizsgálták barna mészhéjú tojást tojó tyúkok *tibia* kémiai értékeire. Az egyes takarmány-kezeléseknek nem volt statisztikailag igazolható hatása sem a *tibia* hamu, sem a Ca és P tartalmára. Ez azt jelenti, hogy a foszfor lebomlási sebessége nem befolyásolta a csont ásványianyag forgalmát.

Meyer és Parsons (2011) 2,0 és 4,5 g/kg NPP tartalmú tojótápot fitáz enzim kiegészítés nélkül és 1,05 g/kg NPP tartalmú tojótápot 150, 250 és 15000 FTU/kg fitáz enzimmel kiegészítve vizsgálta a tojótyúkok *tibia* hamutartalmát, és megállapították, hogy a takarmánykeverékek eltérő NPP hatása még fitáz kiegészítéssel sem befolyásolták a *tibia* hamutartalmát.

A csontok mineralizációját különböző fitáz dózisok estében inkább brojlerekkel vizsgálták. Yan és mtsai (2000) vizsgálatában az NRC (1994) ajánláshoz képest csökkentett (21-42 napos korban: 3,5 g/kg, 43-56 napos korban: 3,0 g/kg) nem-fitin foszfor tartalmú takarmánnyal etetett madaraknál a *tibia* hamu tartalma szignifikánsan kisebb volt a nevelő és a befejező fázisban még fitáz kiegészítéssel is, mint a kontroll csoportban. Egy másik brojlerekkel végzett kísérletben Gautier és mtsai (2017) azonos Ca/P arányú keverékeket etettek az alábbiak szerint: a kontroll takarmányhoz képest (1% Ca és 0,5% NPP) a csökkentett Ca és P tartalmú keverékek (0,84% Ca és 0,35% NPP illetve 0,77% Ca és 0,29% NPP) 1500 FTU/kg fitáz enzim kiegészítéssel. Azt találták, hogy a csökkentett NPP tartalmú takarmányhoz adott fitáz enzim hatására nőtt a csont hamutartalma, de a csont P tartalma ebben a kezelésben volt legkevesebb, míg a legtöbb a kontroll csoport csontjaiban volt.

5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

5.1 AZ ELSŐ VIZSGÁLATBÓL LEVONHATÓ KÖVETKEZTETÉSEK

A 18 hónapos tojástermelési időszak alatt a TETRA-SL LL genotípusú tojóhibrid termelési intenzitása jobb volt, mint a TETRA Blanca genotípusú hibridé.

A takarmánykeverék NRC (1994) ajánláshoz képest 10,2%-kal kevesebb össz foszfor tartalma elegendő volt a nyújtott tojástermelési időszak első 9 hónapjában a jó termelési intenzitás eléréséhez, azonban a termelési időszak végén a 10. hónaptól az NCR (1994) ajánlás szerinti foszfor tartalmú takarmánnyal magasabb szintű termelés érhető el.

A vizsgált tojóidőszak első hat hónapjában a TETRA-SL LL genotípusú tojóhibridek tojásának súlya nagyobb volt, majd azt követően a tojások súlyában már nem volt különbség, a TETRA Blanca hibridek által megtojt tojásokhoz képest.

A takarmányok eltérő P tartalmát tekintve az NRC (1994) ajánlás szerinti P tartalom nagyobb tojásokat eredményezett a tojóidőszak második felében.

A TETRA-SL LL genotípusú hibridnek 10%-kal több a tojásmassza termelése, mert ennek a genotípusnak a termelési intenzitása és a tojásainak súlya is nagyobb volt a termelési időszak első 1-6 hónapjában, a TETRA Blanca genotípusú hibridekéhez képest.

A takarmányok P tartalma csak a nyújtott tojóidőszak végén, az utolsó két hónapban befolyásolta a tojásmassza mennyiségét. A tojótyúkok takarmányértékesítésére sem a madarak genotípusa, sem a takarmányok P tartalma nem volt hatással.

A tojótyúkok által megtermelt tojások héjminőségi paramétereit tekintve a héjszilárdsági és héjvastagsági mutatók között nem volt eltérés sem a genotípus, sem a takarmányok eltérő P tartalmának tekintetében. Ez azt jelenti, hogy a nyújtott tojástermelési időszakban héjminőségi romlás nélkül csökkenthető 10,2%-kal az intenzív tojótyúkok takarmányának ajánlás szerinti (4,9 g/kg) P tartalma.

5.2 A MÁSODIK VIZSGÁLATBÓL LEVONHATÓ KÖVETKEZTETÉSEK

Az enzimaktivitási teszt során a vizsgált enzimnél 2 jól elkülöníthető pH optimum volt meghatározható pH 3,5-nél és 5,5-nél, valamint egy kisebb mértékű optimum pH 7,5-nél. Az adatok alapján feltételezhető, hogy a takarmányokhoz adott fitáz enzim készítmény hatékonyan ki tudja fejteni a hatását a tojótyúk tápcsatornájában.

Az *in vitro* fität hidrolízis vizsgálatok eredményi azt mutatják, hogy 300 FTU/kg hozzáadott fitáz elegendő a kukoricában és az extrahált szójadarában lévő fitin kötésben lévő P nagy részének felszabadításához. A hidrolízis 2 és 3 óra inkubációs idő között már nem változott lényegesen.

5.3 MÁSODIK VIZSGÁLATBÓL LEVONHATÓ KÖVETKEZTETÉSEK

A nyújtott tojástermelési időszak utolsó hat hónapjában végzett teljesítményvizsgálatban a különböző genotípusú TETRA-SL LL tojótyúkoknál a gyengébb tojáshéjminőséggel jellemzett B csoportba tartozó hibrid a teljes vizsgálati időszakban jobb termelési intenzitást mutatott, mint az A csoport hibridjei. A nyújtott termelési időszak 17 hónapjának végén mindkét genotípus madarai 70% fölötti intenzitással termeltek.

A 2,15 g/kg NPP-t tartalmazó fitázzal kiegészített keveréket fogyasztó madarak tojástermelési intenzitása végig jobb volt, szemben azokkal a madarakkal, melyek takarmánya 2,15 g/kg NPP-t tartalmazott és a P tartalom MCP-vel került beállításra ($P<0,05$).

A kísérleti takarmányok NRC (1994) ajánlás szerinti és 12,2%-kal csökkentett NPP tartalma és a P forrása nem befolyásolta a tojótyúkok takarmányfelvételét.

A tojássúlyra a tojótyúkok genotípusa csak a nyújtott termelési időszak 15-16. hónapjában volt hatással, amikor az A csoportba tartozó hibridek tojása volt nagyobb. A genotípus összességében nem befolyásolta a tojásméretet.

A kísérleti takarmányok NPP tartalma és a P forrása összességében nem volt hatással a tojások súlyára a kísérleti időszak utolsó hat hónapjában, a 16. hónap kivételével.

Hasonlóan a tojástermelési intenzitáshoz, a tojásmasszára is befolyásoló tényezőként hatott a hibridek genotípusa. A B csoportba tartozó madarak a tojóidőszak majdnem teljes egészében több tojásmasszát termeltek, mint az A genotípus madarai.

A nyújtott tojóidőszak végén a 2,15 g/kg NPP tartalmú takarmányt fogyasztó tyúkok, a P lebomlási sebességétől függetlenül kevesebb tojásmasszát termeltek, mint az ajánlás szerinti, 2,45 g/kg NPP tartalmú tápot fogyasztó madarak. A foszfor lebomlási sebessége itt sem volt befolyásoló tényező.

A tojáshéj megroppantásához szükséges törőerőt sem a kísérletbe állított tojóhibridek genotípusa, sem a takarmányok NPP tartalma és a P lebomlási sebessége nem befolyásolta.

A tojáshéj vastagságát a hibridek genotípusa úgy befolyásolta, hogy az A csoportba tartozó tojótyúkok tojásainak héja a vizsgálat időszakban végig nagyobb értéket mutatott, mint a B csoporté.

A takarmányok NRC (1994) ajánlás szerinti NPP tartalma és az enzim-kiegészítés csak a termelés utolsó hónapjában hatott pozitívan a tojáshéj vastagságára.

Megállapítható, hogy a nyújtott termelési időszak második felében a kisebb NPP tartalmú táp (2,15 g/kg) is adható az intenzív termelésre képes tojótyúknak, a tojáshéj minőségi romlása nélkül.

Az A csoport tojóhibridjei a nyújtott termelési időszak közel teljes egészében több repedt vagy törött héjú tojást tojtak, mint a B csoport madarai.

A nyújtott tojóidőszakban (a 15. hónapot kivéve) a takarmányok nagy NPP tartalma hatással volt a sérült vagy törött héjú tojások arányára.

Az *in vivo* CT vizsgálat során azt az eredményt kaptam, hogy a vizsgált paraméterekre csak a tojótyúkok genotípusa volt hatással. A teljes csontozat sűrűsége és a csontozat térfogata az A genotípusú hibrideknél nagyobb. A

takarmányok NPP tartalma nem volt hatással a CT paraméterekre, egyik mérési időpontban sem.

A tojóhibridek genetikai háttere befolyásolta a *tibia* fizikai tulajdonságait. Az A csoportba tartozó tojótyúkok csontjának átmérője, hossza és keresztmetszete is nagyobb volt, mint a B csoport madaraié. Azonban a csont megroppantásához szükséges erő nagyságában nem volt különbség. Így megállapítható, hogy a csont fizikai paraméterétől független a roppantáshoz szükséges erő nagysága.

A 12,2%-kal csökkentett NPP tartalmú táppal (2,45 g/kg-ról 2,15 g/kg-ra) ugyanolyan fizikai paraméterek érhetők el a *tibiá*ban, mint az NRC (1994) ajánlás szerinti NPP-vel, a P lebomlási sebességétől függetlenül.

Az A csoport madarainak *tibiá*jának kémiai összetétele jobb értékeket mutatott, kivéve a csontok P tartalmát, mert az az A és B csoportba tartozó hibridekben is azonos volt.

A takarmányok NPP tartalma és a P lebomlási sebessége nem befolyásolta a csontok kémiai összetételét.

Célszerű a csökkentett nem-fitin foszfor szinthez a megállapított fitáz enzim mennyiségével (300 FTU/kg) beállított takarmányokkal további vizsgálatot végezni az ürülékben vizsgált foszfor retencióra és P kibocsátás mérésére.

Egy árutojás előállító cég egy konkrét rotációját végig kísérve érdemes pontos gazdasági számítást végezni arra vonatkozóan, hogy az alkalmazott NPP szint és fitáz kiegészítéssel mennyiben változna - esetlegesen javulna - az egy tojásra jutó önköltség.

6. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. A TETRA hibridek (-SL LL és Blanca) esetében a nyújtott tojástermelési időszak első 9 hónapjában az NRC (1994) ajánláshoz képest 10%-kal csökkentett összes foszfor (4,4 g/kg összes P és ezen belül 2,0 g/kg NPP szint) tartalmú takarmány biztosítása elegendő az optimális termelési intenzitás fenntartásához. A hagyományos, egy éves tojástermelésen túl a tojóhibridek számára az ajánlás szerinti 4,9 g/kg össz foszfort és 2,5 g/kg NPP-t szükséges biztosítani a gyengébb termelési intenzitás elkerülése érdekében, amennyiben az abrakkeverék nem tartalmaz fitáz enzim kiegészítést és a tyúktojások súlya 64 g feletti.

2. A TETRA hibridek (-SL LL és Blanca) tojáshéj minőségét nem rontja, ha a hagyományos 1 éves tojóidőszakon túl az intenzív tojóhibridek takarmányát az NRC (1994) ajánláshoz képest 10%-kal csökkentett P-tartalommal (4,4 g/kg összes P, illetve 2,0 g/kg NPP) állítjuk be, akkor sem, ha a tojások súlya meghaladja a 63 grammot.

3. A TETRA hibridek (-SL LL és Blanca) esetében a nyújtott (68. termelési hétig tartó) tojástermelés utolsó 6 hónapjában, amennyiben a tojások súlya 63 g alatt marad, nem szükséges a kukorica-szója összetételű takarmány NPP tartalmát 1,0 g/kg fölé emelni, ha az abrakkeveréket 300 FTU/kg mennyiségben fitáz enzimmel egészítjük ki.

4. Eredményeim alapján javasolható a nyújtott tojóidőszak második felében etetett tojótápok NPP tartalmának beállítása az MCP arányának csökkentésével és a fitin kötésben lévő foszfor fitáz-enzimmel történő felszabadításával.

5. Különböző héjminőséggel rendelkező TETRA-SL LL hibridek madarainak csontozatát, valamint a *tibia* csont méretét, szilárdságát és kémiai összetételét a takarmányok csökkentett P tartalma és a P forrása nem befolyásolja, a madarak ásványianyag forgalma a nyújtott tojóidőszak végén is kiegyenlített.

6. A jobb héjminőségre szelektált genotípus madarainak *tibia* csontja 20%-kal több Ca-ot tartalmaz, tojásaik héja vastagabb, azonban a repedt vagy törött tojások aránya a nyújtott termelés utolsó 6 hónapjában szinte végig magasabb, mint a nem szelektált genotípus madaraié.

7. ÖSSZEFOGLALÁS

A tojástermelő cégek a tojótyúkokat egy éves termelésben tartották a 2010-es évek kezdetéig. Az egy éves tojóidőszakban egy tojótyúk 300-320 db, átlagosan 63 grammos tojást tojt. A mai modern, étkezési tojás termelésére előállított tojóhibridek a nyújtott termelési időszakban – nem ritka a 90-110 élethetes korig tartott tojótyúk sem – 410-420 db tojást tojnak. A közel hat hónappal megnyújtott perzisztenciát legfőképp gazdasági okok, pontosabban, az egy tojásra jutó összköltség csökkentése indokolja. Azonban a világszerte leginkább elfogadott és széleskörűen alkalmazott nemzetközi ajánlás (NRC, 1994) sem a modern tojóhibridekre, sem a nyújtott tojástermelési időszakra vonatkozóan nem ad ajánlást. Az ajánlások aktualizálása mindenképpen időszerű, azonban a nemzetközi és hazai szakirodalomban is csekély számú publikáció áll rendelkezésre a témát illetően.

A tojóidőszak előrehaladtával a tojásméret folyamatosan nő, értelemszerűen a megnövekedett tojásméret, nagyobb héjfelületet eredményez, azonban a héjképződéshez biztosított Ca mértéke a teljes tojóidőszak alatt közel azonos. A tyúk a tojás héjának előállításához a takarmányban lévő Ca-ot a medulláris csontban képes raktározni, majd szükség szerint onnan mobilizálni.

Az irodalmi adatok egyértelműen azt mutatják, hogy a hagyományos, 1 éves tojástermelési időszakban az NRC (1994) által javasolt P ellátás jelentősen, akár 55%-kal is csökkenthető a tojástermelés és a héjminőség romlása nélkül. Kevés azonban azoknak a vizsgálatok száma, melyek a tojástermelés teljes időszakát felölelik, illetve ugyancsak hiányos az irodalom a tekintetben, hogy mennyi a tojótyúkok P igénye az 1 évet meghaladó perzisztencia esetén.

A tojótyúkokkal végzett vizsgálatok eredményei már régóta igazolták, hogy a Ca forgalom szempontjából a lassan lebomló, nagy szemcseméretű Ca források előnyösebbek. A dinamikus csontmineralizáció és az ásványianyag forgalom jellegzetességei miatt a Ca és a P forgalom egymástól nem választható el. Viszonylag egységes az az álláspont, hogy a klasszikus 1 éves tojóidőszak során a tojótyúkok P igénye akár 1,5-1,8 g/kg nem-fitin

foszforral kielégíthető, amennyiben a takarmányt fitáz enzimmel egészítik ki 300 FTU/kg mennyiségben. Felmerül a kérdés, hogy vajon különböző lebomlási sebességű P forrás, de azonos NPP ellátás esetén van-e különbség a madarak teljesítményében, különösen a nyújtott tojóidőszak utolsó 6 hónapjában, amikor a héjminőségi problémák is jelentkeznek.

Viszonylag kevés vizsgálatot végeztek annak értékelésére, hogy a különböző genotípusok azonos módon reagálnak-e a P ellátás szintjére. Ismereteink szerint nincs olyan irodalmi adat, ami a genotípusok összehasonlítását a nyújtott tojástermelés utolsó, kritikusnak tekinthető időszakában végezte volna.

Ezért a doktori munka fő célkitűzése, hogy hiánypótló adatokat szolgáltasson a takarmány optimális P tartalmára vonatkozóan a nyújtott termelési időszakban (18 hónapos perszisztencia), különös tekintettel annak egy év utáni időszakában. Vizsgálataim arra irányultak, hogy hogyan befolyásolja a különböző genotípusú tojótyúkok termelését és a tojáshéj minőségét az eltérő foszforellátás a nyújtott tojóidőszakban (18 hónapos perzisztencia). A második *in vivo* vizsgálat pontos beállítása érdekében egy *in vitro* vizsgálatban célom volt meghatározni a fitáz enzim kiegészítés dózisfüggő hatását a kukorica és az extrahált szójadara NPP tartalmára az inkubációs idő függvényében. Az *in vitro* vizsgálatban kapott eredmények alapján összeállított keverékekkel végzett vizsgálatban a különböző szintű és lebomlási dinamikájú NPP ellátás hatását vizsgáltam a tojótyúkok termelésére, a tojáshéj minőségére és csontmineralizációra a hosszú tojástermelés utolsó 6 hónapjában.

Vizsgálataimat a Kaposvári Egyetem Agrár- és Környezettudományi Karán, a Takarmányozástani Intézeti Tanszék baromfi kísérleti termében végeztem.

Az első kísérletbe 120 db, 19 hetes, kétféle, nagy teljesítményre képes tojóhibrid került beállításra: TETRA-SL LL (SL) és TETRA Blanca (BL). A kísérleti takarmányok össz foszfor tartalma az NRC (1994) ajánlás szerinti és egy 10,2%-kal csökkentett szinten kerültek beállításra. A tojóhibridek teljesítményét és tojáshéj minőségét megnyújtott termelési periódusban (18 hónap) vizsgáltam.

Az enzimvizsgálathoz egy fermentált élesztő gomba eredetű enzimet használtam. Enzim aktivitás és pH optimum meghatározását, és reakció vizsgálatot végeztem, ahol az inkubációs idő és a szubsztráthoz adott enzim aktivitásának hatását vizsgáltam a felszabaduló P mennyiségére.

Az *in vitro* vizsgálataimat a Bonafarm-Bábolna Takarmány Kft. nagyigmándi laboratóriumában végeztem.

Az enzimaktivitási vizsgálat eredményei alapján a takarmány alapanyag mintákon végzett hidrolízis-vizsgálatokat pH 5,5-nél végeztük. A reakció vizsgálat adatait a V_{max} and K_m paramétereket használva a Michaelis-Menten metodikát alkalmaztam.

A második *in vivo* vizsgálatban összesen 184 db Tetra-SL LL tojóhibrid került elhelyezésre a 45-től a 68. termelési hétig (63-tól a 86. élethétig). A madarak a korábbi, tojáshéj minőségre (héjszilárdság és héjvastagság) történt tenyésztői vizsgálatok közlése alapján két csoportba kerültek (A, B). A kísérleti takarmányok két eltérő NPP-szinten fitáz enzimmel vagy annak hozzáadása nélkül kerültek beállításra négy kísérleti kezelésben. A tojótyúkok teljesítményét és tojáshéj minőségi paramétereit a nyújtott termelési periódus (17 hónap) utolsó 6 hónapjában vizsgáltam.

A képalkotást 144 db TETRA-SL LL tojótyúkon végeztük a vizsgálat kezdésétől számított 60. napon és a vizsgálat utolsó előtti napján, 87 élethetes korban, a tojástermelési időszak 68. hetében. Az etetett takarmányok megegyeztek a beállított NPP takarmány kísérletben leírtakkal. A CT vizsgálatokat a Kaposvári Egyetem Diagnosztikai Képalkotó és Sugárbiológiai Onkológiai Intézetének Siemens Somatom Sensation 16 Cardiac (Siemens, Erlangen, Németország) szkennerével végeztük. A madarakat speciális műanyag tartályban rögzítettük, anesztetikum nélkül, és három állatot egyszerre szkenneltünk. Az akvizíció paramétereit 140 kV-os csőfeszültségre, 200 mA-es áramerősségre, 16 x 1,5 mm kollimációra, 500 mm látómezőre, spirál adatgyűjtésre: pitch 0,7 értékre állítottuk be (Donkó és mtsai, 2018). A madarak az CT vizsgálat utáni napon levágtuk és a bal láb csontjait a fent leírt protokoll segítségével vizsgáltuk. A *tibiotarsalis* csontok törési szilárdságát (N) Zwick Roell Z005 vizsgálógépen határoztuk meg és a csontminta szárazanyag, hamu-, Ca és P-tartalmát az AOAC 934.01, AOAC 942.05 módszerek szerint határoztuk meg.

