



MAGYAR AGRÁR- ÉS
ÉLETTUDOMÁNYI EGYETEM

**ELTÉRŐ TECHNOLÓGIÁJÚ
FÉNYFORRÁSOK HATÁSA BAROMFI FAJOK
TERMELÉSI ÉS ÉLETTANI PARAMÉTEREIRE**

DOKTORI ÉRTEKEZÉS

Pap Tibor István

Gödöllő
2026

A doktori iskola

megnevezése: Agrár- és Élelmiszertudományok Doktori Iskola

vezetője: Prof. Dr. Kovács Melinda MHAS

program: Állattudományi program

vezetője: Dr Szabó András DSc

Témavezető: Dr. Kovács-Weber Mária

egyetemi docens

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Állattenyésztési Tudományok Intézet

Állattenyésztés-technológiai és Állatjólleti Tanszék

Témavezető: Dr. Mezőszentgyörgyi Dávid

szakmai főtanácsadó

Energiaügyi Minisztérium

Vízgazdálkodásér Felelős Államtitkári Kabinet

.....
Az iskolavezető jóváhagyása

.....
A témavezető jóváhagyása

.....
A témavezető jóváhagyása

Tartalomjegyzék

Jelölések, Rövidítések jegyzéke.....	7
1. Bevezetés.....	9
1.1. Célkitűzések	11
2. Irodalmi áttekintés.....	12
2.1. A madarak látása	12
2.1.1. A madarak és az emlősök (ember) látása közötti különbségek.....	13
2.2. A fény hatása a madarakra.....	15
2.2.1. A fény hatása a hormonális szabályozásra	15
2.2.2. A tojásképződés hormonális és élettani szabályozása.....	16
2.2.3. A madarak cirkadián és cirkannuális ritmusának szabályozása	16
2.2.4. A megvilágítás időtartamának befolyásoló hatása baromfi tartási rendszerekben	18
2.2.5. A megvilágítás erősségének hatása baromfi tartási rendszerekben.....	19
2.2.6. A fény színének befolyásoló hatása baromfi tartási rendszerekben	20
2.3. A baromfi tartási rendszerekben leggyakrabban használt fényforrások típusai	22
2.4. Eltérő megvilágítások hatásai a madarakra	23
2.4.1. Eltérő megvilágítások hatásainak feltérképezése a pecsenyecsirkék termelésében	24
2.4.2. Eltérő megvilágítások hatásainak feltérképezése a tojástermelő állományokban	25
2.4.3. Eltérő megvilágítások hatásainak feltérképezése a víziszárnyas fajokban... ..	26
2.5. A megvilágítás viselkedésre gyakorolt hatása és megfigyelésének a módszerei a baromfitartásban	27
2.5.1. A fény hatása a baromfik viselkedésére	27
2.5.2. A viselkedés kvantitatív megfigyelése és elemzésének módszerei.....	28
2.5.3. A számítógépes látás és a mesterséges intelligencia szerepe a viselkedés megfigyelésében	29
2.6. A fény mint stresszor és modulátor: endokrin, oxidatív és viselkedési válaszok baromfiban	30
2.6.1. A stressz általános adaptációs szindrómája és a fény, mint környezeti inger	30
2.6.2. Endokrin és immunválasz a fény hatására.....	31
2.6.3. Az oxidatív stressz és hatásai a termelési mutatókra.....	31
2.6.4. Az oxidatív stressz hatása a szaporodásbiológiai mutatókra.....	33

2.6.5.	A világítás, mint menedzsment eszköz a stressz csökkentésében	34
3.	Anyag és módszer	36
3.1.	Eltérő típusú megvilágítás vizsgálata pecsenyecsirkéken	36
3.1.1.	Kísérleti állatok tartás- és takarmányozás technológiája.....	36
3.1.2.	A termelési paraméterek mérése és számítása.....	37
3.1.3.	A kísérletben alkalmazott megvilágítás.....	37
3.1.4.	Viselkedés vizsgálatok módszerei	39
3.1.5.	Húsminőség vizsgálatok módszerei.....	40
3.1.6.	Alkalmazott statisztikai módszerek	43
3.2.	Eltérő típusú megvilágítás vizsgálata brojler szülőpárokon	43
3.2.1.	A kísérletben résztvevő állatok	43
3.2.2.	A termelési paraméterek mérése és számítása.....	45
3.2.3.	Alkalmazott megvilágítás	46
3.2.4.	Vérminta-vételek	47
3.2.5.	Vérminták előkészítése.....	47
3.2.6.	Ürülékminták gyűjtése és előkészítése	48
3.2.7.	Vér- és ürülékminták vizsgálata	48
3.2.8.	Kelési eredmények vizsgálata	51
3.2.9.	Alkalmazott statisztikai módszerek	52
3.3.	Eltérő spektrumtartományú megvilágítás vizsgálata lúd szülőpárokon	53
3.3.1.	A kísérletben résztvevő állatok	53
3.3.2.	Alkalmazott megvilágítás	54
3.3.3.	Vér és ürülék minta gyűjtése és vizsgálata.....	57
3.3.4.	Tojásminőség vizsgálatok	59
3.3.5.	Kelési eredmények vizsgálata	60
3.3.6.	Alkalmazott statisztikai módszerek	60
4.	Eredmények.....	61
4.1.	A pecsenyecsirkékkel végzett vizsgálatok eredményeinek bemutatása	61
4.1.1.	Termelési eredmények bemutatása.....	61
4.1.2.	Takarmányfogyasztás és takarmány-értékesítés.....	62
4.1.3.	A pecsenyecsirkék viselkedésében megfigyelt különbségek bemutatása	62
4.1.4.	Test, szerv és értékes húsrészek tömegeinek vizsgálata.....	66
4.1.5.	Húsminőségi vizsgálatok eredményei	68
4.1.6.	A húsminőség és a hús beltartalmi paraméterei közötti összefüggések eredményei.....	73

4.2.	A brojler szülőpárokkal végzett vizsgálatok eredményeinek bemutatása	75
4.2.1.	A brojler szülőpárok élőtömegeinek alakulása.....	75
4.2.2.	A takarmány-értékesítés alakulása a vizsgálat során.....	76
4.2.3.	A brojler szülőpár tyúkok heti tojástermelési intenzitásának alakulása ...	78
4.2.4.	A tenyésztójások arányának alakulása	82
4.2.5.	A tenyésztójások tömegének alakulása	85
4.2.6.	A tenyésztójások héjvastagságának alakulása.....	86
4.2.7.	A kikelő csibék relatív testtömegének alakulása.....	86
4.2.8.	A keltetői kiesés alakulása.....	88
4.2.9.	A vizsgálat során mért hormonális paraméterek alakulása	88
4.3.	A lúd szülőpárokkal végzett vizsgálatok eredményeinek bemutatása.....	93
4.3.1.	A lúd szülőpárok élőtömegeinek alakulása	93
4.3.2.	A tojástermelési intenzitás alakulása.....	94
4.3.3.	A vizsgálat során mért tenyésztójások minőségének alakulása.....	96
4.3.3.1.	A tenyésztójások tömegének alakulása.....	96
4.3.3.2.	A tenyésztójások héjszilárdságának alakulása.....	97
4.3.3.3.	A tenyésztójások Haugh értékének alakulása	97
4.3.3.4.	A tenyésztójások héjtömegének alakulása.....	98
4.3.3.5.	A tenyésztójások héjvastagságának alakulása	98
4.3.3.6.	A tenyésztójások szikhártya erősségének alakulása	99
4.3.4.	A kelési és szaporodásbiológiai mutatók alakulása.....	100
4.3.4.1.	A tenyésztójások termékenységének alakulása.....	100
4.3.4.2.	A tenyésztójások keltethetőségének alakulása.....	100
4.3.4.3.	A napos libák minőségének alakulása.....	101
4.3.4.4.	Az egy tojóra jutó kislibák számának alakulása	102
4.3.5.	A vizsgálat során mért hormonális paraméterek alakulása	103
4.3.5.1.	A kortikoszteronkoncentráció alakulása	103
4.3.5.2.	A plazma progeszteronkoncentrációjának alakulása	104
4.3.5.3.	A plazma ösztrogénkoncentrációjának alakulása.....	106
4.3.5.4.	A plazma tesztoszteronkoncentrációjának alakulása	107
5.	Következtetések, javaslatok	109
5.1.	A pecsenyecsirkékkel végzett vizsgálatok következtetései és gyakorlati javaslatok	109
5.2.	A brojler szülőpárokkal végzett vizsgálatok következtetései és gyakorlati javaslatok	111

5.3. A lúd szülőpárokkal végzett vizsgálatok következtetései és gyakorlati javaslatai	112
6. Új tudományos eredmények.....	114
7. Összefoglalás.....	115
8. Summary	118
M1. Irodalomjegyzék	121
9. Köszönetnyilvánítás	143

JELÖLÉSEK, RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE

a* – a CIE L*a*b* színrendszer a* értékét adja meg, ami zöld és piros skálán mozog -128 és +127 értékek között

ACTH – adrenokortikotrop hormon

Arg – arginin

ATP – adenzin-trifoszfát

b* – a CIE L*a*b* színrendszer b* értékét adja meg, ami kék és sárga skálán mozog -128 és +127 értékek között

C – Celsius

Ca - kalcium

Cisz – cisztein

CT – kalcitonin hormon

DNS – deoxiribonukleinsav

E2 – 17 beta-Estradiol hormon

F – fénycső

Far-red – távoli vörös fény spektrum tartomány

FIR – infravörös sugarak

FSH – folliculus stimuláló hormon

FTU – fitáz aktivitás

FVM – Földművelésügyi és Vidékfejlesztési Minisztérium

GH – növekedési hormon

GHRH – növekedési hormon releasing hormona

GnIH – ganodotrop inhibitor hormon

GnRH – gonadotrop releasing hormon

HU – Haugh egység

Hz – hertz, a frekvencia SI-mértékegysége

I – wolfram szál izzó

IEL – intraepiteliális limfocita

IgA – Immunglobulin A

K – Kelvin

kHz – kilohertz (1 kHz = 1000 Hz)

KORT - kortikoszteron

L* – a CIE L*a*b* színrendszer L* értékét adja meg, ami a fényességet jelöli 0 és 100 között terjedő skálán

LED – Light Emitting Diode = fényt kibocsátó dióda

LH – luteinizáló hormon

lx – lux, a megvilágítás SI mértékegysége (1 lux = 1 lumen/egy m²)

Lys – lizin

MCP – monokalciumfoszfát

MDA – malondialdehyd

ME – metabolizálható energia

Met – metionin

MEL – melatonin (N-acetil-5-metoxi-triptamin)

NaCl – nátrium klorid
NE – nemzetközi egység
N.S. – nem szignifikáns
ny.feh. – nyers fehérje
P – foszfor
P4 – progeszteron hormon
pH – hidrogénionok koncentrációja
pH1 – 45. per mért pH
pH2 – 24. órában mért pH
PTH - parathormon
RFID – Radio Frequency IDentification = rádiófrekvenciás azonosító
RNS – ribonukleinsav
SEM – standart hiba
T – tesztoszteron hormon
Thr – threonin
Tryp – triptofán
UV – ultraviola, ibolyántúli sugarak
UVA – ultraviola A sugarak
UVB – ultraviola B sugarak
Val - valin

1. BEVEZETÉS

A nagyüzemi állattartás célja a hatékony és gazdaságos termelés biztosítása a növekvő élelmiszerigény kielégítésére. A modern technológiák alkalmazása nélkülözhetetlen a termelékenység növeléséhez, az állatjóllét javításához és a fenntarthatóság biztosításához.

A modernizáció számos területen hozzájárul a nagyüzemi állattartás fejlődéséhez:

- **Automatizálás és digitalizáció:** A modern telepírányítási rendszerek, robotizáció és a gépi látáson alapuló intelligens előrejelző rendszerek segítségével csökkenthető a kiesés és javítható az állatok egészségi állapota.
- **Genetikai előrehaladás:** Az állatok genetikai szelekciója hozzájárul a jobb hús-, tej- és tojástermeléshez, miközben javul a technológia tűrőképességük is.
- **Környezetirányítás és fenntarthatóság:** Az energiahatékony világítás, a telepírányítási rendszer által vezérelt szellőztető rendszerek és a trágyakezelési technológiák csökkentik a környezeti terhelést, fenntarthatóbbá téve az állattartást az éghajlati változás kihívásai mellett is.
- **Állatjóllét és egészségügy:** Az állatok stresszmentes környezetének biztosítása, az antibiotikumnak nem minősülő hozamfokozók használata és a jó állatorvosi gyakorlat minimalizálják a betegségek előfordulását, növelve a termelési hatékonyságot.

A nagyüzemi állattartás modernizálása nemcsak a termelők számára előnyös, hanem a fogyasztóknak is, mivel biztonságosabb, fenntarthatóbb és jobb minőségű élelmiszerek előállítását teszi lehetővé, megfelelve az etikus állattartás elvárásainak is (Wu et al. 2022; Bilotto et al. 2024; Ghazal et al. 2024; Yang et al. 2024; Yu et al. 2024; Paudel et al. 2025).

Manapság az élet minden területén körbe vesz minket a mesterséges fény, ami ökológiai szempontból egy új jelenségként írható le. A belső biológiai ritmusok nagy jelentőséggel bírnak a fajok alkalmazkodásában, a túlélésük szempontjából kulcsfontosságú, melyeket évezredek keresztül a természetes fényviszonyok alakulása nagy mértékben befolyásolt. A mai modern nagyüzemi zárt istállózott állattartásban elengedhetetlen technológiai elem a világítás. Így nem függ az állomány a kinti, természetes fényviszonyoktól, az állattartó szabályozhatja, hogy melyik időszakban, milyen hosszan és milyen fényerővel világítja meg őket. Ugyanakkor ez felelősség is egyben, hiszen a baromfiágazatban a világítás nem csupán egy technikai tényező, hanem kulcsszerepet játszik a madarak fejlődésében, reprodukciójában és jóllétében egyaránt.

Magyarországon a 32/1999. (III. 31.) FVM rendelet szabályozza a mezőgazdasági haszonállatok tartásának állatvédelmi kritériumait, mely állást foglal azok megvilágításával kapcsolatban is. A rendelet által szabályozott minimális paramétereken túl számos lehetőségünk van finomítani a világításon, mivel annak típusára és hullámhosszára nem tér ki. Ez azért is fontos, mert a madarak látása eltér az emberétől, magasabb frekvenciát és szélesebb spektrumot képesek érzékelni (Lewis 2006; Parvin et al. 2014). A megfelelő fényviszonyok biztosítása hozzájárul a baromfik optimális fejlődéséhez, elengedhetetlen a tojástermelés fenntartásához és csökkenti a stresszt, amely közvetlenül befolyásolja az állatok egészségét és teljesítményét (Gregori et al. 2008; Riber 2015). A termelés maximumát csak akkor tudjuk elérni hosszan tartó perzisztens termelés során, ha az állataink jól érzik magukat. A világítás időtartama, intenzitása, spektruma és eloszlása mind befolyásolja az állatok biológiai folyamatait, beleértve a hormonális szabályozást, a viselkedési mintázatokat és az immunrendszer működését (Lewis 2010; Olanrewaju et al. 2006).

A modern LED technológiát költséghatékonysága és egyre elérhetőbbé válása miatt számos állattartó kezdi el használni, mindenféle állat alapú hatást figyelmen kívül hagyva. A LED technológia lehetőséget biztosít a világítás számos paraméterének a megváltoztatására, mint:

- fényerő szabályozásának lehetősége, ami az eltérő nevelési fázisokban, illetve napkelte-napnyugata szimuláció előidézésére képes,
- zajszűrő előtét elektronika beépítésével magas frekvencián történő működést képes biztosítani, aminek köszönhetően megszűnik a világítótest villogása,
- illetve a monokromatikus fénytől a több színtartományú fényig képes széles spektrumkép biztosítására.

Ezen lehetőségeknek alkalmazása, illetve kombinációjának használata nincs meghatározva, hogy miként hat az egyes fajokra, illetve azok eltérő nevelési vagy termelési fázisban lévő csoportjaira. Ezeknek a lehetőségeknek az együttes kihasználása tovább növelhetik a baromfitartás hatékonyságát.

A legtöbb fényvel végzett kísérletet a fényintenzitással és a megvilágítás hosszával végezték. Ezek fontos paraméterek, azonban más perspektívából is meg kell vizsgálni a megvilágítás jellemzőit. A világítás spektrális összetétele feltehetően szintén nagy súllyal hat ki a termelésre. Az állatjóllét növelésével növekedhet a termelés intenzitása és energiamegtakarítási szempontból is jelentős előnyökkel jár a termelők számára. Másfelől a legtöbb vizsgálatban főként pecsenye csirkéket és tojótyúkokat használtak kísérleti alanyként, ahol első sorban növekedési, tojástermelési és takarmány-értékesítési szempontokat vettek figyelembe (Perry 2003; De és Lara 2016; Farghly et al. 2019), ami koránt sem fedi le a teljes baromfi ágazatot. Hiányosak az adatok víziszárnyas, pulyka, illetve egyéb kisebb volumenben tartott baromfik és szülőpárok vonatkozásában is. A fent említett termelési értékeken kívül hiányosak a szakirodalmi adatok a fény által a hormonháztartásra, viselkedésre és az előállított termékekre, mint étkezési tojásra, húsminőségre, keltető tojásra és kikelt napos állatokra gyakorolt hatásáról.

Összességében elmondható, hogy a világítás a baromfiágazat egy fontos tényezője, amelynek helyes és tudományosan megalapozott alkalmazása elengedhetetlen a sikeres és fenntartható termeléshez. A modern világítási technológiák új lehetőségeket kínálnak a fényintenzitás, a spektrális összetétel és a fényprogramok finomításában így hozzájárulhatnak az energiahatékonyság és az állatjóllét javításához. Ugyanakkor ezeknek a lehetőségeknek a fajspecifikus, fiziológiai, viselkedési és termelési hatásai még mindig csak részlegesen ismertek. Ebből eredő kutatási hiányok feltárása, valamint a világítás és a baromfik biológiai válaszaik közötti összefüggések pontosabb megértése hozzájárulhat a tudományosan megalapozott világítási rendszerek kialakításához. A munkám során ezért nem csupán technológiai fejlesztési irányokat vizsgálok, hanem új tudományos eredményeket kívánok feltárni a fény hatásainak a baromfik élettanára, viselkedésére és termelésére vonatkozóan, ezzel is elősegítve a gazdaságosabb és kedvezőbb állatjólléttel bíró baromfitartás tudományos alapjainak bővítését.

1.1. Célkitűzések

A dolgozatomban célul tűztem ki, hogy komplexen összehasonlítom a modern technológiás LED világítás és a hagyományosan használt világítások (izzó, fénycső), továbbá az eltérő fényspektrumok hatásait különböző baromfi fajokban, különös tekintettel azok egyes termelési, húsminőségi, viselkedési, hormonális és szaporodásbiológiai paramétereire:

1. Brojlercsirkék vizsgálata:

A kutatásom célja a modern LED technológiával és a hagyományos (izzó) világítással nevelt brojlerek termelési, viselkedési és húsminőségi paramétereinek összehasonlítása. Különös figyelmet fordítok a természetes termelési mutatók mellett a pecsenye csirkék kitermelési és egyes húsminőségi mutatóira, továbbá a két csoport madarainak a viselkedési mintázataira, melyekről a jelenlegi szakirodalom korlátozott információval rendelkezik.

2. Brojler szülőpárok vizsgálata:

A második kísérlet célja egy hagyományos (fénycső) és két eltérő típusú LED világításban tartott brojler szülőpárok termelési teljesítményének, hormonális paramétereinek, valamint az általuk termelt tenyésztóságok minőségi és keltethetőségi mutatóinak összehasonlítása. A vizsgálatom további célja feltárni az eltérő spektrális összetételű két típusú LED világítás hatásai közötti fiziológiai és szaporodásbiológiai folyamatokra gyakorolt esetleges hatását. A kutatás különösen is hiánypótló a brojler szülőpárok LED világításra adott válaszreakcióit, illetve a tojásminőségi és keltethetőségi mutatók összefüggéseit illetően.

3. Lúd szülőpárok vizsgálata:

A harmadik kísérletben a látható fény tartományában működő (RGB) LED világítás UV spektrum tartomány, Far-red spektrum tartomány és a kettő hullámhossztartomány kiegészítés együttes hatását vizsgálom májhasznú lúd szülőpár állományon. A kutatás célja a fény spektrális összetétele és a lúd szülőpárok termelési, egyes hormonális, tojásminőségi és keltethetőségi paramétereinek közötti összefüggések feltárása. A vizsgálatban külön figyelmet fordítok az egyes fényspektrum kiegészítések lúd szülőpárokra gyakorolt biológiai hatásaira, amelyekre a jelenlegi szakirodalomban kevés adat áll rendelkezésre, kiváltképpen azok tojásminőségi és tenyésztóság keltethetőségi paramétereire. Továbbá a távoli vörös hullámhosszal kiegészített világítás hatásait eddig szinte csak növénytermesztésben vizsgálták (Possart et al. 2014; Demotes-Mainard et al. 2016; Tan et al. 2022), így rendkívül hiányos szakirodalmi adatok állnak rendelkezésre, kiváltképp víziszárnyas fajokban, holott a természetes fényben ez a hullámhossztartomány is megtalálható.

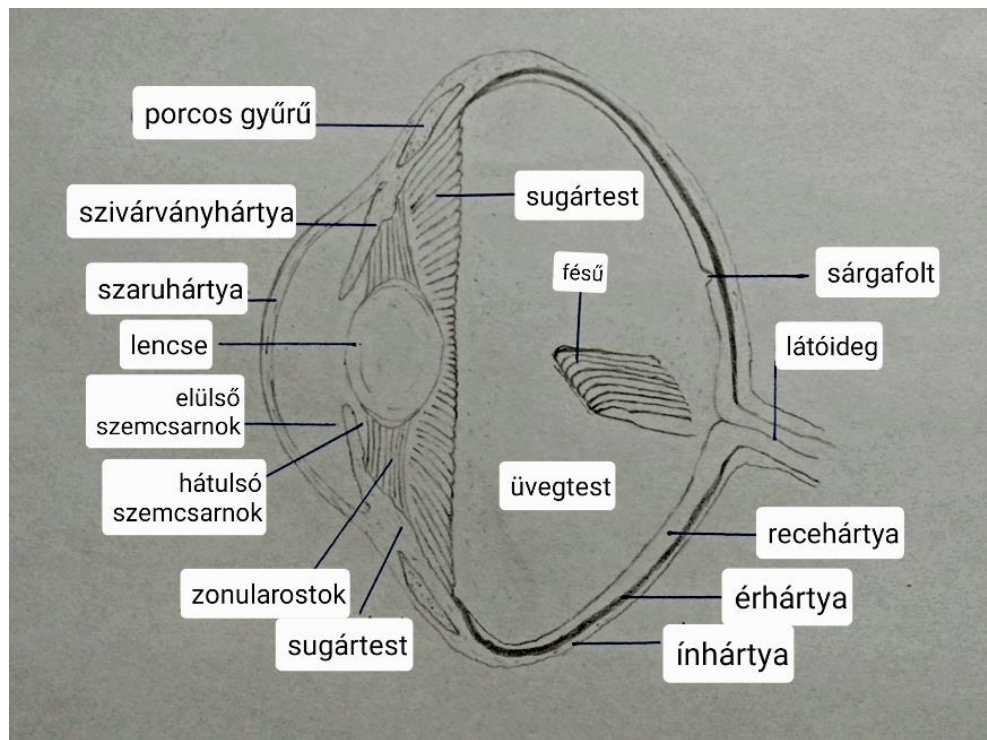
2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1.A madarak látása

A madarak igen fejlett látószervvel rendelkeznek (1. ábra). A látható fény hullámhossza a rövidebb láthatatlan ibolyántúli (UV) és a hosszabb láthatatlan infravörös (FIR) sugarak között van, 380 nm és 740 nm között. Ezzel szemben a madarak a fény szélesebb spektrumát képesek érzékelni (Lewis 2006; Lewis és Gous 2009; Parvin et al. 2014; James et al. 2018; Soliman et al. 2020). Fejük tömegének körülbelül negyedét a szemük teszi ki, mely igen jelentős arány. Lapos, gömb, illetve csőszerű (baglyok) szemgolyó típusokat különböztethetünk meg. (Tóth 2005).

A SZEM FELÉPÍTÉSE

- A szem külső rétege az úgynevezett **rostos réteg**, mely három részből összetevődve alkotja a szemgolyó burkát. Átlátszó elülső része a szaruhártya (Daxer et. al 1998), mögötte a szemgödörben, az ínhártya található. Az ínhártyában található a porcgyűrű, mely a szemgolyó merevítéséért felel (Tóth 2005; Fairchild 2013).
- A rostos réteget az úgynevezett **vaszkuláris réteg követi**. Itt található az érhártya, a sugártest (csarnokvizet termeli), a szivárványhártya és a fésű. Csak a madár szemre jellemző képlet a fésű, mely hullámszerűen redőzött, kis lemezekből áll, gazdag pigmenttartalmú sejtekben. Ez a képlet a madarak szemében a *retina* és az üvegtest gáz- és tápanyagcseréjét végzi (Fehér 2004). Ebben a rétegben a kettősen domború szemlencsét az úgynevezett zonularostok függesztik fel.
- A szem legbelső rétege az **ideghártya**, ahol nincs fényérzékelés. Az itt található csapok túlsúlya eredményezi a madarak jó színlátását. Az ideghártyában található az úgynevezett sárgafolt, ahol a receptorok sűrűsége a legnagyobb. Ez azt eredményezi, hogy itt lesz a legnagyobb a látásélesség (Tóth 2005). Ezt igazolta Rahman et al. (2007) tőkés récéken történt vizsgálat során és Querubin et al. (2009) galambokon történt vizsgálat során. Moore et al. (2012) azonban kanadai ludakon tett vizsgálataik során arra jutottak, hogy ezeknek a madaraknak a vizuális rendszere széles laterális látómezőből áll, aminek eredményeképpen fokozódik a vizuális teljesítményük. A madarak további sajátossága még, hogy a csapokban olajcseppek találhatóak, melyek az ibolyán túli sugarak elnyelésére hivatottak. Ezek az olajok különböző mennyiségű színezőanyagokat tartalmaznak, így az UV fényvel szembeni érzékenységük is eltérő (Lewis és Morris 2000; Kram et al. 2010; Jiao et al. 2014; Egbuniwe és Ayo 2016).



1. ábra: Madarak szeme (saját rajz Whittow 1998 alapján)

2.1.1. A madarak és az emlősök (ember) látása közötti különbségek

Az elsődleges fényérzékelő szerv az emlősöknél és a madaraknál egyaránt a szem (2. ábra). A fény a pupillán keresztül jut a szembe, amit a szemlencse a szem hátsó falára vetít. A bejutó fénynek megközelítőleg 70-80%-a jut el a récehártyáig. Az itt helyet foglaló fényérzékelő receptorok nyelik el a fényt és alakítják azt elektromos jelekké. Ezek az elektromos jelek az idegpályákon keresztül továbbítódnak az agyba, ahol megtörténik a jelek feldolgozása és létrejön a tudatosult kép (Barry és Janice 1998).

A szem színérzékelésében is van különbség az állatfajok között, mert az egyes fotopigmentek csak egy bizonyos hullámhosszon érkező fény érzékelésére képesek. Például az ember szürkületkor monokróm módon lát, ami azt jelenti, hogy egyféle színtartományban, csak a szürke árnyalatait érzékeli. Ennek oka, hogy az ilyenkor bejutó fény mennyisége olyan kicsi, hogy a csapok már nem képesek érzékelni a gyenge fényt csak a pálcikák által érzékelt fényt képes az agyban képpé alakítani. Ideális környezetben, vagyis megfelelő fény mennyiség esetén, az emberek látása tri-kromatikus. Ez a pálcikák mellett a három csap-pigmentnek köszönhető. Az egyik csap leghatékonyabban a rövid hullámhosszú sugarakat nyeli el (kék színérzet, kb. 400 nm körüli sugarak), a másik leginkább a közepes hullámhosszú fényt (zöld színérzet, kb. 550 nm körüli sugarak), míg a harmadik a hosszú spektrumú hullámhosszra érzékeny (sárga és vörös színérzet, kb. 600 nm körüli sugarak) (Sekuler és Blake 2000).

Ezzel szemben a madarak képesek észlelni egy negyedik színtartományt is (tetra-kromatikus látás). Ez nem más, mint az ultrabolya (UV) tartomány, így jóval nagyobb spektrumban látnak (Bennett és Cuthill 1993; Kelber 2019). Több szerző az UV tartományt szétbontja UVA (400-315 nm) és UVB (315-280) tartományokra, melyek közül a madarak az UVA tartományban érkező fénysugarakat képesek érzékelni és hatékonyan képpé alakítani (Lewis és Gous 2009; Prescott et al. 2003; Charlotte et al. 2018). Ez annak köszönhető, hogy a

madarak retinájában négy opszin alapú pigment expresszálódik. Fontos azt is megemlíteni, hogy a madarak látása nem egységes, ahogyan azt régebben feltételezték. Vannak olyan fajok, melyeknél hiányzik egy pigment emiatt másképp is látnak (Hart 2001). Összességében azonban elmondható, hogy a nappal aktív madaraknak kiváló a színlátásuk és nagyon jó a színmegkülönböztető képességük (Kelber 2019; Niu et al. 2022). Olsson et al. (2015) a színmegkülönböztetésben nem talált különbséget az ember és az általam is vizsgált tyúk faj között.

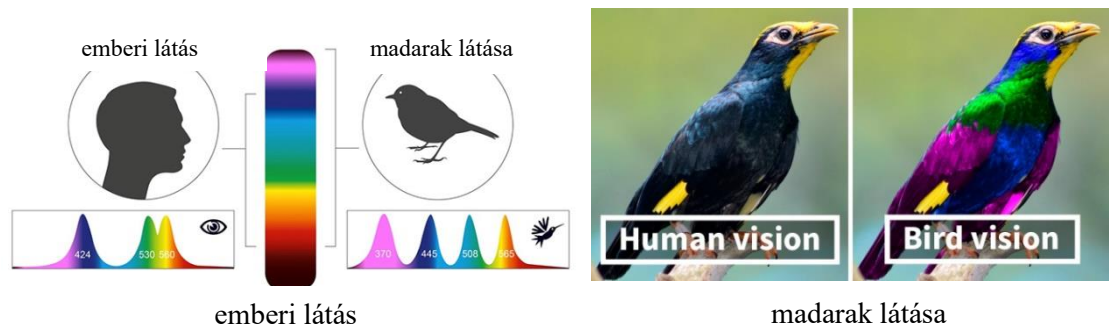
A képlátásért felelős csapok és pálcikák mellett vannak a retinában úgynevezett ganglion sejtek is. Ezek ugyanúgy fényérzékeny receptorok, de elsősorban a nem képalkotó funkciókért, felelősek (non-image forming). A retina ganglion sejtjei melanopszint termelnek, amely mennyiségének segítségével szinkronizálódik belső biológiai órájuk (Ali et al. 2008; Patterson et al. 2020).

Az extraretinális fotoreceptorok létezését először Frisch (1911) írta le az 1900-as évek elején. Ilyen agyi fotoreceptorokkal a madarak (Lewis és Morris 2006) is rendelkeznek, amit 1970-ben igazolt Herbert és Michael (1970) kísérletükben számos látó és látásképtelen verebet vizsgáltak különböző fotoperiodikus rendszerekben (12 óra sötét és 12 óra világos; 8 óra sötét és 16 óra világos; 20 és 500 lux fény-intenzitás). A kezeléseik végén a két csoport here méreteiben nem találtak különbséget, ami azt bizonyítja, hogy látás nélkül is megfelelően működött a bioritmusuk, feltételezhetően az agyi fotoreceptorok meglétének köszönhetően. Ezeknek a receptoroknak a megléte a madarak szaporodásának szezonális szabályozásával hozható összefüggésbe (Benoit 1934; Oliver és Bayle 1976; García-Fernández et al. 2015). Több szerző (Lewis és Morris 2000, Mobarkey et al. 2010; Baxter et al. 2014) állítása szerint elsősorban a vörös fény (600-700 nm) stimulálja az extraretinális fotoreceptorokat, ami feltehetően nagyobb hatékonysággal hatol át a koponyán, így közvetlenül hozzájárul a szexuális viselkedés irányításához.

A madarak képesek érzékelni a stroboszkóp hatást, ami az izzó percenkénti villogását jelenti. Ezt szabad szemmel nem látjuk villogó fénynek, a madarak viszont érzékenyebb látásuknak köszönhetően igen, így amit mi már folyamatos fényként érzékelünk, azt a madarak még villogásként látják. Ennek a villogásnak következményei lehetnek élettani folyamataikra és viselkedésükre, ami kihat jóllétükre is. Európai seregélyekkel végzett kísérletekben (*Sturnus vulgaris*) megfigyelték, hogy másképp reagál a madár az alacsony frekvenciájú (100 Hz), mint a magas frekvencia tartományú fényre (>30 kHz). A seregélyek testtömegében nem tapasztaltak változást a kísérlet ideje alatt, viszont megfigyelték, hogy alacsony frekvenciájú fény hatására gyakoribb volt a myoclonikus izom-összehúzódások szintje (rövid akaratlan izomrángás), kevesebbet mozogtak, ettek és ittak. Madaraknál alacsonyabb bazális kortikoszteron szintet tapasztaltak alacsony frekvenciájú fény hatására, ami krónikus stresszre utal, mert a folyamatos distressz elnyomja a kortikoszteron termelést (Jennifer et al. 2011).

Tojótyúkknál a kortikoszteron szint emelkedett volt 90 Hz-es villogási frekvencián a 250 Hz-hez képest, azonban a szerzők megállapítása szerint termelési és viselkedési paraméterekben nem volt számottevő különbség (McPhee et al. 2024).

Raabe et al, (2024) pulykákon végzett kísérletében leírja, hogy 165 Hz-es villogási frekvencia már biztosan nem zavarja az állatot, sem termelési, sem kortikoszteron értékben nem volt különbség a csoportok között.



2. ábra: Az ember és a madarak látása közötti különbség (http 4.)

2.2.A fény hatása a madarakra

A madarak látása jóval kifinomultabb a többi gerinceshez képest, emellett a fény erőssége és a megvilágítás hossza hatással van a madarak cirkadián (napi) és cirkannuális (éves) ritmusára is.

Ennek három feltétele van:

- Az első receptor-rendszerük, amely érzékeli a külső környezet változásait.
- A második a belső „biológiai órájuk” amellyel érzékelik az idő múlását.
- A harmadik a neuro-endokrin szabályozó rendszer, amely a megfelelő időben beindítja vagy leállítja a szaporodási (Bogenfürst, 2017) és más anyagcsere-folyamatokat.

Az utódok így optimális időben kelnek ki vagy éppen megfelelő ritmusban zajlik az állat emésztése. A meglévő viszonyokhoz alkalmazkodik a szaporodási ciklus is (Baxter et al. 2014). Az ebben szerepet játszó faktorok a fénytartam és a fény-intenzitás. A fotoszenzitivitásnak köszönhetően az ivarsejtek érésének szinkronizálása, vagy annak időbeni eltérései figyelhetők meg (Gregory et al. 2008).

2.2.1. A fény hatása a hormonális szabályozásra

A fotoszenzitivitás összeköttetésben van a madár „belső órájával”, ami a megfelelő időben beindítja a hipotalamuszból a GnRH (Gonadotrop Releasing Hormon), és ennek hatására a gonadotrop hormonok elválasztását a hipofízisből. Ennek köszönhetően a megvilágítás számos élettani folyamatot indít el, ebbe beleértve a gonádok (petefészek vagy herék) növekedését, illetve más összetett hormonális folyamatokat, amelyeknek köszönhetően megváltozik a madár anyagcsereje és viselkedése is (Gwinner és Brandstätter 2001; Péczely, 2013). A fénynek elsődlegesen a melatonin (MEL, N-acetil-5-metoxi-triptamin) szintézisre van hatása, mely egy indolamin típusú hormon, amit a tobozmirigy válasz ki sötét periódusban (Kamfar et al. 2024). A melaton kiválasztását egy melanopszinnak nevezett fényérzékeny pigment indukálja, mely megtalálható a retinában, a tobozmirigyben és a szuprakiazmatikus magban (Okabayashi et al. 2003; Holthues et al. 2005; Nayak et al. 2007). A baromfi tobozmirigyében lévő melanopszin képes közvetlenül is érzékelné a fényt, így részt vehet a „biológiai óra” és a melatonin szekréció szabályozásában (Natesan et al. 2002). A melatonin felelős a gonadotrop-inhibitor hormon (GnIH) termeléséért, mely gátolja a gonadotropin

szekréción a hipotalamusz-hipofízis-gonád tengelyben. Hosszúnapos megvilágítás alatt a melatonin szintje csökken, kisebb mennyiségű GnIH termelődik, mely így kevésbé nyomja el a gonadotrop releasing hormon (GnRH) termelését, ami szabályozza a luteinizáló hormon (LH) és a follikulusztimuláló hormon (FSH) szekréciónját (Csaba et al. 1984; Bédécarrats et al. 2016).

2.2.2. A tojásképződés hormonális és élettani szabályozása

Az emlősökhöz hasonlóan az nőivarú madarakban is a hipotalamusz-hipofízis-ovárium tengely jelenti a tüszőfejlődés és a petesejtképződés szabályozó rendszerét. A tojó hipotalamuszában lévő fotoreceptorokat a fény stimulálja, melynek hatására gonadotrop felszabadító hormon (GnRH) szintetizálódik. A GnRH serkenti a follikulusztimuláló hormon (FSH) és a luteinizáló hormon (LH) elválasztását az agyalapi mirigy elülső lebenyéből. Ezek a hormonok a véráramon keresztül jutnak el a petefészekbe, ahol az FSH elsődlegesen a tüszők növekedését serkenti, míg az LH elsősorban a szteroidhormonok szintézisét fokozza (Miyamoto et al. 1984; Etches 1990; Johnson és Bridgham 2001). A plazma FSH koncentrációja viszonylag állandó marad az ovulációs ciklus során, kis emelkedést mutatva 12 órával az ovuláció előtt (Krishnan et al. 1993). Az LH plazmaszintje ovuláció előtt 4-6 órával éri el a csúcspontot, ami egybeesik a plazma progeszteron (P4) koncentrációjának a csúcspontjával. A legalacsonyabb LH-szint 11 órával ovuláció előtt mérhető (Johnson és Tienhoven 1980). A szteroidhormonok mint az ösztrogén (E2) és a progeszteron (P4) kulcsszerepet játszanak a nőivarú madarak petevezetőjének fejlődésében és működésének a fenntartásában (Kawashima et al. 1996). A P4 elsősorban a nagyobb tüszők granulosa sejtjeiben (Johnson és Tienhoven 1980), míg az E2 a kis tüszők thecasejtjeiben termelődik. Az E2 legmagasabb plazma koncentrációja az ovuláció előtti 4-6 órában figyelhető meg. Elsősorban az E2 felelős a petesejt tápanyagtartalmát biztosító vitellogenin és alacsony sűrűségű lipoproteinek (VLDL) májban történő termelésének kiváltásáért (Redshaw és Follett 1972). Az E2-nek továbbá szerepe van a kalcium-anyagcserében, így a tojáshéj kialakulásában, valamint részt vesz az egyes tojásfehérjék (pl.: ovalbumin, ovomucoid stb.) képződésében is (Moran 1987; Etches 1990). A tesztoszteron (T) a kis és a nagy tüszők theca és granulosa sejtjeiben egyaránt termelődnek. A T plazma koncentrációjának legmagasabb értékei az ovuláció előtti 6-8 órában mérhetők (Whittow 1998). A T részt vesz az ovoalbumin és ovomucoid génexpressziójában, továbbá hozzájárul a másodlagos nemi jellegek kialakulásához (Compere et al. 2008).

2.2.3. A madarak cirkadián és cirkannuális ritmusának szabályozása

A Földön szinte minden szervezetben kialakultak belső molekuláris „biológiai órák”, melyek segítségével tudnak az élőlények alkalmazkodni a környezet ritmikus változásaihoz. Ezek a ritmikus ciklusok főként a nappal és éjszaka, illetve a Hold és az évszakok változását jelentik. Ez a belső „biológiai óra” autonóm módon megközelítőleg 24 órás ciklusban működik (Bell-Pedersen et al. 2005; Saini et al. 2019), és számos biológiai folyamatra hatással van (Falcón et al. 2020). Ezeknek a belső rendszereknek a működésében kulcsszerepet játszik a melatonin, mint neurotranszmitter az agy különböző területei között (Bédécarrats et al. 2016; Soni et al. 2021).

A viselkedés és a fiziológia neuroendokrin szabályozásához szükséges kulcsfontosságú géneket a melatonin szekréció szezonális változásai szabályozzák. A melatonin receptorok olyan agyi régiókban lokalizálódnak, melyek számos a kognitív és homeosztatisz folyamatokban vesznek részt (Stevenson et al. 2015).

A cirkadián ritmus elemzéséhez a plazma melatonin koncentrációt és az ún. „óra gén” (cClock, cBmal1, cBmal2, cCry1, cCry2, cPer2, cPer3) expresszióját mérték a májban (Liu et al. 2019). Fehér színű LED világítás hatására az összes „óra gén” expressziója cirkadián ritmust mutatott a májban, a plazma melatonin szintjének oszcillációjával együtt. A fehér fényhez képest a zöld fény fokozta a melatonin és az egyes „óra gének” expressziójának cirkadián középértékét (mesor – számított érték) és az amplitúdóját. Ezzel szemben a vörös LED fény ellentétes hatást fejtett ki. A monokromatikus fénycsoportok között azonban nem voltak jelentős különbségek, így arra lehet következtetni, hogy a melatonin kulcsfontosságú szerepet játszik a csirke májában mért „óra gének” ritmusának szabályozásában (Liu et al. 2019).

A pulykák tobozmirigyében és retinájában vizsgálták a fotoperiódus hatásait a melatonin tartalomra. A vizsgálatokat három fényperiódus szerint végezték, hosszú (16 óra világos, 8 óra sötét), egyenlő (12 óra világos, 12 óra sötét) és rövid (8 óra világos, 16 óra sötét) fotoperiódus. A tobozmirigy, a retina és a vérplazma melatonin koncentrációja sötét periódusban magas értékeket ért el. A sötét fázisok hosszára reagálva a legmagasabb szintet a rövid fényperiódus alatt produkálta (Zawilska et al. 2007). Baso et al. (2023) négy csoportban vizsgált rövid (8 óra világos, 16 óra sötét és 1mg/kg MEL) és hosszú (16 óra világos, 8 óra sötét és 1 mg/kg MEL) fényperiódusban MEL kiegészítéssel és anélkül hímivarú gyöngytyúk ivarszerv morfológiáját. A vizsgálatból arra a következtetésre jutottak, hogy a melatonin fontos szerepet játszik a szaporodási szezonális szabályozásában.

Más, különböző hullámhosszú, fehér, vörös, zöld, illetve kék fényenél vizsgálták a tobozmirigy cirkadián expresszióját és a tobozmirigy melatonin szintjét a vérplazmában. A vizsgálatok azt mutatták, hogy az összes „óra gén” expressziójában megmaradt a cirkadián ritmus a különböző hullámhosszúságú fény hatására (Jiang et al. 2016). A fent leírt cirkannuális (éves) ritmust azonban az egyenlítő környékén élő madaraknál nem a fény vezérli. Ez azért van, mert ott az év során nem változik jelentős mértékben a megvilágítás erőssége és annak hossza. Az ott élő madarak cirkannuális ritmusát emiatt egyéb tényezők befolyásolják, így például a száraz és esős évszakok váltakozása, a táplálék bősége (Gwinner 1996; Eberhard, 2003).

A vándorló madarak vonulásánál az indulás időzítésében játszik fontos szerepet a fény (Gwinner 1996). A madaraknak jól kell időzíteniük, hiszen megfelelő helyen megfelelő időben kell lenniük ahhoz, hogy életben maradjanak. Éves ciklust követve vonulnak, amit a napok világos óráinak hossza határoz meg. Ezt a madarak a fotoreceptorok segítségével érzékelik. A madaraknak három fotoreceptor rendszere van, amelyen keresztül a fény kifejti hatását endokrin rendszerükre. Ezek a tobozmirigy fotoreceptor sejtjei, a szem retinája és az agy mély fotoreceptor sejtjei (Péczely, 2013). Ezt nevezzük nem képalkotó látásnak (non-image forming), amelyről korábban már említést tettem.

Ahogy az őszi nap-éj egyenlőség után a nappalok hossza folyamatosan rövidül ezt a madarak is érzékelik és ennek hatására hormonális változások indulnak el a szervezetükben. Ezek a hormonális változások indítják el a madarak tollváltását, vagyis a vedlést, illetve ezek hatására kezdenek a madarak zsírdeponálásba, amivel a vándorlás okozta extra igénybevétel energia igényét biztosítják. Ennek a hyperfágiás lipid szintézisnek két összetevője van:

1. Az orexigén rendszer, mely a táplálék felvételt indukálja.

2. Az aneroxigén rendszer, amely a táplálék elutasításáért felel, így megakadályozza a túlzott elzsírosodást (Fonyó, 2011).

A többlet táplálóanyag felvétel hatására a madár elzsírosodása következik be. Ennek elsősorban a vérplazma glukagon szintje a függvénye (Albert és Donald 1964). A megváltozott hormonszint és a többletsúly idézi elő madarakban a vonulási nyugtalanságot. A vonulási nyugtalanságra jellemző, hogy míg a madarak nappali életritmusa megmarad (táplálékkeresés, szociális viselkedési formák gyakorlása), addig az esti órákban a pihenés helyett fokozott aktivitás figyelhető meg (Péczely 2013). A pontos indulás napját főként az időjárás viszonyok határozzák meg, kedvezőtlen időjárás esetén nem indulnak útnak.

Azt, hogy a világos órák hossza befolyásolja a vonulást kísérlettel is alátámasztották. Vonuló vadmadarat fogságban tartottak és mesterséges fényprogramot alkalmazva világítottak számukra. Amikor elkezdtek csökkenteni a világos órák számát bizonyos szint után megfigyelhetővé vált a zsírdeponálás a vedlés majd a vonulási nyugtalanság (a madár idegesebb természetű és mindig a vonulási irányba mozdulna). Fényprogram segítségével szimulálva a vonulásra készítő naphosszt, seregélyeket egy év alatt nyolc alkalommal is sikerült vedlésre bírni (Jonathan 1996).

2.2.4. A megvilágítás időtartamának befolyásoló hatása baromfi tartási rendszerekben

A fény hosszának erős stimuláló hatása van, kulcsszerepet játszik a szaporodási ciklus beindításában. A tojástermelés stimulálásában betöltött szerepére csupán az 1900-as évek táján jöttek rá. Az első tanulmányok az 1900-as évek elejéről származnak, amelyek első sorban a világítás hosszának a tojástermelésre gyakorolt hatásával foglalkoznak. Első leírások közt szerepel Shoup (1918) 1912-es kísérlete, miszerint igyekezett az őszi időszakban biztosítani az állomány számára a tavaszi feltételeket, beleértve a megvilágított órák számának növelését lámpások segítségével. Későbbiekben megállapításra került több szerző részéről is, hogy a 24 órás ciklust tekintve legalább 12 órás vagy hosszabb megvilágítást kell biztosítani a madarak számára, a termelés fenntartása érdekében (Byerly és Moore 1941; Dobie et al. 1946; Wilson et al. 1956). Bowman és Archibald (1959) azt is leírja, hogy a kulcs nem csupán a fotostimulálásban, hanem annak változásában van. Ennek értelmében a folyamatos 24 órás megvilágításnak nincs további stimuláló hatása, a madarak érzéketlenné válnak a fényre, amit fotorefrakter állapotnak nevezünk (Saldanha et al. 1994).

Wang et al. (2009) leírja, hogy ludakban a természetes megvilágítás mesterségesen kiegészítve és növelve a megvilágított órák számát előrébb tudták hozni a tojástermelési időszak megkezdését, ami fennmaradt a természetes termelési időszak alatt is, így a kiegészítő fényprogramban részesülő kísérleti csoport szignifikánsan több tojást termelt egy ciklus alatt. Nevelés alatt és termelési időszakban fotostimulációban részesülő kacsák testtömeggyarapodása és a tojásmínősége kedvezőbben alakult, mint az egész nevelési és termelési időn keresztül folyamatos megvilágításban (24 óra) részesülő egyedeké. A nevelés alatt 9 óra megvilágítást biztosítottak a kísérleti állománynak, míg a termelési időszakban 18 órára emelték a megvilágított órák számát 24 órás ciklusban (Oluwagbenga et al. 2025).

Tojótyúkokban a különböző hosszúságú világítási programok (12, 14, 16 óra megvilágított időszak napi ciklusban) és ezek szakaszosan megvilágított változataikat (12 világos: 2 sötét – 4 világos: 6 sötét; 10 világos: 2 sötét – 4 világos: 8 sötét; 8 világos: 4 sötét –

4 világos: 8 sötét) hasonlították össze folyamatos (24 óra) megvilágítással, termelési paramétereket vizsgálva. A szakaszos és folyamatos megvilágítás nem befolyásolta a tojástermelést, azonban a 12 órás világos periódus mellett szignifikánsan magasabb lett a takarmányfelvétel. A tojástömeg és a tojásra vetített takarmány-értékesítés azonban a folyamatos megvilágításban részesülő csoportokban alakult kedvezőbben (Geng et al. 2018).

A megvilágítás hossza és a megvilágított órák eloszlása 24 órás cikluson belül nem csak szaporodási mutatókra lehet hatással. Rodrigues et al. (2018) a gyakorlatban használt 18 h világos és 6 h sötét (folyamatos) periódus helyett 1 h világos 3 h sötét ciklust felváltva (szakaszos), a 24 órás napi ciklus végén pedig 2 h világos és 6 h sötét ciklussal befejezve a világítási programot, az találták, hogy a nekrotikus enteritisz negatív hatásai mérséklődtek. Hasonlóképpen ebben a kísérletben vizsgálták a sötét periódusra eső takarmányfelvételt, ahol beigazolódott, hogy a szakaszos megvilágítás sötét ciklusaiban számottevő takarmányfogyasztás történik (Rodrigues és Choct 2019). Carla et al. (2015) kimutatták, hogy több mint 20 órás megvilágítás növelte a csontváz rendellenességeinek előfordulását brojlersirkékben. A nevelés első 4 napjában vizsgálták a megvilágítás sípcsontra és combcsontra gyakorolt hatását, 24 órás megvilágításban (kontroll csoport), illetve kétféle fényprogrammal (2 óra világos : 1 óra sötét; 2 óra világos : 6 óra sötét), napkelte-napnyugta szimulációval és anélkül. 24 órás megvilágításnál a sípcsont (*tibiotarsus*) és a combcsont (*femur*) fejlődés erőteljesebb volt, mindkét esetben a legnagyobb átmérőt érték el. Szintén 24 órás megvilágítás mellett a sípcsont és a combcsont hosszának relatív aszimmetriája szignifikánsan nagyobb lett, ami utalhat a fejlődés instabilitására. A fényprogramok alkalmazásakor a vizsgált csontok hosszának az aszimmetriája kisebbnek bizonyult, napkelte-napnyugta szimulációval pedig további csökkenést figyeltek meg az aszimmetriában. Manfio et al. (2019) szintén megerősítették, hogy lehetőség van a folyamatos világítási programot szakaszos megvilágításra cserélni, a termelési mutatók romlása nélkül.

2.2.5. A megvilágítás erősségének hatása baromfi tartási rendszerekben

A fény erősségének is hatása van az élőlényekre. Minél nagyobb a fényáram mennyisége annál világosabbnak érzékeljük a környezetünket. A felületet érő fényáram a megvilágítás fogalmával adható meg, melynek az egysége a lux (lx). Egy lux = egy lumen/egy m² egységben is kifejezhető (lumen: fényáram mértékegysége, amely a fényforrás által kibocsájtott látható fény mértéke) (Majoros 1998; Lantos és Vidovszky 2010).

Chang et al. (2016a) fiatal ludak termelési és reprodukciós paramétereit mérték 40, 170, 300 és 430 lux fényintenzitású csoportban. Arra jutottak, hogy a 170 lux fényintenzitás alatt tartott madarak tojásainak a keltethetősége szignifikánsan jobb eredményt ért el, mint a 40 lux fényintenzitásban tartott ludaké, illetve a tojás tömege nagyobb volt a 170 és 430 lux-os csoportban a 40 lux-hoz képest.

Ma et al. (2016) megállapították, hogy a tojótyúkók a 30 lux vagy annál kisebb fényintenzitást kedvelik a 100 luxhoz képest. Ha szabadon választhatnak, idejük nagy részét alacsonyabb megvilágítási szinteken töltik (5 lux - 45,4%; 15 lux - 22,2%; 30 lux - 22,1%), míg magasabb fényintenzitáson (100 lux - 10,4%) kevesebb időt töltenek fénycsöves megvilágítás mellett. Renema et al. (2001) 1, 5, 50 és 500 lx fényintenzitás mellett tartottak eltérő típusú tojótyúkókat. A termelésre negatívan hatott az 1 és az 500 lx fényintenzitás az 5 és 50 lx-hoz

képest. A két szélsőséges esetben a termelési intenzitás, a tojás tömege és a héjvastagsága is csökkent.

Edgar (2019) azt találta, hogy 10 lux alatti fényintenzitás és 4-6 órás sötét periódus mellett kedvezőbben alakult a csirkék takarmány-értékesítése. Ez valószínűleg a lassabb takarmányfelvétel miatt van, így több idő jut az emésztésre, vagyis jobb lesz az emésztés hatásfoka.

2.2.6. A fény színének befolyásoló hatása baromfi tartási rendszerekben

A emberi látás az elektromágneses hullámok (spektrum) egy igen kis tartományát képes érzékelni, melyet a „látható fény” tartományának nevezünk, mértékegységét általában nanométerben (nm) adjuk meg. Ez a tartomány 380 és 700 nm közötti érték, mely felbontható további szűkebb egységekre, annak függvényében, hogy a szemünk melyik tartományban milyen szintet érzékel. Minden színtartomány más és más hatást gyakorolhat az adott előlényre, ebből kifolyólag már többen kísérleteztek monokromatikus (egy színtartomány), polikromatikus (több színtartományból álló) vagy akromatikus (teljes színtartományt tartalmazó így „fehér”-nek látszó) megvilágítással (Neitz et al. 2011; Jacobs 2018).

Takarmány-értékesítésében kedvezőbb ($p=0,002$) eredményeket értek el pecsenyecsirkékben kék, zöld, illetve kék és zöld kevert fényű LED világítással, mint hagyományos fénycsöves megvilágítással (Yang et al. 2016a). Zhang et al. (2014) szintén a zöld és kék monokromatikus fény kombinációja esetén írták le, hogy az javíthatja a brojler stresszreakcióját és immunfunkcióját.

Classen (2003) leírja, hogy a rövid hullámhosszú fények (kék és zöld) intenzívebb tömeggyarapodást eredményeznek, míg a hosszú hullámhosszú fények (narancs és piros) a szexuális érést gyorsítják. Hasonlóan számolt be Jiang et al. (2012) és Kim et al. (2012) a kék és a zöld fény hatásairól a brojlercsirke növekedésére.

A zöld fényhatás ludaknál is kedvezőbb testtömeg-gyarapodást eredményezett mely a 70. életnapra szignifikáns ($p<0,05$) eltérést eredményezett (fehér: 4686,8g, zöld: 4882,6g, kék: 4637,5g, piros: 4662,9g) (Xu et al. 2025). Sultana et al. (2013 b) vizsgálatukban azt találták kacsáknál, hogy a kék és a zöld LED fény csökkentette a vizsgált madarak mozgásmennyiségét (nőtt az üléssel töltött idő, környező tárgyak csipegetése csökkent és a társas interakciók is csökkentek), ami magyarázat lehet az előzőekben leírt kedvezőbb takarmány-értékesítésre és nagyobb vágáskori testtömegre kék és zöld LED fény megvilágítás mellett. Zhang et al. (2016) leírták, hogy a zöld fény növeli a növekedési hormon releasing hormonjának (GHRH) mennyiségét a hipotalamuszban és a plazma növekedési hormon koncentrációját a különböző hullámhosszú LED-nek kitett brojlerekben, ami további lehetséges magyarázata lehet a nagyobb testtömeg és a kedvezőbb takarmány-értékesítés elérésének. Seo et al. (2016) arról számoltak be, hogy az immunválasz növekedése csökkentheti a betegségek kockázatát és a madarak nevelési költségeit, ami az alacsonyabb elhullásban mutatkozik meg. Arra a következtetésre jutottak, hogy a brojler immunfunkciója javítható a termelés későbbi szakaszában rövidebb hullámhosszú LED-ek, vagyis a kék LED megvilágítás használatával.

Mahdi et al. (2019) különböző színű (fehér, kék, zöld) fény és azok kombinációját (összesen 9 kezelés) vizsgálták a nevelési időszak alatt (6 hét). Az indító (1-14 nap), a nevelő (15-28 nap), és a befejező (29-42 nap) szakaszban más sorrendben alkalmazták a különböző színű megvilágításokat 10 lx erősséggel. A fehér-zöld-kék kezelés hatására lett a nevelés végére

legnagyobb a tömegük és legjobb a takarmány-értékesítésük, míg a teljes nevelési időszak alatt kék fényvel megvilágított csirkék testtömege lett a legkisebb a nevelési időszak végére. A kék-fehér-zöld szakaszos megvilágítási mintázat eredményezte viszont a legnagyobb heterofil limfocita arányt. A nevelési idő egésze alatt a fehér fény alkalmazása fokozta leginkább az immunválasz-készséget.

Bobadilla-Mendez et al. (2016) japán fürjeket vizsgáltak, hogyan hatnak a különböző fényforrások a madarak reprodukív anatómiai és fiziológiai jellemzőire. Három különböző típusú világítótestet alkalmaztak: izzót (400-1100 nm), kompakt fénycsövet (380-770 nm) és LEDet. LED fényből fehér (400-760 nm), kék (435-500 nm), zöld (500-565) és piros (630-700) színt is alkalmaztak. A világítási program minden kísérleti csoportnál azonos volt, az első héten 23 óra világos : 1 óra sötét, a második és ötödik hét között 10 óra világos : 14 óra sötét, majd a kísérlet végéig 17 óra világos : 7 óra sötét időszakot alkalmaztak. A madarakat 4., 8. és 12. hetes korokban vizsgálták. A fehér LED megvilágításban egy héttel korábban következett be az ivarérettség, nagyobb volt az élőtömeg (166,5 g; $p < 0,01$) és a relatív petefészek tömege (4,15 %; $p < 0,01$), a és a petevezeték (4,77 %; $p < 0,01$) relatív százalékos aránya 8 hetes korban. A fehér LED alatt az ösztrogén (181,4 pg/ml; $p = 0,04$) és az összes koleszterin (478,7 mg/dl; $p < 0,01$) magasabb plazmakoncentrációját is megfigyelték 8 hetes korban. 12 hetes korban a magnum (redők magassága 1841 μm ; $p = 0,01$) és az iszthmusz (epitélium sejtek magassága 17,06 μm ; $p < 0,01$) erőteljesebb növekedést mutatott piros LED-el megvilágított csoportban. A fehér LED-el végrehajtott fotostimuláció hatékonyabban aktiválta a szaporodási ciklust, felgyorsította szexuális érettség kialakulását és fokozta a reprodukív szervek fejlődését.

Zhu H.X. et al. (2019) többféle színű fény (fehér, piros, kék, zöld) hatását tanulmányozták Yangzhou ludak reprodukív mutatóit vizsgálva. Fehér és vörös fényvel megvilágított ludak csúcstermelése magasabb volt (fehér: 49,56 db tojás/madár, $p < 0,05$; vörös: 47,18 db tojás/madár, $p < 0,05$), továbbá jobbnak bizonyult a megtojó tojások termékenység aránya (fehér: 91,32 %, $p < 0,05$; vörös: 94,49 %, $p < 0,05$) és a kelési százalék is (fehér: 87,68 %, $p < 0,05$; vörös: 91,33 %, $p < 0,05$), mint azoknál a madaroknál, amelyeket kék vagy a zöld fényvel világítottak meg. Ezzel párhuzamosan megfigyelhető volt, hogy fehér és vörös fényben a kezelés első szakaszában a hipotalamusz OPN5, Dio2, c-Fos, és GnRH-I mRNS értékei magasabbak szintet mutattak ($p < 0,05$), mint kék és zöld fényvel megvilágított egyedeké. Fehér és vörös fény hatására a gonadotrop inhibitor hormon (GnIH), a vazóaktív intesztinális peptid (VIP) ($p < 0,05$) és a prolaktin (PRL) mRNS ($p < 0,05$) szintje is nagyobb volt. Ezeknek köszönhetően napi 11 óra megvilágítás mellett jobb tojástermelési eredményeket produkáltak a fehér és vörös fényvel megvilágított madarak.

Yang et al. (2018) metaanalízist végeztek, melyben számos tanulmány eredményeit vetették össze eltérő megvilágítási színek hatását vizsgálva (fehér fény, kék LED, zöld LED, sárga LED, piros LED, kombinált zöld majd kék LED, kombinált kék majd zöld LED és a kék és zöld LED egyidejűleg alkalmazva). A szerzők a metaanalízis eredményeképpen a kritikus hullámhossz tartományt 600 nm-nél határozta meg, miszerint a rövidebb hullámhossz (<600 nm) pozitív hatást gyakorol a súlygyarapodásra, míg a hosszabb hullámhossz (>600 nm) nincs hatással a növekedésre. A kék LED fényben a madarak vágáskori élőtömege 10,66%-kal ($p < 0,001$), a zöld LED fényben 6,27%-kal ($p < 0,001$) nőtt a fehér fényhez képest (Yang et al. 2018).

Liu et al. (2010) 21 napos brojlereken zöld és kék LED fényben (zöld: 650,33g, kék:645,92g) kedvezőbb ($p<0,05$) élőtömeget értek el, mint fehér és piros LED fényben (fehér: 608,31g, piros: 585,34g).

Soliman és Hassan (2019) vizsgálatában a kék LED fény (1749 g)) jelentősen ($p<0,05$) javította a hasított test tömegét piros (1007 g) és fehér (1418 g) LED lámpákhoz képest.

Ezt alátámasztja Cao et al. (2008) korábbi vizsgálata, ahol a kék LED-ben nevelt madarak kedvezőbb ($p<0,05$) hasított test, mell és comb kihozatalt mértek összehasonlítva fehér, zöld és piros LED fényekkel (hasított test (g): fehér 1998,8 , piros 1924,1 , zöld 2121,2, kék 2340,5; mell (g): fehér 424,6, piros 411,4, zöld 453,6, kék 514,1; comb (g): fehér 116,2, piros 112,5, zöld 126,1, kék 135,28). A kék fény kedvezőbb kihozatali értékeit Ke et al. (2011) a teljes antioxidáns kapacitás megnövekedett ($p<0,05$) értékével hozzák összefüggésbe (teljes antioxidáns kapacitás (U/mg of protein): fehér 1,14, piros 1,02, zöld 1,31, kék 1,65).

Kim et al. (2013) szerint a fehér LED-fény pozitívan hat a csirkehús egyes minőségi paramétereire, csökkenti ($p<0,0,1$) a nyíróerő értékét (fehér: 1,76 kg/cm², piros: 2,09 kg/cm², zöld: 2,15 kg/cm², sárga: 2,45 kg/cm², izzó megvilágítás: 2,33 kg/cm²), továbbá a csoportok között a teljes fehérje tartalomban nem volt számottevő eltérés, azonban a mellizomzat esszenciális aminosav tartalma magasabb lett ($p<0,01$) a fehér LED fényénél (fehér: 10,40%, kék: 10,11%, piros: 9,83%, zöld: 9,85%, sárga: 9,81%, izzó megvilágítás: 10,06%).

2.3.A baromfi tartási rendszerekben leggyakrabban használt fényforrások típusai

Az elmúlt két évtizedben a világítástechnika jelentős fejlődésen ment keresztül. Az állattartásban jellemzően használt három típus a wolframszálas izzólámpák, a fénycsővek és a LED világítótestek. A hagyományos izzólámpák használata az energiahatékonyság és az energiahatékonysági előírások (EU Directive 2009/125/EC) miatt visszaesett. A fénycsővek az izzók energiatakarékos alternatívái voltak, mai napig számos állattartó alkalmazza ezt a megoldást. A higanytartalom csökkentése és további gazdasági megfontolásokból azonban visszaszorulóban van ez a technológia is. Manapság egyre nagyobb teret hódít a LED világítás, melyek relatív magasabb bekerülési költségük ellenére, a hosszú élettartamuknak köszönhetően gyorsan megtérülnek. Emellett változtatható spektrumtartománya, dimmerelhetősége, rugalmas kialakíthatóság, telepírányítási rendszerbe való kiváló integrálhatósága és egyre javuló energiahatékonyságuknak köszönhetően egyre több állattartó telep választja a LED-et megvilágítási forrásként (Montoya et al. 2017; Verhaar 2017; Skata és Siqueira 2023).

Az **izzólámpák** a hőmérsékleti sugárzók közé tartoznak. A nemesgázzal töltött búrában az egyszeres vagy kétszeres volfrám szálát elektromos árammal hevítenek. A felvett teljesítmény 70%-a hővé alakul, a fény pedig csupán 2%-a ennek a felvett teljesítménynek, amiből következően 20 lm/W a fényhasznosítás. Színvisszaadása kiváló, színhőmérséklete meleg fehér fényű (2700 K). Névleges élettartamuk 1000 óra. Beruházási költsége a legkisebb, üzemeltetési költsége viszont jelentős, energiahatékonyság szempontjából nem gazdaságos (Lantos és Vidovszky 2010; Karlen et al. 2017).

A **fénycsőveknél** egy gázközegben létrehozott elektromos kisülés kelti a fénysugárzást. A fénycsővek hasonlóak a higanygőz lámpákhoz, a csőben van némi higany, aminek főként a

gőzében jönnek létre a gázkisülési jelenségek, UV sugárzást eredményezve. Ezt az ibolyán túli, ember számára láthatatlan sugárzást a cső falán lévő fluoreszcens anyag alakítja át számunkra is látható fénné. A cső falán alkalmazott fényporoknak a keveréke határozza meg a fénycső által kibocsájtott fény színhőmérsékletét (K). A fénycső viszont magában nem képes üzemelni, segédberendezés (gyújtó) kell hozzá, ami a gázkisülés megindításához szükséges. A fénycső körülbelül a felvett energia negyed részét alakítja látható fénné. Ez azt jelenti, hogy a hagyományos izzókhöz képest lényegesen jobb hatásfokkal működik, energiahatékonyabb. Élettartamuk 7500 és 15000 óra között mozog, ami sokszorosa az izzónak. Az izzóhoz képest a bekerülési költsége magasabb, viszont a jó fényhasznosítás és viszonylag hosszú élettartamának köszönhetően üzemeltetési költsége kicsi (Majoros 1998; Karlen és Benya 2004).

A **LED** elnevezés egy mozaikszó, az angol Light Emitting Diode szóból származik. A LED-ek a lumineszcens sugárzó fényforrások közé tartoznak. A fényforrások családjának legfiatalabb tagjai, amik már az állattenyésztésben is egyre nagyobb szerepet töltenek be (Földes 2013). Nem szükséges gázközeg a fénykibocsájtáshoz, ami úgy jön létre, hogy a diódák atomjainak az elektromos áram többlet energiát ad, így az atomok magasabb energiapályára lépnek. Ez az állapot azonban nem stabil, így visszalépnek az atomok egy alacsonyabb energiaszintű pályára, miközben fotonokat bocsájtanak ki a többletenergia következtében. Ezzel a technológiával a LED, a felvett energia szinte egészét látható fénné alakítja, tehát nagyon költséghatékony megoldás. Mivel a diódák alacsony áramerősséget és feszültséget igényelnek, kevésbé melegszenek fel, így jelentősen nagyobb lesz az élettartamuk, ami elérheti az 50 000 órát. Ez a hagyományos izzólámpák ötvenszerese. A félvezető anyag összetételétől függ, hogy a LED milyen színű fényt bocsájt ki. Lényegében bármilyen színhőmérsékletű LED-et képesek előállítani, olyat is, aminek állítható a fényszíne. Összességében elmondható, hogy bár a bekerülési költsége magasabb, mint az izzóké, de energiahatékonyágának és nem különben hosszú élettartamának köszönhetően a legköltséghatékonyabb fényforrás (Mottier 2009; Bessho és Shimizu 2011; Khang et al. 2015; Bispo-Jr et al. 2021).

2.4.Eltérő megvilágítások hatásai a madarakra

A fény az élő szervezetek számára az egyik legfontosabb tényező. A madarak esetében a fény szerepe még hangsúlyosabb, mint az emlősöknél (Gregori et al. 2008; Chemineau et al. 2007). Számos tanulmány bizonyította, hogy az ideális megvilágítás nagymértékben befolyásolja az élettani és termelési paramétereket is (Hajrasouliha et al. 2012; Parvin et al. 2014; Riber 2015; De és Lara 2016).

A legtöbb fénnel kapcsolatos kísérletet annak időtartamával és intenzitásával kapcsolatban végezték (Olanrewaju et al. 2013; Farghly és Makled 2015; Farghly et al. 2019), azonban nem ezek az egyetlen fontos paraméterek a nevelés vagy a tenyésztés során. A világítás jellemzői, mint például a hullámhossz, az intenzitás és az időtartam, jelentősen befolyásolják a baromfi fejlődését, viselkedését és jólétét (Perry 2003; Lewis 2010; Olanrewaju et al. 2006; Capar és Onbasilar 2018). A különböző világítási típusok, vagy azok valamely paraméterének megváltoztatása, kombinálása, más-más hatást válthat ki.

2.4.1. Eltérő megvilágítások hatásainak feltérképezése a pecsenyecsirkék termelésében

A baromfiágazaton belül a legjelentősebb mennyiségű húst pecsenyecsirkékkel állítjuk elő (KSH 2015), így a hizlalásuknál alkalmazott világítás, bármely paraméterének megváltoztatása hatással lehet anyagcseréjükre, takarmány-értékesítésükre és viselkedésükre, ami végső soron befolyásolja a termelési mutatókat.

Jesse és Gregory (2015) Cobb csirkéken (n=360) vizsgálták kompakt fénycső és kétféle LED (NextGen LED, Once LED) világítás hatásait. Eredményeik azt mutatják, hogy a LED megvilágítások alkalmazásával kedvezőbben alakultak az állatjóléti mutatók, mint a tollazat minősége, félelemtesztben adott reakciók („latency to right” idő rövidebb volt) vagy az egészségesebb csánk (*tarsometatarsus*). Emellett a mindkét LED-es csoport kedvezőbb takarmány-értékesítést ($p<0,05$) ért el. A Once LED kezelésnél alacsonyabb asszimetriát, heterofil limfocita arányt és plazma kortikoszteron szintet figyeltek meg a fénycsőhöz képest ($p<0,05$). A LED-ek eredményei között is volt különbség, amit feltehetően a spektrális különbségek idéztek elő.

Hasonlóképpen kedvezőbb takarmány-értékesítési eredményeket ért el Mendes et al. (2013) fehér LED fény alatt hímivarú brojlerekben, összehasonlítva a kompakt fénycsöves megvilágítással. A vizsgálatot csoportonként három ismétlésben végezték el, ahol a megvilágítás erőssége az első héten 20 lux volt, majd a nevelés további időtartamára 5 lux-ra csökkentették.

A látható fénytartományon kívül eső hullámhosszok közül a távoli vörös fénytartománnyal Son (2015) végzett vizsgálatot Ross és Hyline keresztezett állományon. Fehér és zöld fényt egészített ki távoli vörös fénytartománnyal, napi 20 óra világos: 4 óra sötét periódust alkalmazva. A négy kísérleti csoportot két ismétlésben vizsgálta. Leírta, hogy a testtömeg-gyarapodás és a takarmány-értékesítés kedvezőbben alakult a zöld megvilágításnál, amit a távoli vörös kiegészítés mind a zöld, mind a fehér fény esetében tovább növelt.

Többen vizsgálták az ultraibolya (UV) fénnel kiegészített világítás hatásait brojlercsirkéken.

James et al. (2018; 2020) mindkét kutatásában leírja, hogy az ultraibolya fény (UVA, UVB) alkalmazása a nevelési időszak alatt kedvező hatást gyakorolt a csirkék jóllétére, alacsonyabb stresszhatás éri őket, mindemellett kedvezőbb testtömeg-gyarapodást képesek elérni. Vizsgálatukban UVA, UVA+B és UV kiegészítés nélküli három kísérleti csoportot hoztak létre, csoportonként kétféle ismétlést alkalmaztak (n=106). Az UVA kezelésben szignifikánsan ($p=0,031$) jobb volt a tollazatuk a csirkéknek a kontroll csoporttal összehasonlítva. Mindkét UV kiegészítést kapó csoport mozgása intenzívebb volt ($p<0,001$) a kontroll csoporthoz képest, ami pozitív értékelendő állatjóléti szempontból.

Hossein és Mojtaba (2017) is különböző megvilágítások, más-más színhőmérsékletek hatásait vizsgálták brojlercsirkékben. Semleges-fehér LED (4286 Kelvin; K), meleg fehér LED (2990 K) és hagyományos izzó (2790 K) megvilágítást alkalmaztak 42 napos korig. A vizsgálatok a testtömegben, a takarmányfogyasztásban és a takarmány-értékesítésben nem mutattak különbséget. Mérték a humorális immunitás mutatóit 26 és 34 napos korban. A madárinfluenza vakcina által kiváltott antitest válaszra, a bőr bazofil hiper-szenzitivitására, a teljes leukocita számra és a limfociták számára sem volt szignifikáns hatása a három eltérő világításban tartott madaraknál. A baromfipestis elleni vakcina antitest titerre a semleges-fehér

LED fényben szignifikánsan alacsonyabb értéket mutatott, mint a meleg fehér LED és izzós csoportban. A szerzők arra a következtetésre jutottak, hogy a meleg fehér fény kedvezően befolyásolja az immunrendszer működését.

Pan et al. (2025) hideg fehér, meleg fehér és piros LED világítást vizsgáltak brojleren. A termelési paraméterekben, mint a testtömeg-gyarapodásban (63. nap $p=0,63$; 77. nap $p=0,58$) és takarmány-értékesítésben (49-63 nap között $p=0,52$; 63-77. nap között $p=0,45$) nem volt különbség a csoportok között. 8 hetes korban a hideg fehér fényben többet mozogtak ($p<0,001$), a meleg fehér fényben pedig kisebb volt a tollcsipkedés az állományban, ami jóléti mutatók szempontjából előnyös.

Az eltérő fényforrások hatással vannak a hús minőségi változásaira is, melyeket jellemzően csirkéken vizsgáltak.

Bennato et al. (2021) munkájukban megállapították, hogy az általuk alkalmazott fényforrások brojlerszirkénél (fénycső (kontroll), meleg fehér LED (2500-3000 K), semleges fehér LED (3500-3700 K), hideg fehér LED (5500-6000K)) nem befolyásolták a kitermelési %-ot, a mellizomzat főzési veszteségét, a pH₂₄ értékét és a zsírtartalmát. A meleg fehér LED (3,22 kg) a fénycső (3,53 kg) világításhoz képest jelentősen ($p<0,05$) csökkentette az élőtömeget, a mellizomzat színének L^* értékeit a meleg fehér LED csoportban lett a legalacsonyabb ($p<0,05$), vagyis legsötétebb az összes többi csoporttal összehasonlítva. A semleges (1,22%) és a hideg (1,10%) LED fény jelentősen ($p<0,05$) növelte a csepegési veszteséget a fénycsővel (0,90%) megvilágított csoporthoz képest.

Colapietro et al. (2022) hasonló vizsgálatában szintén csirkéken vizsgálták fénycső (kontroll) meleg fehér LED (2500-3000 K), semleges fehér LED (3300-3700 K) és hideg fehér LED (5500-6000K) hatásait. A mellizomzat nedvesség-, zsír- és a szárazanyag- tartalmában nem volt különbség, azonban a semleges LED csoportban (12,79%) a főzési veszteség szignifikánsan magasabb ($p<0,05$) volt a többi csoporthoz képest (fénycső: 11,11%; hideg LED: 12,02%; meleg LED: 11,36%).

Izzó megvilágítást (1665,4 g) összehasonlítva csirkék 42 napos élőtömegére monokromatikus LED fényekkel (G-B (2050,2 g): zöld fény a nevelési idő első 3 hetében, majd kék fény a nevelés további részében, G-GB (1987 g): zöld fény a nevelési idő első 3 hetében, majd zöld és kék fény a nevelés további részében), megállapítható, hogy a zöld és kék fény nevelés alatti kombinációi kedvezően ($p<0,01$) hatnak a testtömeg gyarapodásra. Az izzóval megvilágított csoportban (pH: 5,7; főzési veszteség: 9,5 %) volt a mellnek a legalacsonyabb ($p<0,01$) pH szintje és legmagasabb ($p<0,01$) a főzési vesztesége a G-B (pH: 5,97; főzési veszteség: 3,97 %) és a G-GB (pH: 5,79; főzési veszteség: 6,57 %) monokromatikus LED-el megvilágított csoportokhoz képest (Karakaya et al. 2009).

2.4.2. Eltérő megvilágítások hatásainak feltérképezése a tojástermelő állományokban

A hízlalástól eltérően a tojástermelés esetén – legyen szó tyúkokról, vagy szülőpárokról – nem a növekedésre, hanem a reprodukcióra helyeződik a hangsúly, így a világítási paraméterek módosításával befolyásolható a tyúkok termelési teljesítménye és tojásmínősége.

Kai et al. (2018) kék LED és fehér fénycső megvilágítást alkalmaztak jércenevelés alatt, majd piros LED és fehér fénycsövet a tojástermelési fázisban Hy-Line W-36 tyúkoknál. Vizsgálták az ivarérettség elérésének idejét (50%-os termelési intenzitáskor) melyben nem volt

számottevő eltérés (N.S.), a tojástermelést, ahol a napi tojástermelési intenzitásban nem volt eltérés (N.S.) a két vizsgált csoport között. Továbbá vizsgálták a tojásminőséget, ahol 41 hetes korban a LED égővel megvilágított tyúkok tojáshéj-vastagsága ($p=0,01$) vékonyabb (mm) és a tojáshéj-szilárdsága ($p=0,03$) alacsonyabb (N) volt, mint fénycsőes megvilágítás esetén. A tojások sárgájának koleszterin (mg/g) és összkoleszterin (mg/db) tartalmában nem találtak eltérést (N.S.).

Azonban Long et al. (2016 a) szerint a fénycsőes megvilágításban magasabb volt az egy tyúkra jutó tojásszám (LED: 308 db, fénycső: 321 db, $p<0,05$) és kedvezőbb volt a takarmányértékesítés (LED: 2,03 kg/tojás kg, fénycső: 1,97 kg/tojás kg, $p<0,05$) mint a LED-el megvilágított csoportban. A tojás tömegében (N.S.) és elhullásban (N.S.) nem volt különbség a két csoport között, azonban a tyúkok tollazata rosszabb minőségű volt LED megvilágítás alatt.

A LED megvilágítás a tyúkok 27. élethetén magasabb tojásfehérje magasságot ($p<0,05$) és nagyobb tojásfehérje tömeget ($p<0,05$) eredményezett. A fénycső megvilágításban tartott 60. élethetes tyúkok tojásának az összkoleszterin (mg/db) tartalma magasabb volt (LED: 264,5 mg/db, fénycső: 289,2 mg/db, $p<0,05$). A 62 napos tojástartólási vizsgálat során nem találtak eltérést (N.S.) a két csoport vizsgált paramétereit (mint: tojástömeg, Haugh egység, sárgája és fehérje tömege) között (Long et al. 2016b).

Kamanili et al. (2015) tojótyúkokon végzett vizsgálatukban izzó, fénycső és fehér LED fényeket összehasonlítva, a tojásminőségi paraméterekben (héjvastagság, töréserő, Haugh egység), takarmányfogyasztásban, takarmányértékesítésben és tojástermelésben sem talált szignifikáns (N.S.) eltérést.

ISA Brown tyúkok tojásminőségét (albuminmagasság, Haugh egység) vizsgálva arra jutottak a szerzők, hogy nem befolyásolta az izzólámpás megvilágítás a kék, a sárga, a zöld vagy a fehér LED világításhoz képest a vizsgált paramétereket (N.S.) (Borille et al. 2013). A tojástermelési szintekben azonban volt számottevő különbség. A kék (89,14 %), a sárga (89,21 %) és a zöld (86,84 %) LED-el világított csoportoknál szignifikánsan alacsonyabb volt a tojástermelési intenzitás, mint vörös (91,25 %), fehér (91,95 %), vagy izzólámpa (91,58 %) alatt. Ez arra enged következtetni, hogy a termelésre ható eltérés nem a világítás típusában, hanem a fény hullámhosszában keresendő.

Ezt erősíti meg Li et al. (2014) vizsgálata miszerint a fehér (64,75 g) és vörös (65,47 g) fényben tartott tyúkok nagyobb méretű tojásokat termeltek, mint a kék (63,58 g) vagy zöld (63,62 g) fényben lévő társaik ($p<0,05$).

Hasonlóan a vörös fényben lévő tyúkok tojástermelési intenzitása ($p<0,05$) és tojáshéjvastagsága ($p<0,05$) kedvezőbben alakult, mint kék, fehér, vagy izzóval megvilágított fényben lévő társaiké (Min et al. 2012).

Számos szerző leírta, hogy a vörös fény kedvező hatást gyakorol a tojástermelésre (Min et al. 2012; Borille et al. 2013; Hubert-Eicher et al. 2013; Hassan et al. 2014; Baxter et al. 2014; Wang et al. 2015; Yang et al. 2016b).

2.4.3. Eltérő megvilágítások hatásainak feltérképezése a víziszárnyas fajokban

Meglehetősen kevés tanulmány foglalkozik a megvilágítás hatásának a víziszárnyasokra gyakorolt hatásával, annak ellenére, hogy a tyúkkalkatúakat követve ezekkel a fajokkal is meghatározó arányban termelünk (KSH 2015). Barber et al. (2006) szerint a spektrális

érzékenységük is eltér a többi baromfifajhoz képest, így különösen fontosak a témában végzett vizsgálatok.

House et al. (2020 b) LED és UV fényel kiegészített LED világítás hatását vizsgálták pekingi kacsák termelési és stresszérzékenységi paramétereit mérve. A termelési paraméterekben (testtömeg, takarmány-értékesítés) nem volt különbség (N.S.) a két csoport között. Az UV fényel kiegészített megvilágításban nevelt kacsáknak azonban alacsonyabb volt a vérplazma kortikoszteron szintje (LED: 9,24 pg/ml; UV+LED: 6,31 pg/ml, $p=0,024$) és a heterofil limfociták aránya (LED: 0,54; UV+LED: 0,43; $p=0,036$), mint a kontroll csoportban. A szerzők arra a következtetésre jutottak, hogy a pekingi kacsákban is csökkenti a stresszt az UV fény. Továbbá megfigyelték, hogy az UV fény hatására a kacsák szem-morfológiája is másképp alakult, könnyebb (LED: 1,53 g; UV+LED: 1,46 g, $p=0,025$) és keskenyebb (LED: 12,5 mm; UV+LED: 12,3 mm; $p=0,010$) lett a szemgolyó mérete, mint a kontroll csoportban mért értékek. (House et al., 2020b).

Tonissen et al. (2025) egy újfajta változó hullámhosszúságú (PAWS-Pulsed Alternating Wavelength System) LED technológiát vizsgáltak pekingi kacsákon. A kísérletükben használt LED technológiának a lényege, hogy több hullámhosszúságú fényt bocsájt ki pulzáló mintázatban a nevelés egész ideje alatt, míg kontroll világításnak 4500 K színhőmérsékletű fénycsövet alkalmaztak. Vizsgálatukban arra a következtetésre jutottak, hogy összességében a változó hullámhosszúságú LED nem befolyásolta negatívan a termelést, az állatjóllétet és a csontminőséget. A PAWS LED csoport élőtömege a 4. hétre szignifikánsan ($p<0,05$) nagyobb lett. Az állatok mért dopamin szintje arra utal, hogy ebben a típusú megvilágításban alacsonyabb a madarak agresszió szintje. A PAWS LED világításban lévő kacsáknak szignifikánsan ($p<0,0015$) növekedett dopaminszintet mértek a 29. életnapon.

2.5. A megvilágítás viselkedésre gyakorolt hatása és megfigyelésének a módszerei a baromfitartásban

2.5.1. A fény hatása a baromfik viselkedésére

A baromfi viselkedésében a legfontosabb szerepet látásuk tölti be, amely állatjólléti szempontból is fontos. Sophie et al. (2011) kísérletükben genetikailag látásképtelen (BEG homozigóta) leghorn típusú csibéket hasonlítottak össze egészséges látó (BEG heterozigóta) egyedekkel, hogy megvizsgálják a látás fontosságát. A BEG (Blindness Enlarged Globe) gén egy recesszíven öröklődő mutáció, mely vaktságot okoz (Inglehearn et al. 2004). A két kísérleti csoport között nem volt különbség a takarmány és ivóvíz felvételével töltött idő és az álldogálással és mozgással töltött idő között sem (N.S.). A vak csibéknél csökkent a környezeti elemek csipegetése ($p<0,001$), az ülésel töltött idő nagymértékben emelkedett ($p<0,01$) és a tollázkodással is szignifikánsan több időt töltöttek ($p<0,01$). Több rendellenes viselkedési formát figyeltek meg, így például a levegőbe való csipegetést, a körbe-körbe járkálást és felfelé nézést. Amint az várható volt a vak csibék tömeggyarapodása ($p<0,05$) a nevelési idő 14 napjától végig (42 nap) elmaradt a látókhöz képest. A látás korlátozása nehézségeket okozhat, így például számos a fajra jellemző pozitív viselkedési forma csökken a látás korlátozásának köszönhetően, ami állatjólléti szempontokból is kifogásolható (Sophie et al. 2011).

A különböző hullámhosszúságú fények eltérő stimuláló hatással bírnak a retinára, melyek viselkedésbeli változásokat idézhetnek elő (Lan et al 2013). Franco et al. (2022) megerősítették, hogy a világítás színének állatjóléti hatásai is vannak. Többféle (kék, zöld, fehér) fényhullámhosszúsággal végeztek vizsgálatokat, és megállapították, hogy a fehér fény fokozta az aktivitást, a madarak több időt töltöttek mozgással ($p < 0,0001$), míg a kék fény növelte a nyugalmi állapotot, így több időt töltöttek pihenéssel ($p = 0,03$) és tollászkodással ($p < 0,05$). A heterofil limfocita arány a kék (0,312; $p = 0,03$) fényben volt a legalacsonyabb, fehér (0,467) megvilágításban a legmagasabb értéket érte el, míg zöld (0,433) fényben a két vizsgált csoport közötti értéket kapott. Ez a szignifikánsan alacsonyabb heterofil limfocita arány, amit a kék megvilágítás eredményezett a madarakban, az alacsonyabb stresszszintre utal. Hasonló vizsgálatban Mohamed et al. (2017) brojlereknél a kék fényben (0,119; $p < 0,001$), szignifikánsan alacsonyabb heterofil limfocita arányt mért, mint fehér (0,253) vagy zöld (0,131) fényben. Több szerző is megállapította, hogy a vörös fényben voltak a madarak a legaktívabbak más hullámhosszúságú fényekkel összehasonlítva (Campo et al. 2007; Son és Velmurugu 2009; Rusty 2011; Senaratna et al 2012; Hesham et al 2018). A fehér fényű LED-hez képest a vörös fényű LED-nek agresszió csökkentő hatásai is van (Hubert-Eicher et al. 2013).

Kristensen et al. (2007) a brojlerek szabad választását vizsgálták három világítás között: egy izzólámpa egy meleg fehér fénycső és egy Biolux (6500 K, természetes fény spektrumához hasonló színek) fénycső között. A nevelés kezdetén (1 hetes) nem volt szignifikáns különbség, de a nevelés második szakaszában (6 hetes) a madarak szignifikánsan több időt töltöttek a Biolux fénycső megvilágítás mellett szabad választásban. A tollászkodás intenzívebb ($p = 0,049$) volt a Biolux fény mellett, mint a meleg fehér fénycsőnél. Ez a szerzők szerint azért lehetséges, mert a Biolux világítás által kibocsátott UVA fény hatására másképpen látják a madarak a tollaikat, az őket körülvevő tárgyakat és a helységet. Hasonlóképpen Widowski et al. (1992) vizsgálatukban tojótyúkوك szabad választását vizsgálták, ahol az izzólámpával szemben a fénycsővel megvilágított tartási teret részesítették előnyben a madarak. Mendes et al. (2013) preferencia tesztben a sárga és fehér LED megvilágítás közötti szabad választást felkínálva nem találtak eltérést a két csoport eloszlása (madarak %-os aránya) között (N.S.).

A monokromatikus zöld LED-fény pozitív hatással van a felfedező viselkedésre, ami abban nyilvánul meg, hogy a tyúkok több időt ($p < 0,05$) töltöttek a tárgyak csipegetésével. Az aktív (mozgásban lévő) madarak arányát vizsgálva sárga, piros és zöld fények között, a madarak majdnem háromszorosa volt aktív zöld fényben ($p < 0,01$) (Heshmatollah 2007). Ezzel szemben Sultana et al. (2013 a) azt találták, hogy a délelőtti órákban zöld és kék monokromatikus LED-fényben tartott madarak több ülő (zöld 39,5 min/h; kék 43,55 min/h; piros 36,89 min/h; piros-sárga 34,81 min/h) és álló (zöld 5,39 min/h; kék 6,74 min/h; piros 5,12 min/h; piros-sárga 4,81 min/h) viselkedést mutattak, vagyis kevésbé voltak aktívak, míg a piros és piros-sárga monokromatikus LED-fényben tartott madarak többet mozogtak (zöld 41,33 db/madár/h; kék 37,33 db/madár/h; piros 65,66 db/madár/h; piros-sárga 67,33 db/madár/h) ($p < 0,05$).

2.5.2. A viselkedés kvantitatív megfigyelése és elemzésének módszerei

Az állatok viselkedési mintázatainak, vagyis szokásainak (pl. takarmány vagy vízfelvétel) és aktivitásának (pl. mozgás, egyedek közötti interakciók) megfigyelése egyfelől segít optimalizálni a termelést, másfelől a megszokott viselkedés mintákban való eltérés az egészségi állapot nyomonkövetését és korai detektálását teszi lehetővé. A viselkedés megfigyelése ma

már kizárólag videófelvevételek manuális vagy egyre inkább gépi elemzésével történik (számítógépes látás), tehát nem csak etológiai hanem technológiai kérdés is egyben. Öt nagy csoportba osztható a megfigyelések elemzésének a célja: viselkedés megfigyelése, egészségi állapot azonosítása, teljesítmény előrejelzés, termékminőség ellenőrzése és az állatok tulajdonságainak felismerése (Li, 2025).

A megvilágítás a viselkedésre is hatással van. A viselkedési vizsgálatoknál a kiválasztott egyedek pozíciókövetését, adatgyűjtést és értékelést gyakran olyan szoftvereket használva teszik, mint az IDRISI (Mollah et al. 2010), Axivity AX3 dataloggers (Eerdeken et al. 2020; Simanungkalit et al. 2021), OpenCV (Zhuang és Zhang 2019), Whistle Fit (Chambers et al. 2021), CowView (Veissier et al. 2017), MATLAB (Mehdizadeh et al. 2015; Xiao et al. 2019), Ruuvi Tag sensors (Arcidiacono et al. 2021) vagy az eGrazor and Ceres Tags (Wang et al. 2023; Arablouei et al. 2023). A nyomkövető technológia egyik előnye, hogy nem egész állományokat, hanem egyes állatokat lehet vele nyomon követni. A kutatás minőségének biztosítása érdekében az automatikus helymeghatározó rendszer madarakra erősített jeladói nem lehetnek hatással az állatok viselkedésére, jóllétére vagy termelékenységére (Lisanne et al. 2018). Robert et al. (2006) megállapította, hogy a jeladó kisméretű hátizsákban történő viselése befolyásolta a madaraknál kapott eredményeket. Ezzel szemben Daigle et al. (2012) azt találta, hogy az állatok gyorsan megszokják a hátukon ezeket a kis méretű táskákat, és nem befolyásolja jelentősen a tojótyúkknál kapott eredményeket.

Gyakran az RFID (rádiófrekvenciás azonosító) jeladót használják a helymeghatározás során, a baromfi fajoknál többnyire lábgyűrűként vagy csipkedésgátló csőrpajzs alá integráltan alkalmazva ezeket (Alexy et al. 2022). Alexy et al. (2022) szerint azonban a lábgyűrűket nehéz alkalmazni a baromfiknál a kis testméretük és gyors növekedésük miatt.