Adataink szerint a barna héjú tojást tojó TETRA-SL LL tojóhibridnek átlagosan 3,0 % ponttal volt nagyobb a tojástermelési intenzitása a nyújtott tojástermelési periódusban, mint a fehér mészhéjú tojást tojó TETRA Blanca hibridé. Az ajánlás szerinti össz foszfor tartalom csökkentésével a madarak tojástermelése átlagosan 3,3%-kal volt kevesebb a nyújtott tojóidőszak 10. hónapjától. A TETRA-SL LL genotípusú tojóhibrid takarmányfelvétele 9,7%-kal volt több mint a TETRA Blancáé, a termelési időszak közel teljes egészében. A tojástermelési időszak 8-11. és 15-17. hónapjaiban a nagyobb P-tartalmú takarmánykeverékből a madarak 2,3%-kal fogyasztottak kevesebbet, mint az ajánláshoz képest (NCR) 10%-kal csökkentett foszfor mennyiséget tartalmazó tápból. A TETRA-SL LL tojóhibrid a tojástermelési időszak első hat hónapjában átlagosan 4,5%-kal nagyobb tömegű tojást tojt a TETRA Blanca tojóhibrid tojásaihoz képest, majd a 7. hónaptól a nyújtott termelés végéig átlagosan egyforma súlyú tojásokat tojt a két genotípus. A 4,4 g/kg P-tartalmú takarmányt fogyasztó madarak által megtermelt tojás súlya átlagosan 2,5%-kal volt kisebb, mint a 4,9 g/kg P-tartalmú takarmányt fogyasztó társaiké, a termelési időszak 10. hónapjától. Az SL genotípusú tojótyúkok a termelés 11. hónapjáig átlagosan 9,5%-kal több tojásmasszát termeltek, mint a BL genotípusú tyúkok. A PC takarmányt fogyasztó madarak csak a termelés utolsó két hónapjában termeltek átlagosan 6,6%-kal több tojásmasszát, mint az NC takarmányt fogyasztó tyúkok. A takarmányértékesítési paraméter tekintetében sem a tojóhibridek genotípusa, sem a kísérleti takarmányok eltérő foszfor tartalma nem volt statisztikailag igazolható hatással. A héjvastagságra és a tojáshéj megroppantásához szükséges törőerő paramétereket a tojótyúkok genotípusa és a takarmányok foszfor tartalma nem befolyásolta.

Az enzim vizsgálat során az egyes pH-kon mért enzimaktivitást tekintve két jól elkülönülő és egy kisebb pH optimum került meghatározásra. A pH 3,5-nél egy gramm enzimben 8828 FTU volt a mért aktivitás, pH 5,5-nél az aktivitási érték 12670 FTU, ami a garantált aktivitás 127%-a volt. Egy kisebb értékű (4381 FTU/g) optimum is mérhető volt a 7,5-ös pH-nál. A kukorica és szója mintákban a fität hidrolízisének 5,5 pH-n, 100, 200 és 300 FTU g/kg enzim hozzáadásával történő mérését a V_{max} és K_m paraméterek meghatározásával végeztük. A legtöbb felszabadított foszfort kukoricában a 30. és 60. percben mértük 300 FTU-nál, szójában pedig a 120. percben is.

Az eltérő NPP tartalmú tápok hatásának ugyanazon genotípus, két különböző csoportjába tartozó hibridjein történt tesztelés során megállapítható volt, hogy a tenyésztő által korábban mért gyengébb héjszilárdsági és héjvastagsági eredményeket mutató B csoport tojóhibridjei a nyújtott tojástermelési időszak utolsó 24 hetében végig szignifikánsan nagyobb intenzitással termeltek, mint az erősebb héjminőségi mutatókkal rendelkező A csoportba tartozó madarak. A tojástermelési intenzitás tekintetében csak az ajánláshoz képest 12,2%-kal csökkentett NPP tartalmú és az ugyanilyen, de fitáz enzim hozzáadásával beállított NPP tartalmú takarmányt fogyasztó madarak esetében volt szignifikáns eltérés. A tojótyúkok takarmányfogyasztását a hibrid genotípusa csak a nyújtott termelés utolsó két hónapjában befolyásolta. Az A csoport madarainál ebben az időszakban átlagosan 7,9%-kal több volt a takarmány felvétel, mint a B csoport madarainál. A takarmányok NPP tartalma nem volt szignifikáns hatással a tojók takarmányfogyasztására. A tojássúlyt a genotípus nem befolyásolta lényegesen, a kísérleti takarmányok NPP tartalma is csak a termelés utolsó előtti két hónapjában volt hatással. A nyújtott termelési időszak utolsó hónapját kivéve, az A csoportba tartozó tojótyúkok havonta megtermelt átlagos összes tojástömege a kevesebb volt, mint a B csoport tojótyúkjaié. A kísérleti takarmányok a 13. és 16. termelési hónap között befolyásolták a tojásmassza alakulását. A csökkentett NPP tartalmú takarmánykeveréket fogyasztó madarak átlagosan kevesebb tojásmasszát termeltek, mint a nagyobb NPP tartalmú és a nagyobb NPP tartalmú, de fitázzal kiegészített tápot fogyasztó társaik. A különböző genotípusú és az eltérő NPP tartalmú takarmányt fogyasztó hibridek által megtermelt tojások héjszilárdsági értékei nem mutattak szignifikáns eltérést. Az A genotípusú tojótyúkok által megtermelt tojások héja vastagabb volt, mint a B genotípusúaké, azonban a takarmányok NPP tartalma ezt a héjminőségi paramétert nem befolyásolta. A törött tojások arányára a genotípus statisztikailag igazolható módon volt hatással úgy, hogy a B csoportba tartozó tojóhibridek a nyújtott termelési időszak második felében végig kisebb arányban tojtak sérült vagy törött héjú tojást. A tojástermelés 13., 14. és 16. hónapjaiban volt eltérés a törött tojások arányában: az ajánlás szerinti, 2,45 g/kg NPP tartalmú tápot fogyasztó madarak nagyobb arányban produkáltak sérült vagy törött héjú tojást, mint az ugyanilyen NPP tartalmú, de fitáz kiegészítéssel beállított takarmányt fogyasztó madarak.

Az *in vivo* computer tomográfos vizsgálat során az első mérési időpontban a TETRA-SL LL genotípus A és B csoportjai között a csont sűrűségi paraméter szignifikáns mértékben különbözött egymástól. Az A csoportba tartozó állomány csontjának sűrűsége 3,2%-kal nagyobb volt, mint a B csoport madaraié. A csontozat térfogatában az A csoport madarainak csont térfogata átlagosan 9%-kal volt nagyobb, mint a B csoport madaraié. A teljes testhez viszonyított csontozat arányában a B csoport madarainál mutatott 10,5%-kal nagyobb értéket. A takarmánykezelések az első mérési időpontban nem voltak szignifikáns hatással az *in vivo* CT vizsgálat paramétereire. A második mérési időpontban az A csoportba tartozó genotípus csont sűrűsége átlagosan 2,6%-kal nagyobb volt, mint a B genotípusé. A *tibia* CT eredményei szerint a csont ásványianyag sűrűségére (mg/cm^3) sem az eltérő genotípusok, sem a takarmánykezelések nem voltak szignifikáns hatással. A csont térfogati paraméterét (cm^3) tekintve az A csoportba tartozó madarak csontjainak térfogata 9,5%-kal nagyobb volt, mint a B csoport madaraié. Ennél a paraméternél interakció volt megfigyelhető, ami azt jelenti, hogy a csont térfogatára a genotípus és a takarmányok NPP tartalma együttesen hat. A csontok törőerejére a genotípus és a takarmányok eltérő nem-fitin foszfor tartalma (és a P lebomlási sebessége) nem volt hatással, azonban az A csoportba tartozó tojótyúkok *tibiá*jának összes fizikai paramétere nagyobb értékeket mutatott, mint a B genotípus madarainak csontjai. A takarmányok NPP tartalma a *tibia* fizikai paramétereit nem befolyásolta. A csontok egyes kémiai paramétereire a vizsgált genotípus különböző csoportjai szignifikáns eltéréseket mutattak. A nyers csontok eredeti tömege, a zsírtalanított csonttömeg és a csontokban mért Ca-tartalom az A csoport tojóhibridjeinél volt nagyobb, mint a B csoportba tartozó madaraknál. Az A csoport madarainak csontjaiban 20,6%-kal volt nagyobb a Ca-tartalom, mint a B csoport tojóhibridjeinek csontjaiban. A genotípus a csontok foszfor tartalmára nem mutatott szignifikáns hatást. A takarmánykeverékek eltérő nem-fitin foszfor tartalma és a hozzáadott enzim nem volt hatással egyik kémiai paraméterre sem.

A takarmánykeverék NRC (1994) ajánláshoz képest 10,2%-kal kevesebb össz foszfor tartalma elegendő a nyújtott tojástermelési időszak első 9 hónapjában a jó termelési intenzitás eléréséhez, azonban a termelési időszak végén a 10. hónaptól az NCR (1994) ajánlás szerinti foszfor tartalmú takarmánnyal magasabb szintű termelés érhető el. Az NRC (1994) ajánlás szerinti P tartalom nagyobb tojásokat eredményezett a tojóidőszak második felében. A nyújtott tojástermelési időszakban héjminőségi romlás nélkül

csökkenthető 10,2%-kal az intenzív tojótyúkok takarmányának ajánlás szerinti (4,9 g/kg) P tartalma. A 300 FTU/kg hozzáadott fitáz elegendő a kukoricában és az extrahált szójadarában lévő fitin kötésben lévő P nagy részének felszabadításához. A 2,15 g/kg NPP-t tartalmazó fitázzal kiegészített keveréket fogyasztó madarak tojástermelési intenzitása végig jobb volt, szemben azokkal a madarakkal, melyek takarmánya 2,15 g/kg NPP-t tartalmazott és a P tartalom MCP-vel került beállításra ($P<0,05$). A különböző genotípusú TETRA-SL LL tojótyúkoknál a gyengébb tojáshéjminőséggel jellemzett B csoportba tartozó hibrid a teljes vizsgálati időszakban jobb termelési intenzitást mutatott, mint az A csoport hibridjei. A genotípus összességében nem befolyásolta a tojásméretet. Megállapítható, hogy a nyújtott termelési időszak második felében a kisebb NPP tartalmú táp (2,15 g/kg) is adható az intenzív termelésre képes tojótyúknak, a tojáshéj minőségi romlása nélkül. Az A csoport tojóhibridjei a nyújtott termelési időszak közel teljes egészében több repedt vagy törött héjú tojást tojtak, mint a B csoport madarai.

8. SUMMARY

The egg producer industries kept the layer hens in one-year laying period until the 2010's. In that one-year period, hens laid 300-320, averagely 63 gram heavy eggs. The modern hybrids were made for producing table eggs and in the elongated – 90-110 life weeks - laying period, they lay 410-420 eggs. The six-month-elongated persistency is caused by economic reasons, notedly the reduction of the total cost per egg. However, worldwide the most accepted international recommendation (NRC, 1994) considerably anachronistic, because neither for the modern layer hybrids, nor for the elongated laying period gives references. Updating of the recommendations is doubtlessly current. Additionally, concerning this topic, there is only a few publication in the national and Hungarian literature too.