Másik lehetséges megoldás amit használtak előrejelzés céljára az a gyorsulásmérő. A tevékenységeket statikus (ülés, állás) és dinamikus (helyváltoztatás, evés, stb.) tevékenységekre osztották. Ez segít nyomon követni a madarak valós idejű aktivitását, mely rendellenes aktivitási szint esetén azonnal riaszt (pl megszokott mértéktől elmaradó aktivitás betegsége utalhat), így segítve az időben történő emberi beavatkozást (Yang et al. 2021; Mei et al. 2023).

2.5.3. A számítógépes látás és a mesterséges intelligencia szerepe a viselkedés megfigyelésében

A mesterséges intelligenciával elemzett kameraképeket már alkalmazták az állattenyésztésben. A rendszer azonosítja a kiválasztott madarat és az állat helyzete alapján adatbázisokat hoz létre (Alexy et al. 2022; Rossi et al. 2025). Cheng et al (2021) a kameraképet testhelyzet értékelésére (mozgásban van, egyhelyben áll, ül, stb.) használta, amely segíthet a betegségek korai előrejelzésében. Néhány szerző a számítógépes látás technológiájának további lehetőségeiről számol be a baromfitenyésztésben, mint ennek a technológiának a segítségével nem szükséges az állatok egyedi jelölése, növekszik a pontosság a nagyobb mennyiségű kép elemzésével, és fejlődik a gyorsaság, mely lehetővé teszi a minél gyorsabb detektálást így a beavatkozás lehetőségét (Aziz et al. 2020; Astill et al. 2020; Li D. et al. 2021). A számítógépek ma már pontosabban tudják feldolgozni a képeket, mivel a gépi tanulás és a számítógépes látás integrációja felgyorsította a technológia fejlődését. Ennek alapfeltétele a jó minőségű felvétel készítése, melynek két kulcsfontosságú befolyásoló tényezője van Aziz et al. (2020) szerint, a kamerának a helyzete és a megfigyelt tér megvilágítása.

A kameraképek tárolása és kiválasztása adatgyűjtő szoftverek segítségével történik. Az adatelemző szoftver az az eszköz, amelyet a képek elemzésére használnak egy meghatározott algoritmus segítségével (Aziz et al. 2020). A számítógépes látás magában foglalja az ólmanagement, a betegségek felismerése, a viselkedés és a jóllét, a tömegmérés, a vágási folyamat, a hasított test minősége és a tojások vizsgálatának automatizálását (Zhuang et al. 2018; Fernández et al. 2018; Fang et al. 2020; Amraei et al. 2018; Ye et al. 2020; Geronimo et al. 2019; Kaswati et al. 2020; Guanjun et al. 2019; Nasiri et al. 2020).

A megvilágítás a baromfik viselkedésének és állatjóllétének egyik legmeghatározóbb környezeti tényezője. A különböző hullámhosszúságú fények eltérő módon befolyásolják az aktivitást, a pihenést, a stresszreakciókat és a társas viselkedést. A viselkedés pontos megfigyelése, mérhetősége és objektív értékelése a modern állattenyésztési rendszerekben egyre nagyobb jelentőséget kap. A digitális szenzorok, RFID technológiák és a mesterséges intelligenciával támogatott számítógépes látás alkalmazása lehetővé teszi az állatok valós idejű megfigyelését, az egészségi állapot korai detektálását és a termelési folyamatok optimalizálását. Ezek a technológiák a jövőben kulcsszerepet játszhatnak a precíziós baromfitartásban, ahol a megvilágítás szabályozása és a viselkedési adatok integrált elemzése együtt járulhat hozzá a fenntartható és gazdaságos termeléshez.

2.6. A fény mint stresszor és modulátor: endokrin, oxidatív és viselkedési válaszok baromfiban

2.6.1. A stressz általános adaptációs szindrómája és a fény, mint környezeti inger

Selye (1936) patkányokon végzett kísérleteiben elsőként írta le az úgynevezett általános adaptációs szindrómát, amelyet egymástól független károsító hatás (pl. hideg, mérgezés, sebészi beavatkozás) váltott ki, hasonló élettani tüneteket okozva. Selye három egymást követő fázist írt le:

1. Riasztási szakasz, ahol a mellékvese aktiválódik és limfoid szervek zsugorodnak.
2. Alkalmazkodás szakasza, ahol hormonális és morfológiai adaptáció alakul ki.
3. Kimerülési szakasz, amennyiben a stresszes időszak hosszan fennáll, a szervezet kimerül és a kezdeti tünetek térnek vissza, majd elhullik az állat.

Selye ezzel alapozta meg a modern stresszelméletet, amely szerint a szervezet általános és nem specifikus válasszal reagál különböző stresszorokra annak érdekében, hogy a homeosztázist fenntartsa.

A fény, mint környezeti inger, szintén képes stresszorként megjelenni, ha annak intenzitása, időtartama vagy spektrális összetétele eltér az állatfaj számára optimális tartománytól. A túl erős megvilágítás, a kedvezőtlen spektrumösszetétel, vagy éppen a sötét periódus hiánya a hipotalamusz-hipofízis-mellékvese (HPA) tengely fokozott aktivitását, emelkedett kortikoszteronszintet és viselkedési zavarokat eredményezhet (Olanrewaju et al. 2016; House et al. 2020a; Franco et al. 2022). Ezzel szemben a megfelelően beállított fényprogram és spektrumösszetétel képes a stresszreakciókat mérsékelni, és hozzájárulhat a hormonális egyensúly fenntartásához (Xie et al. 2008; Abdo et al. 2017; Ke et al. 2011).

2.6.2. Endokrin és immunválasz a fény hatására

A nem megfelelő megvilágítás stresszt jelent madaraink számára, mely leginkább a hormonháztartáson keresztül fejti ki negatív hatását. A stressz hatás többféleképpen is kimutatható. Így például kortizol, illetve madaraknál kortikoszteron, valamint egyéb stresszhormonok (pl.: adrenalin, noradrenalin, ACTH) szintjének mérésével, amelyeket többnyire vér-, vagy bélsármintából lehet meghatározni (Ábrahám et al. 2003)

A megvilágítás befolyásolja a tobozmirigy aktivitását és a melatonin szekréciónak, ami a stresszválasz egyik legfontosabb endogén modulátora. A hosszú vagy megszakítás nélküli fényperiódus mellett a melatonin szintézis gátolt, míg a hosszan tartó sötét periódusok fokozzák annak termelését (Baxter et al. 2014; Magee et al. 2023). Mivel a melatonin antioxidáns és immunmoduláns tulajdonságokkal rendelkezik (Reiter et al. 2010; Reiter et al. 2016; Calvo és Maldonado 2024), így a világitási program közvetetten befolyásolhatja az oxidatív stresszt és a gyulladáshoz vezető válasz intenzitását is.

Több szerző leírja, hogy a melatonin pozitív hatást gyakorol emlősök és madarak számos termelési és szaporodásbiológiai paraméterére (Clark és Classen 1995; Maganhin et al. 2013; He et al. 2016; Jia et al. 2016; Gosomji et al. 2024). Ezek összefüggésbe hozhatók az általános egészségi mutatók javulásával, melyet az immunválaszkészség javulása nagyban befolyásol. Nagy fehér pulykákön végeztek vizsgálatot ivóvízbe adagolt 50 µg/ml melatoninnal, melyet a kísérleti csoport kikelést követően a 28. napig folyamatosan fogyasztott. A melatonin adagolása felgyorsította a kísérleti csoport egyedjeinek a humorális immunválaszának a kialakulását, vagyis a kezelt pulyák előbb érték el a kifejtett korban jellemző immunitás mértékét, továbbá a 28 naponos vágott madarakban a *bursa Fabricii* is megnövekedett méretet mutatott (Moore és Siopes 2002). Moore és Siopes (2000) egy másik vizsgálatukban azt találták, hogy rövid és hosszú nappalos megvilágítás mellett szignifikánsan magasabb humorális immunválaszt produkáltak a kísérletben részt vevő fürjek, mint folyamatos megvilágításban tartott társaik. Második kísérletükben folyamatos megvilágításban tartott fürjek hét napon keresztül, napi 16 órában ivóvízben 0; 0,5; 5; és 50 µg/ml melatonin kiegészítést kaptak. Minden esetben a kontroll (0 µg/ml) csoporthoz képest nőtt a madarak immunválaszkészsége. Nyolc hetes leghorn kakasokban 40 mg MEL/ttkg napi szubkután bejuttatása fokozta a B- és T-limfociták aktivitását (Brennan et al. 2002). Brennan et al. (2002) előrevetíti, hogy a melatoninnak stresszcsökkentő szerepe lehet, ami a reaktív oxigénradikálok megkötésével hozható összefüggésbe (Fischer et al. 2012; Bejarano et al. 2014). Az immunitás javulását elérhetjük az oxidatív stressz káros hatásainak enyhítésével, melyre pozitív hatása lehet a melatoninnak.

Ezek a megfigyelések arra utalnak, hogy a fotoperiódus szabályozása nem csupán a szaporodásbiológiát, hanem az immunfunkciókat is befolyásolja, mivel a melatonin és a kortikoszteron termelése részben közös neuroendokrin szabályozás alatt áll (Reiter et al. 2010; Olanrewaju et al. 2016; Arendt és Aulinas 2022).

2.6.3. Az oxidatív stressz és hatásai a termelési mutatókra

A technológiai, mikrobiológiai, takarmányozási és környezeti tényezők egyaránt hozzájárulhatnak a stresszhez (Estévez 2015; Alo et al. 2024). Ezek közé tartozik az oxidatív stressz, ami károsan hat a madarak teljesítményére. Több tanulmány a hőstresszen keresztül talált összefüggést az oxidatív stressz káros hatásaival kapcsolatban (Adu-Asiamah et al. 2021;

Kikusato et al. 2021; Oni et al. 2023; Oni et al. 2024). Ez fokozottan igaz a modern nagy teljesítményű hibridekre az intenzív anyagcseréjük végett (Kumari és Nath 2018).

Mások alátámasztják, hogy az oxidatív stressz csökkenti a növekedési intenzitást (Surai et al. 2019; Etuah et al. 2020; Hafez et al. 2022), végső tömegben kisebb méretet érnek el a madarak (Zhang et al. 2018), rontja a takarmány-értékesítést (Mashkoo et al. 2023), izom atrófiát és csökkent fehérjeszintézist (Agrawal et al. 2023), illetve magasabb mortalitást és húsminőség romlást eredményez (Wasti et al. 2020). Egy kutatás rámutat arra, hogy a húsminőséget befolyásoló tényezők között szerepel a kötőszövet (kollagén) szerkezeti jellemzőinek változása, összefüggésben a növekedéssel, stresszes állapottal és egyes izombetegségekkel (Zhang et al. 2023). Tehát a hús textúráját elsősorban a kollagén mennyisége és oldhatósága befolyásolja. Li et al. (2022) igazolták a szoros pozitív korrelációt a nyíróerő és a teljes, illetve az oldhatatlan kollagéntartalom között. A kollagén az izomextracelluláris mátrix fő fehérjéje, amely a miofibrillumokat egymással és a *perimysium*-, *endomysium*- rétegekkel köti össze (Listrat et al. 2016). Az alacsonyabb kollagéntartalom jellemzően alacsonyabb nyíróerővel párosul (Lepetit 2007), ami a hús puhább, porhanyósabb érzékszervi megítélését eredményezi. A szakirodalom szerint a fogyasztók általában a 3 kg alatti nyíróerő értékű húsokat még puhának és porhanyósnak érzékelik, míg a magasabb értékekhez már többnyire rágósabb textúrát társítanak (Miller et al. 2001, Wheeler et al. 1997).

A fény intenzitása és spektrális összetétele befolyásolja a szervezet redox-homeosztázisát is. Kék és zöld fényben tartott csirkékben több vizsgálat kimutatta a magasabb antioxidáns enzimaktivitást és alacsonyabb MDA-szintet (malondialdehid), ami a fény stresszmérséklő tulajdonságára utal (Ke et al. 2011; Abdo et al. 2017; Xie et al. 2011). Ezzel szemben a folyamatos, erős megvilágítás növeli az oxidatív terhelést, ami gátolja a melatonin szekrécióját (Reiter et al. 2010).

A stresszes körülmény arra készíti az állat szervezetét, hogy több szabad gyököt termeljen, miközben az antioxidáns enzimaktivitás és a szabadgyök megkötő képessége csökken (Miao et al. 2020). Az oxidatív stressz az antioxidánsok és pro-oxidánsok közötti egyensúlyhiányként írható le, az utóbbiak javára eltolódva. Ha a reaktív oxigén gyökök nagyobb mennyiségben vannak jelen, mint amennyit a madár sejtjei be tudnak fogadni, azt nevezük oxidatív stressznek (Mézes és Matkovics 1986; Freitas et al. 2009; Slauch 2011; Kogut et al. 2020).

Ezek a reaktív vegyületek káros módon számos olyan biológiai makromolekulát képesek megváltoztatni, mint az RNS, DNS, fehérjék, lipidek, szénhidrátok, sejtek ionszintje, amik számos negatív hatással járnak az anyagcsere-zavaroktól kezdve a sejtkárosodáson át (Halliwell és Gutteridge 1999; Halliwell és Whiteman 2004; Cheng et al. 2017; Gessner et al. 2017; Rehman et al. 2018) az immunszuppresszív hatásig (Monaghan et al. 2009). Ezek a káros hatások, pedig kihatással vannak a termelésre, mint a szaporodási folyamatokra (sperma minősége, tojástermelést) vagy akár a húsminőségre is (Lin et al. 2006; Mishra és Jha 2019). Az oxidációs stressz az izmokban lévő miofibrilláris fehérjéknek az oxidációjához vezethet, melyek felelősek az izmok összehúzódásáért és az izom struktúráért, vagyis a hús állagáért. Ezek a fehérjék az oxidáció miatt térhálósodhatnak és aggregátumokat képezhetnek, ami a hús keményebb állagához és a vízmegtartó képesség romlásához vezet (Cheng és Sun 2008, Steinberg 2012, Listrat et al. 2016). A hús víztartó képességének és a textúrájának romlását Wang et al. (2009), Archile-Coutreras és Purslow (2011) illetve Utrera et al. (2014) igazolták. Eltérő időtartamú (kontroll 24°C, kísérleti csoportok: napi 1, 2, 3 és 5 óra 41°C) hőstressznek

kitett csirkék mellizomzatának szarkoplazmatikus és myofibrilláris fehérjéinek lipid- és fehérjeoxidációs értékei a 3 órás hőhatás esetén voltak a legmagasabbak ($p < 0,05$). Feltehetően a megnövekedett reaktív oxigén fajták voltak negatív hatással az izom lipidjeire, mivel magas MDA (malondialdehid) értéket mértek. A fokozott lipidperoxidáció megváltoztathatja a sejtmembránok szerkezetét, ami az ozmotikus viszonyok változása révén magasabb csepegési veszteséget eredményez (Wang et al. 2009). További húsminőségi probléma, amit az oxidatív stressz képes befolyásolni az a szín. Amennyiben a húsban lévő miooglobin redox állapota megváltozik, oxidálódik, fogyasztói szemmel kevésbé előnyös, barnás színű metmiooglobin nagyobb arányú keletkezése következik be (McMillin 2008; Zhang et al. 2012; Suman és Joseph 2013).

2.6.4. Az oxidatív stressz hatása a szaporodásbiológiai mutatókra

Az oxidatív stressz befolyásolja a baromfik reproduktív mutatóit is. A petesejt magas lipidtartalma miatt, kimagaslóan kitett a káros oxidációs folyamatoknak (Dunning et al. 2014; Fouad et al. 2016). A tojássárgája minőségének romlása veszélyeztetheti az embrionális folyamatokat, ennek következménye a rosszabb keltethetőség. A kelési eredményeket nagyban befolyásolja a termékeny tojások számát, amire a sperma minőségének van nagy hatása. Az oxidatív stressz hatással lehet az ATP (adenozin-trifoszfát) szintézisre, ami a spermium mozgásához biztosítja az energiát. Ennek a folyamatnak a sérülése során veszélybe kerül a spermium eljutása a petesejtbe (Glabe et al. 2019; Zhu Z. et al. 2019).

Másik lehetséges káros folyamat, amit megfigyeltek, hogy a spermiumot védő membrán, magas lipid tartalma miatt fokozottan érzékeny az oxidációra, ami károsodás esetén veszélyezteti a spermium bejutását a petesejtbe (Saraswat et al. 2012). Továbbá az oxidatív stressz a tojás héjproblémáit eredményezheti, ami első sorban elvékonyodott tojánhéjat eredményez (Jin et al. 2022). A méhben végbemenő tojánhéjképződési szakaszban nagy mennyiségű Ca-ot használ fel a madár a tojánhéjának a felépítéséhez. Chen et al. (2022) kimutatták, hogy az oxidatív stressz megzavarhatja a kalcium-anyagcserét, így a szuboptimálisan lerakódó kalcium-karbonát vékonyabb és törésre hajlamosabb tojánhéjat eredményez (Batres 2022). Hormonális esetben első sorban a koleszterin alapból kiinduló szteroid hormonok (ösztrogén, progeszteron, tesztoszteron) képződésénél okozhat zavart az oxidációs stressz. Az így létrejövő hormonális egyensúly hiány a tojásrakási ciklus szabálytalanságához, a termékenység romlásához és a szexuális viselkedési formák zavarához vezet (Oruc 2010; Morohashi et al. 2012; Chainy és Sahoo 2020).

Alagawany et al. (2017) és Ding et al. (2022) is utaltak a munkájukban arra, hogy az oxidációs stressznek negatív hatása van a szexuális viselkedési formák gyakorlásához, így romlik a tojásminőség és a termékenység. Továbbá a madarak stresszhormonja, a kortikoszteron megemelkedését eredményezi a hosszútávon oxidatív stressznek való kitettség. A megemelkedett kortikoszteron szint gátlóan hat a szexuális szteroidok termelésére, így nem lesz kielégítő ezek termelődése, ami a fent leírt szaporodási problémák kialakulásában szerepet játszhat (Post et al. 2003; Hedlund et al. 2019; Oluwagbenga és Fraley 2023). A megemelkedett kortikoszteron szint pedig nemcsak a tojástermelés csökkenését eredményezi, hanem a madarak nyugtalanságát is fokozza, ami megváltozott viselkedési formák, rossz szokások kialakulását indukálja (El-lethey et al. 2001). Az állatok viselkedése jó mutatója a jóllétüknek, az oxidatív stresszben megváltozott fiziológiás állapot megnyilvánulhat csoporton belül az egymás közötti

interakciókból is, mint gyakoribb hierarchikus harc, vagy tollcsipkedés (María et al. 2004; Altan et al. 2003; Milewski et al. 2022). Egyes szerzők még a kognitív képességeket is összefüggésbe hozták az oxidációs stressz káros hatásaival (Hossain et al. 2016; Mohammed et al. 2021; Mahmoudi et al. 2021).

A petefészek tüszőinek egyik fő alkotó eleme a granulóza sejtek, melyek hozzájárulnak a tüsző fejlődési folyamatához (Manabe et al. 2004). Tojótyúkokban a granulóza sejtek apoptózisa csökkent a tovább fejlődni képes tüszők számát, csökken az ovulációra képes petesejtek száma, vagyis a tojástermelés mértéke apad. Többen leírták, hogy a melatoninnak szerepe lehet a tüszők proliferációjában és apoptózisának szabályozásában (Yang et al. 2008; Jia et al. 2016; Zhang et al. 2019). Tojótyúkokban az endoplazmatikus retikulumra ható stressz a kiváltó oka annak, hogy a fejlődni képes petesejtek száma csökken (Aljohani et al. 2019; Kumar et al. 2021; Hao et al. 2024 a). Hao et al. 2024-ben (b) igazolták, hogy az endoplazmatikus retikulumra ható stressz csökkentésére pozitívan hat a melatonin jelenléte. Kísérletükben egy fiatal (30 hetes) és két idősebb (70 hetes) tojótyúk csoportot állítottak be hat ismétlésben, melyből az egyik 70 hetes csoportot melatonin kiegészítésben részesítették négy héten keresztül, 20 mg/kg/nap dózisban intraperitoneálisan. Igazolták, hogy a melatonin kiegészítés csökkentette az endoplazmatikus retikulum stressz-szintjére ható gének expresszióját, ezzel párhuzamosan növekedett az E2, LH és FSH hormonok szintje. Ez a hatás eredményezte a kezelt idős tyúkok csoportjában a szignifikánsan magasabb számú fejlődő tüszőket, így a tojástermelés növekedését.

Az oxidatív stressz több szinten is befolyásolja a baromfik szaporodásbiológiai folyamatait. A megvilágítás időtartama és színe közvetlenül hat a reprodukív tengely hormonális aktivitására. A kellően hosszú fotoperiódus és a vörös fénytartomány serkentheti a hipotalamusz–hipofízis–gonád tengely működését, míg a kék és zöld spektrum nyugtató, stresszcsökkentő hatása indirekt módon kedvez a termékenységnek (Lewis 2010; Yang et al. 2016 a, b).

2.6.5. A világítás, mint menedzsment eszköz a stressz csökkentésében

A fény spektrumban megtalálható egyes hullámhossz tartományoknak is lehet stresszcsökkentő hatása.

Ogbonna et al. (2003) vizsgálatukban arra a következtetésre jutottak, hogy az UVB kiegészítő világítás elősegíti a természetes viselkedési formák gyakorlását és csökkentheti az állatokat ért stresszt, így a környezetgazdagítás egyik alternatívája lehet.

UV fényvel kiegészített LED világításban nyugodtabbak voltak a madarak (kontroll csoport LED világítás), mozgásuk mérsékeltebb volt. Szintén ezeknél a csirkénél a vérplazma kortikoszteron szintje (kontroll: 6,6 pg/ml, UV: 2,3 pg/ml, $p=0,005$), valamint a heterofil limfociták aránya (kontroll: 0,60, UV: 0,32, $p=0,001$) is alacsonyabb volt a kontroll csoportban mért értékekhez képest. Ugyanakkor az élőtömegben és a takarmány-értékesítésben nem volt különbség a két csoport között (N.S.). Hasonlóan a humorális immunitásban sem volt különbség a két csoport között (N.S.). A kapott eredményekből arra lehet következtetni, hogy az UV fény kiegészítés következtében csökken a madarak stressz-szintje, így a gyakorlatban kedvezőbb állatjóléti feltételeket lehet biztosítani (House et al. 2020a).

A kék monokromatikus LED fényben a teljes antioxidáns kapacitás megnövekedett ($p<0,05$) értéket eredményezett (teljes antioxidáns kapacitás (U/mg of protein): fehér 1,14,

piros 1,02, zöld 1,31, kék 1,65), amit a szerzők összefüggésbe hoznak a kedvezőbb kihozatali értékekkel (hasított test, mell és comb kihozatal) (Ke et al. 2011).

Xie et al. (2008) szerint a zöld és a kék fény enyhítheti csirkékben a stresszt a piros fényhez képest. Magasabb volt a szérumban mért baromfipestis elleni antitest termelés és a T-limfociták növekedése 28 napos kor előtt zöld fényenél, majd a nevelés további szakaszában a kék fényel megvilágított csoportoknál. Ez arra utal, hogy a zöld és a kék fény fokozza a celluláris és a humorális immunválaszt, vagyis csökkenthetik a madarak stresszválaszát.

Hőstressznek kitett csirkéket (3 hetes kort követően 4 napon keresztül napi 5 órában 33°C) vizsgáltak fehér és kék megvilágításban. A kék fény csökkentette a malondialdehid (MDA) értéket és növelte az antioxidáns enzimaktivitást a fehér fényhez képest, ami szintén a kék fény stresszmérséklő tulajdonságára utal (Abdo et al. 2017).

Szintén a zöld és a kék monokromatikus fénynek tulajdonítottak pozitív hatást a bélnyálkahártya mechanikai és immunológiai gátjának javulásában. Piros, zöld, kék és fehér fényben neveltek brojlerket 49 napig, ahol a fehér fényben lévő állatokat összehasonlítva a zöld fényben lévőkkel a vékonybél bolyhoknak a magassága 19,5%-al ($p=0,0205$) növekedett, míg a kripták mélysége 15,1%-al ($p=0,0049$) csökkent a zöld fényel megvilágított csoportban. Az intraepiteliális limfociták (IEL) és az immunglobulin A+ (IgA+) sejtek a humorális immunitás fő elemei a gyomor- bél traktusban. A vizsgálatban az IEL és IgA+ sejtek a zöld fényben a nevelés korai szakaszában, míg a nevelés második szakaszában a kék fény alatt mutattak magasabb ($p<0,05$) értéket a piros fényhez képest (Xie et al. 2011).

Ezek az eredmények alátámasztják, hogy a spektrum finomhangolása, különösen a kék, a zöld és az UV tartományok bevonása, kedvezően befolyásolhatja a fiziológiai stresszválaszt és a stabil viselkedési mintázatot (Lewis 2010; Xie et al. 2011; Franco et al. 2022).

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

3.1. Eltérő típusú megvilágítás vizsgálata pecsenyecsirkéken

3.1.1. Kísérleti állatok tartás- és takarmányozás technológiája

Vizsgálatom az állatok védelméről és kíméletéről szóló 1998. évi XXVIII. törvény, valamint a 40/2013. (II. 14.) Korm. rendelet értelmében nem minősül állatkísérletnek, mivel az alkalmazott beavatkozások nem okoztak olyan fokú” fájdalmat, szenvedést, kínt vagy maradandó károsodást”, amely meghaladná „a helyes állatorvosi gyakorlat szerint kivitelezett tűszúrás által okozottal egyenértékű vagy annál magasabb” szintet. A pecsenyecsirkéken végzett valamennyi eljárást — beleértve a tartási, mérési és mintavételi protokollokat — a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Szent István Campus Munkahelyi Állatjóléti Bizottságának (SZIC-MÁB) előzetes engedélyével és folyamatos felügyelete mellett (MATE-MKK-2020/22) végeztem, teljes összhangban a hazai jogszabályi előírásokkal (1998. évi XXVIII. törvény; 40/2013. (II. 14.) Korm. rendelet) és az Európai Parlament és Tanács 2010/63/EU irányelvével.

A kísérletemben COBB 500-as (Cobb-Vantress Inc., Siloam Spring, AR, USA) szexált hibrid kakasokkal dolgoztam (3. ábra) ([http1](http://1)).

A vizsgálatban a madarakat két csoportba soroltam, 5 ismétlésben. Egy ismétlésben $n=40$ egyed került, így csoportonként 200, összesen 400 madár vett részt a vizsgálatban. A két csoportot ugyanabban az épületben helyeztem el, fényt át nem eresztő fallal elválasztva egymástól. Egy ismétlés madarai 1,5 x 2 m-es területen kaptak helyet, így a telepítési sűrűség 14 csirke/m² volt.



3. ábra: A kísérleti állatok (saját kép)

A kísérletet Rákoscsaba külterületén lévő állattartó telepen végeztem el (GPS koordináta: É.Sz. 47°50'09"72, K.H. 19°30'43"72). A vizsgálatban résztvevő madarak mélyalmos tartási rendszerben (puhafa forgács) voltak elhelyezve, 42 napos korukig. Vízhöz szelepes önitató rendszerből jutottak, míg a takarmányhoz kúpos önetetőkből. Az összes tartási paraméter a „Cobb Broiler Management Guide” irányelvei szerint volt beállítva (<http2>).

A kísérlet során kereskedelmi forgalomban kapható, teljes értékű takarmánykeveréket alkalmaztam, amely megfelelt a hatályos jogszabályi előírásoknak (Magyar Takarmánykódex, 2003), valamint a hibrid technológiai követelményeinek (Cobb Broiler Management Guide (<http2>)). A madarakat dercés formában, *ad libitum* takarmányoztam az alábbi három fázisban:

1. indító fázis: 0-14 nap (ME.: 12,58 MJ/kg; Ny. feh.: 22,81 %)
2. nevelő fázis: 14-28 nap (ME.: 13,09 MJ/kg; Ny. feh.: 21,2 %)
3. befejező fázis: 28-42 nap (ME.: 13,41 MJ/kg; Ny. feh.: 19,46 %)

Mindhárom fázisból takarmánymintákat vettem és a Magyar Takarmánykódex (2003) előírásai alapján Weendei-analízist végeztem az Élettani és Takarmányozástani Intézet, Takarmánybiztonsági Tanszék laboratóriumában. Az analitikai eredmények igazolták a felhasznált takarmány előírások szerinti táplálóanyag-tartalmi megfelelőségét (Magyar Takarmánykódex 2003).

3.1.2. A termelési paraméterek mérése és számítása

A testtömeget heti rendszerességgel egyedenként mérlegeltem (0., 7., 14., 21., 28., 35. és 42. napon) minden madarat. Az így kapott adatokból számítottam ki az egyedek átlagos napi testtömeg-gyarapodását.

A takarmánybemérés naponta történt, a heti mérlegelések alkalmával (7., 14., 21., 28., 35. és 42. napon) mértem vissza az etetőkből maradt takarmány mennyiségét. Az így kapott két adat különbségéből határoztam meg a heti takarmányfogyasztást.

A csirkék takarmány-értékesítését csoportonként a testtömegmérések és a heti takarmányfogyasztás eredményeiből számítottam ki.

A madár és a takarmány méréseket Kern 572-57 (KERN & SOHN GmbH, Balingen, De) digitális mérleggel végeztem el.

Az ismétlések adatait minden esetben átlagolva dolgoztam fel, ez tette lehetővé a csoportok közötti összehasonlíthatóságot.

Az elhullást napi rendszerességgel követtem, és elhullási naplót vezettem.

A termelési eredmények értékelésére az Európai Broiler Indexet (Brojlet Index) alkalmaztam, a szakirodalomban közölt módszer szerint, az alábbi képletet használva (Kryeziu et al. 2018):

$$\text{Brojler Index} = \frac{\text{átlagos élőtömeg (kg)} \times \text{életképesség (\%)}}{\text{takarmány-értékesítés} \left(\frac{\text{kg}}{\text{kg}} \right) \times \text{nevelési idő (nap)}} \times 100$$

3.1.3. A kísérletben alkalmazott megvilágítás

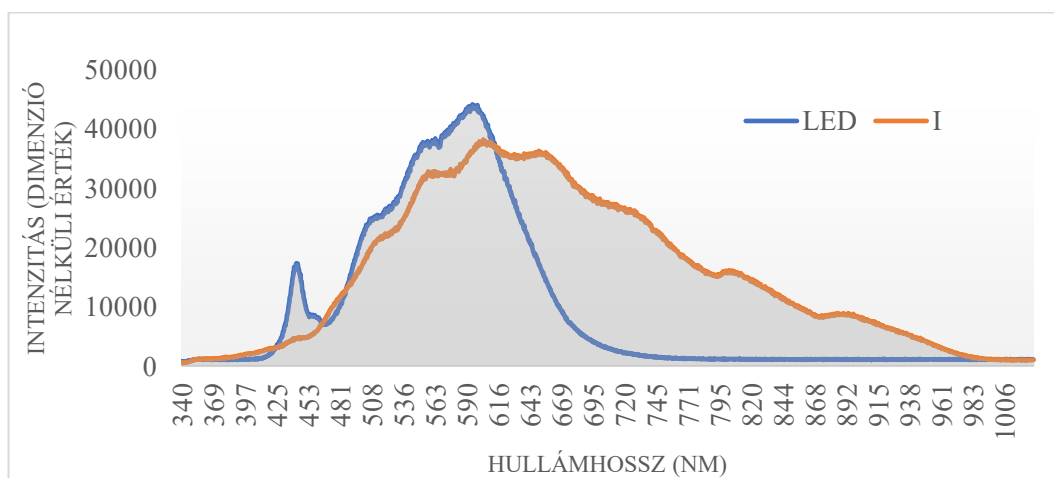
Az alkalmazott fényprogramban a megvilágítás időtartamában és intenzitásában nem volt különbség a két kísérleti csoportban, melynek mértékét a 1. táblázatban láthatjuk. Az egyik csoportban hagyományos wolframszálas izzót (I) alkalmaztam az állatok megvilágítására, míg

a másik csoportban fénykibocsátó diódát (LED). A LED-csoportban 5 perces napfelkelte és napnyugta szimulációt iktattam be. Az izzólámpával megvilágított csoportban HELIOS® Loleo light izzót (Fabryka Zarówek HELIOS Sp. zo.o., Katowice, Lengyelország) (60 W, 50 Hz), a LED-csoportban pedig BrightLife® LED-et (LED LIGHTING Fft., Budapest, Magyarország) (9 W, 100000 Hz) használtam. Az izzólámpa színhőmérséklete 2700K, a LED világítás színhőmérséklete 4000K volt. A kísérleti csoportokban használt világítás hullámhosszát az 4. ábra mutatja.

A fény hullámhosszát a brojlerek fejével azonos magasságban mértem meg Ocean Optics® USB 2000+VIS-NIR műszerrel (Ocean Insight, Orlando, Florida, USA), amelynek a méréstartománya a 350-1000 nm hullámhossz-tartományt fedi le. A megvilágítást az állomány betelepítése előtt, teljes megvilágításban mértük. A grafikon képe nem változik az intenzitással, de az arány igen.

Nap	Sötét órák száma	Világítás intenzitása (lux)
0	0	60
1	1	60
2	2	60
3	3	60
4	4	40
5	5	40
6-10	6	40
11-21	6	30
22-37	6	25
38	5	25
29	4	25
40	3	25
41	2	25
42	1	25

1. táblázat: A kísérleti csoportokban alkalmazott fényprogram és a világítás intenzitása



4. ábra: LED és izzó megvilágítás hullámhosszai (mért érték)

3.1.4. Viselkedés vizsgálatok módszerei

A nevelés során mindkét csoportból egy-egy ismétlésben folyamatos (non stop) videófelvételeket készítettem. A felvételek elemzése három időszakra bontva történt: a nevelés kezdeti szakaszából tíz napot (5–14. nap), a középső periódusból öt napot (21–25. nap), míg a záró szakaszból három napot (35–37. nap) vizsgáltam. A felvételen tisztán látható az egész fülke területe.

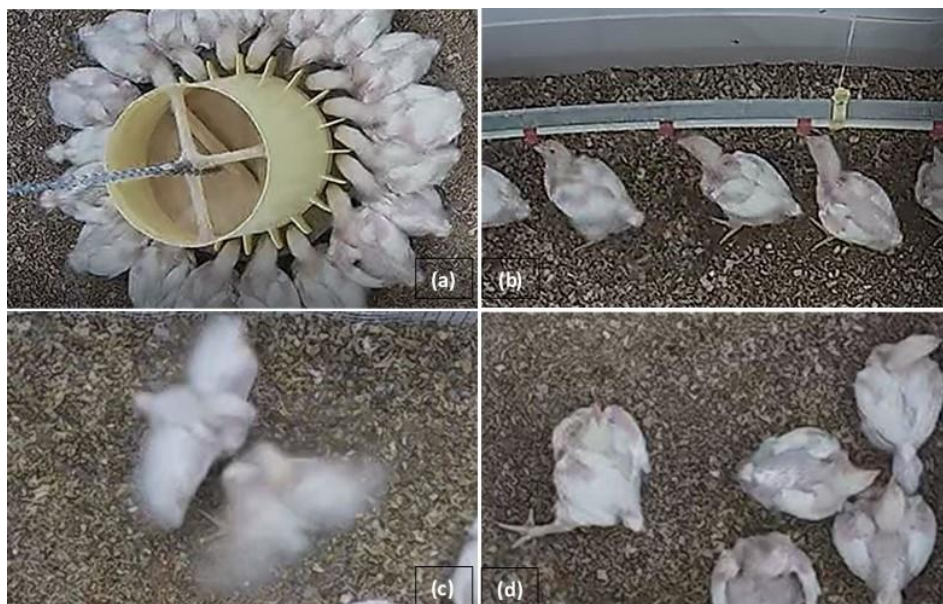
A videofelvételeket VLC media player szoftverrel (VLC 3.0.21 Vetinari) elemeztem a következő séma szerint: a megvilágított időszakban (18 óra) 5 percenként megállítottam a felvételt, és megszámoltam a következő tevékenységekben résztvevő egyedeket:

1. evéssel foglalkozó egyedek (Takarmányfelvétel),
2. ivással foglalkozó egyedek (Ivás),
3. pihenő egyedek (Pihenés),
4. interakcióban lévő egyedek (Interakciók) (5. ábra, a-d).

Az egyedek számát mindegyik kategóriában kivontam az összes állat létszámából, így megkaptam az egyéb aktivitást végző madarak számát (Egyéb aktivitás).

- Takarmányfelvétel: az a tevékenység, amikor az etető mellé állva a madár feje az etetőben volt.
- Ivás: az a tevékenység, amikor az itató alatt állva a fejét a szelepes itatóhoz emelte.
- Pihenés: az a tevékenység, amikor az állat egyhelyben feküdt.
- Interakciók: vagy az egyik, vagy mindkettő állat a másik egyed felé irányuló magatartást mutatott.
- Egyéb aktivitás: éppen helyet változtatott, porfürdőzött, álldogált.

Az egyes megfigyelési időpontokat 10 másodperces időablakban rögzítettem annak érdekében, hogy megbízhatóan azonosítani tudjam a vizsgált viselkedéseket – mivel egyetlen állókép alapján nem minden esetben lehet egyértelműen megállapítani az állatok aktivitását (pl. mozog vagy inaktív). A napi megfigyelésekből nyert adatokat átlagoltam, majd az egyes viselkedési kategóriák időbeni előfordulását napi átlagértékként, százalékos formában (%), a megvilágított időszak teljes időtartamára vetítve adtam meg.



5. ábra: Viselkedés megfigyelése, Takarmányfelvétel (a), Ivás (b), Interakciók (c), Pihenés (d)

3.1.5. Húsminőség vizsgálatok módszerei

Ismétlésenként 4-4 állat (n=20/kísérleti csoport) exterminálása a nyaki érkomplex átvágásával történt, a 40/2013. (II. 14.) Korm. rendelet III/A. fejezet 14. §-a szerint.

3.1.5.1. Test-, szerv- és értékes húsrészek tömegeinek a mérése

Kivéreztetést követően meghatároztam a vágott tömeget. A zsigerezést követően került sor az egyes belső szervek tömegének mérésére, így meghatároztam a máj, a szív a *bursa Fabricii* és a lép tömegét, majd megmértem a teljes hasított test tömegét (grilltömeg). A bontást követően rögzítettem a comb tömegét, illetve a mellék filézését és bőrözését követően a mellfilék tömegét.

A szervtömegeket és az értékes húsrészek tömegét a vágott testtömeghez viszonyítva relatív értékben is meghatároztam, az alábbi képlet alapján, ahová az adott test- vagy szervrész (mell, comb, máj, szív, *bursa Fabricii*, lép) tömege helyettesítendő be:

$$\text{adott test vagy szervrész relatív tömeg} = \frac{\text{adott test vagy szervrész tömeg}}{\text{vágott tömeg}/100}$$

Emellett kiszámítottam a kitermelési százalékot is az alábbi képlet alapján:

$$\text{Kitermelési}\% = \frac{\text{Grilltömeg}}{\text{Vágott tömeg}/100}$$

3.1.5.2. pH mérés

A pH értékek meghatározásához pH HANNA® (Hanna Instruments INC, Smithfield, RI, USA) pH mérő készüléket használtam. Csoportonként mind a 20 egyed pH értékét lemértem a mellminta *cranialis* végébe vezetve a pH mérő készülék üvegelektrodját. A mérés előtt a mérőkészüléket kalibráltam a pH 4,01-es és pH 7,01-es referencia oldatokban a pontos mérés érdekében. A méréseket a vágást követő 45. percben, majd a hűtött mintákon (4 °C) a vágást követő 24. órában végeztem el.

3.1.5.3. Színmérés

A színmérés a mellizomzat friss metszésfelületén történt reflektancia spektrometriás módszerrel, minden megmintázott egyedben (n=20db/csoport). A méréseket egy Minolta Chromameter CR 410 típusú (Konica Minolta INC, Tokyo, Japan) színmérő készülékkel határoztam meg a CIELAB, L*a*b* színrendszerben, ahol az L* érték a világosságot (0 = fekete; 100 = fehér), az a* érték a pirosságot (+ piros; -zöld), a b* érték pedig a sárgasságot (+ sárga; - kék) adja meg. Mérés előtt a készüléket egy fehér kalibrációs lemezzel kalibráltam.

A csoportok közötti színínger különbséget (ΔE^*) a Lukács (1982) féle vizuális színínger érzékelhetőségi skála (2. táblázat) segítségével határoztam meg, ahol a ΔE^* érték kevesebb mint 0,5 – nem észlelhető, ΔE^* érték 0,5 és 1,5 közötti – alig észlelhető, ΔE^* érték 1,5 és 3 közötti – észrevehető, ΔE^* érték 3 és 6 közötti a különbség – jól látható, ΔE^* érték nagyobb mint 6 – nagy a szemmel is érzékelhető különbség a csoportok között. Az értékeket az alábbi képlet segítségével számoltam ki:

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

Értéktartományok	Szemmel érzékelhető eltérés
$\Delta E^*_{ab} \leq 0,5$	nem észlelhető
$0,5 < \Delta E^*_{ab} \leq 1,5$	alig észlelhető
$1,5 < \Delta E^*_{ab} \leq 3$	észrevehető
$3 < \Delta E^*_{ab} \leq 6$	jól látható
$\Delta E^*_{ab} \geq 6$	nagy

2. táblázat: A vizuális színínger érzékelhetőség kategóriái (Lukács 1982).

3.1.5.4. Csepegési veszteség mérése

A víztartó képességet a Honikel-teszt (Honikel 1987) segítségével határoztam meg csoportonként 10 mellmintából. Vágást követően egy 100 g körüli mintát mérlegelés után egy 4 °C-os térben helyeztem el oly módon, hogy saját tömegüknél fogva, mindenféle külső behatást kizáróan (kivéve a gravitáció) függjenek. 48 óra múlva visszamértem a mintatestek tömegét. A tömegkülönbségekből számoltam ki a mintatestek csepegési veszteségét, amit a gravitáció hatására veszítettek el. A csepegési veszteség kiszámításához az alábbi képletet használtam:

$$\text{Csepegési veszteség (\%)} = \left(\frac{\text{Bemért tömeg} - \text{Visszamért tömeg}}{\text{Bemért tömeg}} \right) \times 100$$

3.1.5.5. Konyhatechnikai veszteségek mérése

A mellmintákat 30 nap fagyasztva (-20 °C) tárolás előtt mérlegeltem (m1). A tárolási idő leteltével 24 óra alatt kíméletesen felolvasztottam szobahőmérsékletűre (4 °C-ra, majd 22 °C-ra), majd lemértem a kiolvadt tömegüket (m2). A mintákat 72 °C-os maghőmérsékletig sütöttem (Russell Hobbs, VARTA Consumer Batteries GmbH & Co. KGaA, Germany), mialatt folyamatosan ügyeltem a maghőmérsékletükre (VOLTCRAFT® DET1R, Voltcraft, Hirschau). A hőkezelést követően ismételten lemértem a minták tömegét (m3), majd 1,5 órán keresztül hagytam kíméletesen szoba hőmérsékletűre hűlni. Miután elérték a szobahőmérsékletet, ismételten lemértem a tömegüket (m4). A tömegmérések eredményeiből számítottam ki a konyhatechnikai veszteségeket, mint az olvadási veszteséget, sütési- és hűlési veszteséget (AMSA 2015), melyet a következő képletek segítségével határoztam meg:

$$\text{kiolvadási veszteség (\%)} = \frac{m1 - m2}{m1} \times 100$$

$$\text{sütési veszteség (\%)} = \frac{m2 - m3}{m2} \times 100$$

$$\text{hűlési veszteség (\%)} = \frac{m3 - m4}{m3} \times 100$$

3.1.5.6. Porhanyósság mérés

A 3.1.5.5. Konyhatechnikai veszteségek mérése című pontban előkészített és szobahőmérsékletűre hűlt mellizomzat mintákat használtam a porhanyósság meghatározására. Az így előkészített mintákból 2-2 db, 1x1 cm átmérőjű próbatest-hasábot nyertem. Minden próbatest-hasábon 5-5 ponton mértem meg a nyíróerőt (n=200) egy Warner-Bratzler pengével felszerelt TA.XT PLUS (Stable Micra System Ltd., Godalming, Surrey, UK) textúra analizáló gép segítségével, mely 50 g-os cellával volt szerelve. Minden próbatestet a vágó pengével merőlegesen helyeztem el, mely 20 mm/perc sebességgel haladt át a próbatesten. A pillanatnyi mért erőt a Texture Exponent 32 (Stable Micro System Ltd., Godalming, Surrey, UK) program segítségével ábrázolta a rendszer, erő/idő (kg/s) egységben, melyből a maximum értéket (kg) használtam.

3.1.5.7. Beltartalom mérése

Beltartalom mérésre a fagyasztott mellmintákat szobahőmérsékletűre kíméletesen (4 °C-ra, majd 22 °C-ra) kiolvasztottam, majd aprítottam és homogenizáltam (HR1600 Pro Mix Daily Collection, 550 W, Philips, Amszterdam, Hollandia). A minták kémiai összetételét közeli infravörös spektroszkópia (NIR, Perkin Elmer Inc., DA6200, Shelton, CT, USA) segítségével határoztam meg. A homogenizálást követően a mintát a NIR készülék vizsgálati tégelyébe simítottam, majd minden mintát három ismétlésben mértem, melyeknek az értékeit átlagoltam. Az eredményt a készülék százalékban kifejezve adja meg, mint nedvesség-, fehérje-, zsír-, kollagén-, hamu- és sótartalom.

3.1.6. Alkalmazott statisztikai módszerek

A statisztikai elemzést az R szoftvercsomag (Core Team R, 2013, R version 4.3.2; 2023-10-31 ucr) segítségével végeztem. A csoportok normális eloszlását Shapiro-Wilk teszttel ellenőriztem, a variancia homogenitásának vizsgálatára pedig F-tesztet készítettem. A két csoport közötti statisztikai értékelést T-próbával végeztem. A szignifikancia szintje $p < 0,05$ érték volt. A húsminőségi paraméterekre Pearson-féle korrelációelemzést végeztem, páronkénti összehasonlítással az egyszerű korrelációs együtthatók meghatározására.