Onward in the laying period, the egg size permanently grows and the bigger egg size the bigger shell surface, however, the Ca level for the egg formation is nearly constant during the whole laying period. For producing the egg shell, the laying hen capable of store the Ca in the medullary bones and mobilize it when it is necessary.

Data of the literatures show that in the common one-year laying period, the recommended P level by the NRC (1994) considerably can be reduced by around 55% without decreasing the egg production and egg shell quality. Little number of the literatures cover the whole period of the laying term and also in the point of view that the P demand of laying hens in the elongated laying period.

The results of the laying hens' examinations had been acknowledged that the slow degradable grained Ca sources are more preferable. The dynamic bone mineralization and the mineral circulate are not separable. There is nearly the same point of view in that during the classic one-year laying period, the P demand of laying hens can be 1.5-1.8 g/kg non-phytin phosphorus (NPP), in case the feed is supplemented with 300 FTU/kg phytase enzyme. Arise a question that in case of different velocity of P degradation but same level of NPP there is difference in the production of laying hens, especially in the last 6 months of elongated laying period, when the degradation of egg shell quality occurs.

Comparatively, a few examinations are made to evaluate the reaction of different laying hen genotypes on the different dietary P levels. According to our lights, there is no literature data what would discuss the comparison of the different genotypes in the last critical term of the elongated laying period.

Therefore, the aim of the dissertation is that providing suppletory data for the dietary P level in the elongated laying period (18 months persistency), with special emphasis of the overtime of the one-year laying period. In my examinations, the effect of different dietary P (and NPP) levels on the performance and egg shell quality of the different genotypes of laying hens were investigated in the elongated (18 months persistency) laying period. Prior to the second *in vivo* examination, the effect of dose pendent phytase enzyme were studied on corn and soybean meals' NPP level *in vitro*, depending on the incubation time.

With the mixed trial feeds, based on the results of the *in vitro* studies, the different levels and degradation dynamics of NPP sources effect were examined on the performance and egg shell quality and bone mineralization in the last 6 months of the elongated laying period.

The examinations of the performance study in the elongated laying term were made at Kaposvár University, Faculty of Agricultural and Environmental Sciences, Nutrition Department, Poultry Test Room.

Altogether, 120 two genotypes of long-life layer hybrids (19 life week) were conducted into the study: TETRA-SL LL (SL) and TETRA Blanca (BL). The total phosphorus content of the diets was adjusted: accordance to NRC (1994) recommendation (PC) and a 10.2% lower (NC) one. The performance and eggshell quality of the layers were examined in the elongated (18 months) laying term.

For the enzyme study, a fermented yeast originated phytase enzyme was used. Enzyme activity and pH optima test were determined, and a reaction study was made where the incubation time and the activity of the supplemented enzyme for P release in corn and soymeal. The *in vitro* studies were made at Bonafarm-Babolna Takarmány Ltd. laboratory in Nagyigmánd. Based on the results of the enzyme activity tests, the hydrolysis tests were

made on pH 5.5. Data of the reaction test were analyzed by Michaelis Menten (V_{max} and K_m) parameters.

The examinations of the second performance study in the elongated laying term were made at Kaposvár University, Faculty of Agricultural and Environmental Sciences, Nutrition Department, Poultry Test Room. Altogether, 184 TETRA-SL LL layer hybrids were examined in the 45-68th laying weeks (mean 63-86th life weeks). Birds were classified into 2 groups by their egg shell parameter selection (A, B). Groups were allocated based on the previously examined egg shell parameters, relation of the producer company. Diets were conducted in two different NPP contents with or without phytase enzyme supplementation. Performance and eggshell quality were measured in the last 6 months of the elongated (17 months) laying term.

The Computed Tomography studies were made at Kaposvár University, Institute of Diagnostic Imaging and Radiation Oncology, Faculty of Agricultural and Environmental Sciences, used a Siemens Somatom Sensation 16 Cardiac scanner. The imagings were made on 144 healthy TETRA-SL LL genotype layer hybrids in 86th lifeweek, in the 68th layer week. The fed diets were the same as described in the part of written in the NPP diets trial. During the *in vivo* acquisition procedures, birds were fixed with belts in a special plastic container, without using any anaesthetics and three animals were scanned simultaneously. Acquisition parameters were set as 140 kV tube voltage, 200 mAs current, 16 x 1.5 mm collimation, 500 mm field of view, spiral data collection: pitch 0.7 (Donko et al., 2018).

Hens were slaughtered the day after the *in vivo* CT examination. The bones of the left leg were cleaned of surrounding muscles and soft tissues. The *tibiotarsal* bone was separated from the fibula. The bones were arranged 2 x 4 matrixes on the examination table. All the *tibiotarsal* bones were scanned using the above described protocol. Prior to the chemical analysis process, the breaking strength (N) of the *tibiotarsal* bones were determined on a Zwick Roell Z005 universal testing machine, equipped with a measuring cell (Zwick GmbH & Company KG, Ulm, Germany) of an operation range up to 5000 N, linked to a computer with TestXpert II 3.1 software (Zwick GmbH & Company KG, Ulm, Germany). The distance between the supports was set at the end part of the bones. The speed of the breaking blade was 20

mm / min. The dry matter, ash, Ca and P content of the *tibia* bones were measured accordance to AOAC 934.01 and AOAC 942.05 methods.

The brown egg layer TETRA-SL LL genotype hybrid had averagely 3.0% higher laying intensity compared to the intensity of white egg layer TETRA Blanca genotype hybrid. The egg production of the 10% lowered total phosphorus content fed diet birds' was averagely 3.3% less from the 10th month of elongated laying term. The feed intake of the TETRA-SL LL birds was 9.7% higher than the TETRA Blanca hybrids'. The lower content of total P diet fed birds ate 2.3% more than the NRC recommended total P content diet fed birds in the 8-11th and 15-17th months of the laying period. In the first 7 months of the laying term, the SL genotype hybrids laid averagely 4.5% heavier eggs compared to the BL hybrids' eggs, then in the rest months of the laying term, the egg weights were in the same range. The weight of the 4.4 g/kg total P contented diet fed birds' eggs were 2.5% smaller than the 4.9 g/kg tP diet fed birds' eggs, from the 10th month of the laying period. The TETRA-SL LL genotype layers produced 9.5% more egg mass than TETRA Blanca genotype layers, till the 11th month of the laying period. The PC diet fed birds produced averagely 6.6% more egg mass than NC diet fed birds, but only in the last two months of the laying term. The feed conversion ratio was not affected neither by the genotype of the hybrids, nor the tP content of the diets. The egg shell thickness and egg shell strength were not affected neither by the genotype, nor the tP content of the diets.

During the laboratory examination, two well-detached pH optima were found in the phytase enzyme activity tests. At pH 3.5 the activity was 8828 FTU in one gram enzyme and at pH 5.5 the activity result was 12670 FTU, which was the 127% of the guaranteed activity. A smaller (4381 FTU/g) optimum was measurable at pH 7.5. In the corn and soymeal samples the hydrolysis of the phytate were measured on pH 5.5, supplemented with 100, 200 and 300 FTU/kg phytase enzyme, using V_{max} and K_m parameters. The most of the released phosphorus in corn were measured in the 30. and 60. minutes during the incubation time, and substrate was supplemented with 300 FTU. The same results were measured in the soymeal substrate, plus in the 120. incubation minute as well.

In the study of the different NPP levels, it was determined that based on the eggshell quality measurement done by the producer company, the B

group hybrids' laying intensity (%) was significantly higher in the whole examined period (last 24 weeks of the elongated – 17 months – laying term). The 12.2% less NPP contented diet supplemented with phytase enzyme (slow degradable P) fed birds and the same NPP level without enzyme supplementation (fast degradable P) diet fed birds had significant difference in the laying intensity (%). The feed intake was affected by the layers' genotypes only in the 16-17th laying months. The A group birds consumed averagely 7.9% more feed in this period, than the B group birds did. The NPP content of the diets had no effect on the feed intake of the layers. Egg weight was no substantially affected by the hybrids' genotype but only in the 15-16th laying months. The average weight of the produced eggs in the elongated laying term was 62 gram. Overall, the test diets did not affect the individually weight of the eggs. Between the 13th and 16th months of the elongated laying term, the produced egg mass was affected by the NPP content of the diets. The lower NPP contented diet fed birds produced averagely lower egg mass, compared to the higher NPP contented diets fed birds. The eggshell strength values were not affected by the different genotypes of the hybrids. The egg shell of the genotype A birds was thicker than genotype B birds', however the NPP content of the diets had no effect on this parameter. The ratio of the broken eggshell was affected by the hybrids' genotype: the genotype B birds produced significantly less hair cracked egg shelled eggs, than genotype A birds did. The test diets had significant effect on this parameter such way: the most of the broken shelled eggs were found in the case of 2.45 g/kg NPP and the same NPP contented diet supplemented with phytase enzyme fed birds, in the 13th,14th and 16th months of the examined laying term.

During the *in vivo* Computer Tomography examination, in the first measuring date, the TETRA-SL LL genotype layer hybrids' A and B genotype birds had significantly different bone mineral density. The density of the A group birds was 3.2% higher than B group birds'. The volume of the total bone was 9% bigger in A group layers. The bone ratio in the whole body was the opposit, the B group layers had 10.5% bigger result. In the first measuring date, the test diets did not affect the bone CT parameters. In the second measuring date, the bone density of the genotype A was averagely 2.6% higher, than genotype B birds'. The results of the *tibia* CT examinations, the genotypes of the birds and the NPP content of the diets did not affect the bone density. The A group birds bone volume was 9.5% higher than B group birds'. Interaction was observed in this parameter, which

means, that the bone volume was affected by the genotype of the birds and the NPP content of the diet, in the same time. The genotype of the birds and the NPP content of the diets did not affect the breaking power of the bones, but the genotype had significant effect on the rest of parameters of this examination, such as the A group birds had better bone physical results than B group birds.

Some of the bones' chemical parameters were affected by the hybrids' genotype. The original and the extracted weight of the bones were heavier in A group birds. The bones' calcium content had statistically different amount compared the two genotypes. The A group birds' had 20.6% higher Ca content in their *tibia* than B group birds'. The genotype did not affect the phosphorus content of the *tibia*. The different non-phytin phosphorus content of the test diets and the phytase enzyme supplementation had no effect on the bone chemical parameters.

9. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Hálás vagyok témavezetőimnek, **Prof. Dr. Tossenberger János**nak és **Dr. Halas Veronikán**ak a PhD munkámat adó kísérletek összeállításában, az adatok kiértékelésében és publikálásában nyújtott szakmai segítségért, a kivételes motivációs készségért, és a megértő türelmükért.