3.2. Eltérő típusú megvilágítás vizsgálata brojler szülőpárokon

3.2.1. A kísérletben résztvevő állatok

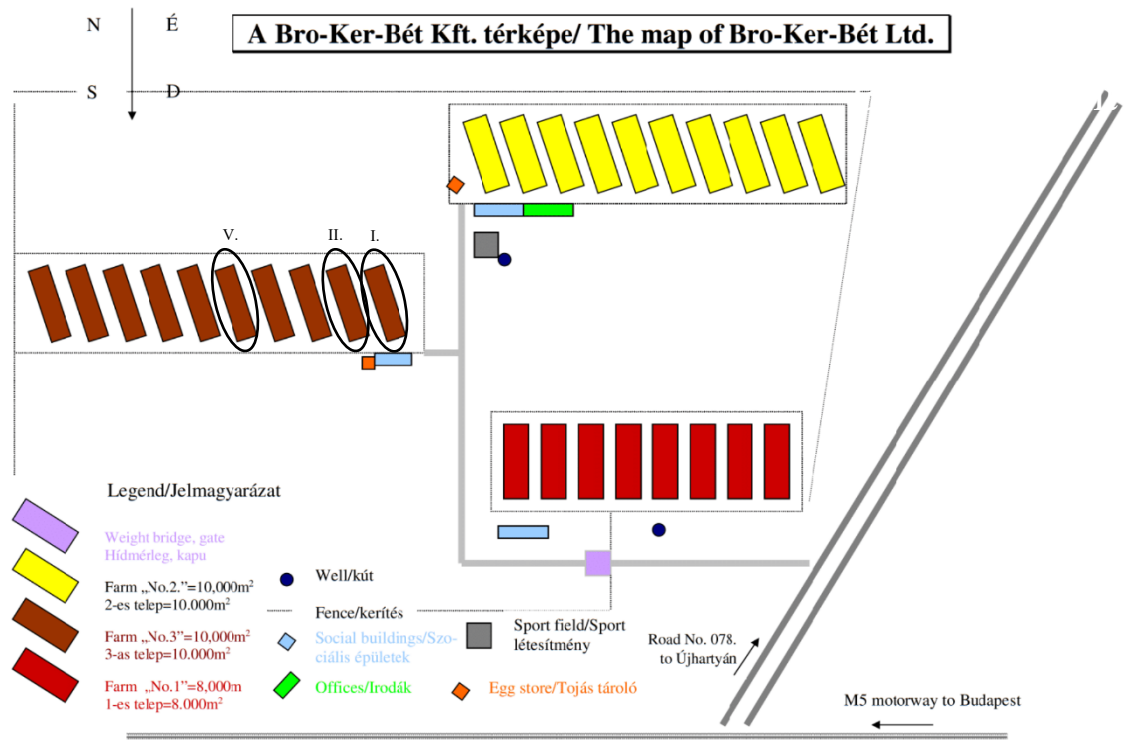
A brojler szülőpárokon végzett valamennyi eljárást — beleértve a tartási, mérési és mintavételi protokollokat — a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Szent István Campus Munkahelyi Állatjóléti Bizottságának (SZIC-MÁB) előzetes engedélyével és folyamatos felügyelete mellett (MATE-MKK-2020/22) végeztem, teljes összhangban a hazai jogszabályi előírásokkal (1998. évi XXVIII. törvény; 40/2013. (II. 14.) Korm. rendelet) és az Európai

Parlament és Tanács 2010/63/EU irányelvével. A MÁB határozata és a hivatkozott jogszabályok értelmében a vizsgálatom nem minősül állatkísérletnek, mivel nem okoztam az állatoknak a helyes állatorvosi gyakorlat szerint kivitelezett tűszúrásnál nagyobb fájdalmat.

A kísérletben Ross 308 szülőpár állománnyal dolgoztam (6. ábra). A jérce és tenyészkakas nevelés a Bro-Ker-Bét Kft. telephelyén (7. ábra), az 1-es számú telepen történt. A kísérletben résztvevő nőivarú és hímivarú egyedeket ivaronként külön azonos istállóban nevelték fel. A kísérletet a Bro-Ker-Bét Kft. újhartyáni telephelyén (7. ábra) a 3-as telepen végeztem el, három istálló bevonásával. Az istállók azonos méretűek, egyenként 1000 m² alapterülettel és azonos fekvéssel rendelkeztek. A jércék és a fiatal kakasok betelepítése a 19. élethetükön történt. A madarakat a 19. élethétől az 53. élethetes korukig követtem nyomon. Kombinált mélyalmos tartási rendszerben egy-egy istállóban egyidőben 500 kakas és 5000 tojó termelt, 1:10-es ivararányban, 5,5 egyed/m² telepítési sűrűséggel. A takarmányozás adagoltan történt, kereskedelmi forgalomban kapható tenyészállatok igényeihez igazított teljes értékű takarmánykeverékkel. 18. héttől 23. hétig előtojó, 23.-38. hetes kor között Ross szülőpár tojó 1., majd 38. hetes kortól Ross szülőpár tojó 2. takarmánykeveréket fogyasztottak a madarak morzsázott formában a Ross Parent Stock Management Handbook ajánlásainak megfelelően (Ross P.S.M.H.). Az elhullási adatok folyamatosan rögzítésre kerültek.



6. ábra: Brojler szülőpárok (saját kép)



7. ábra: A Bro-Ker-Bét Kft telepeinek a térképe (http3)

3.2.2. A termelési paraméterek mérése és számítása

A tenyészállatok élőtömegét (ivaronként külön) heti rendszerességgel mérlegettem, a Ross Parent Stock Management Handbook (Ross P.S.M.H.) ajánlásainak megfelelően, az állomány létszámának megfelelő 1 % állatot, a takarmánykiosztást megelőzően. A lemert állatok élőtömegét csoportátlagként kezeltem.

Az adagolt takarmánykiosztás naponta, mindig ugyan abban az időpontban történt, a Ross Parent Stock Management Handbook (Ross P.S.M.H.). ajánlásainak megfelelő adagokkal.

A megtermelt tojások mennyisége naponta rögzítésre került az ólnaplóban, tenyész- és keltetésre alkalmatlan (pl. törött, mérethibás, deformált) tojásokat megkülönböztetve.

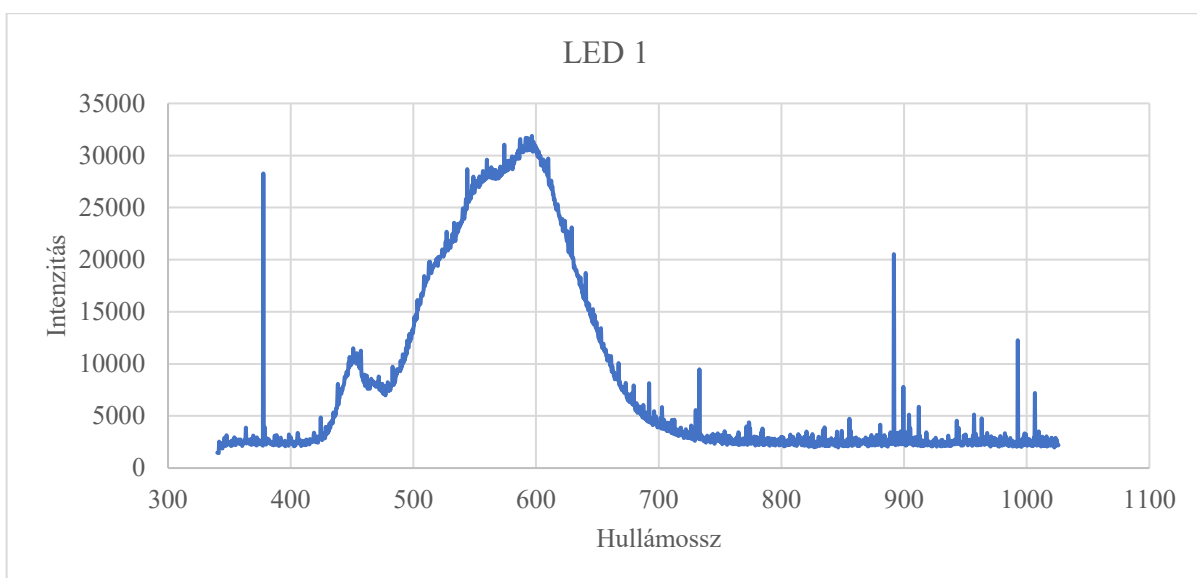
A megtermelt tojások mennyiségéből és a tyúkoknak kiosztott takarmány mennyiségéből számítottam ki a takarmány- értékesítést.

Az istállóban lévő tyúkok számából és a napi megtermelt tojás mennyiségéből számoltam ki a tojástermelési intenzitást.

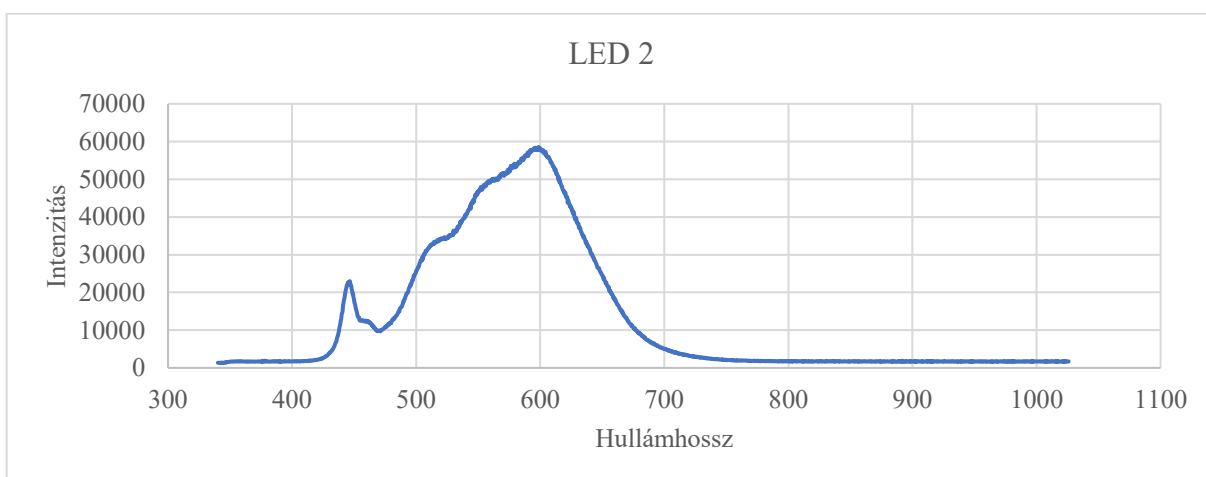
Az elhullott állatok száma napi szinten ivar szerint az ólnaplóba lett feljegyezve.

3.2.3. Alkalmazott megvilágítás

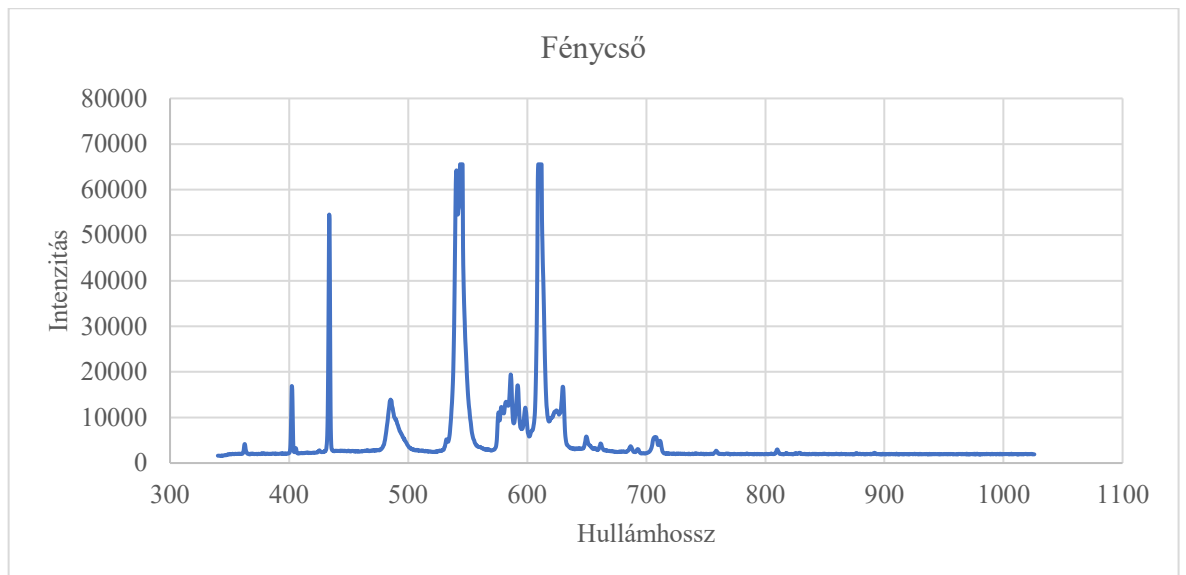
A kísérletbe bevont három istálló (1. 2. és 5. istálló: 8-10. ábrán jelölve I. II. és V.) és az alkalmazott tartástechnológia a világítás kivételével azonos volt mindhárom kísérleti csoportban. A fényspektrumokat mindhárom istállóban Ocean optics ® overture USB 2000+VIS-NIR (Ocean Insight, Orlando, Florida, USA) spektrummérő készülékkel mértem meg és Excel program segítségével ábrázoltam (8-10. ábra). Az 1. (LED1) (8. ábra) és a 2. (LED 2) (9. ábra) istállóban LED világítás üzemelt, eltérő hullámhosszú fényt kibocsájtva, míg az 5. istállóban fénycső megvilágítás (10. ábra) üzemelt. A termelési időszak során a megvilágítás időtartama minden kísérleti csoportban egységesen 14 óra volt, 100 lux megvilágítási szint mellett.



8. ábra: 1. istálló fényspektruma (LED1)



9. ábra: 2. istálló fényspektruma (LED2)



10. ábra: 5. istálló fényspektruma (Fénycső)

3.2.4. Vérminta-vételek

A vérvételek mindhárom csoportban havi rendszerességgel történtek az állatorvosi gyakorlattal megegyezően. Az első mintavétel 18 hetes állománytól történt a nevelőtelepen, a további mintavételek a termelő, vizsgálatra kiválasztott istállóknban (1., 2. és 5. istálló), egészen a madarak 53. élethetéig. A vérvételt mindig reggeli órákban végeztem és csoportonként véletlenszerűen 10 nőivarú és 10 hímivarú egyed mintáztam meg. A vérvétel a madarak jobb oldali szárnyvénájából történt. A szűrés helyének fertőtlenítését (Egisept®) követően, Vacuette® (21Gx1” zöld) vérvételi tű segítségével, 9 ml-es Na-heparinos Vacuette® vákuumos vérvételi csövekbe gyűjtöttem, állatonként 6 ml-t. A vérmintákat hűtve (4 °C) tároltam és szállítottam a további feldolgozásig.

3.2.5. Vérminták előkészítése

A vérminták feldolgozását a Szent István Campus Állattenyésztés- technológiai és Állatjóléti Tanszék laborjában végeztem. A vér szeparálását centrifugálással (Hermle, Z 206A, Hermle Labortechnik GmbH, Gosheim, Baden-Württemberg, DE.) 2500 rpm fordultszámon 15 percen keresztül végeztem. A vérplazma és vörösvérsejt frakciók szétválását követően 300 µl plazmát adagoltam (Proline pipette Sartorius, 100-1000 µl, Weender Landstrasse 94–108, 37075 Göttingen, DE) három ismétlésben reakciócsövekbe (Eppendorf Tubes®, 1,5 ml). Ezt követően a kapott mintákat -20 °C-on tároltam a további felhasználásig. A minták feldolgozása és tárolása megfelel a hormonmérési kézikönyvekben (P4 User Manual; E2 User Manual; LH User Manual; FSH User Manual; PTH User Manual; T User Manual; CT User Manual) leírt követelményeknek.

3.2.6. Ürülékminták gyűjtése és előkészítése

Ürülék minták gyűjtése havi rendszerességgel, a vérvételek megkezdése előtt történt, a délelőtti órákban. Csoportonként legalább 6, kizárólag friss ürülékmintát gyűjtöttem be. A mintákat csoportonként külön kezeltem, egy-egy csoport mintáit elegyítettem és elegymintaként kezeltem. Ezt követően hűtve szállítottam, majd -20 °C-os fagyaszóban tároltam további felhasználásig.

Az ürülékminták mérésre való előkészítését szobahőmérsékletre való felolvasztással kezdtem. A mintákból 0,5 g-ot mértem ki, melyet 96%-os etanollal hígítottam 10x-esére. Örvénykeverő használatát követően fél órát rázattam a hígított mintákat a kortikoszteron minél jobb extrakciója érdekében. A kapott elegyet centrifugáltam, majd a felülúszóból 50 µl-t pipettáztam le, amihez 200 µl hígító puffert adtam.

Az így kapott mintákat a Corticosterone ELISA Kit (KORT User Manual) leírása szerint kezeltem és mértem a továbbiakban.

3.2.7. Vér- és ürülékminták vizsgálata

A hormonvizsgálatokat a 17., 30., és 35. hetes állományok mintáiból végeztem.

3.2.7.1. Progeszteron mérés

A progeszteron (P4) plazmából történő kimutatására a NovaTec® Progesterone ELISA Kit-et (Cat. Num.: DNOV006) alkalmaztuk. Érzékenysége 0,05 ng/ml. A Kit variációs együtthatója vizsgálaton belül <4% a vizsgálatok között pedig <9,3%.

Vizsgálati eljárás:

1. Minden reagenst és mintát hagyni kell szobahőmérsékletűre melegedni (22°C).
2. Minták és reagensek mikrotiter lemezre történő adagolása, 20 µl standard és 20 µl minta kerül a mintahelyekbe.
3. 200 µl progeszteron-HRP konjugátum adagolása minden egyes mintahelybe.
4. Inkubálás 60 percig 37 °C-on, majd háromszori mosás 300 µl mosóoldattal.
5. 100 µl TMB-szubsztrát hozzáadása, majd 15 perc inkubáció szobahőmérsékleten.
6. 100 µl stop oldattal a színreakció leállítása.
7. Az abszorbancia mérés 450 nm-es hullámhosszon történik.

Adatfeldolgozás:

Az eredmények számítása standard görbe segítségével történik, amelyet számítógépes programmal (Ascent Software v2.6) értékelünk ki.
(P4 User Manual)

3.2.7.2. Ösztrogén mérés

Az ösztrogén (E2) plazmából történő kimutatására a NovaTec® 17 beta-Estradiol ELISA Kit-et (Cat. Num.: DNOV003) alkalmaztuk. Érzékenysége 0,10 ng/ml. A mérés ismételhősége vizsgálaton belül <9% a vizsgálatok között pedig <10%.

Vizsgálati eljárás:

1. Minden reagenst és mintát hagyni kell szobahőmérsékletűre melegedni (22°C).

2. Minták és reagensek mikrotiter lemezre történő adagolása, 25 µl standard és 25 µl minta kerül a mintahelyekbe.
3. 200 µl konjugátum adagolása minden egyes mintahelybe.
4. Inkubálás 2 óra 37 °C-on, majd háromszori mosás 300 µl mosóoldattal.
5. 100 µl TMB-szubsztrát hozzáadása, majd 30 perc inkubáció szobahőmérsékleten.
6. 100 µl stop oldattal a színreakció leállítás.
7. Az abszorbancia mérés 450 nm-es hullámhosszon történik.

Adatfeldolgozás:

Az eredmények számítása standard görbe segítségével történik, amelyet számítógépes programmal (Ascent Software v2.6) értékelünk ki.
(E2 User Manual)

3.2.7.3. Luteinizáló hormon mérés

A luteinizáló hormon (LH) plazmából történő kimutatására a SunLong Biotech[®] Chicken Luteinizing Hormone (LH) ELISA Kit-et (Cat. Num.: SL0057Ch) alkalmaztuk. Mérési tartomány 0,1-7 ng/ml. Érzékenysége 0,01 ng/ml. A Kit variációs együtthatója a vizsgálaton belül <10CV% a vizsgálatok között pedig <12CV%.

Vizsgálati eljárás:

1. A standardok hígítása és a minták előkészítése.
2. Minták és reagensek mikrotiter lemezre történő adagolása, 40 µl mintahígító és 10 µl minta kerül a mintahelyekbe.
3. Inkubálás 30 percig 37 °C-on, mosás, majd HRP-konjugált reagens hozzáadása.
4. Újabb inkubáció és mosás.
5. Minden mintahelybe 50 µl kromogén A és 50 µl kromogén B oldat kerül, ami a színreakció elindítását szolgálja.
6. A színreakció megállítása 50 µl stop oldattal.
7. Optikai denzitás mérés 450 nm-es hullámhosszon történik.

Adatfeldolgozás:

Az eredmények számítása standard görbe segítségével történik, amelyet számítógépes programmal (Ascent Software v2.6) értékelünk ki.
(LH User Manual)

3.2.7.4. Follikulus stimuláló hormon mérés

A follikulus stimuláló hormon (FSH) plazmából történő kimutatására a SunLong Biotech[®] Chicken follicle-stimulating hormone (FSH) ELISA Kit-et (Cat. Num.: SL0019Ch) alkalmaztuk. Mérési tartomány 0,8-40 ng/ml. Érzékenysége: 0,1 ng/ml. A mérés ismételhősége a vizsgálaton belül <10CV% a vizsgálatok között pedig <12CV%.

Vizsgálati eljárás:

Hasonlóan a luteinizáló hormon méréséhez (3.2.5.3. pontban)

Adatfeldolgozás:

Az eredmények számítása standard görbe segítségével történik, amelyet számítógépes programmal (Ascent Software v2.6) értékelünk ki.
(FSH User Manual)

3.2.7.5. Parathormon mérés

A parathormon (PTH) plazmából történő kimutatására a CUSABIO® Chicken parathyroid hormone (PTH) ELISA Kit-et (Cat. Num.: CSB-E11880Ch) alkalmaztuk. Mérési tartomány 6,25 – 100 pg/ml. A vizsgálaton belüli és a vizsgálatok közötti variációs együttható <15CV%.

Vizsgálati eljárás:

1. Minden reagenst és mintát hagyni kell szobahőmérsékletűre melegedni (22°C).
2. A standardokat és mintákat a mikrotiter lemezre kell adagolni.
3. Biotin-konjugált PTH hozzáadása után 37°C-on 60 percig inkubálni kell.
4. Többszöri mosási ciklust követően HRP-avidin, majd szubsztrátok (A és B) hozzáadása következik.
5. Stop oldatot alkalmazva a színreakció leállítása után az abszorbanciát 450 nm-en kell mérni.

Adatfeldolgozás:

Az eredmények számítása standard görbe segítségével történik, amelyet számítógépes programmal (Ascent Software v2.6) értékelünk ki.
(PTH User Manual)

3.2.7.6. Tesztoszteron mérés

A tesztoszteron (T) plazmából történő kimutatására a NovaTec® Testosterone ELISA Kit-et (Cat. Num.: DNOV002) alkalmaztuk. Érzékenysége 0,10 ng/ml. A mérés ismételhetősége a vizsgálaton belül <7% a vizsgálatok között pedig <8,3%.

Vizsgálati eljárás:

8. Minden reagenst és mintát hagyni kell szobahőmérsékletűre melegedni (22°C).
9. Minták és reagensek mikrotiter lemezre történő adagolása, 25 µl standard és 25 µl minta kerül a mintahelyekbe.
10. 100 µl konjugátum adagolása minden egyes mintahelybe.
11. Inkubálás 60 percig 37 °C-on, majd háromszori mosás 300 µl mosóoldattal.
12. 100 µl TMB-szubsztrát hozzáadása, majd 15 perc inkubáció szobahőmérsékleten.
13. 100 µl stop oldattal a színreakció leállítása.
14. Az abszorbancia mérés 450 nm-es hullámhosszon történik.

Adatfeldolgozás:

Az eredmények számítása standard görbe segítségével történik, amelyet számítógépes programmal (Ascent Software v2.6) értékelünk ki.
(T User Manual)

3.2.7.7. Kalcitonin mérés

A kalcitonin (CT) plazmából történő kimutatására a SunLong Biotech® Chicken Calcitonin (CT) ELISA Kit-et (Cat. Num.: SL0209Ch) alkalmaztuk. Mérési tartomány 3-200 pg/ml. Érzékenysége 0,6 pg/ml. A mérés ismételhetősége a vizsgálaton belül <10CV% a vizsgálatok között pedig <12CV%.

Vizsgálati eljárás:

Hasonlóan a luteinizáló hormon méréséhez (3.2.5.3. pontban)

Adatfeldolgozás:

Az eredmények számítása standard görbe segítségével történik, amelyet számítógépes programmal (Ascent Software v2.6) értékelünk ki.

(CT User Manual)

3.2.7.8. Kortikoszteron mérés

A kortikoszteron (KORT) ürülékből történő kimutatására a DetectX[®] Corticosterone ELISA Kit-et (Cat. Num.: K014-H1/H5) alkalmaztuk. Érzékenysége 20,9 pg/ml. Kimutatási határ 17,5 pg/ml. A Kit variációs együtthatója a vizsgálaton belül 6,3 CV% a vizsgálatok között pedig 7,5 CV%.

Vizsgálati eljárás:

1. A reagenseket hagyni kell szobahőmérsékletűre melegedni (22°C).
2. Minták és reagensek mikrotiter lemezre történő adagolása, 50 µl standard és 50 µl minta kerül a mintahelyekbe.
3. 25 µl konjugátum adagolása minden egyes mintahelybe és 25 µl antitestet az NSB mintahelyek kivételével mindbe.
4. Rázás 60 percig szobahőmérsékleten, majd négyszeri mosás 300 µl mosóoldattal.
5. 100 µl TMB-szubsztrát hozzáadása, majd inkubálás 30 percen át szobahőmérsékleten rázás nélkül.
6. 50 µl stop oldattal a színreakció leállítása.
7. Az abszorbancia mérés 450 nm-es hullámhosszon történik.

Adatfeldolgozás:

Az eredmények számítása standard görbe segítségével történik, amelyet számítógépes programmal (Ascent Software v2.6) értékelünk ki.

(KORT User Manual)

3.2.8. Kelési eredmények vizsgálata

Keltetési vizsgálatokat a kísérletben részvevő állományok tenyész tojásain végeztem. A tojások a Bro-Ker-Bét Kft újhartyáni 3-as telepén lévő 1., 2. és 5. kísérleti istállóknak lévő tyúkok tenyész tojásai. A tojások gyűjtése és kezelése a telepi gyakorlatnak megfelelően történt, szalagos rendszer segítségével napi két gyűjtésben, a telep munkatársa a gyakorlatnak megfelelően szubjektív módon kiválogatta a keltetésre alkalmatlan tojásokat (pl. törött, mérethibás, deformált). A keltetést a Herbro Kft hernádi brojler keltető üzemében végeztem. A kísérleti keltetést mindhárom kísérleti csoport esetében mindig azonos időben gyűjtött tojásokon végeztem, csoportonként 162 db (egy keltetői tálcá) tojáson (ez hozzávetőleg 3,5-4%-a napi megtermelt tojásnak). A keltetési kísérletet kéthavi rendszerességgel végeztem el, összesen négy alkalommal, a kísérleti madarak 23., 31., 39. és 47. hetes életkorukban megtermelt tojásokon. Minden kísérleti keltetésbe bevont tojás azonos módon, a keltetőházi gyakorlatnak megfelelően volt kezelve, a három kísérleti tojásokat tartalmazó keltetői tálcát mindig azonos módon, egy keltető szobán belül egymás alá helyeztem el, az azonos keltetési körülmények biztosítása érdekében. A keltetőházi gyakorlat szerinti 19. napi lámpázást a

kísérleti keltetésben résztvevő tojásokon a keltető mellőzte, a ki nem kelt tojások további vizsgálata érdekében. A 19. napon a keltető szobából a tojások áthelyezésre kerültek a bújatóba, ahol a kísérleti tojások három csoportja szintén egy helyre, egymás alá került.

3.2.8.1. Keltetésre berakott tojások súlya

A keltető szobába kerülés előtt néhány órával a kísérleti tojások három csoportját későbbi keveredés kizárása érdekében egyedi jelöléssel láttam el és az összes tojást (162 db) egyedileg mérlegeltem egy 0,5 g-os pontosságú mérleggel (EXCELL® SI-130). A kapott értékekből csoport átlagsúlyokat számoltam.

3.2.8.2. Kikelt csibék tömege

A bújatóból kikerülő ládában lévő egészséges csibéket leválogattam, és egyedileg mérlegeltem (EXCELL® SI-130). Egyedi azonosításra nem volt lehetőségem, kelés után ugyanis nem lehetett megmondani, hogy melyik csibe melyik tojásból kelt ki. Az átlagos csibetömeget (g) a berakott tojások átlagos tömegének (g) függvényében, **relatív csibetömegként** (%) számoltam ki.

3.2.8.3. Kelési eredmények

A csibék leválogatását és mérlegelését követően a ládában visszamaradt ki nem kelt tojásokat és a kikelt csibék után visszamaradó tojánhéjakat további vizsgálat érdekében elhoztam a Szent István Campus Állattenyésztési Tudományok Intézet laborjába.

A ki nem kelt tojások és az összes berakott tojás arányából számoltam ki a keltetői kiesést (%).

3.2.8.4. Kikelt tojások héjvastagsága

A kísérleti állatok tojásainak héjvastagságát csak a kikelt csibék után hátramaradt tojánhéjakon tudtam megmérni. A héjvastagság mérését a belső és külső héjhártyák nélkül végeztem, mindig a tojás oldalsó részén. Csak azokon a héjjakon végeztem el mérést, amelyik pontosan azonosítható volt a keltetés előtti egyedi jelölés révén, így elkerültem az ugyan abból a tojásból származó két mérést. A héjvastagságot egy Mitutoyo® (ABSOLUTE Digimatic) vastagságmérővel végeztem, 0,01 mm pontossággal. A mért értékekből csoportos átlagot számoltam.

3.2.9. Alkalmazott statisztikai módszerek

A statisztikai elemzést az R szoftvercsomag (Core Team R, 2013, R version 4.3.2; 2023-10-31 ucr) segítségével végeztem. A csoportok normális eloszlását Shapiro-Wilk teszttel ellenőriztem, a variancia homogenitásának vizsgálatára pedig F-tesztet készítettem. Ha minták paraméteres tesztelésre alkalmasnak bizonyultak, akkor a csoportok között egyvonalas ANOVA tesztet végeztem Tukey utóteszttel a statisztikai különbségek igazolására, $p < 0,05$ értékű szignifikancia szint mellett. Amennyiben a minták nem mutattak normál eloszlást, úgy

Kruskal-Wallis tesztet végeztem Dunn-Bonferroni utóteszttel $p < 0,05$ értékű szignifikancia szint mellett a csoportok közötti különbségek igazolására. A termelési, kelési és hormonális paraméterekre Pearson-féle korrelációelemzést végeztem, páronkénti összehasonlítással az egyszerű korrelációs együtthatók meghatározására.

3.3. Eltérő spektrumtartományú megvilágítás vizsgálata lúd szülőpárokon

3.3.1. A kísérletben résztvevő állatok

A vizsgálat során az élő madarak felhasználásával kapcsolatos minden eljárás a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Szent István Kampusz Intézeti Állatjóléti Bizottságának engedélyével és tudtával zajlott (MATE-MKK-2020/22 számú tanúsítvány), összhangban az állatok gondozására és felhasználására vonatkozó magyarországi és európai irányelvekkel (Directive 2010/63/EU; 1998. évi XXVIII. törvény).

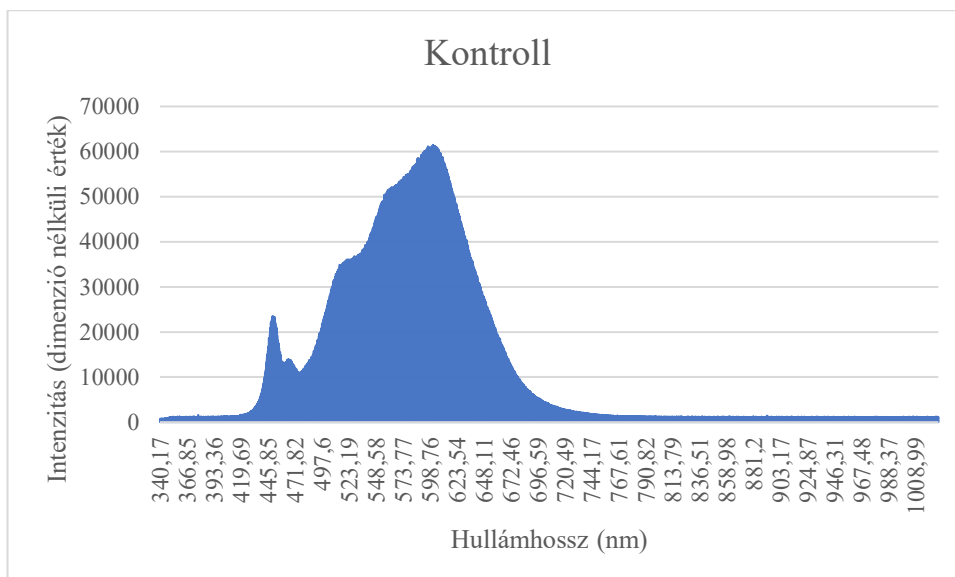
A kísérletben a Kisbéri Lúdtenyésztő Kft., INTEGRAL MB 09-es májhasznú szülőpár állománnyal dolgoztam (11. ábra). Az állatok az Állatház Kft. mátraderecskei telephelyén voltak elhelyezve, a 3. istállóban, zártrendszerű mélyalmos tartási rendszerben. Az istálló négy egységes részre volt választva, egy fényt át nem eresztő fal segítségével. Minden egyes kísérleti csoportban 200 tojó és 73 gúnár egyed volt beállítva, 2,5 tojó 1 gúnár ivararányban, 1,2 egyed/m²sűrűséggel. Az állomány a kísérlet ideje alatt az első termelési ciklusában volt. A vizet szelepes önitatókból, a takarmányt csigás önetetőkől *ad libitum* vehették fel a madarak. Az állatok mérlegelése havi rendszerességgel történt. Az ólnaplóban vezették az állatok napi tojástermelését és elhullását. A napi megtojt tojások mennyiségéből és a tojó állomány létszámából számoltam ki a tojástermelési intenzitást. Az állatok mérlegelése a tojástermelési időszak alatt 9 alkalommal történt kétheti rendszerességgel, mind a tojók mind a gúnárok 25%-ának az egyedi mérlegelésével.



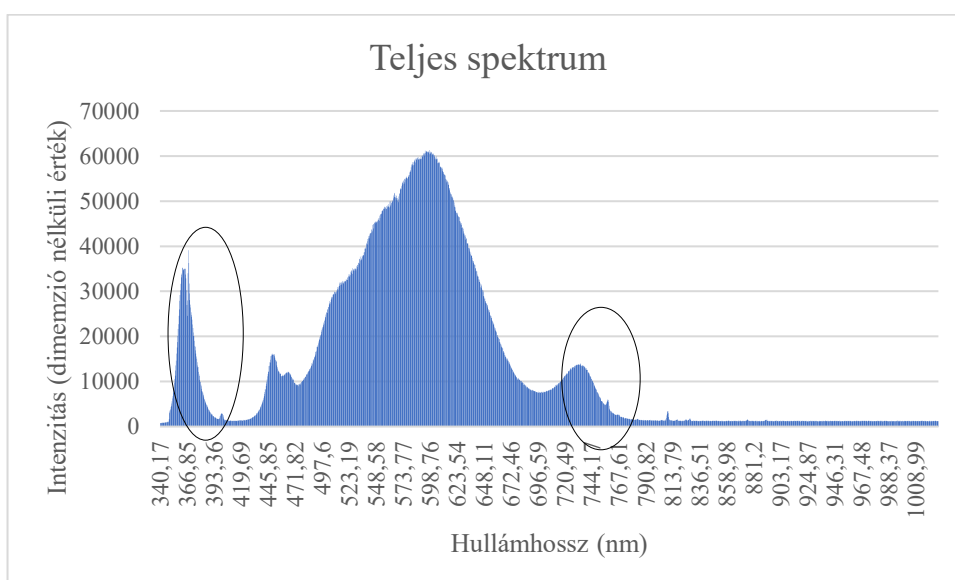
11. ábra: Lúd szülőpárok (saját fotó)

3.3.2. Alkalmazott megvilágítás

A kísérleti négy csoport esetében egyedül a megvilágítás az, ami különbözött a csoportok között. A fényspektrumokat mindhárom istállóban Ocean optics® overture USB 2000+VIS-NIR (Ocean Insight, Orlando, Florida, USA) spektrummérő készülékkel mértem meg és Excel program segítségével ábrázoltam (12-15 ábra). A Kontroll csoport megvilágítása LED világítás volt, mely a látható fény hullámhossz tartományát foglalja magában, mely a többi csoport esetében ki lett egészítve további színtartományokkal. A második csoport esetében a teljes spektrum közelítése volt a cél, ahol a kiegészítés UVA és B + Far-red (UV+Far-red) fényel történt. A harmadik csoport esetében Far-red hullámhosszúságú fényel, az utolsó csoport esetében pedig UVA és B hullámhosszúságú fényekkel történt meg a kiegészítés. A kísérleti csoportok világításának a színhőmérséklete 5000 K, míg a fényintenzitása 50-60 lux volt. A megvilágított órák hossza 11 óra volt, reggel 6:00-tól délután 17:00-ig minden csoportban. A 2. és 4. csoport esetében az alkalmazott UVB kiegészítést mindössze napi 5 órát kapták az állatok, minden nap 9:00-tól 14:00-ig. A megvilágítási időtartamokat a 3. táblázatban láthatjuk.

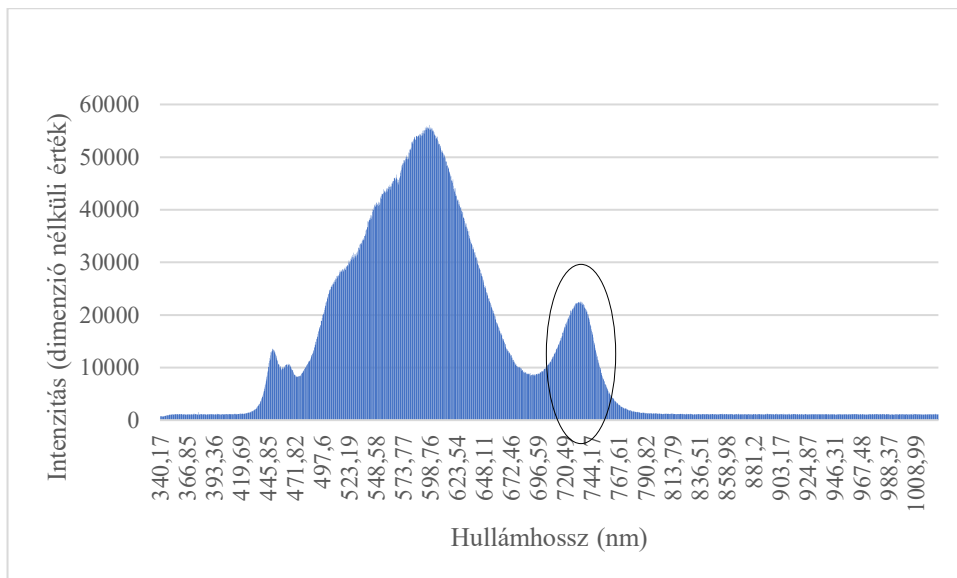


12. ábra: Kontroll csoportban alkalmazott fény spektrum

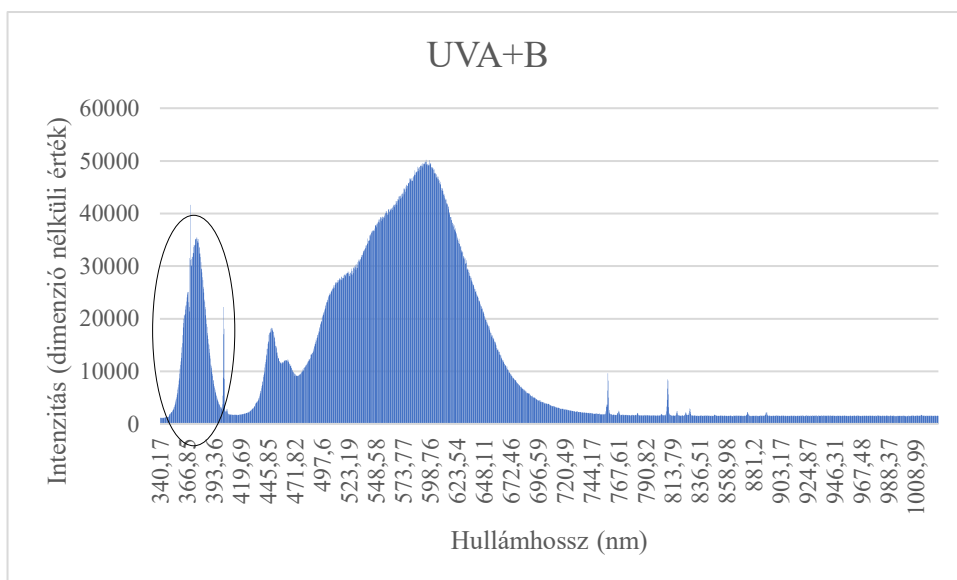


13. ábra: A UVA és UVB + Far-red* csoportban alkalmazott fény spektrum
(Teljes spektrum)

*a jelölés a kontrolltól való eltérő spektrumot jelöli



14. ábra: A Far-red* csoportban alkalmazott fény spektrum
*a jelölés a kontrolltól való eltérő spektrumot jelöli



15. ábra: Az UVA és B* csoportban alkalmazott fény spektrum
*a jelölés a kontrolltól való eltérő spektrumot jelöli

Időszak, naptári hét	Kontroll (RGB: látható fény)		UV (Kontroll+ UVA+UVB)		Far-red (Kontroll+ Far-red)		UV+Far-red (teljes spektrum: Kont.+UV+Far-red)	
	Világítás		Világítás		Világítás		Világítás	
	Kezdet	Vége	Kezdet	Vége	Kezdet	Vége	Kezdet	Vége
52.	6:00	15:00	6:00	15:00	6:00	15:00	6:00	15:00
	kontroll világítás!		kontroll világítás!		kontroll világítás!		kontroll világítás!	
1.	6:00	15:30	6:00	15:30	6:00	15:30	6:00	15:30
			UVB 8:00	UVB 13:00			UVB 8:00	UVB 13:00
2.	6:00	16:00	6:00	16:00	6:00	16:00	6:00	16:00
			UVB 8:30	UVB 13:30			UVB 8:30	UVB 13:30
3.	6:00	16:30	6:00	16:30	6:00	16:30	6:00	16:30
			UVB 8:30	UVB 13:30			UVB 8:30	UVB 13:30
4.-22.	6:00	17:00	6:00	17:00	6:00	17:00	6:00	17:00
			UVB 9:00	UVB 14:00			UVB 9:00	UVB 14:00
Kontroll LED fényforrás időtartama	11 óra		11 óra		11 óra		11 óra	
Kiegészítés időtartama	X		UVA: 11 óra, UVB: 5 óra		Far-red: 11 óra		UVA+Far-red: 11 óra, UVB: 5 óra	

3. táblázat: A kísérlet során alkalmazott megvilágítási programok a Kontroll, UV, Far-red és UV+Far-red csoportokban

3.3.3. Vér és ürülék minta gyűjtése és vizsgálata

A vérvételek havi rendszerességgel történtek mind a négy csoportban. Minden kísérleti csoportból 8 nőivarú és 8 hímivarú állattól vettünk vért minden egyes mintavétel alkalmával. A vérminta vételek a fentebb leírt 3.2.4. pont szerint történt. A vérminták előkészítése a 3.2.5.-ban leírtak szerint történt.

Az ürülékmintákat a vérvételekkel egy időben, közvetlenül a vérvétel előtt történtek, a 3.2.6. pontban leírtak szerint.

Az ürülékmintákból kortikoszteron szint meghatározása a 3.2.7.8. pont leírása szerint történt. A betelepítéskor vett mintát vettem abszolút kontrollnak, majd a termelési időszak minden hónapjában (1.-6. hónap) gyűjtött ürülékmintán kortikoszteron mérést végeztem.

A kinyert vérplazmákból progeszteron, ösztrogén és tesztoszteron hormonok mérése történt, a termelési időszak 2.-6. hónapja között az alábbiak szerint:

3.3.3.1. Progeszteron mérés

A progeszteron hormon (P4) plazmából történő kimutatására a DRG® Progesterone ELISA Kit-et (EIA-1561) alkalmaztuk. Érzékenysége 0,045 ng/ml.

Vizsgálati eljárás:

1. Minden reagenst és mintát hagyni kell szobahőmérsékletűre melegedni (22°C).

2. Minták és reagensek mikrotiter lemezre történő adagolása, 25 µl standard és 25 µl minta kerül a mintahelyekbe.
3. 5 perc inkubálás szobahőmérsékleten.
4. 200 µl progeszteron-HRP konjugátum adagolása minden egyes mintahelybe.
5. Inkubálás 60 percig szobahőmérsékleten, majd háromszori mosás 400 µl mosóoldattal.
6. 200 µl TMB-szubsztrát hozzáadása, majd 15 perc inkubáció szobahőmérsékleten.
7. 100 µl stop oldattal a színreakció leállítása.
8. Az abszorbancia mérés 450 nm-es hullámhosszon történik.

Adatfeldolgozás:

Az eredmények számítása standard görbe segítségével történik, amelyet számítógépes programmal (Ascent Software v2.6) értékelünk ki.

(P4 Instructions for Use)

3.3.3.2. Ösztrogén mérés

Az ösztrogén hormon (E2) plazmából történő kimutatására a DRG® 17 beta-Estradiol ELISA Kit-et (EIA-2693) alkalmaztuk. Analitikai érzékenysége 9,714 pg/ml.

Vizsgálati eljárás:

1. Minden reagenst és mintát hagyni kell szobahőmérsékletűre melegedni (22°C).
2. Minták és reagensek mikrotiter lemezre történő adagolása, 25 µl standard és 25 µl minta kerül a mintahelyekbe.
3. 200 µl konjugátum adagolása minden egyes mintahelybe.
4. Inkubálás 120 percen keresztül szobahőmérsékleten (18-25 °C), majd háromszori mosás 300 µl mosóoldattal.
5. 100 µl TMB-szubsztrát hozzáadása, majd 15 perc inkubáció szobahőmérsékleten.
6. 50 µl stop oldattal a színreakció leállítása.
7. Az abszorbancia mérés 450 nm-es hullámhosszon történik.

Adatfeldolgozás:

Az eredmények számítása standard görbe segítségével történik, amelyet számítógépes programmal (Ascent Software v2.6) értékelünk ki.

(E2 Instructions for Use)

3.3.3.3. Tesztoszteron mérés

A tesztoszteron hormon (T) plazmából történő kimutatására a DRG® Testosterone ELISA Kit-et (EIA-1559) alkalmaztuk. Érzékenysége 0,083 ng/ml.