Köszönettel tartozom **Búza György**nek és **Budai Zoltán**nak, a Bábolna TETRA Kft. tulajdonosainak azért, hogy engem találtak érdemesnek a Kaposvári Egyetemmel közösen megnyert (TETRA Tojóhibrid Takarmányozási Rendszer – TETRA Layer Nutrition System – kifejlesztése, GOP-1.3.1-10/A-2010-0027) pályázat vizsgálataiban való részvételére és az erre a témára kiírt PhD munka és a fokozat megszerzésére.

Mindenképpen köszönettel tartozom **Gura Tamás**nak és **Bódisné Garbacz Zitá**nak a kísérletek összeállításakor nyújtott szakmai segítségért.

Szeretném megköszönni a Kaposvári Egyetem Takarmányozástani Tanszék technikusainak, **Nagyné Rozina Zsuzsanná**nak**, Bogdán Imréné Lapat Valériá**nak**, Molnár Balázs**nak és **Kelemen Csabá**nak a kísérleteim során lezajlott minták gyűjtésében és az állatok gondozásában való megbízható segítségért, és **Rábai Ildikó**nak a minták precíz előkészítéséért.

Köszönöm a Bonafarm-Bábolna Takarmány Kft. nagyigmándi laboratórium munkatársainak, **Dr. Herczig Beátá**nak és **Varga Richárd**nak az *in vitro* vizsgálatokban nyújtott szakmai és mérési segítségért.

Nagyon köszönöm a Diagnosztikai Képalkotó és Sugárbiológiai Onkológiai Intézet munkatársának, **Dr. Donkó Tamás**nak a CT vizsgálatok előkészítésében, megszervezésében és szakszerű lebonyolításában, valamint a CT-s adatok kiértékelésében történő segítségnyújtását.

Köszönöm **Völgyi István**nak a számítástechnikai segítségnyújtását.

Végül, de semmiképp sem utolsó sorban hálásan köszönöm **Családom**nak, **Barátaim**nak és **Kollégáim**nak a mérhetetlen türelmüket és biztatásukat.

10. IRODALOMJEGYZÉK

ADEOLA, O., SANDS, J.S., SIMMINS, P.H., SCHULZE, H. (2004): The efficacy of an Echerichia coli-derived phytase preparation, Journal of Animal Sciencie, 82:2657-2666.

AFIFY AE-MMR, EL-BELTAGI HS, ABD EL-SALAM SM, OMRAN AA. (2011): Bioavalibility of iron, zinc, phytate and phytase activity during soaking and germination of white sorghum varieties, https://doi.org/10.1371/journal.pone.0025512

AHMADI, H., RODEHUTSCORD, M. (2012): A meta-analysis of responses to dietary nonphytate phosphorus and phytase in laying hens, Poultry Science, 91:2072-2078

ANGEL, R. (2006): Phosphorus and calcium requirements in broilers and broiler nutrient excretion based on balance studies. 4th Mid-Atlantic Nutrition Conference, Zimmermann, N.G.., ed., University of Maryland, College Park, MD 20742.

ANGEL, R., APPLEGATE, T.J., CHRISTMAN, M. (2000): Effects of dietary non phytate phosphorus on performance and bone measurements in broilers fed on a four phase feeding system, Poultry Science, 79:21-22.

ANGEL, R., TAMIM, N.M., APPLEGATE, T.J., DHANDU, S.A., ELLESTAD, L.E. (2002): Phytic acid chemistry: Influence on phytin-phosphorus availability and phytase efficacy, Poultry Science, 11:471-480.

ANWAR, M.N., RAVINDRAN, V., MOREL, P.C.H., RAVINDRAN G., COWIESON, A.J. (2016): Effect of limestone particle size and calcium to non-phytate phosphorus ratio on true ileal calcium digestibility of limestone for broiler chickens, Poultry Science, 57:707-713.

AO, T., CANTOR, A.H., PESCATORE, A.J., PIERCE, J.L. (2008): In vitro evaluation of feed-grade enzyme activity at pH levels simulating various parts of the avian digestive tract, Animal Feed Science and Technology, 140:462-468.

APPLEGATE, T. J., ANGEL, R. (2008): Phosphorus requirements for poultry. AS-583-W Purdue Univ. Coop. Ext., West Lafayette, IN. Accessed June 4, 2014.

ARPASOVA, H., HALAJ, M., HALAJ, P. (2010): Eggshell quality and calcium utilization in feed on hens in repeated laying cycles, Czech Journal of Animal Science, 2:66-74.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (1990): Official methods of analysis, 15th ed. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, Virginia.

BAIN, M.M., NYS, Y., DUNN, L.C., (2016): Increasing persistency in lay and stabilising egg quality in longer laying cycles. What are the challenges?, British Poultry Science, 57:330-338.

BAR, A., MAOZ, A., HURWITZ, S. (1979): Relationship of intestinal and plasma calcium-binding protein to intestinal calcium absorption, Febs Letters, Volume: 102.

BAR, A. (2009): Calcium transport in strongly calcifying laying birds: Mechanisms and regulation, Comparative Biochemistry and Physiology, 152:447-469.

BELL, D.D. (2003): Historical and current molting practices in the U.S. table egg industry, Poultry Science, 82:965-970.

BOHN, L., MEYER, A.S., RASMUSSEN, S.K. (2008): Phytate: impact on environment and human nutrition. A challenge for molecular breeding. Journal of Zhejiang University Science B., 9: 165-191.

BOLING, S.D., DOUGLAS, M.W., JOHNSON, M.L., WANG, X., PARSONS, C.M., KOELKEBECK, K.W., ZIMMERMAN, R.A. (2000): The effects of dietary available phosphorus levels and phytase on performance of young and older laying hens, Poultry Science, 79:224-230.

BOLUKBASI, S.C., CELEBI, S., ULTU, N. (2005): The effects of calcium and vitamin D_3, in diet on plasma calcium and phosphorus, eggshell calcium and phosphorus levels of laying hens in late laying production period, Poultry Science, 8:600-603.

BOORMAN, K.N., GUNARATNE, S.P. (2001): Dietary phosphorus supply, egg-shell deposition and plasma inorganic phosphorus in laying hens, British Poultry Science, 42:81-91.

CABUK, M., BOZKURT, M., KIRKPINAR, F., OZKUL, H. (2004): Effect of phytase supplementation of diets with different levels of phosphorus on performance and egg quality of laying hens in hot climatic conditions, South African Journal of Animal Science, 34: 1.

CARLSON, D., POULSEN H.D. (2002): Phytate degradation in soaked and fermented liquid feed – effect of diet, time of soaking, heat treatment, phytase activity, pH and temperature, Animal Feed Science and Technology, 103:141-154.

CASEY-TROTT, T.M., KORVER, D.R., GUERIN, M.T., SANDILANDS, V., TORREY, S., WIDOWSKI, T.M. (2017): Opportunities for exercise during pullet rearing, Part II: Long-term effects on bone characteristics of adult laying hens at the end-of-lay, Poultry Science, 96:2518-2527.

CHRISTAKOS, S., LIEBEN, L., MASUYAMA, R., CARMELIET, G. (2014): Vitamin D endocrine system and the intestine, BoneKEy Reports, International Bone and Mineral Society, Article number: 496.

COWIESON, A.J., ACAMOVIC, T., BEDFORD, M.R. (2006): Supplementation of corn-soy-based diets with an Escherichia coli-derived phytase: Effects on broiler chick performance and the digestibility of amino acids and metabolizability of minerals and energy, Poultry Science, 85:1389-1397.

CENTRAAL VEEROEDERBUREAU (2008): Table booklet feeding of poultry: Feeding standards, feeding advices and nutritional values of feed ingredients. 45th ed. CVB Product Board Animal Feed.

DE ARAUJO, P.E.N., DA SILVA, J.H.V., COSTA, F.G.P., DE SOUSA, J.M.B., GIVISIEZ, P.E.N., SAKAMURA, N.K. (2011): Effect of the levels of calcium and practical size of limestone on laying hens, Revista Brasiliera de Zootecnia, 40: 997-1005.

DERSJANT-LI, Y., AWATI, A., SCHULZE, H., PARTRIDGE, G. (2015): Phytase in non-ruminant animal nutrition: a critical review on phytase activities in the gastrointestinal tract and influencing factors, Journal of the Science of Food and Agriculture, 95:878-896.

DONKO, T., TISCHLER, A., CSOKA, A., KOVACS, G., EMRI, M., PETNEHAZY, O., SZABO, A., HALAS, V., TOSSENBERGER, J., GARAMVOLGYI, R., BAJZIK, G. (2018): Estimation of bone mineral density and breaking strength on laying hens based on scans of computed tomography for body composition analysis, British Poultry Science, 59: 365-370.

EECKHOUT, W., DE PAEPE, M. (1993): Total phosphorus, phytate-phosphorus and phytase activity in plant feedstuffs, Animal Feed Science and Technology, 47:19-29.

EL-SHERBINY, A.E., HASSAN, H.M.A., ABD-ELSAMEE, M.O., SAMY, A., MOHAMED, M.A. (2010): Performance, bone parameters and phosphorus excretion of broilers fed low phosphorus diets supplemented with phytase from 23 to 40 days of age, International Journal of Poultry Science, 9: 972-977.

FAN, M.Z., ARCHBOLD, T., SAUER, W.C., LACKEYRAM, D., RIDEOUT, T., GAO, Y., DE LANGE, C.F.M., HACKER, R.R. (2001): Novel methodology allows simultaneous measurement of true phosphorus digestibility and the gastrointestinal endogenous phosphorus outputs in studies with pigs, The Journal of Nutrition, 131: 2388-2396.

FLEMING, R.H., MCCORMACK, H.A., MCTEIR, L., WHITEHEAD, C.C. (2006): Relationships between genetic, environmental and nutritional factors influencing osteoporosis in laying hens, British Poultry Science, 47: 742-755.

FRANCESCH, M., BROZ, J., BRUFAU, J. (2005): Effects of an experimental phytase on performance, egg quality, *tibia* ash content and phosphorus bioavailability in laying hens fed on maize- or barley-based diets, British Poultry Science, 46: 340-348.

FULTON, J.E. (2012): Genomic selection for poultry breeding, Animal Frontiers, 2: 30-36.

GARLICH, J., BRAKE, J., PARKHURST, C.R., THAXTON, J.P., MORGAN, G.W. (1984): Physiological profile of caged layers during one production year, molt, and postmolt: Egg production, egg shell quality, liver, femur, and blood parameters, Poultry Science, 63: 339-343.