Vizsgálati eljárás:

1. Minden reagenst és mintát hagyni kell szobahőmérsékletűre melegedni (22°C).
2. Minták és reagensek mikrotiter lemezre történő adagolása, 25 µl standard és 25 µl minta kerül a mintahelyekbe.
3. 200 µl konjugátum adagolása minden egyes mintahelybe.
4. Inkubálás 60 percig szobahőmérsékleten, majd háromszori mosás 400 µl mosóoldattal.
5. 200 µl TMB-szubsztrát hozzáadása, majd 15 perc inkubáció szobahőmérsékleten.
6. 100 µl stop oldattal a színreakció leállítása.
7. Az abszorbancia mérés 450 nm-es hullámhosszon történik.

Adatfeldolgozás:

Az eredmények számítása standard görbe segítségével történik, amelyet számítógépes programmal (Ascent Software v2.6) értékelünk ki.
(T Instructions for Use)

3.3.3.4. Kortikoszteron mérés

A kortikoszteron (KORT) ürülékből történő kimutatására a ZELLYX[®] Corticosterone ELISA Kit-et (ZX-55101) alkalmaztuk.

Vizsgálati eljárás:

1. Minták és reagensek mikrotiter lemezre történő adagolása, 50 µl standard és 50 µl minta kerül a mintahelyekbe.
2. 75 µl puffer adagolása az NSB egyes mintahelybe.
3. 25 µl kortikoszteron konjugátum adagolása minden mintahelybe.
4. NSB mintahelyek kivételével 25 µl kortikoszteron antitest adagolása.
5. A lemez óvatos összerázása, majd lefedése és egy órán át történő rázatása.
6. Négyszeri mosás 300 µl mosóoldattal.
7. 100 µl TMB-szubsztrát hozzáadása, majd inkubálás 30 percen át szobahőmérsékleten.
8. 50 µl stop oldattal a színreakció leállítás.
9. Az abszorbancia mérés 450 nm-es hullámhosszon.

Adatfeldolgozás:

Az eredmények számítása standard görbe segítségével történik, amelyet számítógépes programmal (Ascent Software v2.6) értékelünk ki.
(KORT Instructions for Use)

3.3.4. Tojásminőség vizsgálatok

A tojásminőség vizsgálatokat két hetente végeztem el, csoportonként 15-15 db véletlenszerűen kiválasztott tenyésztőtojás.

A vizsgálatokat TA.XT PLUS C (Stable Micro System Ltd., Godalming, Surrey, UK) textúra analízáló gép segítségével végeztem, mely 10 kg-os cellával volt szerelve. A méréseket a Exponent Connect Egg Testing (Version 8,1,9,0; Stable Micro System Ltd., Godalming, Surrey, UK) program segítségével végeztem el és elemeztem.

A géppel először a tojás tömegét (g) mértem le, majd a töréserőt (g) egy 25 mm átmérőjű lapos nyomólappal, ami a héjszilárdságot adta meg. Ezt követően az eszköz tálcájára törtem a tojást és lemértem a fehérje magasságot, amiből a rendszer automatikusan kalkulálta a Haugh értéket. A szikhártya erősségét (g) egy gömbszonda segítségével határoztam meg, mely a *vitellin* membrán átszakításához szükséges legnagyobb erő mérte. Végül megmértem a feltört tojás héjtömegét (g) és a héjvastagságát (mm).

3.3.5. Kelési eredmények vizsgálata

A keltetést Jászapátiban a Recsi Keltető Kft. végezte. Minden héten a négy kísérleti csoport által megtermelt tojások elkülönítve kerültek ugyanabba a keltető gépbe. A keltetési paraméterek és eredmények a keltetési naplóban lettek feljegyezve.

A terméktenként kilámpázott tojások mennyiségéből számoltam ki a termékenységi %-ot, míg az összes keltetőbe került tojás és a kikelt kislibák arányából számoltam ki a kelési %-ot.

A napos libák minősítését a keltető végezte, miszerint I. és II. osztályba sorolta a kikelt egyedeket. I. osztályba azok a madarak kerültek, melyek épek, zárt köldökűek, pelyhesre száradt élénk természetű egyedek voltak, kihelyezhetők nevelésre. A deformitással vagy egyéb rendellenességgel rendelkező madarak a II. osztályba lettek sorolva, melyek további tartásra nem javasoltak.

Számoltam továbbá az egy tojóra jutó kislibák mennyiségét, miszerint az adott héten termelésben lévő összes tojóra arányosítottam a kikelt libák számát.

3.3.6. Alkalmazott statisztikai módszerek

A statisztikai elemzést az R szoftvercsomag (Core Team R, 2013, R version 4.3.2; 2023-10-31 ucr) segítségével végeztem. A csoportok normál eloszlását Shapiro-Wilk teszttel ellenőriztem, a variancia homogenitásának vizsgálatára pedig F-tesztet készítettem. Ha minták paraméteres tesztelésre alkalmasnak bizonyultak, akkor a csoportok között egyvonalas ANOVA tesztet végeztem Tukey utóteszttel a statisztikai különbségek igazolására, $p < 0,05$ értékű szignifikancia szint mellett. Amennyiben a minták nem mutattak normál eloszlást, úgy Kruskal-Wallis tesztet végeztem Dunn-Bonferroni utóteszttel $p < 0,05$ értékű szignifikancia szint mellett a csoportok közötti különbségek igazolására. A termelési, tojásminőségi és hormonális paraméterekre Pearson-féle korrelációelemzést végeztem, páronkénti összehasonlítással az egyszerű korrelációs együtthatók meghatározására.

4. EREDMÉNYEK

4.1. A pecsenyecsirkékkel végzett vizsgálatok eredményeinek bemutatása

4.1.1. Termelési eredmények bemutatása

A heti élőtömeg (g) értékek a 4. táblázatban láthatók. A nevelés minden hetében a LED-csoportban lévő madarak értek el nagyobb testtömeg gyarapodást. Az első öt hétben ez a különbség a két csoport között szignifikáns különbséget mutatott ($p < 0,05$). Az átlagos testtömegkülönbség (*LED-I) szintén a 4. táblázatban került bemutatásra. A kísérlet kezdetén az I csoport nagyobb kezdeti tömeggel (0,3 g) indult (N.S.), azonban a második héttől kezdve a LED csoport egyedei nagyobb tömeget értek el, ami a 35. napon igazolható különbség volt ($p < 0,05$). A kísérlet 6. hetére a két csoport között átlagosan 43 g különbség volt madaranként a LED csoport javára, ami matematikailag nem igazolható.

A hetek alatti átlagos napi súlygyarapodásban (5. táblázat) az első öt héten szignifikáns különbség figyelhető meg ($p < 0,05$). Minden vizsgált héten magasabb átlagos napi súlygyarapodást mutatott a LED csoport.

Az elhullásban a két csoport között nem volt szignifikánsan igazolható különbség.

A brojler index alakulása a két csoportban:

$$\text{LED brojler index} = \frac{2,56 \cdot 93}{1,72 \cdot 42} * 100 = 329,57$$

$$\text{Izzó brojler index} = \frac{2,517 \cdot 92,5}{1,72 \cdot 42} * 100 = 313,19$$

	1. nap	7. nap	14. nap	21. nap	28. nap	35. nap	42. nap
LED	40,4	149,9	422,4	848,0	1403,0	2085,6	2560,0
I	40,7	142,9	399,3	823,5	1362,5	1978,7	2517,0
+LED-I	0,3	7,0	23,1	24,5	40,5	106,9	43,0
SEM	0,11	0,97	3,01	5,19	8,20	11,50	14,35
p-érték	N.S.	<0,001	<0,001	<0,05	<0,05	<0,001	N.S.

4. táblázat: A pecsenyecsirkék élőtömegének (g) alakulása az 1., 7., 14., 21., 28., 35. és 42. napokon, LED - fénykibocsátó dióda; I- izzólámpa; +LED-I - Átlagos testtömegkülönbség a két csoport között (g)

	1-7. nap	8-14. nap	15-21. nap	22-28. nap	29-35. nap	36-42. nap
Átlagos napi súlygyarapodás (g)						
LED	21,41	30,17	40,38	50,11	59,59	60,95
I	20,41	28,52	39,21	48,66	56,53	59,93
SEM	0,44	1,35	2,34	3,71	5,21	6,48
p-érték	<0,001	<0,001	<0,05	<0,05	<0,001	N.S.

5. táblázat: A pecsenyecsirkék átlagos napi súlygyarapodása (g) hetente

4.1.2. Takarmányfogyasztás és takarmány-értékesítés

A takarmány fogyasztásával és értékesítésével kapcsolatos értékeket a 6. táblázat szemlélteti. A vizsgált hetek során a két csoport heti- és átlagos napi takarmányfogyasztása változóan alakult, az 1-7; 8-14; 22-28; 29-35 napos időszakokban a LED csoport mutatott magasabb értéket, míg a 15-20; és 36-42 napos időszakokban az I csoportnak volt magasabb a takarmányfelvétele. A különbség statisztikailag a 6. héten igazolható ($p < 0,01$), ahol a LED csoport szignifikánsan kevesebb takarmányt vett fel, mint az I csoport. A 6 hétre vetítve az LED csoport madarai átlagosan 4273,7 g/madár/42 nap takarmányt fogyasztott el, míg az I csoport 4335,7 g/madár/42 nap takarmányt fogyasztottak el.

A 2. és 3. héten a LED csoport takarmány-értékesítése (kg/kg) szignifikánsan alacsonyabbnak bizonyult az I csoporthoz viszonyítva ($p < 0,05$). Ez a tendencia a 4. héttől a kísérlet végéig megmaradt, azonban a csoportok közötti eltérés statisztikailag nem igazolható.

	1-7. nap	8-14. nap	15-21. nap	22-28. nap	29-35. nap	36-42. nap
Heti takarmány fogyasztás (g/madár)						
LED	123,7	335,1	626,9	975,2	1292,4	920,4
I	121,2	326,4	641,4	965,6	1193,2	1087,9
SEM	0,10	0,42	1,19	1,75	3,50	3,37
p-érték	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	<0,01
Átlagos napi takarmány fogyasztás (g/madár)						
LED	17,7	47,9	89,6	139,3	184,6	131,5
I	17,3	46,6	91,6	137,9	170,5	155,4
SEM	0,05	0,21	0,53	0,76	1,89	2,44
p-érték	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	<0,01
Takarmány-értékesítés (kg/kg)						
LED	0,83	1,09	1,29	1,48	1,61	1,72
I	0,85	1,13	1,33	1,52	1,65	1,77
SEM	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,002
p-érték	N.S.	<0,05	<0,05	N.S.	N.S.	N.S.

6. táblázat: A pecsenyecsírkék takarmány fogyasztása (g/madár), Átlagos napi takarmány fogyasztása (g/madár) és Takarmány-értékesítése (kg/kg) hetente

4.1.3. A pecsenyecsírkék viselkedésében megfigyelt különbségek bemutatása

A vizsgált viselkedési paraméterek (a csoportban lévő madarak átlagos takarmány felvétel (a), ivási (b), pihenési (c), egyéb aktivitás (d) és interakciók (e) százalékos aránya) eredményeit a 16. ábra (a-e) mutatja be.

A két csoport közötti különbségek egyes időszakokon belül

A nevelési időszak első részében (5-14. nap) a takarmány felvétellel töltött idő a csoportok között változó tendenciát mutatott. A vizsgált 10 napból 7 napon a LED-csoport madarai több időt töltöttek evéssel. Az ivási idő, a pihenési idő és az egyéb aktivitás szintén

különböznek a nevelési időszak első részében. A vizsgált 10 napból 6 napon a LED csoportban a madarak több időt töltöttek evéssel és pihenéssel, a 10 napból 7 napon pedig evéssel, míg az I csoportban 7 napon több időt töltöttek egyéb tevékenységekkel. A madarak közötti interakciók az első időszak 12. napján azonosak voltak, a 6. nap kivételével, a LED csoport minden további napon több időt töltött interakcióval, a 8. és 13. napon szignifikáns ($p < 0,05$) különbséget mutatva.

A nevelési időszak közepén öt napot vizsgáltam (21-25. nap). Az evéssel töltött idő mind az öt napon szignifikánsan ($p < 0,01$) magasabb volt a LED-csoportban. A LED-csoport a 24. nap kivételével négy napon több időt töltött ivással, a 22. és 25. napon szignifikáns ($p < 0,01$) különbségeket figyeltem meg. A pihenésre fordított idő mind az öt napon szignifikánsan ($p < 0,05$) magasabb volt az I csoportban. Az egyéb tevékenységekre fordított idő a nevelés középső szakaszában vizsgált öt nap alatt ellentétes tendenciát mutatott a csoportok között. A madarak interakciói mind az öt napon magasabbak voltak a LED csoportban, a 22. napon szignifikáns ($p < 0,01$) különbséget mutatva.

A nevelési időszak utolsó szakaszában három napot vizsgáltam (35-37. nap). Az evésre fordított idő minden vizsgált napon magasabb volt a LED csoportban, a 36. napon szignifikáns ($p < 0,001$) különbséggel, azonban az ivási idő és a pihenési idő ellentétes tendenciát mutatott a csoportok között. Az egyéb tevékenységekre fordított idő a vizsgált napokon szignifikánsan nagyobb volt az I csoportban ($p < 0,05$). A 35-37. napokon egyik csoportban sem figyelhető meg interakció a madarak között, gyakorlatilag megszűntek erre az időszakra az interakciók a madarak között, mindkét csoport az idő nagy részét (kb. 80%-át) pihenéssel töltötte.

A LED csoporton belüli különbségek az egyes időszakok között

A takarmányfelvétellel töltött idő a LED csoportban a nevelési időszak első szakaszában 26,44 %, középső szakaszában 25,2 %, míg utolsó szakaszában 9,05% (első-középső $p = 0,00000497$; középső-végső $p < 0,000001$) volt.

Az ivással töltött idő a LED csoportban a nevelési időszak első szakaszában 5,41 %, középső szakaszában 5,32 %, míg utolsó szakaszában 3,86% (középső-végső $p < 0,0001$) volt.

A pihenéssel töltött idő a LED csoportban a nevelési időszak első szakaszában 45,01 %, középső szakaszában 52,68 %, míg utolsó szakaszában 83,64% (első-középső $p < 2 \cdot 10^{-16}$; középső-végső $p < 2 \cdot 10^{-16}$) volt.

Az egyéb aktivitással töltött idő a LED csoportban a nevelési időszak első szakaszában 23,01 %, középső szakaszában 16,64 %, míg utolsó szakaszában 3,45% (első-középső $p < 2 \cdot 10^{-16}$; középső-végső $p < 2 \cdot 10^{-16}$) volt.

Az interakciókkal töltött idő a LED csoportban a nevelési időszak első szakaszában 0,123 %, középső szakaszában 0,155 %, míg utolsó szakaszában teljesen megszűnt (0%) (középső-végső $p < 0,0001$).

Az izzó csoporton belüli különbségek az egyes időszakok között

A takarmányfelvétellel töltött idő az izzó csoportban a nevelési időszak első szakaszában 26,55 %, középső szakaszában 21,24 %, míg utolsó szakaszában 7,58% (első-középső $p < 2 \cdot 10^{-16}$; középső-végső $p < 2 \cdot 10^{-16}$) volt.

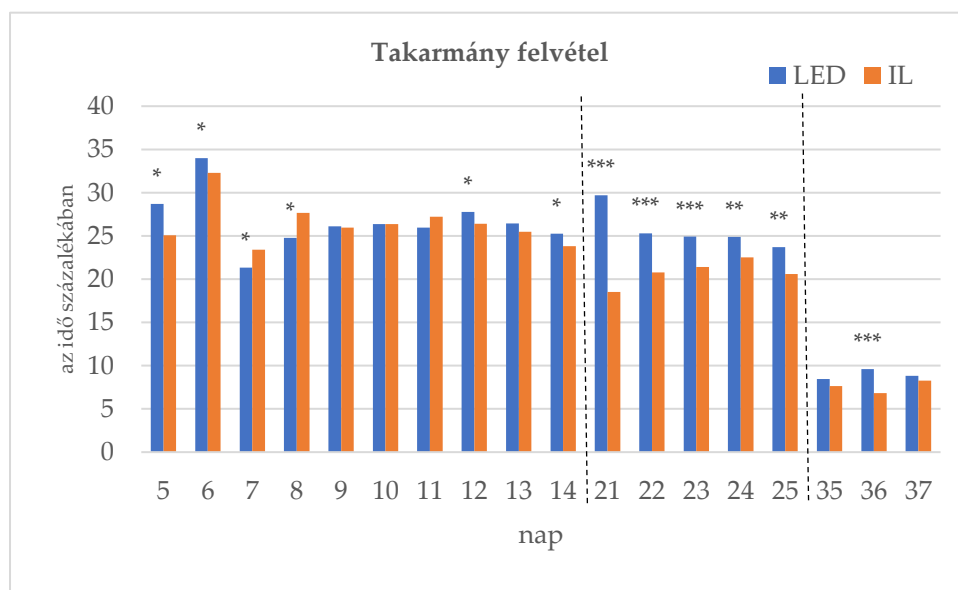
Az ivással töltött idő az izzó csoportban a nevelési időszak első szakaszában 5,66 %, középső szakaszában 4,66 %, míg utolsó szakaszában 4,08% (első-középső $p < 0,001$; középső-végső $p < 0,001$) volt.

A pihenéssel töltött idő az izzó csoportban a nevelési időszak első szakaszában 44,15 %, középső szakaszában 57,12 %, míg utolsó szakaszában 81,55% (első-középső $p < 2 \cdot 10^{-16}$; középső-végső $p < 2 \cdot 10^{-16}$) volt.

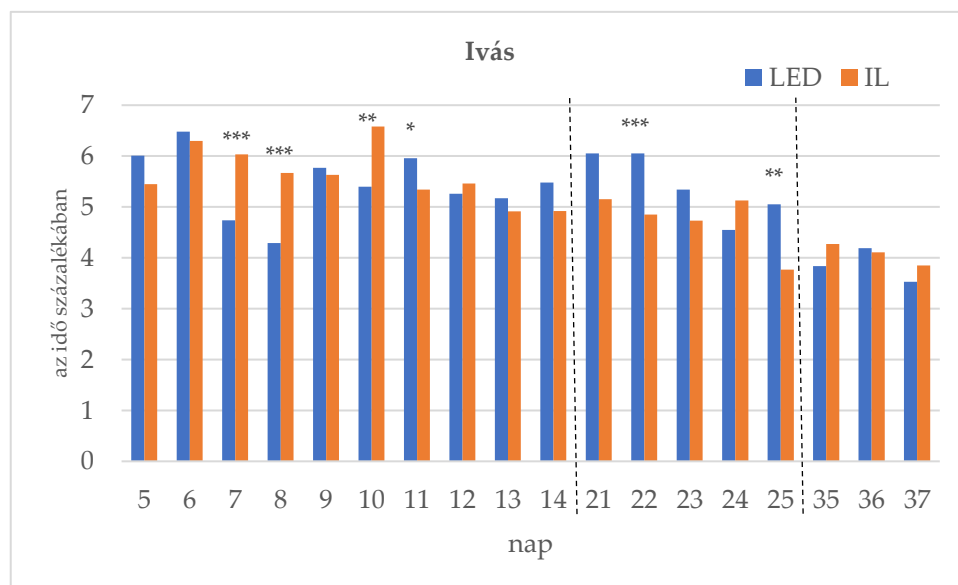
Az egyéb aktivitással töltött idő az izzó csoportban a nevelési időszak első szakaszában 23,57 %, középső szakaszában 16,95 %, míg utolsó szakaszában 6,78% (első-középső $p < 2 \cdot 10^{-16}$; középső-végső $p < 2 \cdot 10^{-16}$) volt.

Az interakciókkal töltött idő az izzó csoportban a nevelési időszak első szakaszában 0,06 %, középső szakaszában 0,04 %, míg utolsó szakaszában teljesen megszűnt (0%) (első-végső $p = 0,000234$).

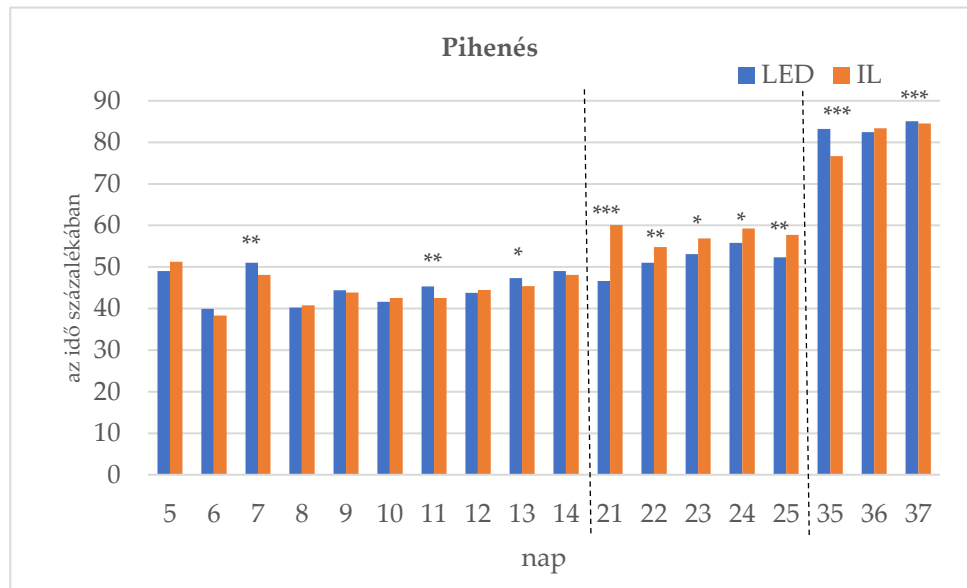
a,



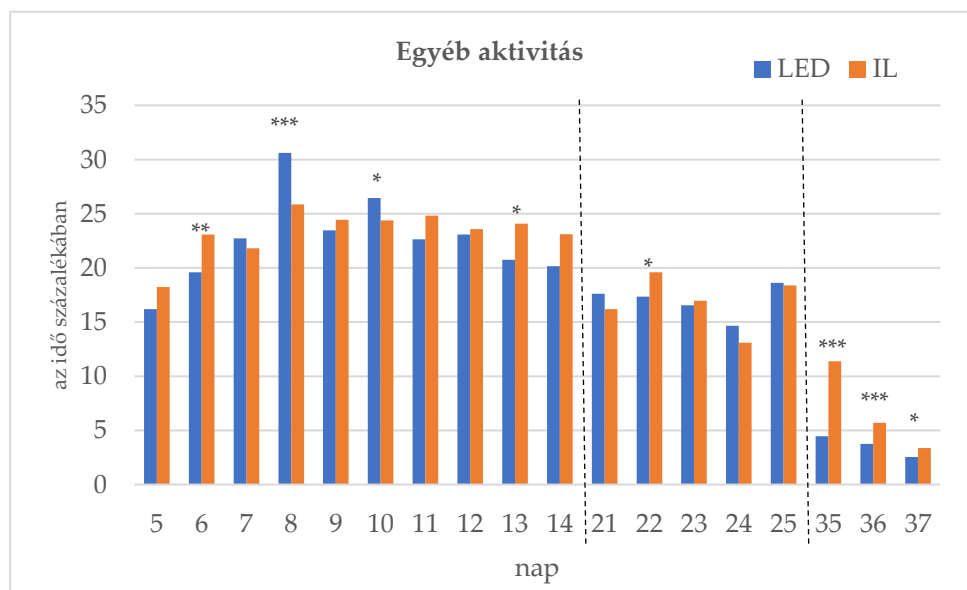
b,

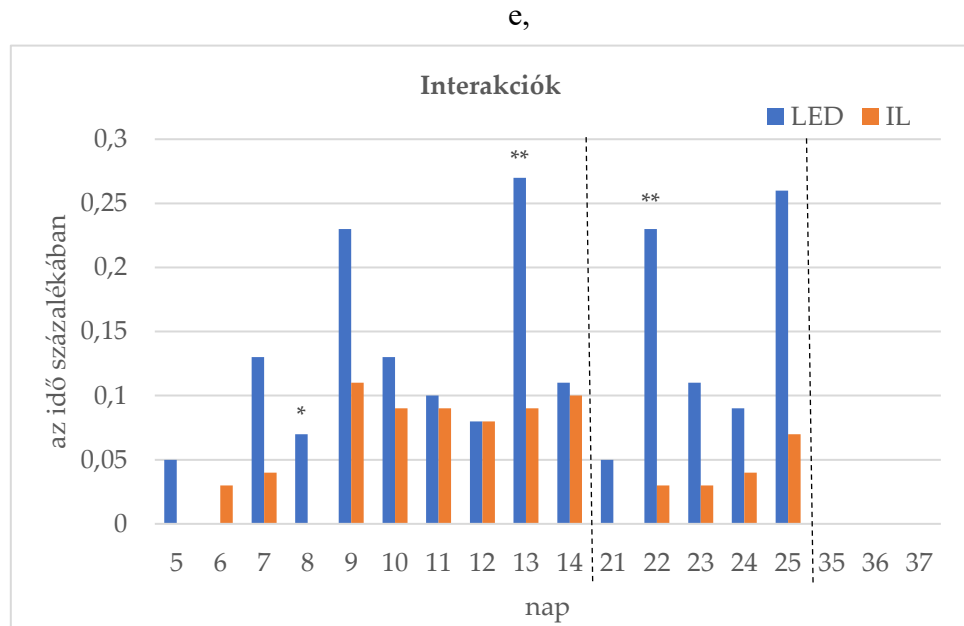


c,



d,



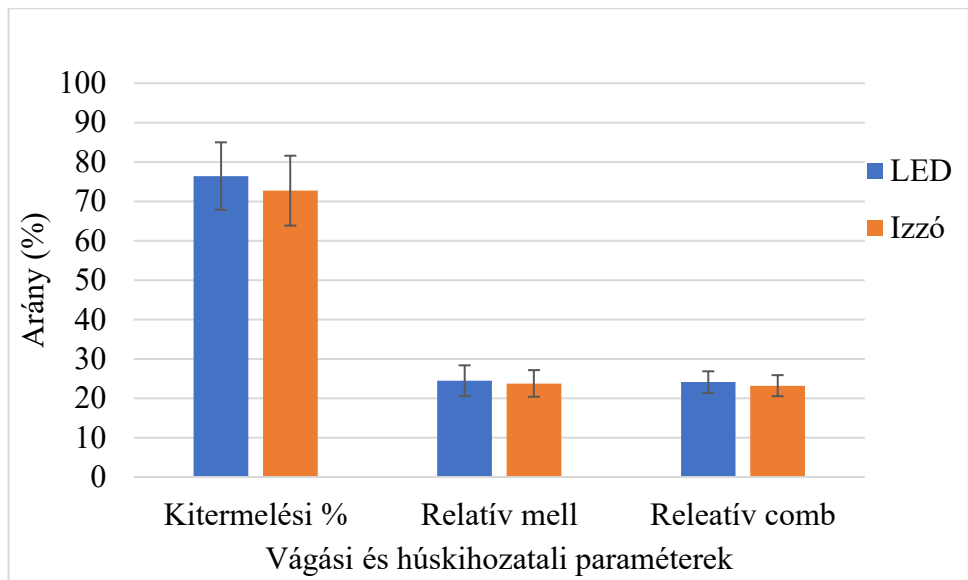


16. ábra (a-e): A csirkék viselkedési paramétereinek az eredményei (a: takarmányfelvétellel töltött idő, b: ivással töltött idő, c: pihenéssel töltött idő, d: egyéb aktivitással töltött idő, e: interakciókkal töltött idő, az összes idő százalékában kifejezve) a nevelési időszak alatt (a nevelési időszak első szakasz 5-14 nap, középső szakasz 21-25 nap, utolsó szakasz 35-37 nap; a vizsgálati időszakokat szakaszhatárait szaggatott vonal jelzi) statisztikai értékekkel (p-érték: <0,05*; <0,01**; <0,001***)

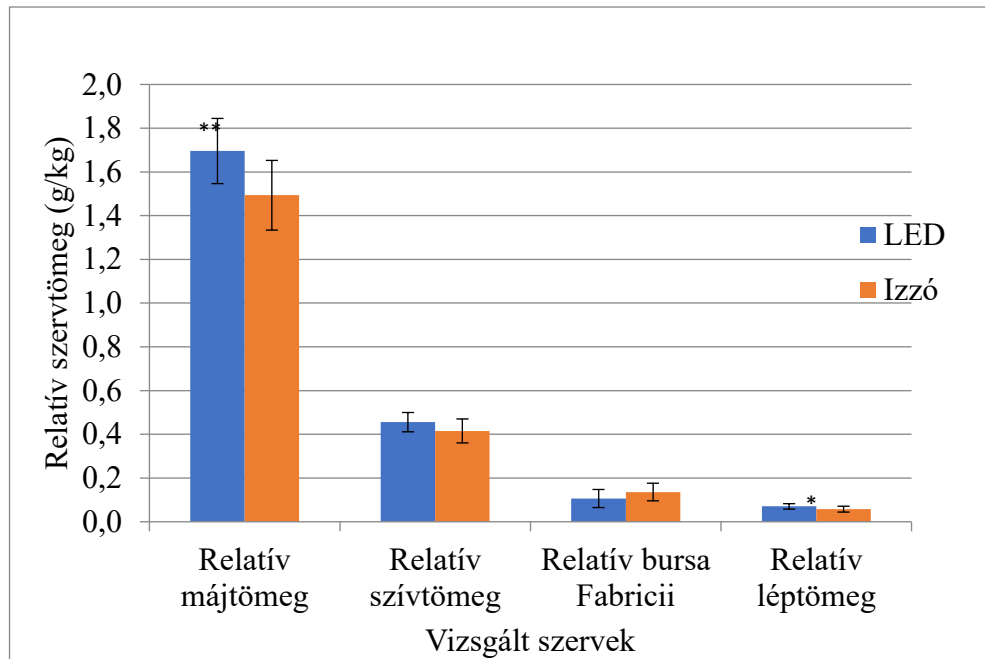
4.1.4. Test, szerv és értékes húsrészek tömegeinek vizsgálata

A kitermelési %-ot és az értékes húsrészek arányát (relatív mell tömeg és relatív comb tömeg) a 17. ábrán láthatjuk. A kitermelési % a LED csoportban kedvezőbben alakult, 76,41 %-kal, azonban nincs szignifikáns eltérés az I csoporthoz képest (72,76 %). A relatív mell és a relatív comb aránya is kedvezőbb volt a LED csoport esetében, azonban itt sem figyelhető meg matematikailag igazolható különbség.

A relatív szervtömegeket az 18. ábrán láthatjuk. A relatív máj-, szív-, és lép-tömeg nagyobb méretet ért el a LED csoportban, ahol a relatív májtömeg (p=0,009) és a relatív léptömeg (p=0,0459) esetében volt megfigyelhető szignifikáns különbség.



17. ábra: A pecsenyecsirkék kitermelési % és értékes húsrészek relatív tömegeinek (%) (mell és comb) az eredményei

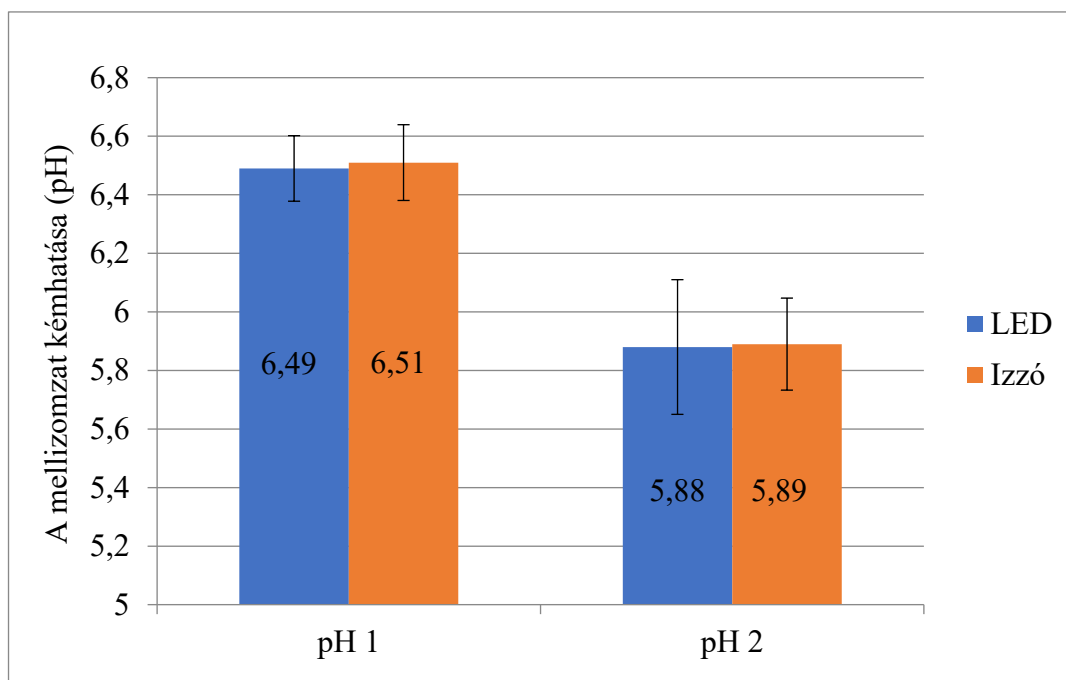


18. ábra: A pecsenyecsirkék relatív szervtömegeinek (g/kg) eredményei (relatív májtömeg, relatív szervtömeg, relatív bursa Fabricii, relatív léptömeg)

4.1.5. Húsminőségi vizsgálatok eredményei

4.1.5.1. A mellizomzat kémhatásának (pH) alakulása

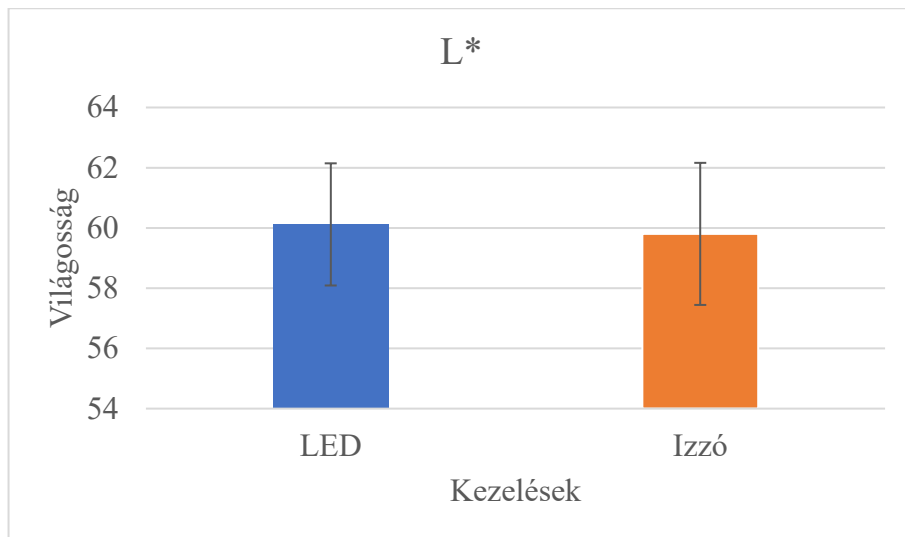
A vágást követő 45. percben (pH1) és 24. órában (pH2) mért pH értékeket a 19. ábrán láthatjuk. Mindkét esetben szinte azonos (N.S.) pH értékeket kaptunk, a pH csökkenés lefolyása normálisnak tekinthető mindkét csoportban.



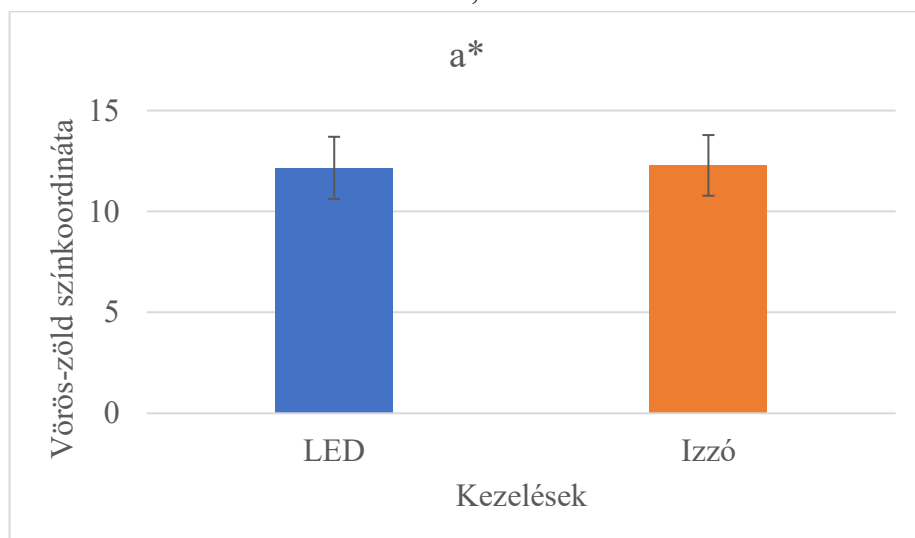
19. ábra: A csirke mellizomzatának 45. percben (pH1) és 24. órában (pH2) mért pH értékei

4.1.5.2. A mellizomzat színének alakulása

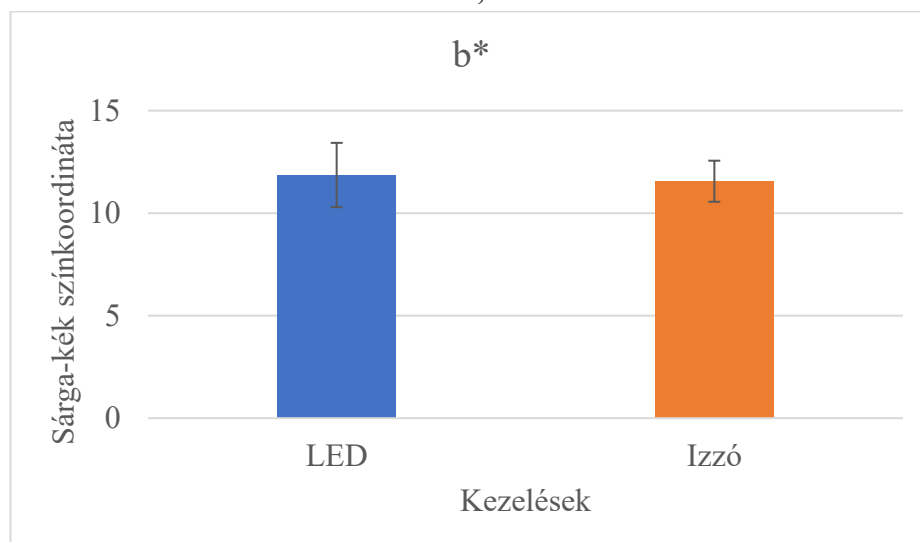
A mellizomzat L^* , a^* és b^* értékeiben nem volt szignifikáns eltérés (20. ábra (a-c)). A LED csoport mellizomzata az izzó csoporthoz képest világosabb, kevésbé piros és enyhén sárgább volt, azonban egyik esetben sem ért el statisztikailag (N.S.) igazolható különbséget. A Lukács (1982) féle színínger különbség képletet alkalmazva a $\Delta E^*_{IL}=0,45$ értéket kaptam, miszerint a két csoport mellizomzata közötti különbség szemmel nem érzékelhető.



a,



b,

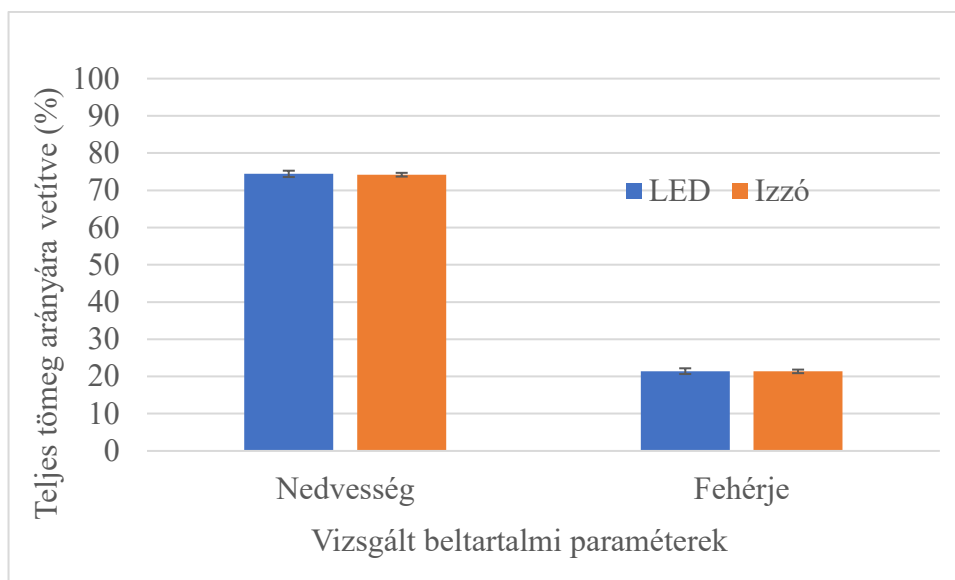


c,

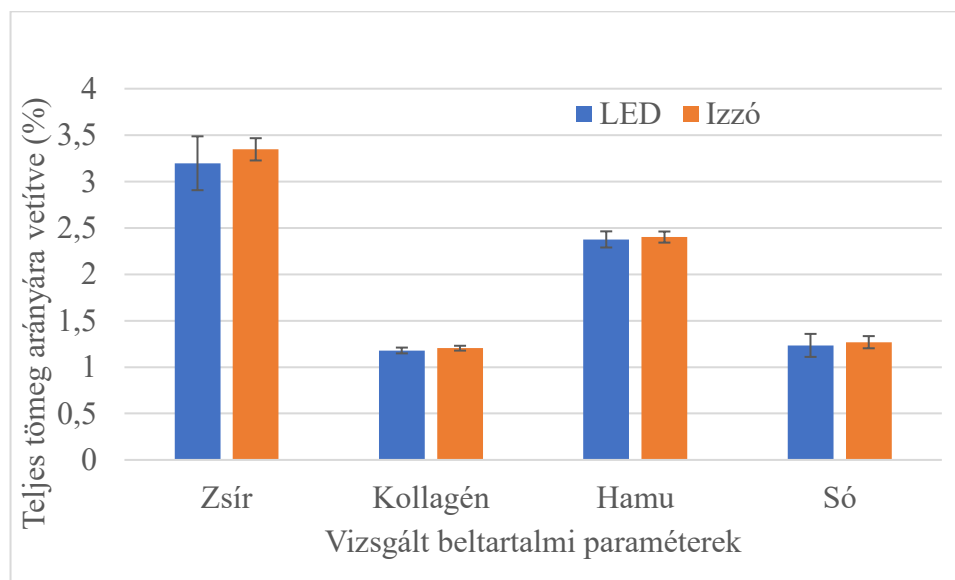
20. ábra (a-c): A pecsenyecsirkék mellizomzatának a színe a CIE L^* a^* b^* színrendszer szerint

4.1.5.3. A hús beltartalmi értékeinek alakulása

A hús beltartalmi paraméterei a 21. és 22. ábrán találhatóak. A LED csoport mellizomzat mintáinál magasabb nedvesség és fehérje tartalmat találtam, míg az izzó csoportnál a zsír, kollagén, hamu és só paraméterek mutattak magasabb értéket. Ezek a különbségek azonban egyik paraméternél (nedvesség, fehérje, zsír, kollagén, hamu, só) sem voltak szignifikánsak (N.S.).



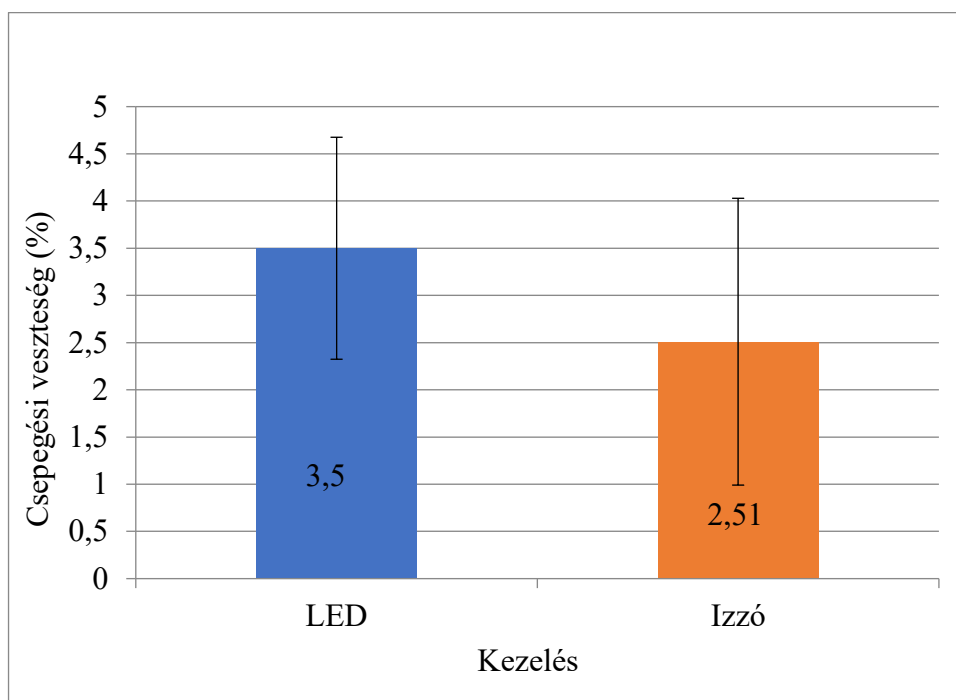
21. ábra: Mellizomzat beltartalmi paraméterei (nedvesség, fehérje) (%)



22. ábra: Mellizomzat beltartalmi paraméterei (zsír, kollagén, hamu, só) (%)

4.1.5.4. A hús csepegési veszteségének alakulása

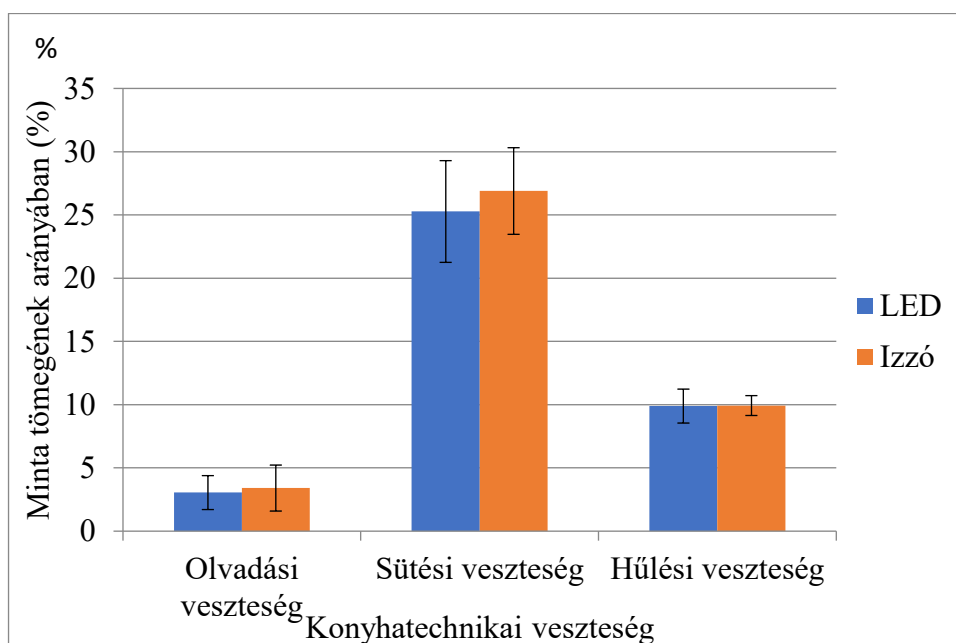
A mellizomzat csepegési veszteség (23. ábra) a LED-del világított csoportban magasabb értéket ért el, mint az izzóval megvilágított csoportban, azonban nem tudtam szignifikáns eltérést ($p=0,126$) rögzíteni. A minták között jelentősebb szórást figyeltem meg, LED csoportnál 1,17%-ot, míg az izzó csoportnál még magasabb értéket 1,52%-ot.



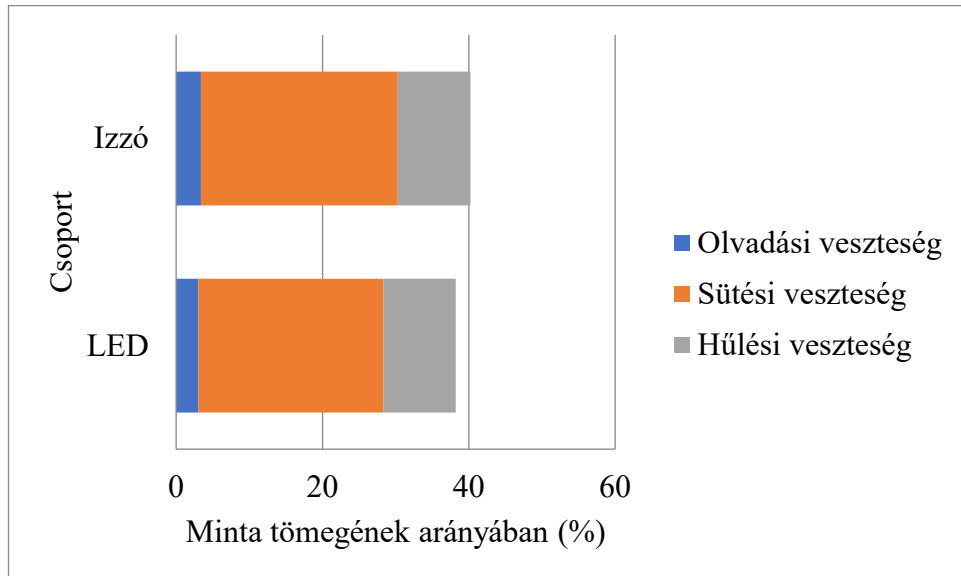
23.ábra: A mellizomzat csepegési veszteségének (%) értékei

4.1.5.5. A kezelések hatása a mellizom konyhatechnikai veszteségének alakulására

Az olvadási, sütési és hűlési veszteségek mindhárom esetben az izzóval világított csoportban voltak nagyobbak (24. ábra), így az összes konyhatechnikai veszteség (25. ábra) is az izzó csoportban (39.32%) volt nagyobb a LED csoporthoz (37.27 %) képest. Az itt kapott eredmények egyik esetben sem voltak szignifikánsan (N.S.) eltérőek.



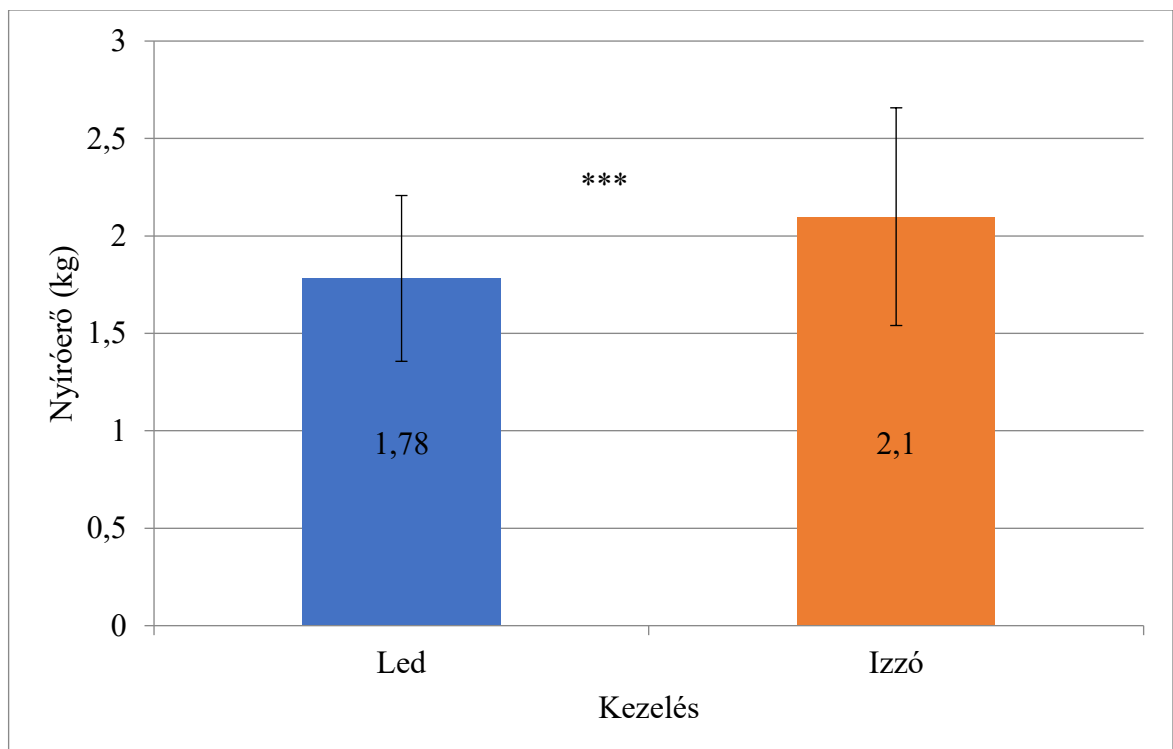
24. ábra: A mellizomzat konyhatechnikai veszteségének (%) az értékei (olvadási veszteség, sütési veszteség, hűlési veszteség)



25. ábra: A mellizomzat összesített konyhatechnikai veszteségeinek (%) az értékei

4.1.5.6. A mellizom porhanyósságának alakulása

A porhanyósságot a nyíróerő értékkel (26. ábra) lehet objektív módon jellemezni. A nyíróerő az izzó csoportban szignifikánsan ($p = 0,00022$) magasabb volt. Ez az érték azonban még mindig porhanyósnak tekinthető.



26. ábra: A pecsenyecsirkék mellizomzatának a nyíróerő (kg) értékei

4.1.6. A húsminőség és a hús beltartalmi paramétereinek közötti összefüggések eredményei

A korrelációelemzés értékei a 7. táblázatban láthatók. Az átló feletti narancssárga rész az izzó csoport korrelációs paramétereit, az átló alatti kék rész a LED csoport korrelációs paramétereit mutatja be. Minden olyan érték, ahol negatív vagy pozitív eltérést kaptam, feltüntettem a táblázatban.

A LED-csoportban erős negatív korrelációt figyeltem meg a kollagén és a hülési veszteség között ($r = -0,95$), míg erős pozitív korrelációt figyeltem meg a kollagén és a nyíróerő között ($r = 0,92$). Továbbá a LED csoportban a relatív mell ($r = 0,99$) és comb ($r = 0,91$) értékek erős pozitív korrelációt mutattak a mell kollagéntartalmával. Ezek a korrelációk az izzó csoportban nem voltak kimutathatóak, azonban a korrelációelemzés alapján a pH45 hatása sokkal erőteljesebb volt: szoros negatív korrelációt figyeltem meg az izzó csoport mellizomzatának hamutartalmával ($r = -0,95$), mérsékelt negatív korrelációt a hús világosságával (L^*) ($r = -0,45$) és közepes erősségű korrelációt az olvadási veszteséggel ($r = 0,64$).

	Kiterme lési %	R. comb	R. mell	pH45	pH24	Csep. veszt.	Olvadási veszt.	Sütési veszt.	Húlési veszt.	T. k. veszt.	Nyíró erő	Sz. L*	Sz. a*	Sz. b*	Nedve ség	Fehér je	Zsír	Kolla gén	Hamu	Só
Kitermel ési %	-	0,87***	0,91***	0,10	-0,05	0,30	0,31	-0,45	0,17	-0,17	-0,07	0,24	-0,11	-0,02	-0,51	0,19	0,74	0,21	-0,60	-0,58
R. comb	0,90***	-	0,82***	0,12	-0,15	0,32	0,31	-0,41	0,09	-0,16	-0,11	0,08	-0,10	-0,09	-0,51	0,18	0,73	0,16	-0,63	-0,58
R. mell	0,93***	0,69***	-	0,15	0,05	0,16	0,17	-0,59	0,16	-0,32	-0,07	0,31	-0,24	-0,09	-0,50	0,18	0,73	0,28	-0,54	-0,58
pH45	-0,06	-0,13	-0,01	-	0,16	0,65	0,63*	0,07	0,24	0,31	0,07	-0,45*	0,40	-0,07	0,06	-0,36	0,63	-0,68	-0,95*	-0,70
pH24	0,15	0,07	0,18	-0,03	-	0,42	0,13	0,41	-0,10	0,32	-0,15	-0,01	-0,00	-0,12	-0,06	-0,27	-0,54	-0,28	0,18	0,57
Csep. veszt.	-0,14	-0,26	-0,00	-0,03	0,57	-	0,62	0,34	-0,12	0,45	-0,37	-0,54	0,26	-0,08	0,38	-0,58	0,58	-0,83	-0,91*	-0,68
Olvadási veszt.	0,26	0,23	0,34	0,11	0,11	0,67*	-	0,61	0,37	0,83**	-0,53	-0,67*	0,67*	-0,12	-0,17	-0,07	0,34	-0,63	-0,78	-0,36
Sütési veszt.	-0,15	-0,21	-0,16	-0,48	-0,09	-0,25	-0,49	-	0,19	0,94*	-0,43	-0,70*	0,42	0,10	0,16	0,05	-0,46	-0,42	0,09	0,45
Húlési veszt.	-0,43	-0,32	-0,48	0,48	-0,09	-0,04	-0,14	-0,40	-	0,40	-0,07	-0,12	-0,01	0,31	-0,46	0,36	0,39	0,03	-0,46	-0,15
T. k. veszt.	-0,23	-0,28	-0,23	-0,40	-0,11	-0,05	-0,25	0,93***	-0,22	-	-0,50	-0,74*	0,53	0,07	-0,02	0,06	-0,13	-0,55	-0,32	0,14
Nyíróerő	0,45*	0,45*	0,37	0,09	0,33	-0,23	-0,09	0,12	0,09	0,14	-	0,12	0,03	-0,13	-0,17	0,38	-0,24	0,14	0,20	0,44
Sz. L*	0,31	0,19	0,36	0,10	0,05	-0,60	-0,45	-0,36	0,18	-0,59	0,13	-	-0,67**	0,21	-0,23	0,27	0,26	0,86	0,33	-0,04
Sz. a*	-0,14	-0,25	-0,24	-0,20	-0,41	0,53	0,25	0,43	-0,14	0,61	-0,37	-0,65**	-	-0,49*	0,13	-0,25	-0,21	-0,79	-0,35	-0,04
Sz. b*	-0,19	-0,28	-0,07	0,18	-0,23	-0,47	0,01	-0,64*	0,31	-0,71*	-0,11	0,62**	-0,57**	-	0,28	-0,25	0,59	-0,31	-0,15	-0,42
Nedvesség	-0,76	-0,62	-0,80	0,18	-0,48	-0,30	-0,67	-0,60	0,95	-0,45	-0,60	0,45	-0,21	0,32	-	-0,93*	0,16	-0,60	-0,20	-0,40
Fehérje	0,56	0,45	0,59	-0,40	0,73	-0,49	0,56	0,63	0,95*	0,51	0,42	-0,54	0,18	-0,48	-0,91*	-	-0,44	0,70	0,50	0,68
Zsír	0,63	0,57	0,70	0,26	-0,30	-0,29	0,40	0,27	-0,64	0,15	0,61	0,04	0,13	0,07	-0,39	0,00	-	-0,14	-0,82	-0,94
Kollagén	0,97**	0,91*	0,99***	-0,07	0,37	-0,09	0,36	0,66	-0,95*	0,33	0,92*	-0,08	-0,14	-0,25	-0,84	0,66	0,65	-	0,61	0,40
Hamu	0,18	0,06	0,26	-0,66	0,81	-0,80	0,63	0,65	-0,49	0,70	0,04	-0,80	0,45	-0,69	-0,72	0,91*	-0,23	0,35	-	0,87
Só	0,27	0,13	0,34	-0,53	0,71	0,73	0,69	0,58	-0,59	0,62	0,10	-0,76	0,45	-0,57	-0,81	0,94*	-0,13	0,42	0,98**	-

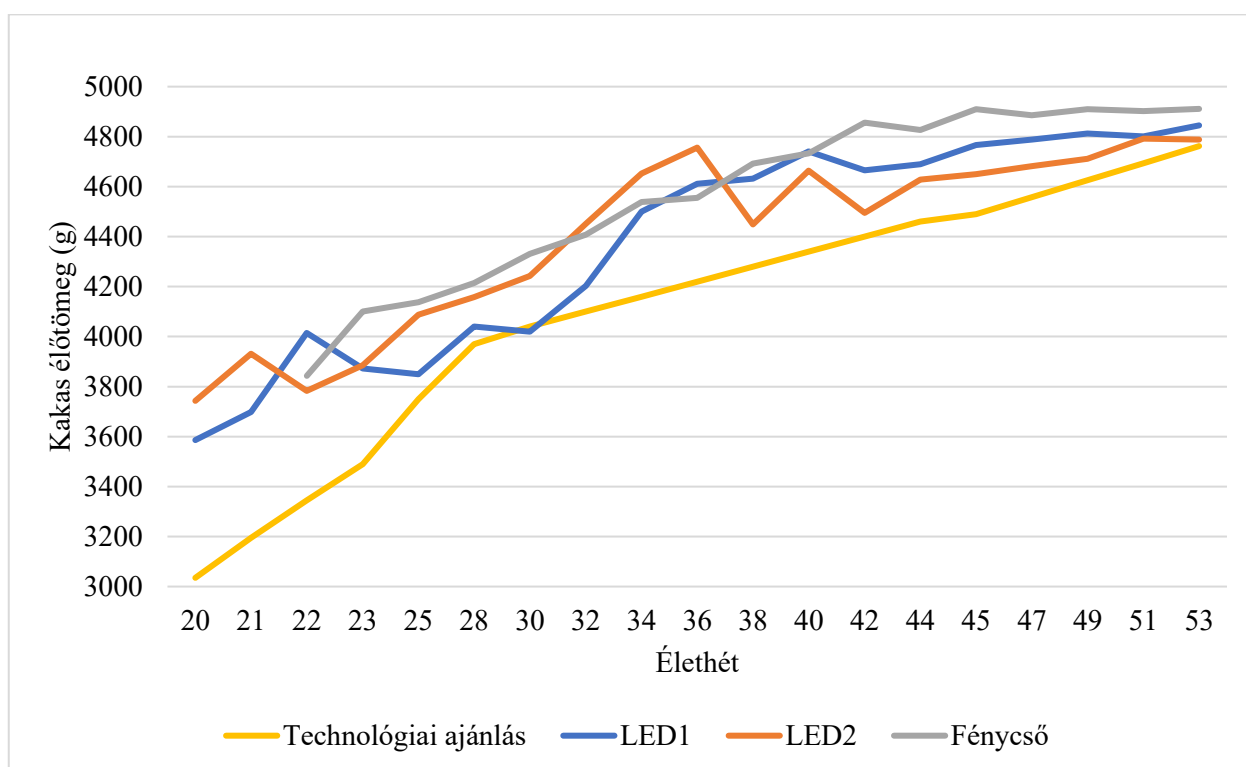
* R. comb: Relatív comb; R. mell: Relatív mell; Csep. veszt.: Csepegési veszteség; Olvadási veszt.: Olvadási veszteség; Sütési veszt.: Sütési veszteség; Húlési veszt.: Húlési veszteség; T. k. veszt.: Teljes konyhatechnikai veszteség; Sz. L*: Szín L*; Sz. a*: Szín a*; Sz. b*: Szín b*; LED – fénykibocsájtó dióda (a táblázatban kék színnel jelölve); I- izzó (a táblázatban narancssárga színnel jelölve);

7. táblázat: A pecsenyecsirkék húsminőségi és a hús beltartalmi paramétereinek közötti korrelációs eredmények

4.2. A brojler szülőpárokkal végzett vizsgálatok eredményeinek bemutatása

4.2.1. A brojler szülőpárok élőtömegeinek alakulása

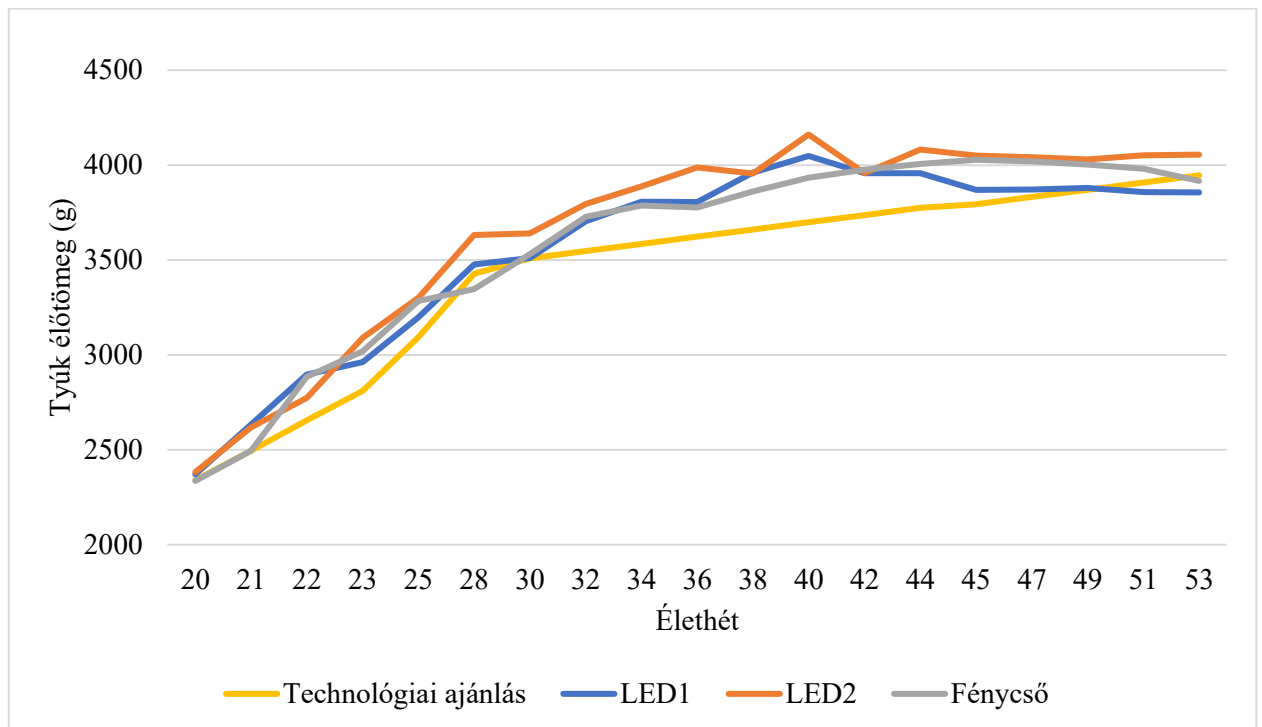
Az 27 ábrán a kakasok heti élő tömegét láthatjuk a technológiai ajánlással összevetve (ROSS 308 PO 2021). Mindhárom csoport átlagos élőtömege meghaladja az ajánlásban foglaltakat, mely a LED 1 esetében a technológiai ajánlás 104,3%-a, LED2 esetében 104,8%-a és a Fénycső csoport esetében 108%-a.



27. ábra: A kakasok tömegének alakulása a 20. és 53. élethét között különböző technológiájú megvilágítás mellett

Az 28 ábrán a tyúkok heti élő tömegét láthatjuk a technológiai ajánlással összevetve (ROSS 308 PO 2021). Mindhárom csoport átlagos élőtömege meghaladja az ajánlásban foglaltakat, mely a LED 1 esetében a technológiai ajánlás 102%-a, LED2 esetében 104,8%-a és a Fénycső csoport esetében 102,6%-a. Zukiwsky et. al (2021) vizsgálták a brojler szülőpár tojótyúkok testtömegének a technológiai ajánlásokat meghaladó mértékű növekedésének hatását a végtermék brojlerrek teljesítményére. Eredményeik alapján még az általuk vizsgált maximális 22,5%-os testtömeg-túllépés sem okozott számottevő (N.S.) eltérést az utódok teljesítményében. Ennek megfelelően feltételezhető, hogy a mi vizsgálatunkban megfigyelt, a tyúkokban legfeljebb 4,8%-os, valamint a kakasoknál 8%-os testtömeg-többlet szintén nem gyakorolt hatást a végtermék állományokra.

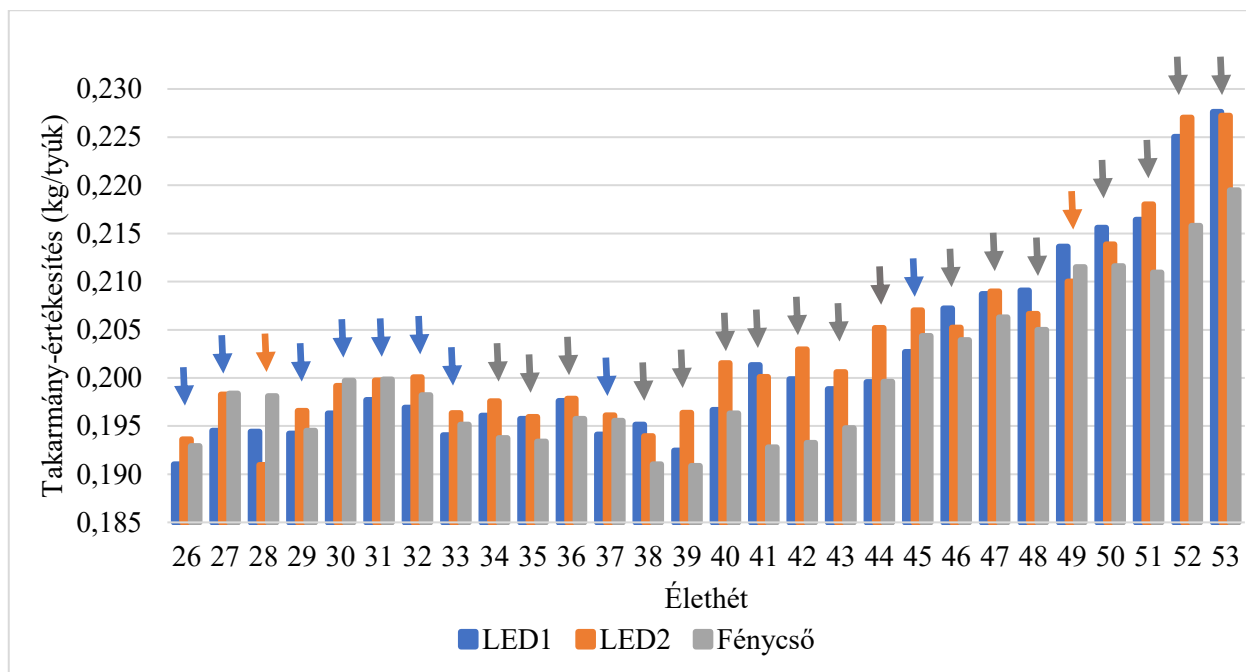
Az elhullási adatokban a csoportok között nem figyeltem meg szignifikáns eltérést egyik ivarban sem.



28. ábra: A tyúkok tömegének alakulása a 20. és 53. élethét között különböző technológiájú megvilágítás mellett

4.2.2. A takarmány-értékesítés alakulása a vizsgálat során

A tyúkok tojásra vetített takarmány-értékesítését (kg/tyúk) a 29. ábrán láthatjuk. A takarmány-értékesítés a kor előrehaladtával romlott. A legkedvezőbb takarmány-értékesítést a LED1 csoport a 26., 27., 29. – 33., 37., 44. és 45. heteken, a LED2 csoport a 28. és 49. heteken, a Fénycsővel megvilágított csoport pedig a 34. – 36., 38. – 43., 46. – 48., 50. – 53. heteken érte el. A csoportok közötti szignifikáns eltéréseket a 8. táblázatban láthatjuk összefoglalva, ahol csak azokat a heteket jelöltem, ahol releváns az összefüggés. A 28. héten a LED2 érte el a legkedvezőbb takarmány-értékesítést, ahol F-LED2 között volt statisztikai eltérés ($p=0,0034$). A 29. héten a LED1 érte el a legalacsonyabb értéket, ahol LED1 és LED2 között ($p=0,0217$), illetve F és LED2 között ($p=0,0136$) is találtam összefüggést. LED1 legkedvezőbb takarmány-értékesítést még a 45. héten ért el, ahol volt különbség ($p=0,0062$) a LED2 és LED1 csoportok között. A 34. 35. 38-44. 46. 48. 51-53. heteken az F csoportnak volt a legkedvezőbb a takarmány-értékesítése. A 34. 35. 38-44. 51-52. heteken F és LED2 között megfigyeltem különbséget ($p<0,05$). A 38. 41-43. 46. 48. 51-53. heteken a F és LED1 között megfigyeltem különbséget ($p<0,05$). És LED1 és LED2 között is volt matematikailag igazolható ($p<0,05$) különbség a 39. 40. 43. és 44. heteken.



29. ábra: A brojler szülőpár tyúkok tojásra vetített takarmány-értékesítése a 26. és 53. élethét között különböző technológiájú megvilágítás mellett

hét	28.	29.	34.	35.	38.	39.	40.	41.	42.
LED2-LED1	-	0,0217	-	-	-	<0,001	0,0312	-	-
F-LED1	-	-	-	-	<0,001	-	-	<0,001	0,00143
F-LED2	0,0034	0,0136	0,0147	0,0282	0,0192	<0,001	0,0068	0,00147	<0,001
hét	43.	44.	45.	46.	48.	51.	52.	53.	
LED2-LED1	0,0084	0,00085	0,0062	-	-	-	-	-	
F-LED1	<0,001	-	-	0,013	0,0427	<0,001	0,0002	0,049	
F-LED2	<0,001	0,00042	-	-	-	<0,001	<0,0001	-	

8. táblázat: A brojler szülőpár tyúkok tojásra vetített takarmány-értékesítése közötti szignifikáns eltérések a 26. és 53. élethét között különböző technológiájú megvilágítás mellett

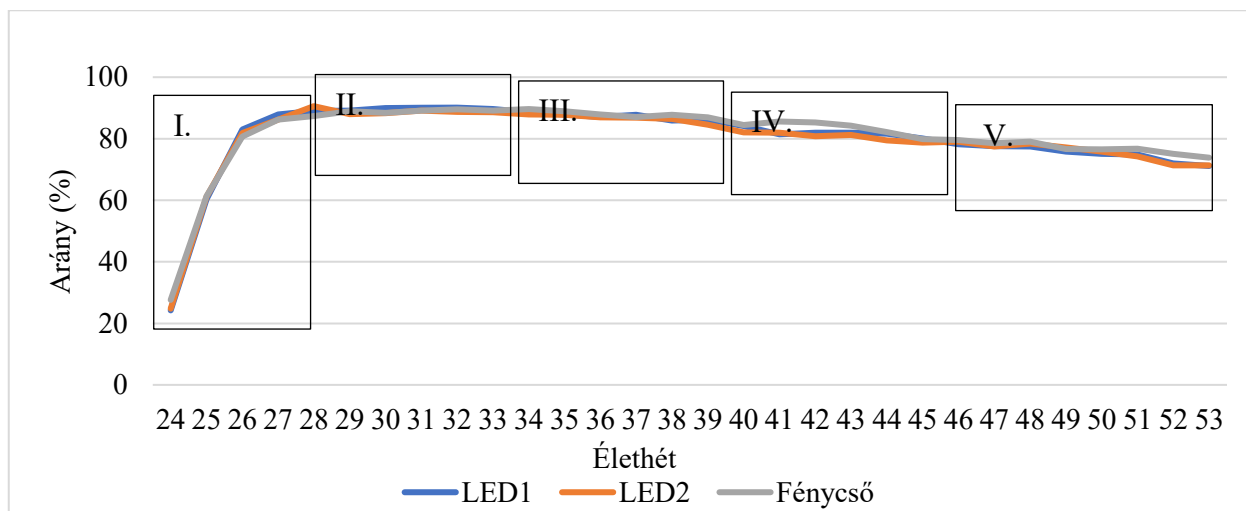
*csak azok a hetek, ahol van szignifikáns eltérés

*színkóddal jelöltem az adott hét legalacsonyabb takarmány-értékesítését:

LED1; LED2; Fénycső

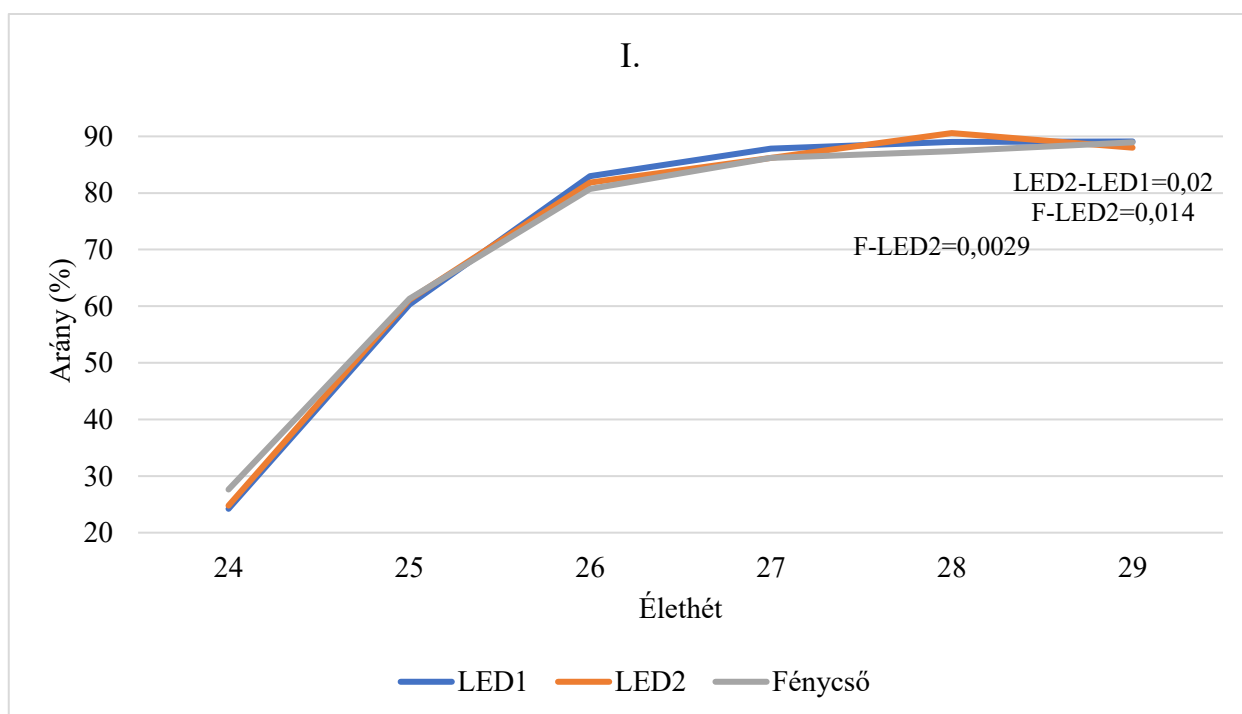
4.2.3. A brojler szülőpár tyúkok heti tojástermelési intenzitásának alakulása

Az 30. ábrán láthatjuk a termelés alatti tojástermelési intenzitást 24. és 53. élethét között. A kedvezőbb áttekinthetőség érdekében öt részre bontottam az ábrát I-V-ig, egy-egy rész 6 termelési hetet foglal magában. Az 30. ábra szétbontott részeit lentebb tekinthetők meg.



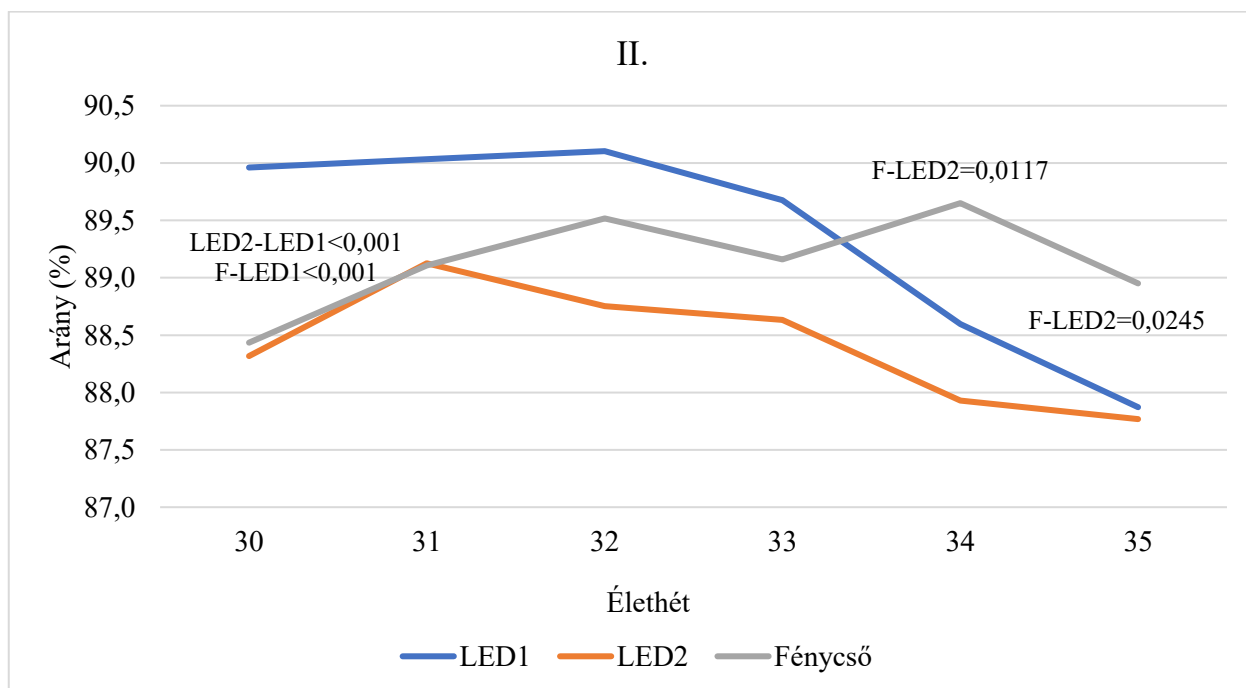
30. ábra: A brojler szülőpár tyúkok tojástermelési intenzitásának alakulása a 24. és 53. élethét között

A 24. és 29. hét közötti tojástermelési intenzitás (31. ábra) a tojástermelési időszak kezdetén nem tért el az egyes csoportokban. A termelési csúcst mindhárom csoport a 28. élethetére érte el. A 28. és a 29. életheteken figyelhetünk meg a csoportok között szignifikáns eltérést. A 28. héten a fénycső (87,36%) és LED2 (90,58%) között ($p=0,0029$), a 29. héten LED1 (89,1%) és LED2 (88%) között ($p=0,02$) és LED2 és fénycső (88,94%) között ($p=0,014$) mutattam ki eltérést.



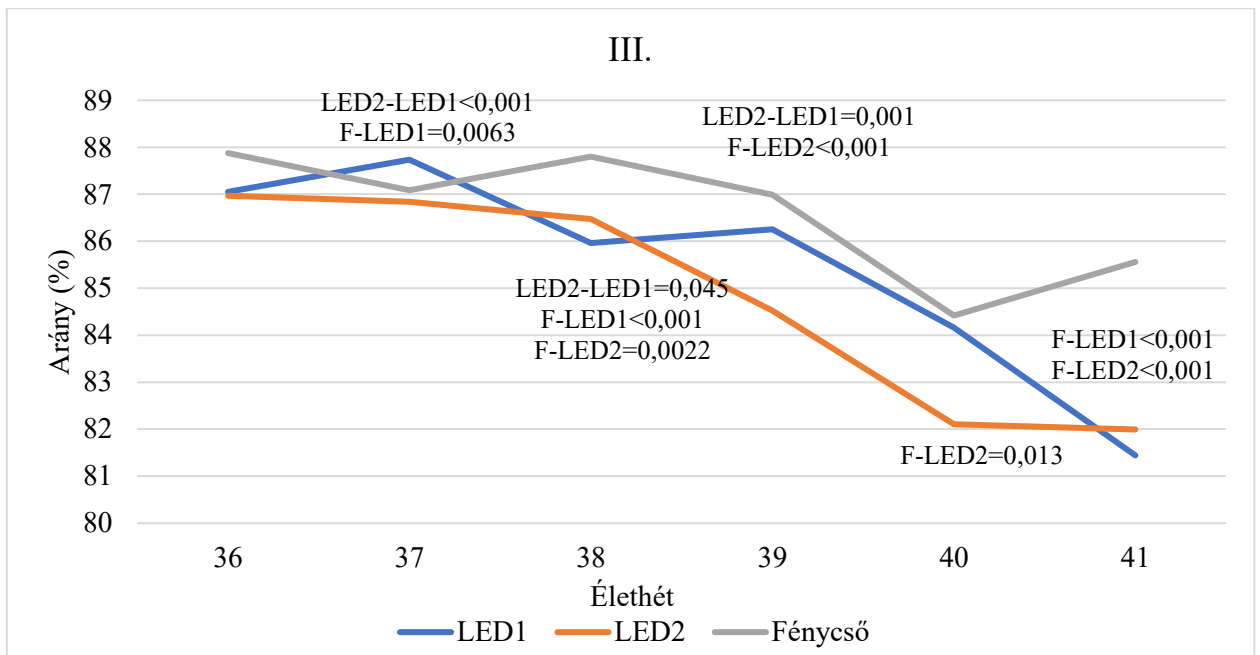
31. ábra: I. A brojler szülőpár tyúkok tojástermelési intenzitásának alakulása a 24. és 29. élethét között

A 30. és 35. hét közötti tojástermelési intenzitásnál (32. ábra) a 30. és 33. hetek között a LED1 csoport termelése a legintenzívebb, ahol a 30. héten figyelhetünk meg szignifikáns eltérést, LED2 (88,32%) és LED1 (89,96%) között ($p < 0,001$), illetve fénycső (88,43%) és LED1 között ($p < 0,001$). További eltérés a 34. és 35. héten volt, ahol a Fénycső csoportnak volt a legkedvezőbb a tojástermelése. 34. héten fénycső (89,65%) és LED2 (87,77%) között ($p = 0,0117$). A 35. héten fénycső (88,95%) és LED2 (87,77%) között ($p = 0,0245$).



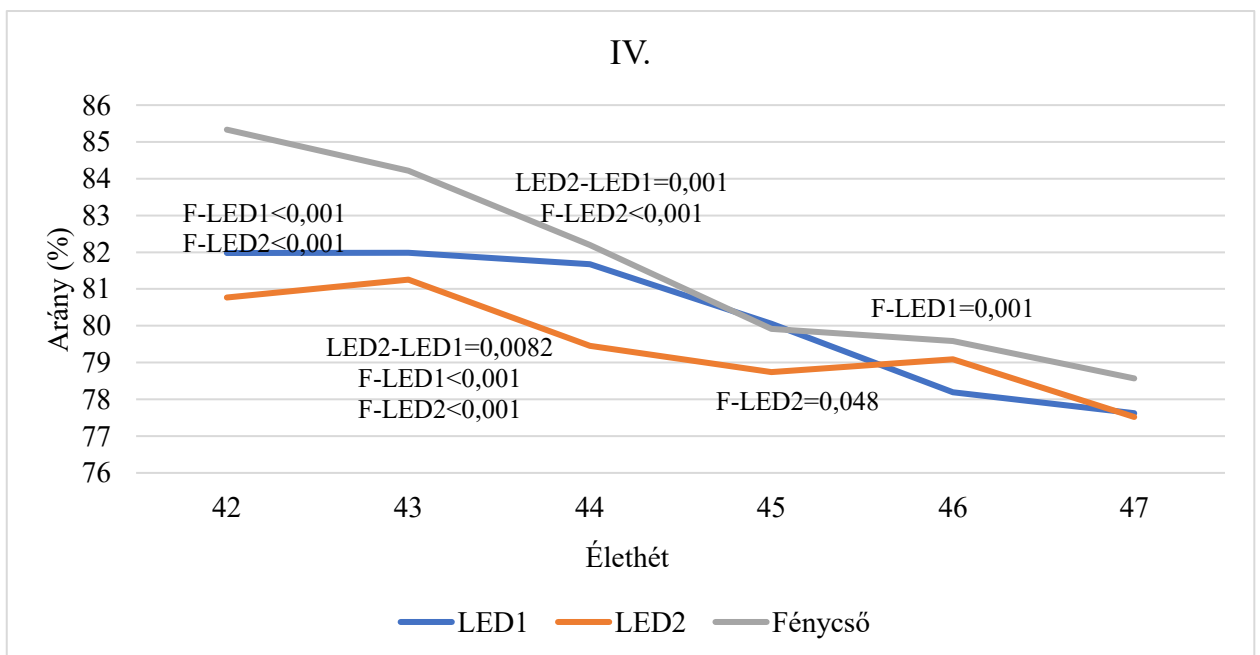
32. ábra: II. A brojler szülőpár tyúkok tojástermelési intenzitásának alakulása a 30. és 35. élethét között

A 36 és 41. élethetek között (33. ábra) a 37. héten a LED1 csoportnak szignifikánsan kedvezőbb volt a termelése, míg 38-41. hetek között a Fénycső csoport teljesített szignifikánsan a legkiemelkedőbben. A 37. héten LED2 (86,84%) és LED1 (87,74%) között ($p < 0,001$), illetve fénycső (87,09%) és LED1 között ($p = 0,0063$). A 38. héten LED2 (86,47%) és LED1 (85,96%) között ($p = 0,045$), fénycső (87,80%) és LED1 között ($p < 0,001$), fénycső és LED2 között ($p = 0,0022$). A 39. héten LED2 (84,53%) és LED1 (86,25%) között ($p < 0,001$). A 40. héten fénycső (84,42%) és LED2 (82,1%) között ($p = 0,013$). A 41. héten fénycső (85,56%) és LED1 (81,44%) között ($p < 0,001$), illetve fénycső és LED2 (81,99%) között ($p < 0,001$) volt szignifikáns különbség.



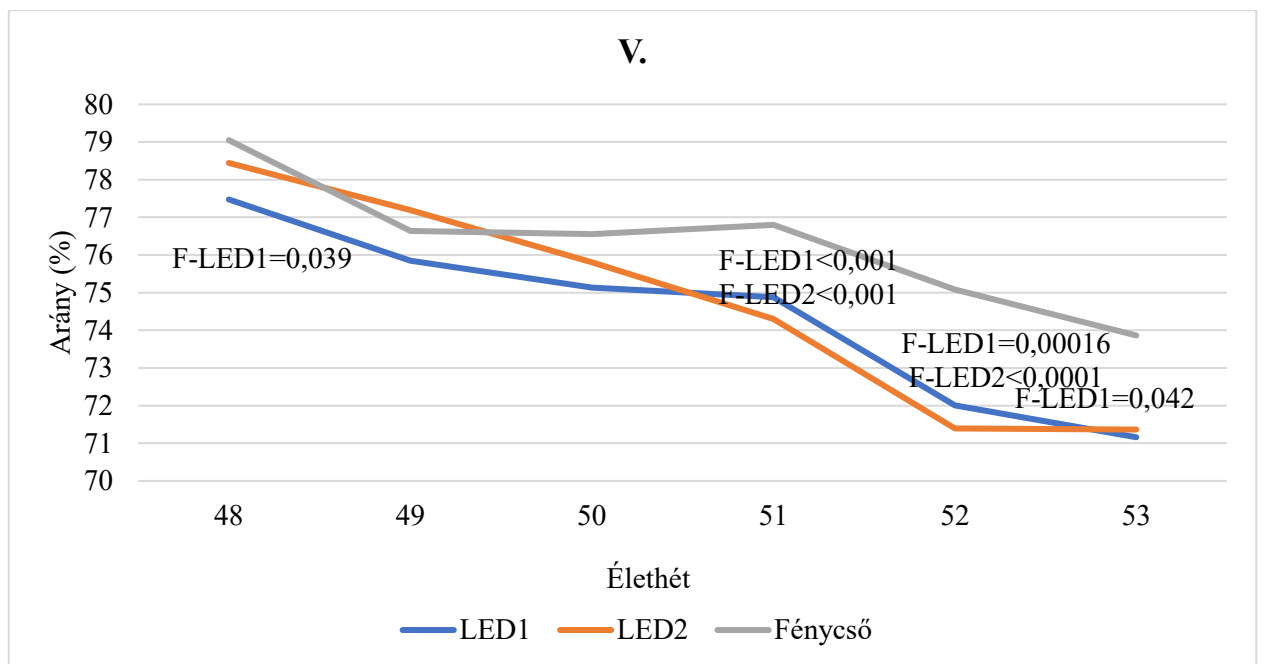
33. ábra: III. A brojler szülőpár tyúkok tojástermelési intenzitásának alakulása a 36. és 41. élethét között

A 42. és 47. hét közötti tojástermelési intenzitás (34. ábra) esetében végig a Fénycső csoport teljesített kedvezőbben. A 42. héten fénycső (84,22%) és LED1 (81,99%) között ($p < 0,001$), fénycső és LED2 (80,77%) között ($p < 0,001$) volt szignifikáns eltérés. A különbség a 43. héten LED2 (81,26%) és LED1 (81,99%) között ($p = 0,0082$), fénycső (84,22%) és LED1 között ($p < 0,001$), fénycső és LED2 között ($p < 0,001$) volt igazolható. A 44. héten LED2 (79,45%) és LED1 (81,67%) között ($p < 0,001$), fénycső (82,2%) és LED2 között ($p < 0,001$) igazoltam különbséget. A 45. héten fénycső (79,92%) és LED2 (78,74%) között ($p = 0,048$), a 46. héten fénycső (79,59%) és LED1 (78,19%) között ($p < 0,001$) találtam különbséget.