GAUTIER, A.E., WALK, C.L., DILGER, R.N. (2017): Influence of dietary calcium concentrations and the calcium-to-non-phytate phosphorus ratio on growth performance, bone charasteristics, and digestibility in broilers, Poultry Science, 96: 2795-2803.

GUINOTTE, F., GAUTRON, J., NYS, Y., SOUMARMON, A. (1995): Calcium solubilization and retention in the gastrointestinal tract in chicks (Gallus domesticus) as a function of gastric acid secretion inhibition and of calcium carbonate particle size, British Journal of Nutrition, 73: 125-139.

HAMDI, M., LOPEZ-VERGE, S., MANZANILLA, E.G., BARROETA, A.C., PEREZ, J.F. (2015): Effect of different levels of calcium and phosphorus and their interaction on the performance of young broilers, Poultry Science, 94: 2144-2151.

HARRISON, A.P., TYGESEN, M.P., SAWA-WOJTANOWICZ, B., HUSTED, S., TATARA, M.R. (2004): a-Ketoglutarate treatment early in postnatal life improves bone density in lambs at slaughter, Elsevier – Bone, 35: 204-209.

HINCKE, M.T., NYS, Y., GAUTRON, J., MANN, K., RODRIGEZ-NAVARRO, A.B., MCKEE, M.D. (2012): The eggshell: structure, composition and mineralization, Frontiers in Bioscience, 17: 1266-1280.

HUGHES, A.L., DAHIYA, J.P., WYATT, C.L., CLASSEN, H.L. (2008): The efficacy of quantum phytase in a forty-week production trial using white leghorn laying hens fed corn-soybean meal-based diets, Poultry Science, 87: 1156-1161.

HUMER, E., SCHWARZ, C., SCHEDLE, K. (2014): Phytate in pig and poultry nutrition, Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition, 99: 605-625.

IGBASAN, F.A., MANNER, K., MIKSCH, G., BORRISS, R., FAROUK, A., SIMON, O. (2000): Comparative studies on the in vitro porperties of phytates from various microbial origins, Archives of Animal Nutrition, 53: 353-373.

JACOB, J.P., MILLES, R.D., MATHER, F.B. (1998): Egg quality, Animal Sciences Department, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida.

KALENDER, W.A., KLOTZ, E., SUESS, C. (1987): Vertebral bone mineral analysis: an integrated approach with CT, Radiology, 164: 419-423.

KEBREAB, E., FRANCE, J., KWAKKEL, R.P., LEESON, S., KUHI, H.D., DIJKSTRA, J. (2009): Development and evaluation of a dynamic model of calcium and phosphorus flows in layers, Poultry Science, 88: 680-689.

KERSCHNITZKI, M., ZANDER, T., ZASLANSKY, P., FRATZL, P., SHAHAR, R., WAGERMAIER, W. (2014): Rapid alterations of avian medullary bone material during the daily egg-laying-cycle, Elsevier – Bone, 69: 109-117.

KESHAVARZ, K., NAKAJIMA, S. (1993): Re-evaluation of calcium and phosphorus requirements of laying hens for optimum performance and eggshell quality, Poultry Science, 72: 144-153.

KESHAVARZ, K. (1998): Investigation on the possibility of reducing protein, phosphorus and calcium requirements of laying hens by manipulation of time of access to these nutrients, Poultry Science, 77: 1320-1332.

KESHAVARZ, K. (2003): Effects of continuous feeding of low-phosphorus diets with and without phytase during the growing and laying periods on performance of two strains of leghorns, Poultry Science, 82: 1444-1456.

KETTA, M., TUMOVA, E. (2016): Eggshell structure, measurements, and quality-affecting factors in laying hens: a review, Czech Journal of Animal Sciences, 61: 299-309.

KHANAL, R. C., NEMERE, I. (2008): Regulation of Intestinal Calcium Transport. Annual Review of Nutrition, 28: 179–196.

KONIETZNY, U., GREINER, R. (2003): Phytic acid: Nutritional impact. In B. Caballero, L. Trugo, & P. Finglas (Eds.), Encyclopaedia of food science and nutrition (pp. 4555–4563). London, UK: Elsevier.

KUMAR, V., SINHA, A.K., MAKKAR, H.P.S., BECKER, K. (2010): Dietary roles of pyhtate and phytase in human nutrition: A review, Elsevier – Food Chemistry, 120: 945-959.

LAMUNO, D., MESZAROS, G., SOLKNER, J. (2017): Survival analysis of white leghorn laying hens in the early and late production period, Agriculturae Conspectus Scientificus, 82: 179-183.

LEI, Q.B., SHI, L.X., ZHANG, K.Y., DING, X.M., BAI. S.P., LIU, Y.G. (2011): Effect of reduced energy, protein and entire substitution of inorganic phosphorus by phytase on performance and bone mineralization of laying hens, British Poultry Science, 52: 202-213.

LI, P., WANG, R., JIAO, H., WANG, X., ZHAO, J. (2018): Effects of dietary phosphorus level on the expression of calcium and phosphorus transporters in laying hens, Frontiers in Physiology, Volume 9, Article 627.

LICHOVNIKOVA, M. (2007): The effect of dietary calcium source, concentration and particle size on calcium retention, eggshell quality and overall calcium requirement in laying hens, British Poultry Science, 48: 71-75.

LIEBERT, F., HTOO, J.K., SUNDER, A. (2005): Performance and nutrient utilization of laying hens fed low-phosphorus corn-soybean and wheat-soybean diets supplemented with microbial phytase, Poultry Science, 84: 1576-1583.

LIM, H.S., NAMKUNG, H., PAIK, I.K. (2003): Effects of phytase supplementation on the performance, egg quality, and phosphorus excretion of laying hens fed different levels of dietary calcium and nonphytate phosphorus, Poultry Science, 82: 92-99.

MAGYAR TAKARMÁNYKÓDEX. (2004): Gazdasági állatok táplálóanyag szükséglete, takarmányok kémiai összetétele és mikotoxin-határértékek a takarmánykeverékekben. II-III. kötet, Országos Mezőgazdasági Minősítő Intézet, Budapest.

MANSON, J.M., PICKEN, K..J., DRAPER, M.H., THOMPSON, R. (1993): Variation among individual white-leghorn hens in the concentration of minerals in the albumen and yolk content of their eggs, British Poultry Science, 34: 899-909.

MEYER, E., PARSONS, C. (2011): The efficacy of a phytase enzyme fed to Hy-Line W-36 laying hens from 32 to 62 weeks of age, Applied Poultry Research, 20: 136-142.

MICHAELIS, L.; Menten, M.L. (1913): Die Kinetik der Invertinwirkung. Biochem Z. 49: 333–369

MILISITS, G., DONKO, T., DALLE ZOTTE, A., SARTORI, A., SZENTIRMAI, E., EMRI, M., OPPOSITS, G., ORBAN, A., POCZE, O., REPA, I., SUTO, Z. (2013): Application of computed tomography to assess the effect of egg yolk ratio on body composition in chickens of different genotype and gender at hatch and during the rearing period, British Poultry Science, 54: 611-619.

MILISITS, G., SZENTIRMAI, E., DONKO, T., BUDAI, Z., UJVARI, J., APRILY, S., SUTO, Z. (2015): Effect of starting body fat content and genotype of laying hens on the changes in their live weight, body fat conent, egg production and egg composition during the first egg-laying period, British Poultry Science, 56: 666-672.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1994): Nutrient Requirements of Poultry, 9th rev. ed. National Academy Press, Washington, DC.

NYANNOR, E.K.D., BEDFORD, M.R., ADEOLA, O. (2009) Corn expressing an Escherichia coli-derived phytase gene: Residual phytase activity and microstructure of digesta in broiler chicks. Poultry Science, 88: 1413-1420.

NYS, Y., GUYOT, N. (2011): Egg formation and chemistry, In: Nys, Y., Bain, M., van Imerseel, F, editors. Improv saf qual egg prod. Food Science, Technology and Nutrition, Cambridge, UK: Woodhead Publishing: 83-132.

NYS, Y., LE ROY, N. (2018): Calcium homeostasis and eggshell biomineralization in female chicken, Elsevier, 361-378.

OH, B.B., CHOI, W.C., PARK, S., KIM, Y.O., OH, T.K. (2004): Biochemical properties and substrate specificities of alkaline and histidine acid phytases. Appl. Microbiol. Biotechnol, 63: 362-372.

PAL, L. (2018): Alternative feeding systems for hens, TETRA Seminar, Tata.

PANDA, A.K., RAMA RAO, S.V., RAJU, M.V.L.N., BHANJA, S.K. (2005): Effect of microbial phytase on production performance of white leghorn layers fed on a diet low in non-phytate phosphorus, British Poultry Science, 46: 464-469.

PARK, K.W., RHEE, A.R., UM, J.S., PAIK, I.K. (2009): Effect of dietary available phosphorus and organic acids on the performance and egg quality of laying hens, Poultry Science, 456-756.

PASCALE, M. (2009): Future prospects for the European egg industry, World's Poultry Science Association, 13th European Symposium on the quality of eggs and egg products, Finland.

PELICIA, K., GARCIA, E.A., FAITARONE, A.B.G., SILVA, A.P., BERTO, D.A., MOLINO, A.B., VERCESE, F. (2009): Calcium and available phosphorus levels for laying hens in second production cycle, Poultry Science, 11: 39-49.

PICON-RUBIO, F.J., KAWAS, R.G., FIMBRES, H.D., LEDEZMA TORRES, R., SANTOYO, F.A., ESPINOZA LEIJA, R. (2009): Effect of phytase microbial in laying hens diets on their performance on absorption and use of phosphorus, Journal of Animal and Veterinary Advances, 8: 1461-1465.

PIRGOZLIEV, V., ODUGUWA, O., ACAMOVIC, T., BEDFORD, M.R. (2007): Diets containing Escherichia coli-derived phytase on young chickens and turkeys: Effects on performance, metabolizable energy, endogenous secretions, and intestinal morphology, Poultry Science, 86: 705-713.

RAMA RAO, S.V., PANDA, A.K., RAJU, M.V.L.N., SHYAM SUNDER, G., PRAHARAJ, N.K. (2003): Requirement of calcium for commercial broilers and white leghorn layers at low dietary phosphorus levels, Animal Feed Science and Technology, 106: 199-208.

RAVINDRAN, V., CABAHUG, S., RAVINDRAN, G., SELLE, P.H., BRYDEN, W.L. (2000): Response of broiler chickens to microbial phytase supplementation as influenced by dietary phytic acid and non-phytate phosphorus levels. II. Effects on apparent metabolisable energy, nutrient digestibility and nutrient retention, British Poultry Science, 41: 193-200.

RAVINDRAN, V. (2013): Feed enzymes: The science, practice, and metabolic realities, Applied Poultry Research, 22: 628-636.