34. ábra: IV. A brojler szülőpár tyúkok tojástermelési intenzitásának alakulása a 42. és 47. élethét között

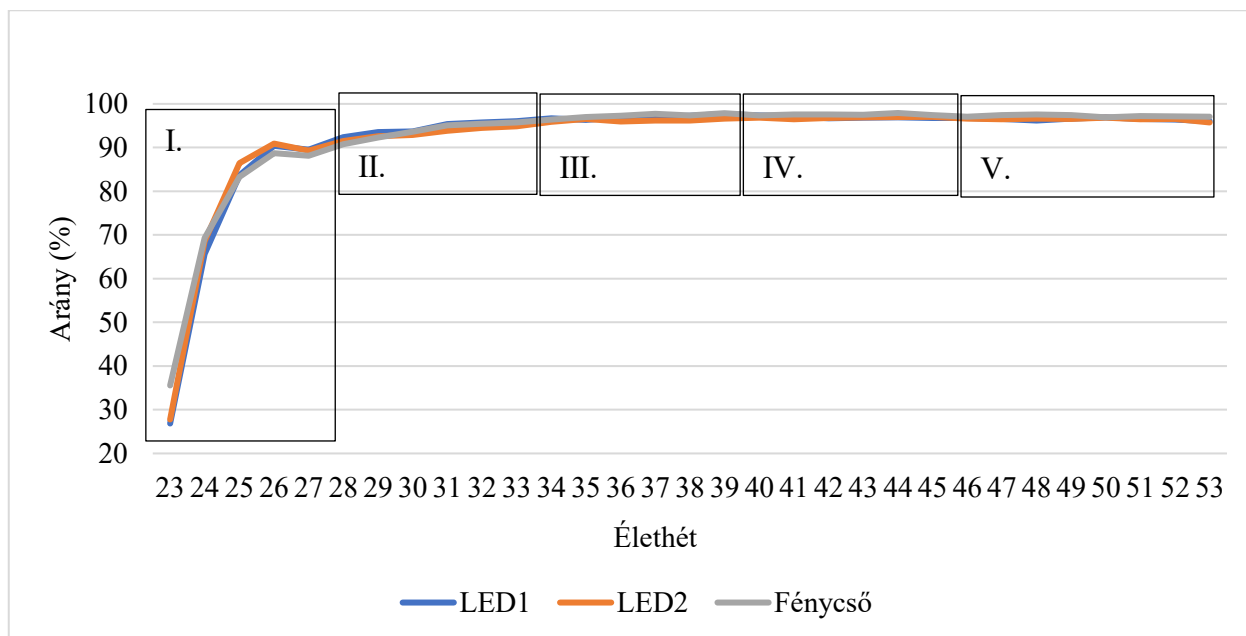
A 48. és 53. hét közötti tojástermelési intenzitásnál (35. ábra) szignifikáns különbségeket a 48. illetve 51-53. heteken figyeltem meg, ahol a fénycső csoport teljesített kedvezőbben. A 48. héten fénycső (79,05%) és LED1 (77,47%) között ($p=0,039$), és az 51. héten fénycső (76,80%) és LED1 (74,88%) között ($p<0,001$), illetve fénycső és LED2 (74,30%) között ($p<0,001$) figyeltem meg eltérést. Az 52. héten fénycső (75,08%) és LED1 (72,01%) között ($p=0,00016$), fénycső és LED2 (71,40%) között ($p<0,0001$), az 53. héten pedig fénycső (73,86%) és LED1 (71,16%) között ($p=0,042$) figyeltem meg szignifikáns különbséget.



35. ábra: V. A brojler szülőpár tyúkok tojástermelési intenzitásának alakulása a 48. és 53. élethét között

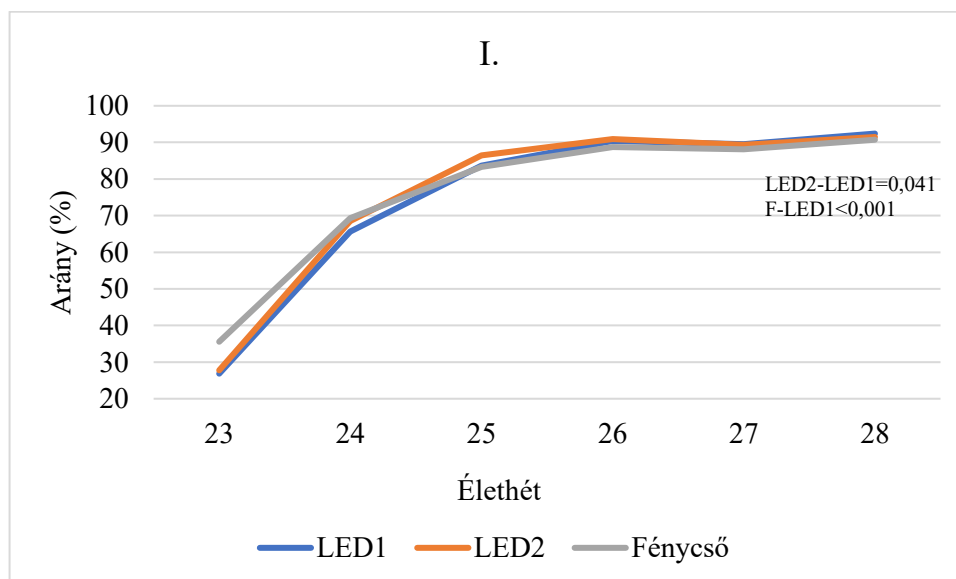
4.2.4. A tenyésztójások arányának alakulása

Az 36. ábrán mutatom be a termelés alatti tenyésztójások arányát a 23. és 53. élethét között. A kedvezőbb áttekinthetőség végett öt részre bontottam az ábrát I-V.-ig a tojástermelési intenzitásnál alkalmazott szakaszok szerint.



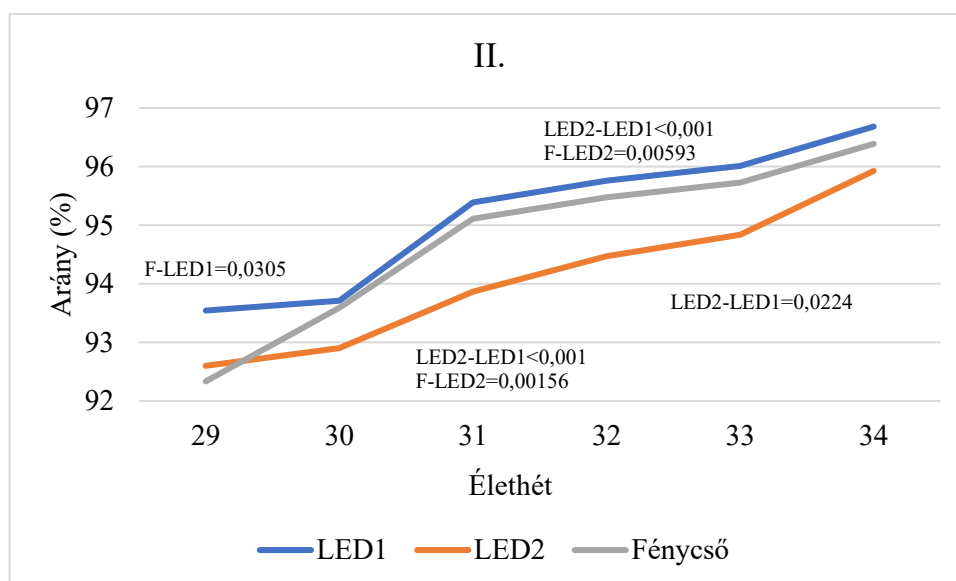
36. ábra: A brojler szülőpár tyúkok tenyésztójások arányának az alakulása a 23. és 53. élethét között

A 23. és 28. hét között a tenyésztójások arányában (37. ábra) szignifikáns különbséget először a 28. héten figyelhetünk meg, ahol a LED1 csoport teljesített a legkiemelkedőbben. LED2 (91,48%) és LED1 (92,41%) között ($p=0,041$), fénycső (90,73%) és LED1 között ($p<0,001$) volt matematikailag igazolható különbség.



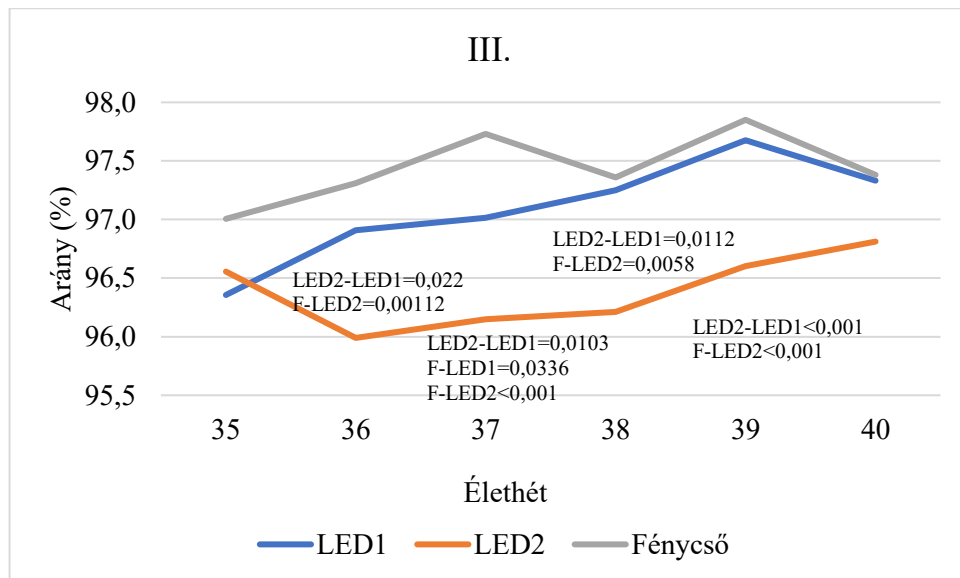
37. ábra: I. A brojler szülőpár tyúkok tenyésztójások arányának az alakulása a 23. és 28. élethét között

A 29-34. heteken (38. ábra) minden héten a LED1 csoport teljesített kedvezőbben, melynél a 29., 31-33. heteken szignifikáns eltérést figyeltem meg az alábbiak szerint: A 29. héten a fénycső (92,59%) és LED1 (93,71%) között ($p=0,0305$), és a 31. héten LED2 (93,87%) és LED1 (95,39%) között ($p<0,001$), illetve fénycső (95,11%) és LED2 között ($p=0,00156$) figyeltem meg eltérést. A 32. héten LED2 (94,47%) és LED1 (95,76%) között ($p<0,001$), fénycső (95,48%) és LED2 között ($p=0,00593$), illetve a 33. héten LED2 (94,84%) és LED1 (96,01%) között ($p=0,0224$) volt különbség.



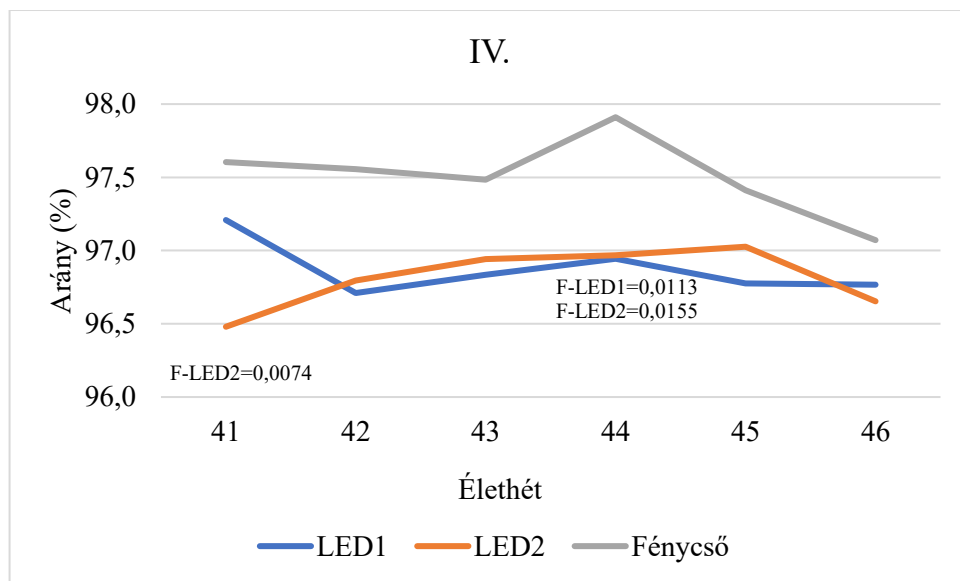
38. ábra: II. A brojler szülőpár tyúkok tenyésztójások arányának az alakulása a 29. és 34. élethét között

A 35-40. heteken (39. ábra) minden héten a fénycső csoport teljesített kedvezőbben. A vizsgált időszakban a 36-39. heteken figyeltem meg szignifikáns eltérést. A 36. héten LED2 (95,99%) és LED1 (96,91%) között ($p=0,022$), fénycső (97,31%) és LED2 között ($p=0,00112$), illetve a 37. héten LED2 (96,15%) és LED1 (97,02%) között ($p=0,0103$), fénycső (97,73%) és LED1 között ($p=0,0336$), fénycső és LED2 között ($p<0,001$) figyeltem meg eltérést. A 38. héten LED2 (96,21%) és LED1 (97,25%) között ($p=0,0112$), fénycső (97,36%) és LED2 között ($p=0,0058$), a 39. héten pedig LED2 (96,6%) és LED1 (97,68%) között ($p<0,001$), fénycső (97,85%) és LED2 között ($p<0,001$) különbség volt.



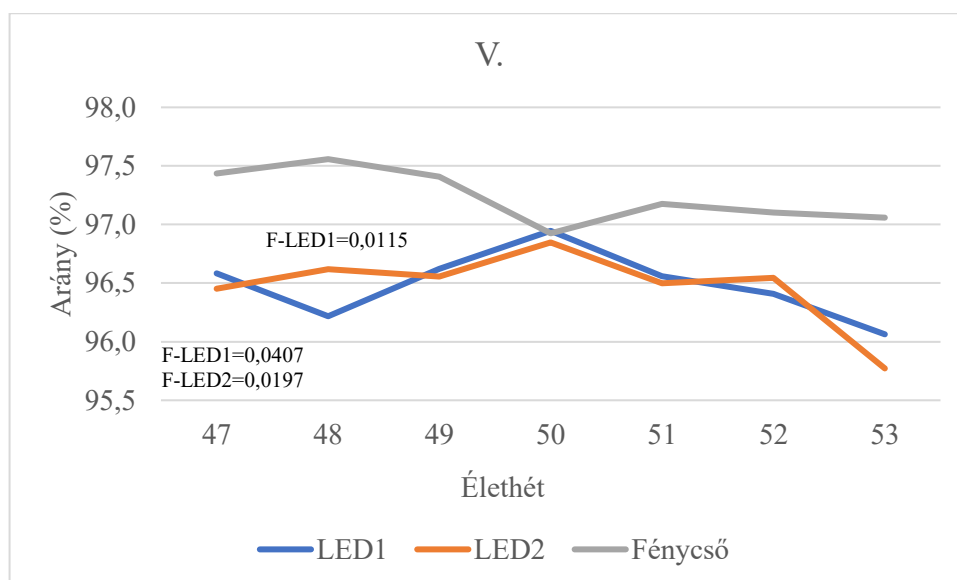
39. ábra: III. A brojler szülőpár tyúkok tenyésztójások arányának az alakulása a 35. és 40. élethét között

A 41-46. heteken (40. ábra) minden héten szintén a Fénycső csoport teljesített kedvezőbben, mely esetében a 41. és 46. heteken figyeltem meg szignifikáns eltérést. A 41. héten fénycső (97,60%) és LED2 (96,48%) között ($p=0,0074$), és a 44. héten fénycső (97,91%) és LED1 (96,94%) között ($p=0,0113$), illetve fénycső és LED2 (96,97%) között ($p=0,0155$) volt matematikailag igazolható különbség.



40. ábra: IV. A brojler szülőpár tyúkok tenyésztójások arányának az alakulása a 41. és 46. élethét között

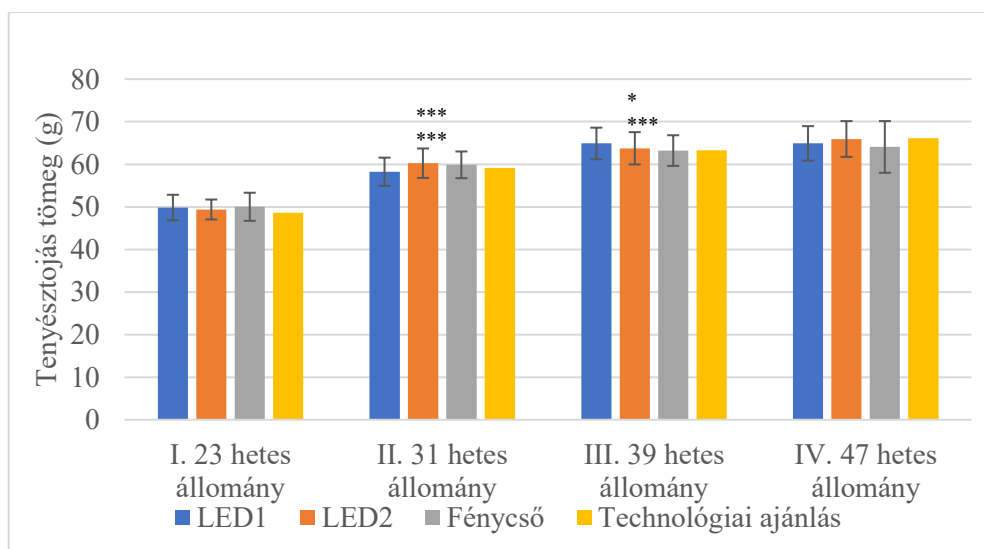
A 41. ábrán a szignifikáns különbség a 47. és 48. heteken figyelhető meg az alábbiak szerint: A 47. héten fénycső (97,44%) és LED1 (96,58%) között ($p=0,0407$), fénycső és LED2 (96,45%) között ($p=0,0197$), illetve a 48. héten a fénycső (97,56%) és LED1 (96,22%) között ($p=0,0115$) figyeltem meg eltérést.



41. ábra: V. A brojler szülőpár tyúkok tenyésztojások arányának az alakulása a 47. és 53. élethét között

4.2.5. A tenyésztojások tömegének alakulása

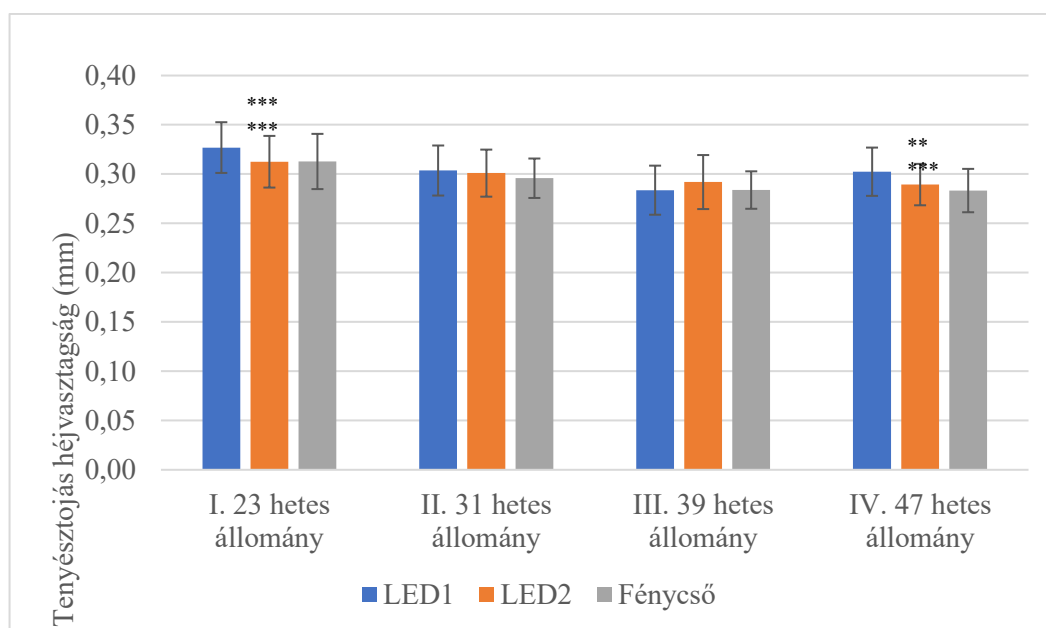
A tenyésztojások tömege az állomány korának előrehaladásával nőtt. 23 hetesen a legnagyobb tömegű tojásokat a fénycső (50,02 g), 31 hetesen a legnagyobb tömegű tojásokat a LED2 (60,25 g), 39 hetesen a legnagyobb tömegű tojásokat a LED1 (64,89 g), 47 hetesen a legnagyobb tömegű tojásokat a LED2 (65,94 g) csoport termelte. Szignifikáns eltérés a 31. és a 39. heteken figyeltem meg, melyeket az 42. ábrán *-gal jelöltem. A 31. héten LED1 (58,25%) és fénycső (59,87%) között ($p < 0,0001$), LED2 (60,25%) és LED1 között ($p < 0,0001$), illetve a 39. héten LED1 (64,89%) és fénycső (63,22%) között ($p < 0,001$), LED2 (63,75%) és LED1 között ($p = 0,0158$) figyeltem meg eltérést. A technológiai ajánlástól (citromsárga oszlop) nincs számottevő eltérés vizsgált termelési időszakokban (ROSS 308 PO, 2021). A szignifikancia értékeket a 9. táblázatban összegeztem.



42. ábra: A brojler szülőpárok tenyésztojásainak tömege (23, 31, 39 és 47 hetes állomány)

4.2.6. A tenyésztójások héjvastagságának alakulása

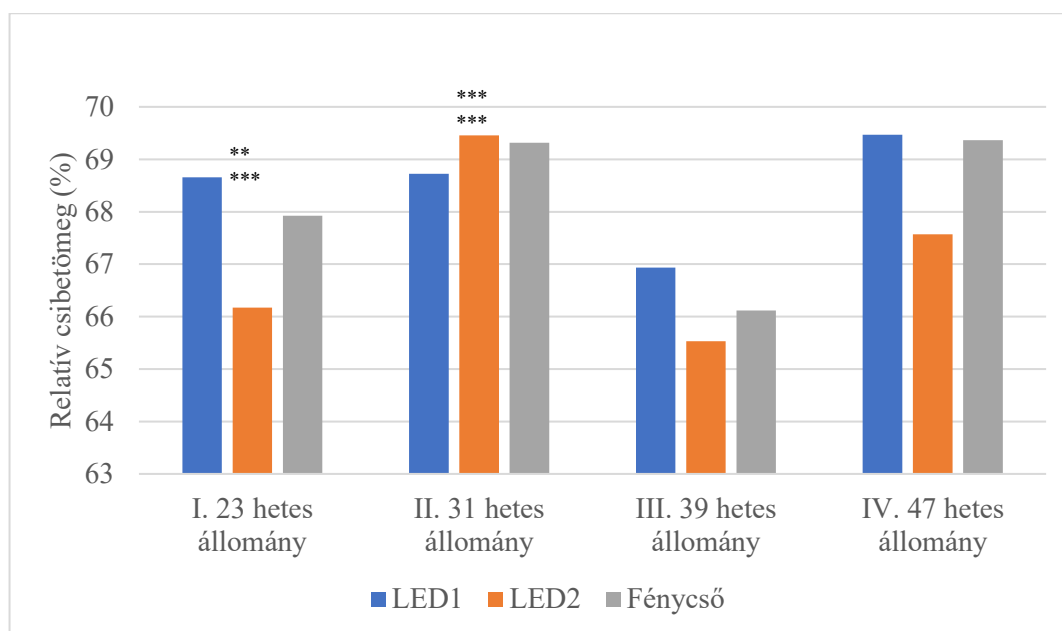
A tenyésztójások héjvastagsága az állomány korának előrehaladásával csökkent. 23 hetesen a legvastagabb héjú tojásokat a LED1 (0,327 mm), 31 hetesen a legvastagabb héjú tojásokat a LED1 (0,304 mm), 39 hetesen a legvastagabb héjú tojásokat a LED2 (0,292 mm), 47 hetesen a legvastagabb héjú tojásokat a LED1 (0,302) csoportok termelték. Szignifikáns eltérés a 23. és a 47. heteken figyelhető meg, melyeket a 43. ábrán *-gal jelöltem. A 23. héten LED1 (0,327mm) és fénycső (0,313mm) között ($p=0,00069$), LED2 (0,313) és LED1 között ($p=0,00096$), míg a 47.héten LED1 (0,302mm) és fénycső (0,283mm) között ($p<0,0001$), LED2 (0,289mm) és LED1 között ($p=0,0034$) volt eltérés. A szignifikancia értékeket külön a 9. táblázatban tüntettem fel.



43. ábra: A brojler szülőpárok tenyésztójásainak héjvastagsága (23, 31, 39 és 47 hetes állomány)

4.2.7. A kikelő csibék relatív testtömegének alakulása

A relatív csibetömegeket (%) az 44. ábrán láthatjuk. 23 hetesen a legnagyobb csibéket a LED1 (34,22 g), 31 hetesen a legnagyobb csibéket a LED2 (41,85 g), 39 hetesen a legnagyobb csibéket a LED1 (43,44 g), 47 hetesen a legnagyobb csibéke a LED1 (45,08 g) csoportokban figyeltem meg. A LED1 csoportban erős pozitív ($p=0,0162$; $r=0,8942$) korrelációt figyeltem meg a relatív csibetömeg és a tyúkok FSH értékei között, míg a tojóttyúk kalcitonin értékeivel közepes negatív ($p=0,0223$; $r=-0,6495$) korrelációban áll. Ez igaz volt a LED2 csoportra is, a relatív csibetömeg pozitív ($p=0,031$; $r=0,8525$) összefüggést mutat a FSH szinttel. Szignifikáns eltérés a 23. és a 31. heteken volt, melyeket az 44. ábrán *-gal jelöltem. A 23. héten LED2 (66,17g) és fénycső (67,92g) között ($p=0,0027$), és LED2 és LED1 (68,65g) között ($p=0,00012$), a 31. héten LED1 (68,72g) és fénycső (69,31g) között ($p=0,00003$), LED2 (69,46g) és LED1 között ($p<0,00001$) figyeltem meg eltérést. A szignifikancia értékeket a 9. táblázatban külön jelöltem.



44. ábra: A kikelt csibék relatív tömege (%) (23, 31, 39 és 47 hetes állomány)

Tenyésztojások tömege		
Állomány kora	Csoportok	p érték
31. hetes	LED1-Fénycső	<0,0001
	LED2-LED1	<0,0001
39. hetes	LED1-Fénycső	<0,001
	LED2-LED1	0,0158
Tenyésztojások héjvastagsága		
Állomány kora	Csoportok	p érték
23. hetes	LED1-Fénycső	0,00069
	LED2-LED1	0,00096
47. hetes	LED1-Fénycső	<0,0001
	LED2-LED1	0,0034
Relatív csibetömeg		
Állomány kora	Csoportok	p érték
23. hetes	LED2-Fénycső	0,0027
	LED2-LED1	0,00012
31. hetes	LED1-Fénycső	0,00003
	LED2-LED1	<0,00001

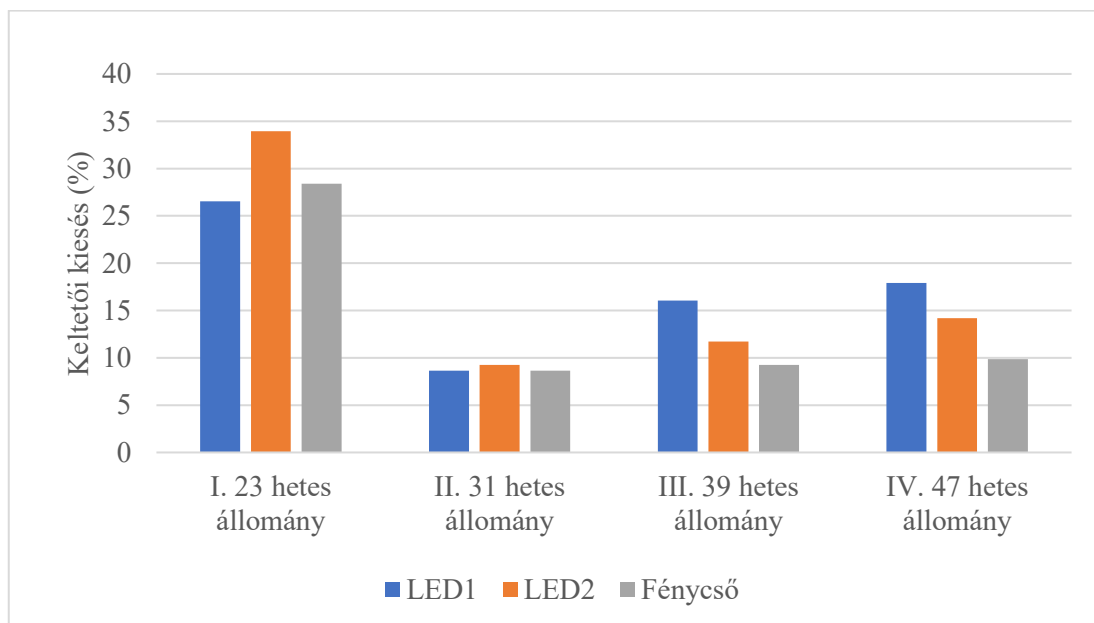
9. táblázat: Szignifikancia szintek a Tenyésztojások tömege, Tenyésztojások héjvastagsága és Relatív csibetömeg paramétereinek között.

*csak azok a hetek, ahol van szignifikáns eltérés

*színnel jelölten az adott hét legmagasabb értékét: LED1; LED2; Fénycső

4.2.8. A keltetői kiesés alakulása

A 23. hetes állomány keltetésre behelyezett tojásaiból a LED1 csoportban (26,54%), 31. hetes állománynál a LED1 és Fénycső csoportokban azonos mértékben (8,64%), 39. hetes (9,26%) és 47. hetes (9,88%) állományban a fénycső csoportban volt a legkisebb a keltetés alatt kiesett tojások aránya (45. ábra).

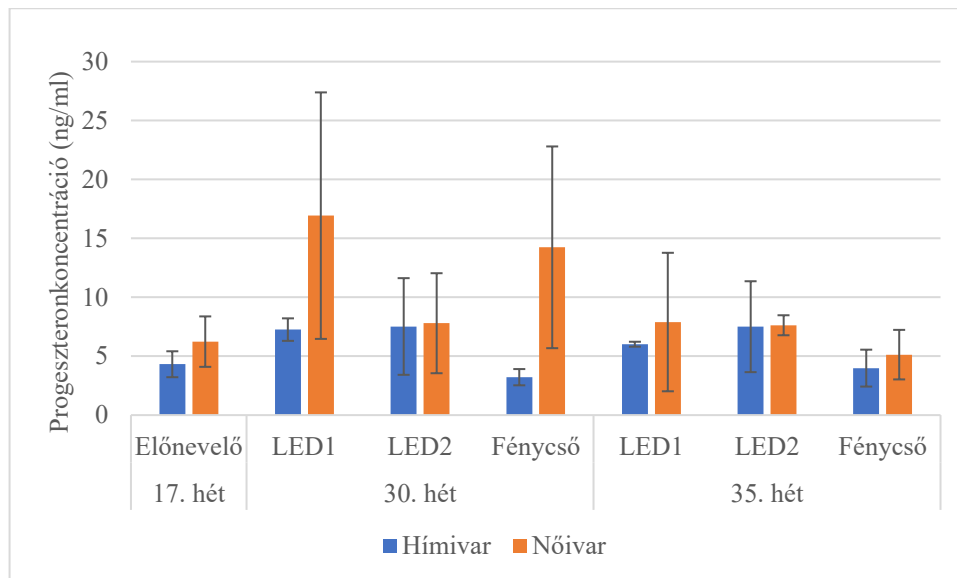


45. ábra: A brojler szülőpárok tenyésztojásaiból a keltetés alatti kiesés (%) (23, 31, 39 és 47 hetes állomány)

4.2.9. A vizsgálat során mért hormonális paraméterek alakulása

4.2.9.1. A plazma progeszteronkoncentrációjának alakulása

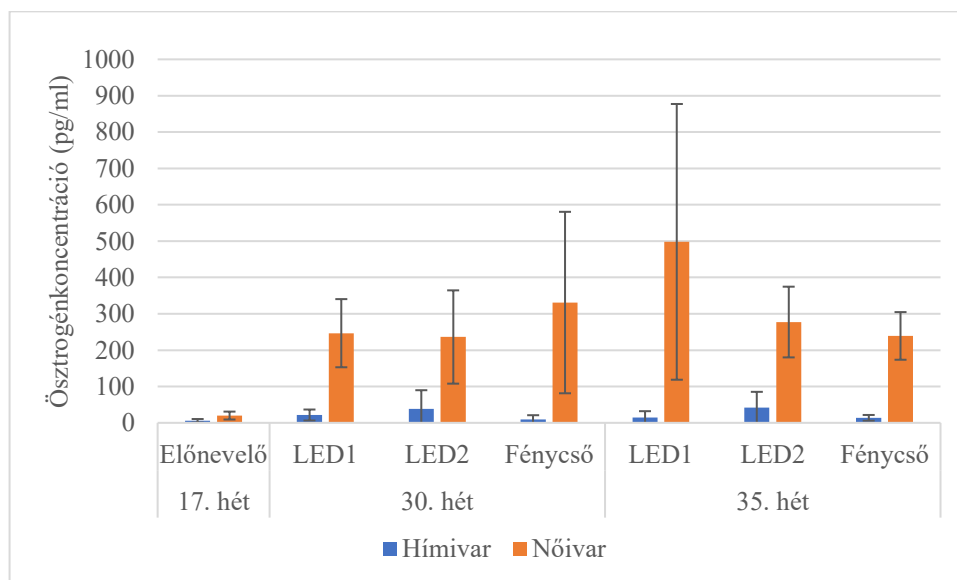
A progeszteron (46. ábra) szintben statisztikailag igazolható eltérést a 30. héten figyeltem meg a LED1 és LED2 nőivarú egyedek között ($p=0,042$), ahol a LED1 csoport madarainak magasabb volt a progeszteron szintje. A fénycső progeszteron szintje erős pozitív ($p=0,0073$; $r=0,8514$) összefüggést mutat kortkoszteron szinttel. A 35. héten a LED1 és LED2 csoport progeszteron értékei mutattak magasabb tendenciát (N.S.). A 30. héten a hímivarban a LED1 és LED2 csoport madarai magasabbak progeszteron szintet produkáltak, ahol a LED1 és fénycső csoport egyedei között statisztikai különbséget ($p=0,036$) tudtam megfigyelni.



46. ábra: A plazma progeszteronkoncentrációja a 17. 30. és 35. héten mindkét ivarban

4.2.9.2. A plazma ösztrogénkoncentrációjának alakulása

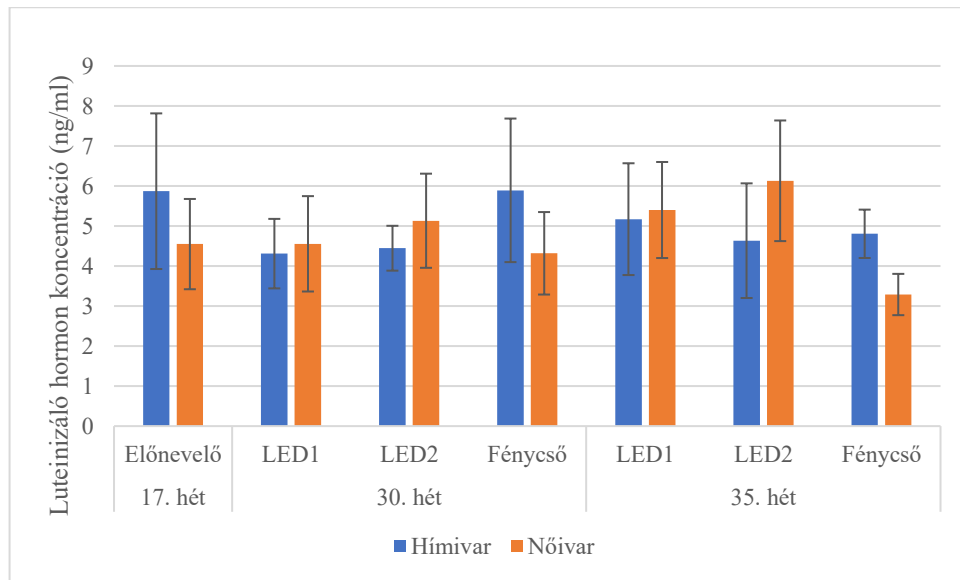
Az ösztrogén (47. ábra) értékekben nem találtam a csoportok között szignifikáns eltérést egyik vizsgált időpontban sem. A 30. héten a tyúkok ösztrogén szintje a fénycső csoportban mutatott magasabb tendenciát (N.S.) összehasonlítva a LED1 és LED2 csoportokkal, míg a 35. héten a LED1 csoportban volt magasabb (N.S.) a tyúkok ösztrogénszintje. A kakasok ösztrogén szintje mindkét vizsgált időpontban minden csoportban alacsony szinten maradt.



47. ábra: A plazma ösztrogénkoncentrációja a 17. 30. és 35. héten mindkét ivarban

4.2.9.3. A plazma luteinizáló hormon koncentrációjának alakulása

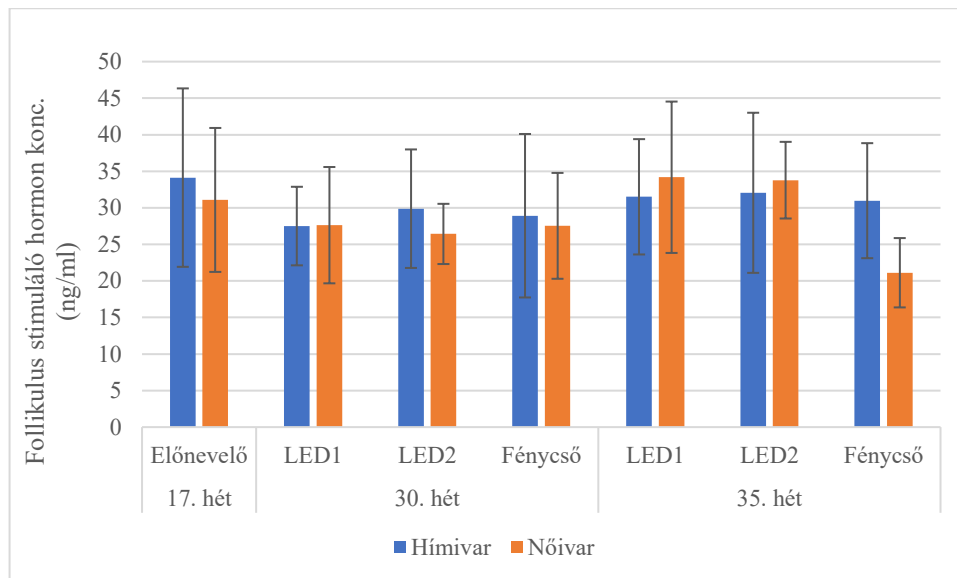
Az LH hormonszintnél (48. ábra) a 30. héten a nőivarban a LED1 és LED2 csoportokban figyeltem meg magasabb (N.S.) hormonszintet. Ez a tendencia a 35. héten is megfigyelhető, a fénycső csoport esetében szignifikánsan kisebb LH értéket figyeltem meg, mint a LED1 ($p=0,047$) és a LED2 ($p=0,007$) csoportnál. A hímivarban a 30. és 35. héten is hasonló tendenciát figyeltem meg mint a nőivarnál, azonban ezek a különbségek matematikailag nem támaszthatók alá (N.S.).



48. ábra: A plazma luteinizáló hormon koncentrációja a 17. 30. és 35. héten mindkét ivarban

4.2.9.4. A plazma folliculus stimuláló hormon koncentrációjának alakulása

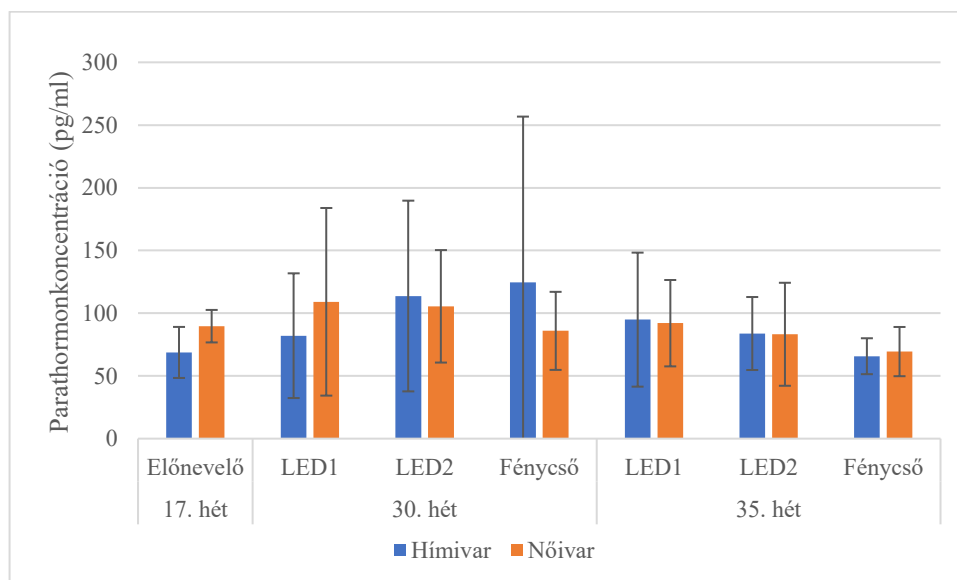
Az FSH hormonszintnél (49. ábra) a 30. héten a tojóknál szinte azonos értékeket (N.S.) kaptam. A 35. héten LED1 és LED2 csoport tojói magasabb LH szintet értek el, mint a fénycső csoport madarai, ami a LED1 csoportnál szignifikánsan ($p=0,02$) magasabb értéket ért el, mint a fénycső. A hímivar FSH szintjei mindkét vizsgált időpontban hasonlóan (N.S.) alakultak.



49. ábra: A plazma follikulusz stimuláló hormon koncentrációja a 17. 30. és 35. héten mindkét ivarban

4.2.9.5. A plazma parathormon koncentrációjának alakulása

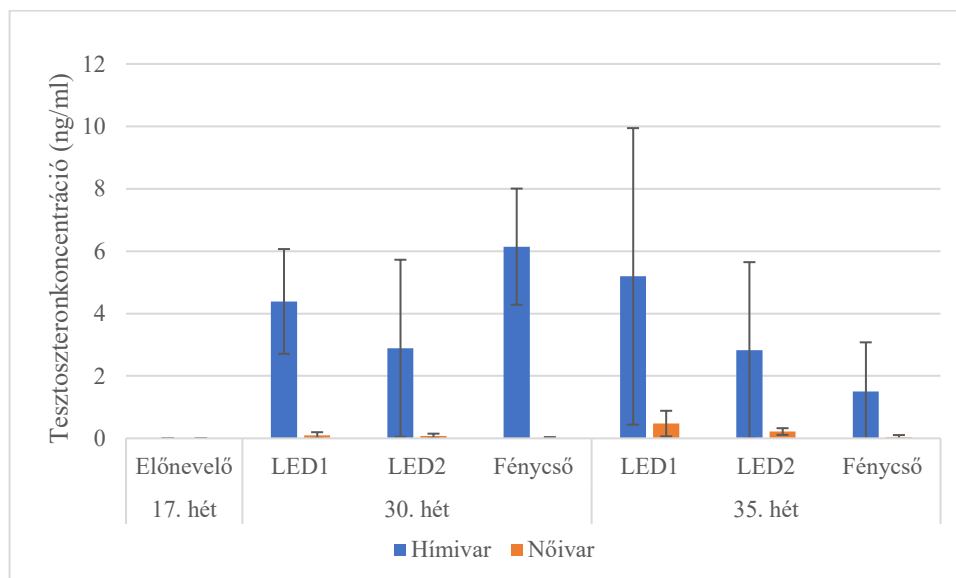
A tojók PTH szintje (50. ábra) 30. és a 35. héten is a fénycső csoportban érte el a legalacsonyabb szintet, azonban ez statisztikailag nem támasztható alá (N.S.). A hímivarban ellenkező tendenciát figyeltem meg a PTH szintben. A 30. héten LED2 és fénycső ért el magasabb értéket (N.S.), a 35. héten pedig a LED1 és LED2 csoportok mutattak magasabb PTH szintet (N.S.).



50. ábra: A plazma parathormonkoncentrációja a 17. 30. és 35. héten mindkét ivarban

4.2.9.6. A plazma tesztoszteronkoncentrációjának alakulása

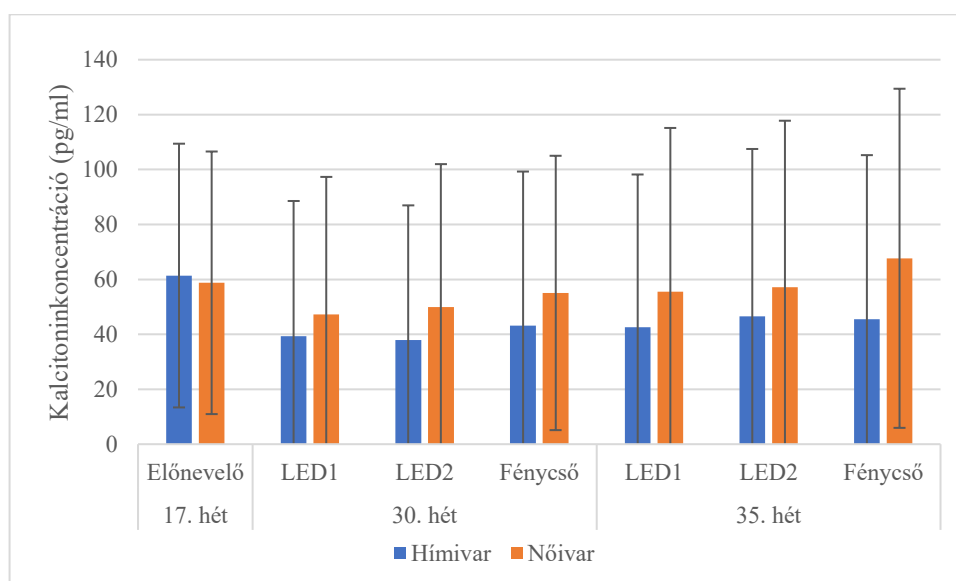
A nőivarban mindkét vizsgált időpontban elhanyagolható mennyiségű tesztoszteron (51. ábra) szint figyelhető meg. A hímivarban a 30. héten a fénycső csoportban figyeltem meg a legmagasabb (N.S.) szintű tesztoszteron értéket, míg a 35. héten a LED1 csoportra volt ez igaz (N.S.). Egyik vizsgált időpontban sem figyeltem meg statisztikailag igazolható eltérés.