REYES-GRAJEDA, J.P., MORENO, A., ROMERO, A. (2004): Crystal structure of ovocleidin-17, a major protein of the calcified gallus gallus eggshell, Journal of Biological Chemistry, 279: 40876-40881.

ROBERTS, J.R. (2004): Factors affecting egg internal quality and egg shell quality in laying hens, Journal of Poultry Science, 41: 161-177.

RODRIGEZ-NAVARRO, A.B., MARIE, P., NYS, Y., HINCKE, M.T., GAUTRON, J. (2015): Amorphous calcium carbonate controls avian eggshell mineralization: a new paradigm for understanding rapid eggshell calcification, Journal of Structural Biology, 190: 291-303.

SAHIN, K., ORHAN, C., TUZCU, M., HAYIRLI, A., KOMOROWSKI, J.R., SAHIN, N. (2018): Effects of dietary supplementation of arginine-silicate-inositol complex on absorption and metabolism of calcium of laying hens, PLOSONE 13(1): e0189329.

SAS (2004): SAS user's guide: Statistics, Version 9.1.3. edn. Cary, N.C. USA, SAS Inst. Inc.

SCHREIWEIS, M.A., ORBAN, J.I., LEDUR, M.C., HESTER, P.Y. (2003): The use of densitometry to detect differences in bone mineral density and content of live white leghorns fed varying levels of dietary calcium, Poultry Science, 82: 1292-1301.

SCHUTZ, K.E., JENSEN, P. (2001): Effects of resource allocation on behavioural strategies: A comparison of red junglefowl (gallus gallus) and two domesticated breeds of poultry, Ethology, 107: 753-765.

SELLE, P.H., RAVINDRAN, V., BRYDEN, W.L., SCOTT, T. (2006): Influence of dietary phytate and exogenous phytase on amino acid digestibility in poultry: A review, The Journal of Poultry Science, 43: 89-103.

SELLE, P.H., RAVINDRAN, V. (2007): Microbial phytase in poultry nutrition, Animal Feed Science and Technology, 135: 1-41.

SILVERSIDES, F.G., SCOTT, T.A., KORVER, D.R., AFSHARMANESH, M., HRUBY, M. (2006): A study on the interaction of xylanase and phytase enzymes in wheat-based diets fed to commercial white and brown egg laying hens, Poultry Science, 85: 297-305.

SKRIVAN, M., ENGLMAIEROVA, M., MAROUNEK, M., SKRIVANOVA, V., TAUBNER, T., VIT, T. (2016): Effect of dietary magnesium, calcium, phosphorus, and

limestone grain size on productive performance and eggshell quality of hens, Checz Journal of Animal Science, 61: 473-480.

SMITH, T.N., PESTI, G.M., BAKALLI, R.I., DALE, N. (1999): Use of NIRS to estimate the nitrogen and energy content of rooster excreta for energy evaluations. Poultry Science, 78:138.

SNOW, J.L., DOUGLAS, M.W., KOELKEBECK, K.W., BATAL, A.B., PERSIA, M.E., BIGGS, P.E., PARSONS, C.M. (2004): Minimum phosphorus requirement of one-cycle and two-cycle (molted) hens, Poultry Science, 83: 917-924.

SOHAIL, S.S., BRYANT, M.M., RAO, S.K., ROLAND, D.A. (2001): Influence of cage density and prior dietary phosphorus level on phosphorus requirement of commercial leghorns, Poultry Science, 80: 769-775.

STADELMAN, W.J. (2000): Eggs and egg products, In: Francis, F.J. (Ed.), Encyclopedia of Food Science and Technology, second ed. John Wiley and Sons, New York, pp.: 593-599.

SUN, C.J., CHEN, S.R., XU, G.Y., LIU, X.M., YANG, N. (2012): Global variation and uniformity of eggshell thickness for chicken eggs, Poultry Science, 91: 2718-2721.

SWIATKIEWICZ, S., KORELESKI, J., ARCZEWSKA, A. (2010): Laying performance and eggshell quality in laying hens fed diets supplemented with prebiotics and organic acids, Czech Journal of Animal Science, 55: 294-306.

SZENTIRMAI, E., MILISITS, G., DONKO, T., BUDAI, Z., UJVARI, J., FULOP, T., REPA, I., SUTO, Z. (2013): Comparison of changes in production and egg composition in relation to *in vivo* estimates of body weight and composition of brown and white egg layers during the first egg-laying period, British Poultry Science, 54: 587-593.

TAMIM, N.M., ANGEL, R. (2003): Phytate phosphorus hydrolysis as influenced by dietary calcium and micro-mineral source in broiler diets, Journal of Agricultural Food Chemistry, 51: 4687-4963.

TAMIM, N.M., ANGEL, R., CHRISTMAN, M. (2004): Influence of dietary calcium and phytase on phytate phosphorus hydrolysis in broiler chickens, Poultry Science, 83: 1358-1367.

TOSSENBERGER, J., BABINSZKY, L. (2006): A fitáz kiegészítés hatása a brojlerek teljesítményére és a csontosodás mértékére, Agrárágazat, 7: 80-84.

TOSSENBERGER, J., KUHN, I., BABINSZKY, L. (2008): A fitáz-kiegészítés hatása a tojótyúkok termelésére és a tojáshéj szilárdságára, Agronapló Szakfolyóirat, Takarmányozás 2008/02.

TOSSENBERGER, J., TENKE, J., DONKO, T., REPA, I., HORAK, A., TISCHLER, A., KUHN, I. (2011): The effect of phytase and phosphorus supply on different bone parameters estimated by computed-tomography in broilers, 18th European Symposium on Poultry Nutrition (ESPN 2011), Izmir, Turkey.

TUMOVA, E., VICKOVA, J., CHARVATOVA, V., DRABEK, O., TEJNECKY, V., KETTA, M., CHODOVA, D. (2016): Interactions of genotype, housing and dietary calcium

in layer performance, eggshell quality and *tibia* charasteristics. South African Journal of Animal Science, 46 (No. 3).

UM, S.J., PAIK, I.K., CHANG, M.B., LEE, B.H. (1999): Effects of microbial phytase supplementation to diets with low non-phytate phosphorus levels on the performance and bioavailability of nutrients in laying hens. Asian-Australian Journal of Animal Sciences, 12: 203-208.

VATS, P., BANERJEE, U.C. (2004): Production studies and catalytic properties of phytases (myo-inositol-hexakis-phosphate phosphohydrolases) an overwiew. Enzyme Microbial Technology, 35: 3-14.

VOHRA, A., SATYANARAYANA, T. (2003): Phytases: Microbial sources, production, purification, and potential biotechnological applications. Critical Reviews in Biotechnology, 23: 29-60.

WASSERMAN, R.H. (2004): Vitamin D and the dual processes of intestinal calcium absorption, Journal of Nutrition, 134: 3137-3139.

WEBER, G.M. (2009): Vitamin requirements and economic responses. In: 17th European Symposium of Poultry Nutrients, Edinburgh, UK: WPSA.

WHITEHEAD, C.C., FLEMING, R.H. (2000): Osteoporosis in cage layers, Poultry Sciences, 79: 1033-1041.

WU, G., LIU, Z., BRYANT, M.M., ROLAND, D.A. (2006): Comparison of Natuphos and Phyzyme as phytase sources for commercial layers fed corn-soy diet, Poultry Science, 85: 64-69.

YAN, F., KERSEY, J.H., FRITTS, C.A., WALDROUP, P.W., STILBORN, H.L., CRUM, R.C., RICE, D.W., RABOY, V. (2000): Evaluation of normal yellow dent corn and high available phosphorus corn in combination with reduced dietary phosphorus and phytase supplementation for broilers grown to market weights in litter pens, Poultry Science, 79: 1282-1289.

ZHANG, L.C., NING, Z.H., XU, G.Y., HOU, Z.C., YANG, N. (2005): Heritabilities and genetic and phenotypic correlations of egg quality traits in brown-egg dwarf layers, Poultry Science, 84: 1209-1213.

ZHANG, H., CHEN, C., GRAY, E.M., BOYD, S.E., YANG, H., ZHANG, D. (2016): Roles of biochar in improving phosphorus availability in soils: A phosphate adsorbent and a source of available phosphorus, Geoderma, 276: 1-6.

ZITA, L., TUMOVA, E., STOLC, L. (2009): Effects of genotype, age and their interaction on egg quality in brown-egg laying hens, Acta Veterinary, Brno: 78: 85-91.

http://babolnatetra.com/uploads/pdf/TETRA_SL_LL_Commercial_Management_Guide_2017-01-05_ENG_PRESS5mm.pdf

https://www.isa-poultry.com/en/product/isa-brown/

https://www.isa-poultry.com/en/product/isa-white/

http://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_eves/i_oma002.html

https://www.ltz.de/de-wAssets/docs/management-guides/en/Cage/Brown/LTZ-Management-Guide-LB-Classic-EN.pdf

https://www.ltz.de/de-wAssets/docs/management-guides/en/Cage/White/LTZ-Management-Guide-LSL-Classic.pdf

https://www.agronaplo.hu/szakfolyoirat/2008/02/takarmanyozas/a-fitaz-kiegeszites-hatasa-a-tojotyukok-termelesere-es-a-tojashej-szilardsagara

11. A DISSZERTÁCIÓ TÉMAKÖRÉBEN MEGJELENT PUBLIKÁCIÓK

Idegen nyelvű közlemények

Donko, T., Tischler, A., Csoka, A., Kovacs, G., Emri, M., Petnehazy, O., Szabo, A., Halas, V., Tossenberger, J, Garamvolgyi, R. (2018): Estimation of bone mineral density and breaking strength on laying hens based on scans of computed tomography for body composition analysis, British Poultry Science, 59: 365-370.

Tischler, A., Halas, V., Tossenberger, J. (2015): Effect of dietary NPP level and phytase supplementation on the laying performance over one year period, Poljoprivreda (Osijek) Supplement, 21: 68-72.

Tischler, A. (2014): Fabbisogno in fosforo delle moderne ovaiole in un periodo di deposizione esteso, Zootechnika International, 47: 1-6.

Tischler, A., Tossenberger, J., Halas, V. (2013): Effect of Two Dietary Phosphorus Levels on the Performance of Laying Hens and Eggshell Quality over the Common Laying Period, Agriculturae Conspectus Scienfiticus 78: 241-244.

Magyar nyelvű közlemények

Tischler, A., Halas, V., Tossenberger, J. (2015): A takarmány NPP tartalma és fitáz kiegészítés hatása a tojótyúkok teljesítményére és a tojáshéj minőségére nyújtott termelési periódusban, 17. Nemzetközi Takarmányozási Szimpózium: Takarmány- és élelmiszerbiztonsági kihívások és kockázatok, Kaposvár, Magyarország: Kaposvári Egyetem Agrár- és Környezettudományi Kar, 71-80.

Tischler, A., Tossenberger, J., Halas, V. (2014): A tojótyúkok foszforigénye a nyújtott tojástermelés második felében, Agrárágazat, 15: 192-194.

Tischler, A., Halas, V., Tossenberger, J. (2011): A foszforellátás hatása a tojáshéj minőségére különböző genotípusú tojótyúkoknál,.Fiatal kutatók az

egészséges élelmiszerért: Tudományos ülés, Debrecen, Magyarország, Debreceni Egyetem Agrár- és Gazdálkodástudományok Centruma, 35-40.

Tossenberger, J., Halas, V., Tóthi, R., Horák, A., Tenke, J., Tischler, A. (2011): Tartalékok és lehetőségek a tojótyúkok költséghatékony takarmányozásában, Acta Agraria Kaposvariensis 15: 1-13.

Proceedings-ben megjelent absztraktok idegen nyelven

Tischler, A., Halas, V., Tossenberger, J. (2017): Effect of dietary NPP level on the performance and egg shell quality in the elongated laying period, Proceedings of the 21st European Symposium on Poultry Nutrition Wageningen, Hollandia , Wageningen Academic Publishers, 247-248.

12. A DISSZERTÁCIÓ TÉMAKÖRÉN KÍVÜL MEGJELENT PUBLIKÁCIÓK

Idegen nyelvű közlemények

Tossenberger, J., Tenke, J., Horák, A.P., Tischler, A. (2011): Feuerstein, D, Effect of xylanase and beta glucanase supplementation of the diet on the ileal and postileal digestibility of nutrients in growing pigs, 10. BOKU-Symposium Tierernährung: Gesunde Tierernährung: Qualität vom Futtermittel bis zum Nahrungsmittel, Wien, Ausztria: Eigenverlag, Institut für Tierernährung, Tierische Lebensmittel und Ernährungsphysiologie, 166-170.

Tossenberger, J., Tenke, J., Donko, T., Repa, I., Horak, A., Tischler, A., Kühn, I. (2011): The effect of phytase and phosphorus supply on different bone parameters estimated by computed-tomography in broilers, Proceedings of 18th European Symposium on Poultry Nutrition (ESPN 2011), Izmir, Törökország: World's Poultry Science Association (WPSA), 138.

Konferencia előadás

Tischler, A., Ader, P., Halas, V.,U, Oberfrank, U., Ujvári, B., Keil, D., Tossenberger, J. (2016): Effect of dietary xylanase/glucanase supplementation on the energy digestibility and milk composition in lactating sows pp. 54-54., 20th Congress of the European Society of Veterinary and Comparative Nutrition, Berlin, Németország: Freie Universität Berlin.

Magyar nyelvű közlemények

Tossenberger, J., Gyurcsó, G., Halas, V., Németh, K., Tischler, A., Fábián, J. (2016): A víziszárnyasok takarmányozásának legújabb aspektusai: Néhány gabonaféleség aminosav tartalmának ileális emészthetősége növendék kacsákban, Állattenyésztés és Takarmányozás, 65: 106-118.

Horák, A.P., Halas, V., Czár, D., Tischler, A., Tossenberger, J. (2012): A takarmányok fehérje tartalmának és aminosav összetételének hatása a tojóhibridek teljesítményére, A magyar mezőgazdaság - lehetőségek, források, új gondolatok. 34. Óvári Tudományos Nap, Mosonmagyaróvár,

Magyarország: Nyugat-magyarországi Egyetem Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar, 563-568.

Tischler, A., Tossenberger, J., Horák, A., Halas, V. (2011): Eltérő fehérjeellátás hatása különböző genotípusú tojóhibridek tojásalkotóinak súlyára és arányára. A magyar mezőgazdaság - lehetőségek, források, új gondolatok. 34. Óvári Tudományos Nap, Mosonmagyaróvár, Magyarország: Nyugat-magyarországi Egyetem Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar, 637-641.

Tenke, J., Horák, A., Tischler, A., Tolnai, L., Tossenberger, J. (2011): A lizin ellátás hatása a fehérjék és az aminosavak ileális emészthetőségére növendéksertésekben, 15. Nemzetközi Takarmányozási Szimpózium, Kaposvár, Magyarország: Kaposvári Egyetem Állattudományi Kar, 61-62.

Tenke, J., Horák, A., Tischler, A., Tolnai, L., Tossenberger, J. (2011): A lizin ellátás hatása a fehérje és az aminosavak ileális emészthetőségére növendéksertésekben, Acta Agraria Kaposvariensis, 15: 47-55.

Tossenberger, J., Halas, V., Tóthi, R., Horák, A., Tenke, J., Tischler, A. (2011): Tartalékok és lehetőségek a tojótyúkok költséghatékony takarmányozásában, 15. Nemzetközi Takarmányozási Szimpózium, Kaposvár, Magyarország: Kaposvári Egyetem Állattudományi Kar, 3-16.

13. SZAKMAI ÖNÉLETRAJZ

- 1979-ben születtem Budapesten

- Középiskolai tanulmányaimat a kaposvári Kinizsi Pál Élelmiszeripari Szakközépiskola és Gimnáziumban végeztem

- 2000-2005: a Kaposvári Egyetem, GTK, Gazdasági Agrármérnöki szakán MsC diplomát szereztem

- 2005-2008 között Kereskedelmi területen dolgoztam több minőségben (kereskedelmi asszisztens, üzletvezető, kereskedelmi vezető)

- 2008-ban hét hónapig Londonban a Bromley High Schoolban tanultam angol nyelvet, és egy tanácsadó cégnél dolgoztam asszisztensként

- 2009-2011 között a Bábolna TETRA Kft-nél fél éves gyakornoki állásban az uraiújfalusi tojótyúk pedigré telepen, tojótyúk nevelő- és tojótelepeken és brojler szülőpár telepeken, valamint az uraiújfalusi brojler keltetőüzemben szereztem szakmai tapasztalatot, majd ezt követően másfél évig az uraiújfalusi brojler keltetőüzemben voltam műszakvezető

- 2011-2013 között végeztem el a Kaposvári Egyetem, AKK, Állattenyésztési Tudományok Doktori Iskola képzését

- 2014-től a Kaposvári Egyetem, AKK, Takarmányozástani Intézeti Tanszék, Tudományos segédmunkatársa vagyok. Munkám során javarészt a baromfi, vízi szárnyas és sertés vizsgálatok/kísérletek lebonyolítását végzem

- *2007-ben angol nyelvből középfokú (C-típusú), 2018-ban pedig olasz nyelvből alapfokú írásbeli nyelvvizsgát tettem.*

14. MELLÉKLETEK

1. melléklet

11. és 12. eredményközlő táblázatok szórásai

Paraméterek	Genotípus		Foszfor szintek	
	TETRA-SL	**TETRA Blanca**	**4,9 g/kg (PC)**	**4,4 g/kg (NC)**
Termelési intenzitás	13,7	9,5	11,8	11,8
Takarmány felvétel	9,1	10,4	10,6	11,0
Tojássúly	3,9	5,2	4,7	4,6
Tojásmassza	720,1	600,0	684,4	689,6
Takarmány-értékesítés	0,3	0,3	0,3	0,3
Héjszilárdság	0,46	0,57	0,53	0,50
Héjvastagság	0,020	0,019	0,020	0,020

2. melléklet

Az első teljesítmény vizsgálatban mért élőtömeg és elhullási adatok

ÉLŐTÖMEG

		Termelési hónapok																		
Kezelések		**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**átlag**
SL	**PC**	1 836	1 813	1 821	1 846	1 877	1 886	1 945	1 948	2 008	2 043	2 046	2 056	2 078	2 102	2 052	2 086	2 045	2 035	**1 973**
	NC	1 771	1 790	1 820	1 856	1 864	1 916	1 949	1 936	1 997	2 045	2 043	2 041	2 033	2 070	2 078	2 098	2 075	2 052	**1 969**
BL	**PC**	1 478	1 450	1 438	1 465	1 507	1 514	1 613	1 593	1 603	1 616	1 635	1 656	1 673	1 696	1 720	1 776	1 767	1 762	**1 609**
	NC	1 489	1 463	1 454	1 501	1 539	1 555	1 665	1 606	1 642	1 651	1 646	1 695	1 705	1 728	1 754	1 792	1 820	1 815	**1 640**

SL: TETRA-SL LL hibrid, BL: TETRA Blanca hibrid, PC: pozitív kontrol kezelés, NC: negatív kontrol kezelés

ELHULLÁS

	Hónapok	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**összesen**
Kezelések	**SL PC**	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**
	SL NC	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	**3**
	BL PC	0	0	0	0	0	1	0	0	2	0	0	1	0	1	0	1	0	0	**6**
	BL NC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	**1**

SL: TETRA-SL LL hibrid, BL: TETRA Blanca hibrid, PC: pozitív kontrol kezelés, NC: negatív kontrol kezelés

3. melléklet

A második teljesítmény vizsgálatban mért élőtömeg és elhullási adatok

ÉLŐTÖMEG

		Term. hónapok				
Kezelések		**12**	**13**	**15**	**17**	**átlag**
A-csoport	**PC**	2158	2118	2184	1942	**2101**
	PCE	2251	2248	2345	1992	**2209**
	NC	2209	2176	2252	2048	**2171**
	NCE	2183	2182	2255	1954	**2144**
B-csoport	**PC**	2182	2215	2279	2012	**2172**
	PCE	2196	2236	2254	1968	**2164**
	NC	2228	2251	2300	2000	**2195**
	NCE	2177	2217	2258	1960	**2153**

A-csoport: tenyésztő cég által jobb héjminőségre szelektált genotípus; B-csoport: nem szelektált genotípus; PC: 2,45 g/kg NPP tartalmú táp, enzim nélkül; PCE: 2,45 g/kg NPP tartalmú táp, 300 FTU/kg enzimmel; NC: 2,15 g/kg NPP tartalmú táp, enzim nélkül

ELHULLÁS

			Termelési hónapok				
			12	**13**	**15**	**17**	**összesen**
Kezelések	**A-csoport**	**PC**	4	1	1	0	**6**
		PCE	2	2	1	1	**6**
		NC	0	1	0	1	**2**
		NCE	2	0	1	0	**3**
	B-csoport	**PC**	0	0	1	2	**3**
		PCE	1	0	0	6	**7**
		NC	0	0	0	2	**2**
		NCE	0	0	0	3	**3**

A-csoport: tenyésztő cég által jobb héjminőségre szelektált genotípus; B-csoport: nem szelektált genotípus; PC: 2,45 g/kg NPP tartalmú táp, enzim nélkül; PCE: 2,45 g/kg NPP tartalmú táp, 300 FTU/kg enzimmel; NC: 2,15 g/kg NPP tartalmú táp, enzim nélkül