51. ábra: A plazma tesztoszteronkoncentrációja a 17. 30. és 35. héten mindkét ivarban

4.2.9.7. A plazma kalcitoninkoncentrációjának alakulása

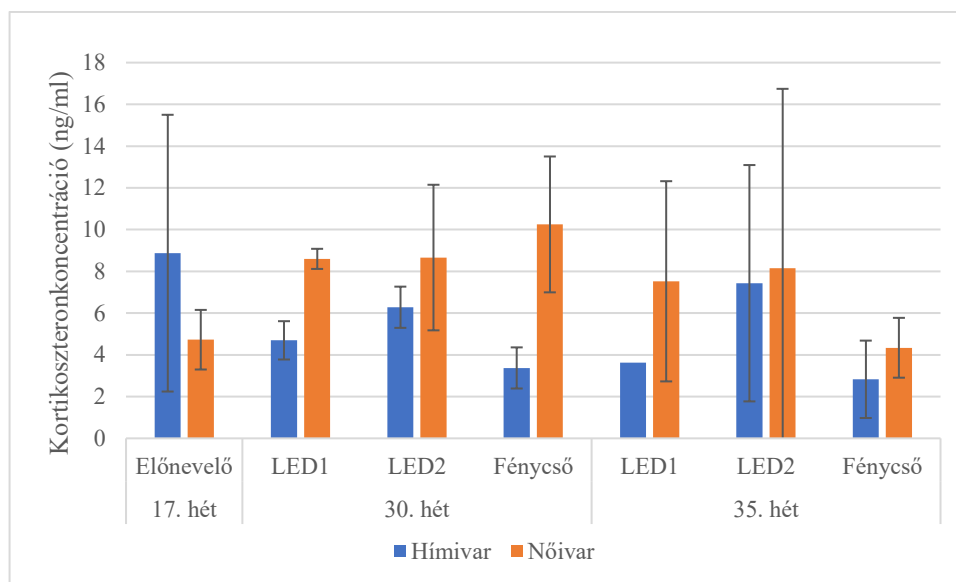
A tojástermelési időszakban a 30. és a 35. héten is a fénycső csoport tyúkjai érték el a legmagasabb Kalcitonin (52. ábra) szintet (N.S.), azonban ez statisztikailag nem igazolható különbség. A hímivarban mindkét vizsgált időpontban, mindhárom csoportban közel azonos értéket mértem (N.S.).



52. ábra: A plazma kalcitoninkoncentrációja a 17. 30. és 35. héten mindkét ivarban

4.2.9.8. A kortikoszteronkoncentráció alakulása

A tyúkoknál a 30. héten a fénycső csoport madarainak volt a legmagasabb (N.S.) a kortikoszteron (53. ábra) értéke, míg a 35. héten a LED1 és LED2 csoportnak voltak magasabb (N.S.) mért értékei. A kakasoknál a 30. és 35. héten is a LED2 csoport madarai mutatták a legmagasabb (N.S.) kortikoszteron szintet. Ezek ellenére a kapott értékek között nem tudtam igazolni szignifikáns eltérést egyik időpontban sem a csoportok között.



53. ábra: A kortikoszteronkoncentráció a 17. 30. és 35. héten mindkét ivarban

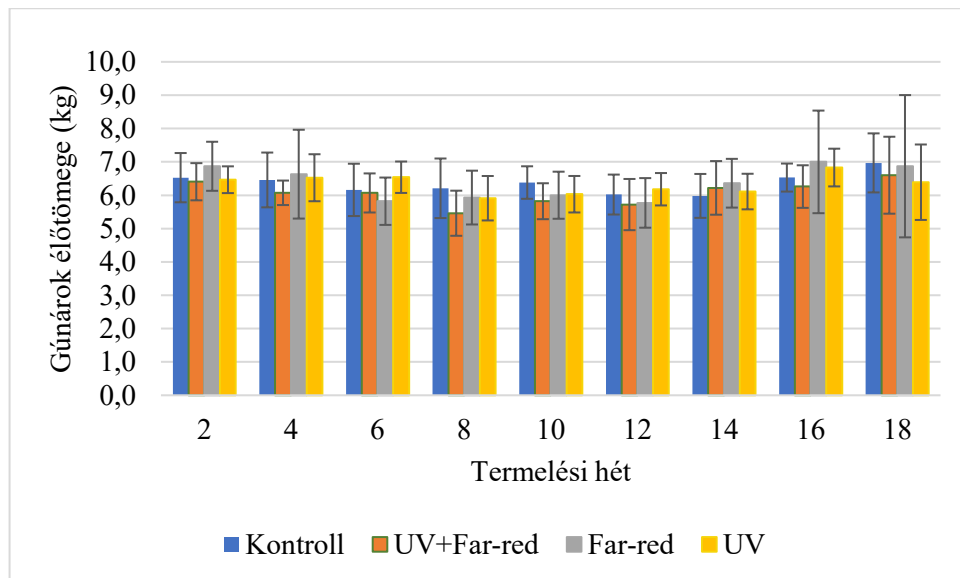
4.3. A lúd szülőpárokkal végzett vizsgálatok eredményeinek bemutatása

4.3.1. A lúd szülőpárok élőtömegeinek alakulása

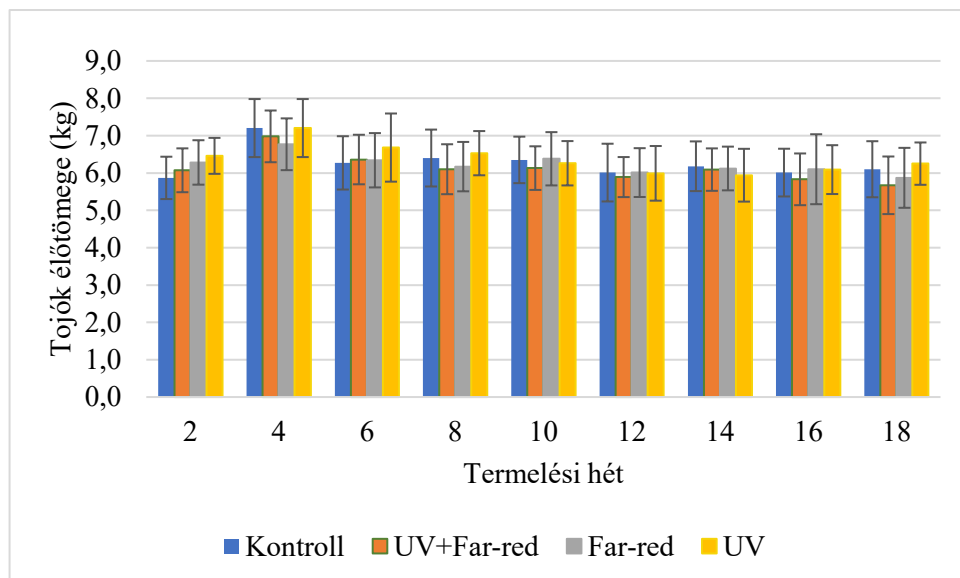
A gúnárok élőtömege (54. ábra) a termelési időszak közepére csökkent, majd a vége felé ismételen emelkedni kezdett. Ez a tendencia az összes csoportban megfigyelhető volt. A csoportok között nem volt igazolható különbség a testtömegben (N.S.).

A tojóknál (55. ábra) minden csoportban a kezdeti intenzív tömeggyarapodást követően testtömegcsökkenést figyeltem meg, ami a tojástermelés felfutásával van párhuzamban. A tojók átlagos élőtömege minden csoportban hasonlóan alakult (N.S.).

Az elhullásban nem volt szignifikáns különbség a csoportok között egyik ivarban sem.



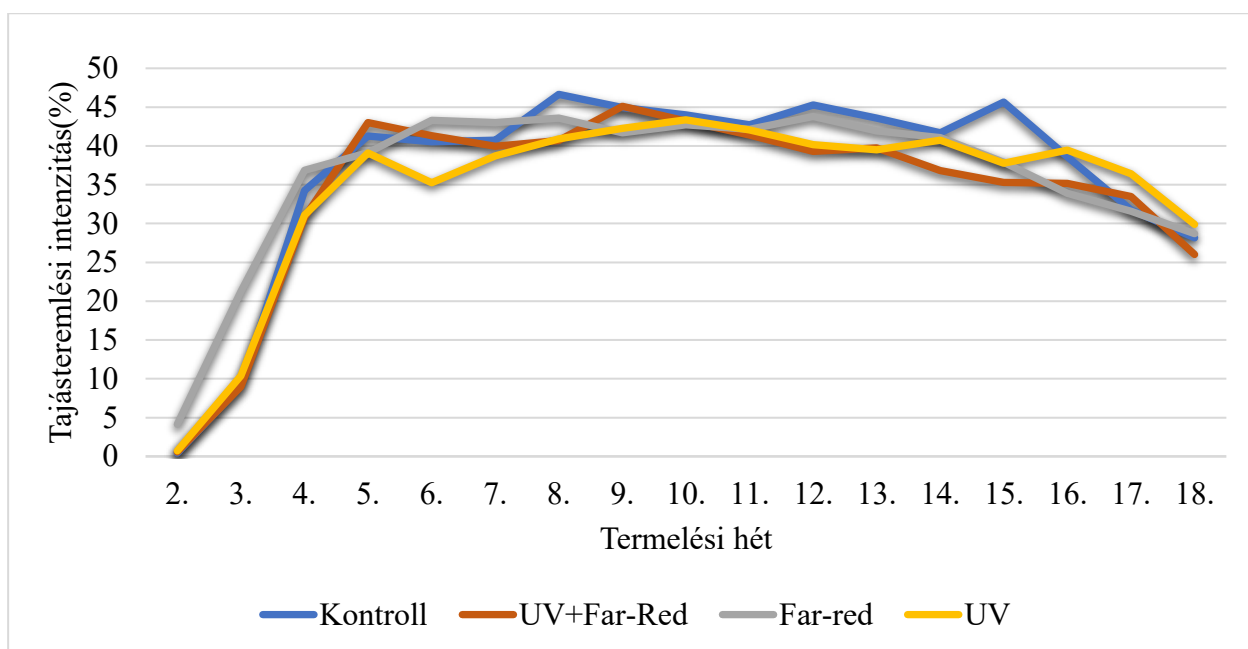
54. ábra: A gúnárok élőtömegének (kg) az alakulása a 2., 4., 6., 8., 10., 12., 14., 16. és 18. heteken



55. ábra: A lúd szülőpár tojók élőtömegének (kg) az alakulása a 2., 4., 6., 8., 10., 12., 14., 16. és 18. heteken

4.3.2. A tojástermelési intenzitás alakulása

A tojástermelési intenzitás (56. ábra) a 4. termelési hétre nagymértékű emelkedést mutatott, ahol a Far-red csoport a 2. és 3. héten szignifikánsan ($p < 0,05$) magasabb tojástermelési intenzitást ért el. A csúcstermelésben a 6. héten az UV csoport teljesítménye elmarad ($p < 0,05$) az összes többi csoporthoz képest, míg a lefutási szakaszban az intenzitás csökkenése mérsékeltebb volt a további csoportokhoz viszonyítva, a 16 héten szignifikánsan ($p < 0,05$) magasabb értéket elérve a Far-red-hez képest. A termelés fő szakaszában, több héten (8., 12. és 15. héten) a kontroll csoport ért el magasabb ($p < 0,05$) tojástermelési intenzitást. Az egyes vizsgált termelési heteken mért releváns statisztikai összefüggéseket a 10. táblázatban tüntettem fel.



56. ábra: A lúd szülőpár tojók tojástermelési intenzitásának az alakulása 2. és 18. termelési hét között

Termelési hét	Kontroll (K)	UV+Far-red (UV+Far)	Far-red (Far)	UV	Összefüggés	p-érték
2.	0,43	0,57	4,14	0,72	K-Far	0,001
					UV+Far-Far	0,001
					Far-UV	0,025
3.	9,09	8,97	21,21	10,39	K-Far	0,033
					UV+Far-Far	0,031
4.	34,29	30,79	36,86	31,09	-	-
5.	41,30	43,03	39,14	39,09	UV+Far-Far	0,045
					UV+Far-UV	0,041
6.	40,52	41,33	43,29	35,24	UV+Far-Far	<0,001
					UV-K	0,021
					UV+Far-UV	0,006
7.	40,73	39,96	43,00	38,72	-	-
8.	46,64	40,68	43,58	40,90	K-UV+Far	0,0012
					UV-K	0,0016
9.	44,94	45,11	41,71	42,28	-	-
10.	44,01	43,22	42,71	43,36	-	-
11.	42,72	41,41	42,13	42,06	-	-

12.	45,30	39,30	43,80	40,17	K-UV+Far	0,0084
					UV-K	0,027
13.	43,58	39,74	41,92	39,52	-	-
14.	41,68	36,84	41,05	40,75	-	-
15.	45,66	35,32	37,88	37,78	K-UV+Far	0,031
16.	38,61	35,17	33,91	39,45	UV-Far	0,035
17.	31,76	33,50	31,60	36,43	-	-
18.	28,16	26,03	28,68	29,89	-	-

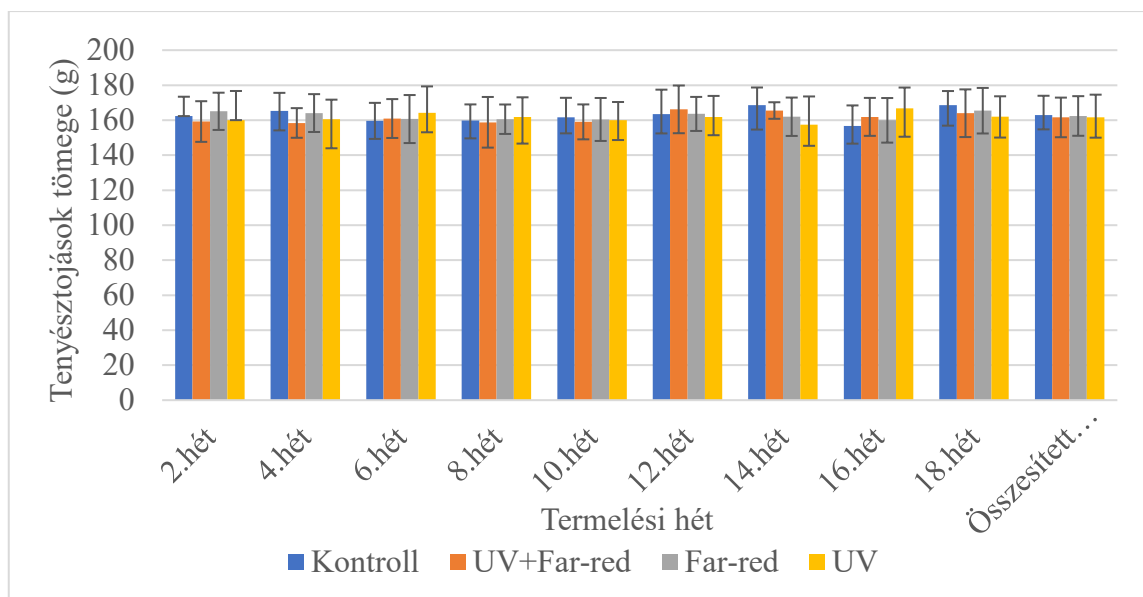
10. táblázat: A lúd szülőpár tojók tojástermelési intenzitásának az értékei és statisztikai összefüggései a 2. és 18. termelési hét között

*színekkel jelölten az adott hét legmagasabb értékét: **Kontroll**; **UV+Far-red**; Far-red, **UV**

4.3.3. A vizsgálat során mért tenyésztójások minőségének alakulása

4.3.3.1. A tenyésztójások tömegének alakulása

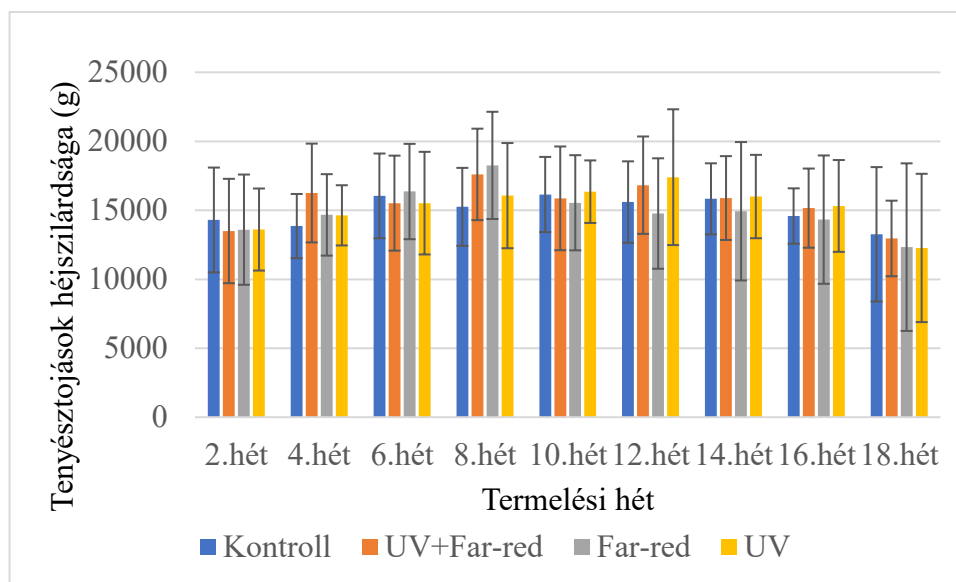
A tenyésztójások átlag tömegében (57. ábra) egyedül a 14. héten tapasztalható szignifikáns eltérés, ahol a kontroll csoport tojásai nagyobb ($p=0,049$) tömeget értek el az UV csoport tojásaihoz képest. Minden vizsgált héten 156-169 g közötti átlagtömeget mértem. A kontroll csoport a 4., 10., 14., 18. heteken érte el a legnagyobb tojástömeget (N.S.), míg a 6., 8., 16. heteken az UV csoportban figyelhetők meg a legnagyobb (N.S.) értékek.



57. ábra: A tenyésztójások tömegének az alakulása a 2., 4., 6., 8., 10., 12., 14., 16., 18. termelési heteken és az összes vizsgált termelési hét összesített értéke

4.3.3.2. A tenyésztójások héjszilárdságának alakulása

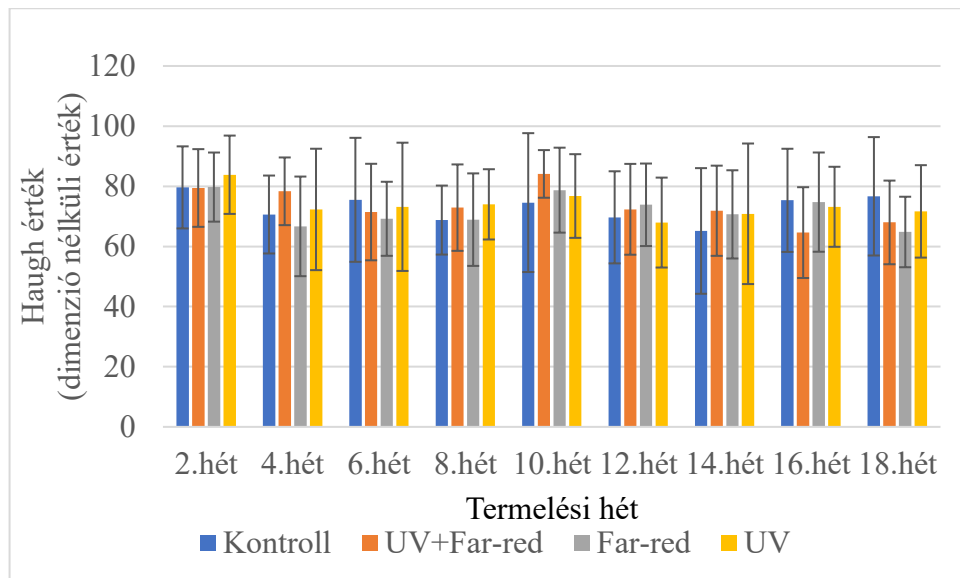
A kapott héjszilárdsági (58. ábra) értékek nem mutattak szignifikáns (N.S.) eltérést a csoportok között egyik vizsgált héten sem. A termelés első felében (2. héttől a 8. hétig) változóan alakult a tenyésztójások héjszilárdsága, a termelés második felében (10. héttől a 16. hétig) az UV csoportban magasabb (N.S.) volt a héjszilárdság érték, de ez a különbség sem igazolható statisztikailag.



58. ábra: A tenyésztójások héjszilárdságának az alakulása a 2., 4., 6., 8., 10., 12., 14., 16. és a 18. termelési heteken

4.3.3.3. A tenyésztójások Haugh értékének alakulása

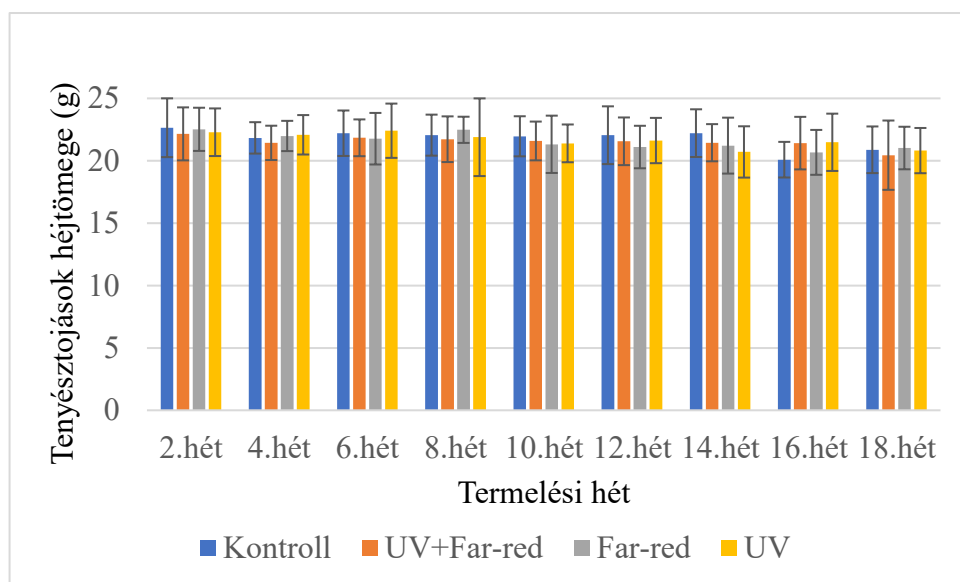
A Haugh egység (HU) a tojás minőségét határozza meg, a tojásfehérje magasságának és a tojás tömegének értékeiből. A vizsgált tojások Haugh egységében (59. ábra) egyik vizsgált termelési héten sem volt szignifikáns eltérés (N.S.) a csoportok között, a kapott értékek változóan alakultak. A klasszikus értelmezés szerint a vizsgált tojások mindegyike a jó vagy a kiváló kategóriába esett.



59. ábra: A tenyésztójások Haugh egységének az alakulása a 2., 4., 6., 8., 10., 12., 14., 16. és a 18. termelési heteken

4.3.3.4. A tenyésztójások héjtömegének alakulása

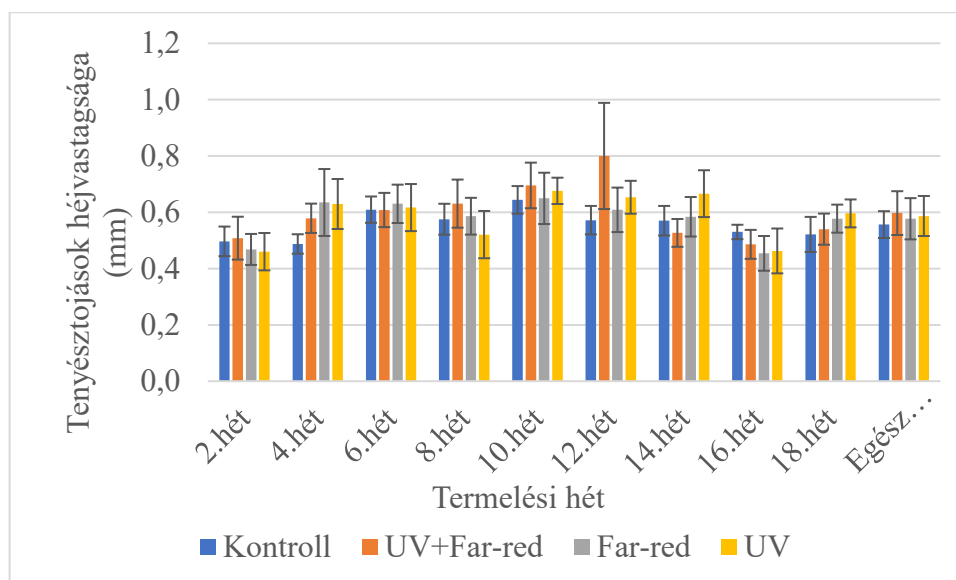
A teljes tojánhéjak tömegében (60. ábra) nem volt matematikailag igazolható (N.S.) különbség a vizsgált időpontokban. Minden csoportban megfigyelhető, hogy az idő előrehaladtával csökkentek az átlagos tojánhéj tömegek. A legnagyobb tojánhéj tömeget a 2., 10., 12., és 14. héten a kontroll csoport, míg a 4., 6., és 16. heteken az UV csoport érte el (N.S.).



60. ábra: A tenyésztójások héjtömegének az alakulása a 2., 4., 6., 8., 10., 12., 14., 16. és a 18. termelési heteken

4.3.3.5. A tenyésztójások héjvastagságának alakulása

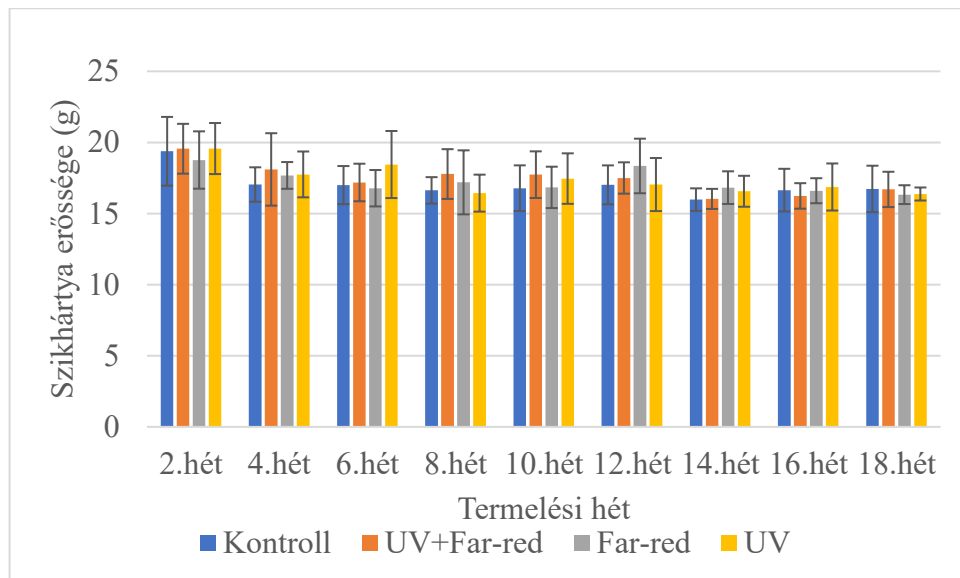
A tenyésztójások héjvastagsága (61. ábra) az első méréshez képest növekedett, majd a termelés második felében vékonyodott. A csoportok között ingadozás figyelhető meg a termelés alatt, viszont több vizsgált héten a kontroll csoport héjvastagsága lett alacsonyabb ($p < 0,05$). A 4. héten minden más csoport szignifikánsan (UV+Far-red $p < 0,001$; Far-red $p < 0,001$; UV $p = 0,001$) vastagabb tojáshéjat produkált a kontroll csoporthoz képest. A 8. héten UV+Far-red és az UV csoportok között figyelhető meg szignifikáns ($p < 0,01$) különbség, ahol az UV+Far-red csoportnak volt vastagabb a tojáshéja. A 12. héten a kontroll csoport elmaradt az UV ($p = 0,003$) és UV+Far-red $p < 0,001$) csoportokhoz képest, de az UV+Far-red és Far-red csoportok között is megfigyelhető különbség ($p = 0,006$) ahol az UV+Far-red csoport madarainak volt vastagabb tojáshéja. A 14. és 18. heteken az UV csoport nagyobb (14. hét K-UV $p = 0,002$; 18. hét K-UV $p = 0,00694$) héjvastagságot ért el a kontroll csoporthoz képest, míg a 16. héten a kontroll csoportról mondható ez el ($p < 0,05$) a Far-red és UV csoportokkal szemben. Egész termelési időszakra vetítve szignifikáns különbséget ($p = 0,00576$) figyeltem meg a kontroll (0,56mm) és UV+Far-red (0,60mm) csoportok között.



61. ábra: A tenyésztójások héjvastagságának az alakulása a 2., 4., 6., 8., 10., 12., 14., 16. 18. termelési heteken és egész időszakra vetítve

4.3.3.6. A tenyésztójások szikhardtya erősségének alakulása

A szikhardtya erőssége (62. ábra) a termelési idő előrehaladtával csökkent. A 2. 6. és 16. héten az UV csoport érte el a legmagasabb értéket, míg a 4., 8. és 10. héten az UV+Far-red csoportról mondható ez el. Az igazolható eltérés a 6. héten a UV csoportban erősebb ($p = 0,033$) szikhardtát mértem, mint a Far-red csoportban, a 8. héten pedig az UV+Far-red csoportban volt erősebb ($p = 0,029$) a szikhardtya az UV csoporthoz képest.

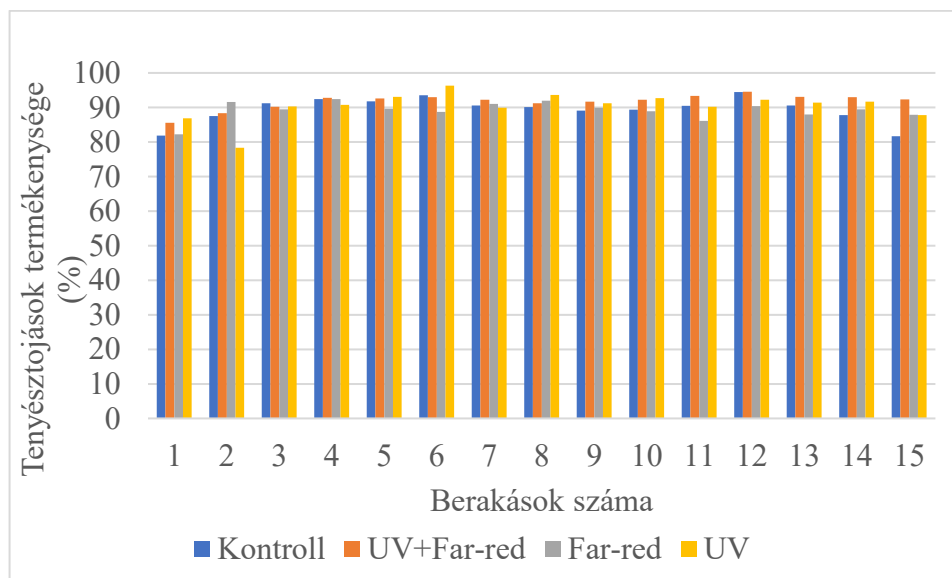


62. ábra: A tenyésztójások szikhártya erősségének az alakulása a 2., 4., 6., 8., 10., 12., 14., 16. és a 18. termelési heteken

4.3.4. A kelési és szaporodásbiológiai mutatók alakulása

4.3.4.1. A tenyésztójások termékenységének alakulása

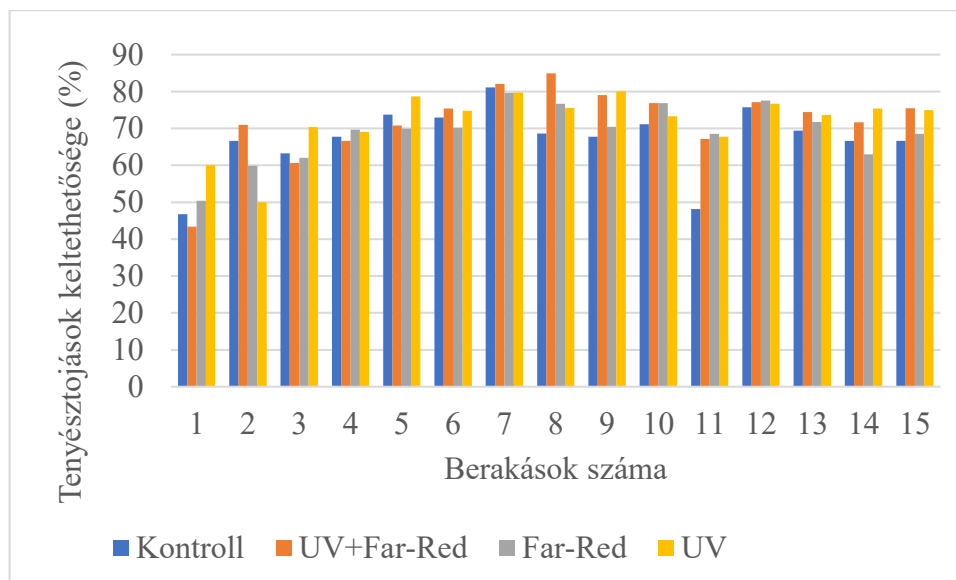
A tenyésztójások átlagos termékenysége (63. ábra) a termelési időben 90% körül alakult (kontroll: 89,5%; UV+Far-red: 91,8%; Far-red: 89,2%; UV: 90,4%). Az egész termelési időszakra vetítve az UV+Far-red csoport szignifikánsan kedvezőbb termékenységet ért el a kontroll ($p=0,023$) és a Far-red ($p=0,002$) csoporthoz képest.



63. ábra: A tenyésztójások termékenységének az alakulása az 1. és 15. berakás között

4.3.4.2. A tenyésztójások keltethetőségének alakulása

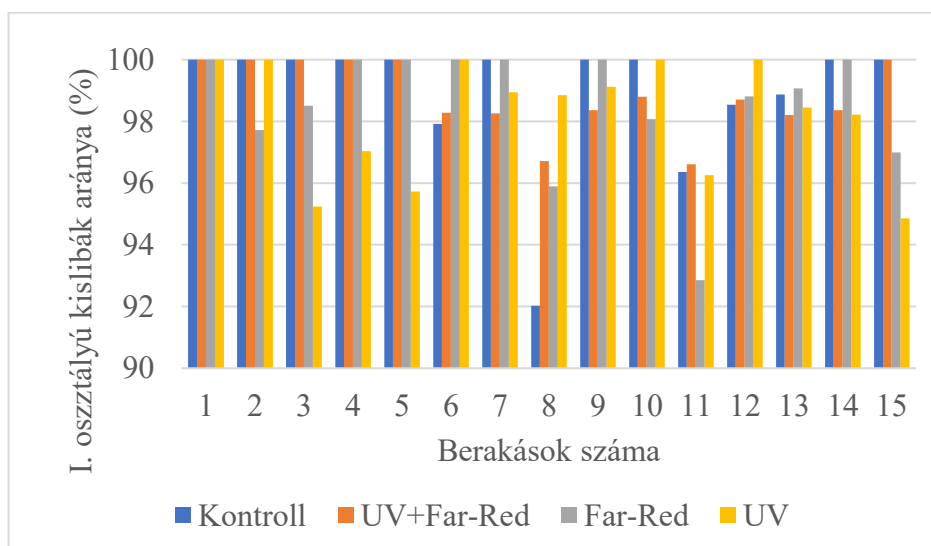
A tenyésztójások keltethetősége a berakott tojásra vetítve (64. ábra) a 7. hétre érte el a maximumot, két csoportban (kontroll és UV+Far-red) 80% feletti kelési aránnyal. A csoportok között a teljes termelési időre vetítve (kontroll: 67,1%; UV+Far-red: 71,8%; Far-red: 69%; UV: 72%) a kontroll csoport és az UV csoport között volt igazolható statisztikai ($p=0,049$) különbség, miszerint az UV csoport keltethetősége kedvezőbben alakult az egész tenyészidőszakra vetítve.



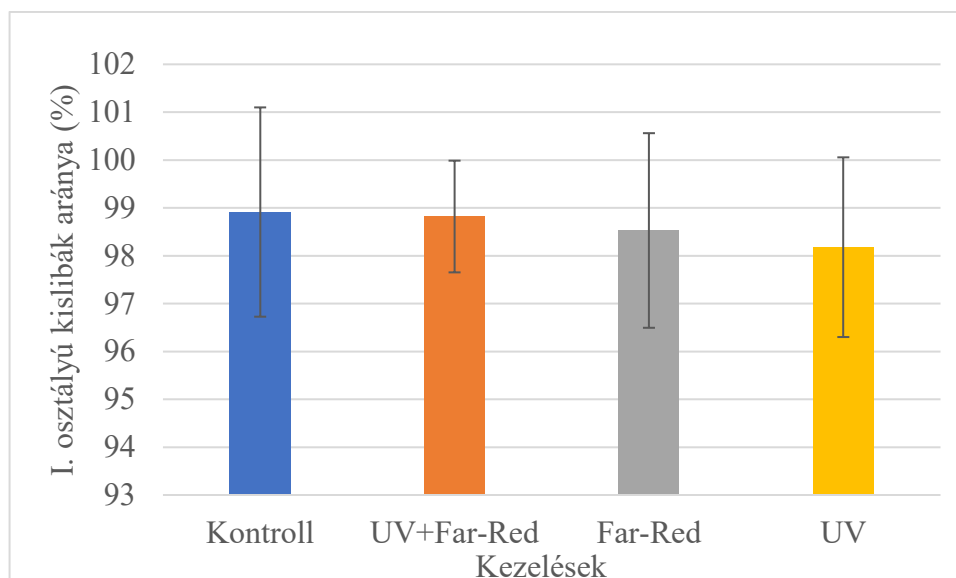
64. ábra: A tenyésztójások keltethetősége a berakott tojásra vetítve az 1. és 15. berakás között

4.3.4.3. A napos libák minőségének alakulása

Az I. osztályú kislibák arányában (65. ábra) az egész termelési időszakra vetítve nem volt különbség (N.S.). Minden kezelés esetében a kiváló minőségű I. osztályú kislibák aránya magasnak bizonyult (66. ábra). A kontroll csoport viszonylag stabil, magas I. osztályú kisliba aránnyal rendelkezett, kisebb ingadozások a 8. és 11. héten tapasztaltam. A UV+Far-red kombináció értékei végig a legkedvezőbb sávban maradt (96–100%), a leginkább egységes értékeket produkálva.



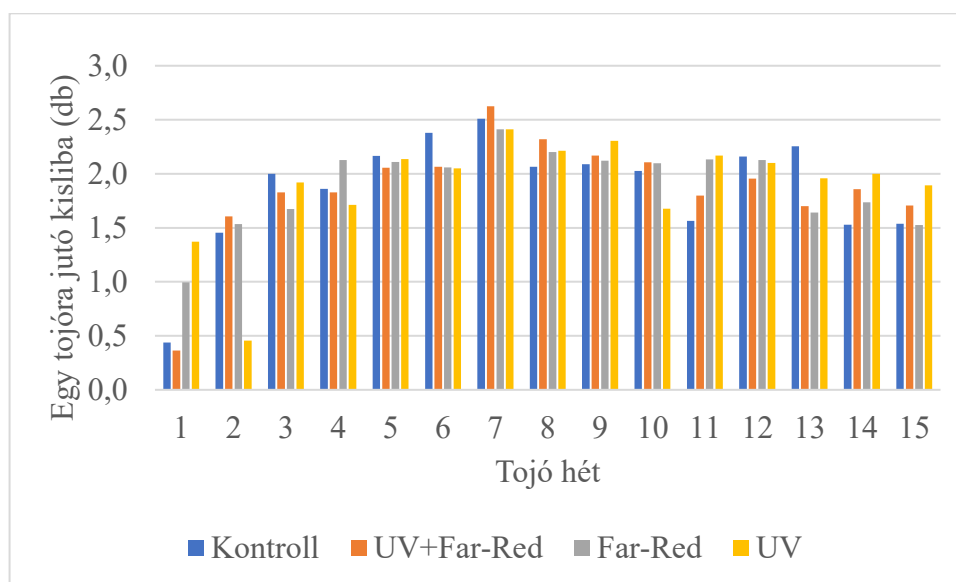
65. ábra: Az I. osztályú kislibák aránya berakásonként az 1. és 15. berakás között



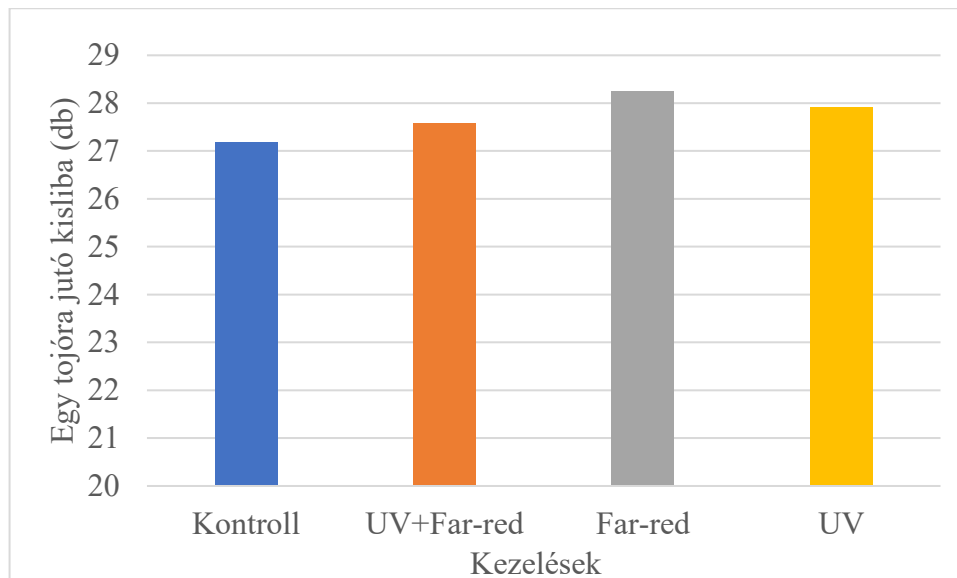
66. ábra: Az I. osztályú kislibák aránya teljes ciklusra vetítve az 1. és 15. berakás között

4.3.4.4. Az egy tojóra jutó kislibák számának alakulása

Az egy termelési ciklusban egy tojóra jutó kislibák aránya (67. és 68. ábra) a kontroll csoportban 27,17 db, UV+Far-red csoportban 27,57 db, Far-red csoportban 28,24 db, UV csoportban 27,92 db kisliba volt. A tenyésztidőszakra vetítve nem volt szignifikáns (N.S.) különbség a csoportok között.



67. ábra: Az egy tojóra jutó kisliba az 1. és 15. tojóhét között

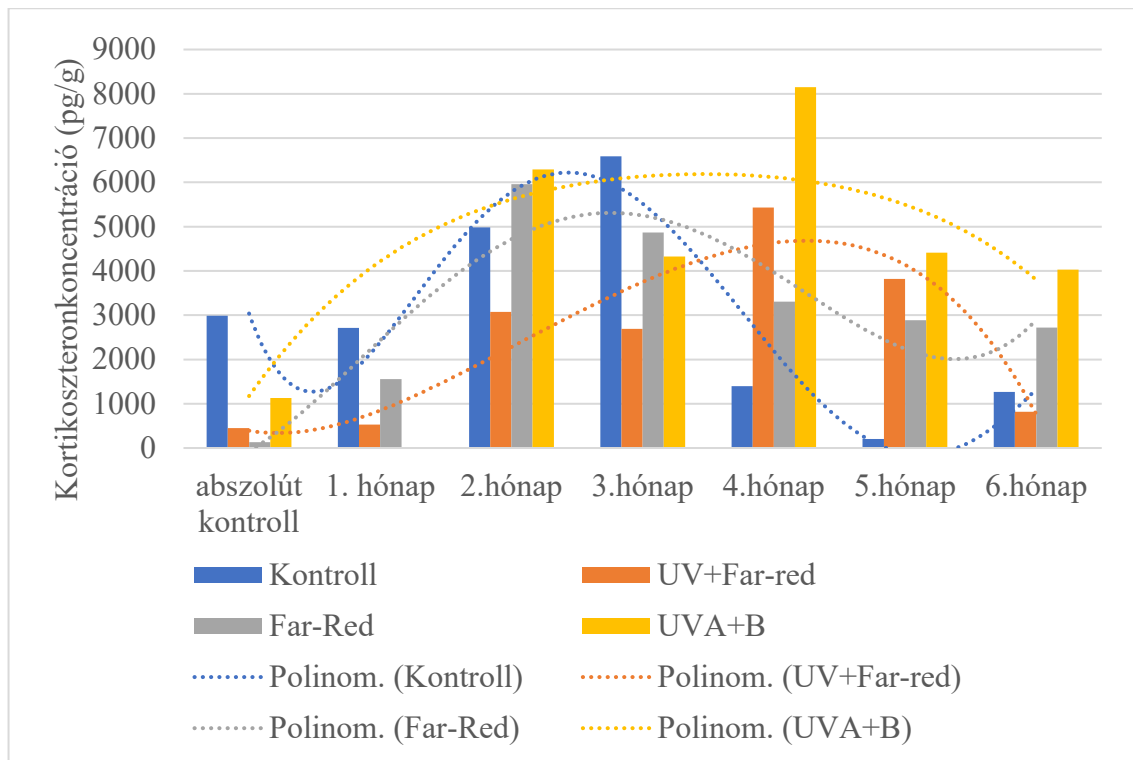


68. ábra: Az egy tojóra jutó kisliba egész ciklusra vetítve az 1. és 15. tojójét között

4.3.5. A vizsgálat során mért hormonális paraméterek alakulása

4.3.5.1. A kortikoszteronkoncentráció alakulása

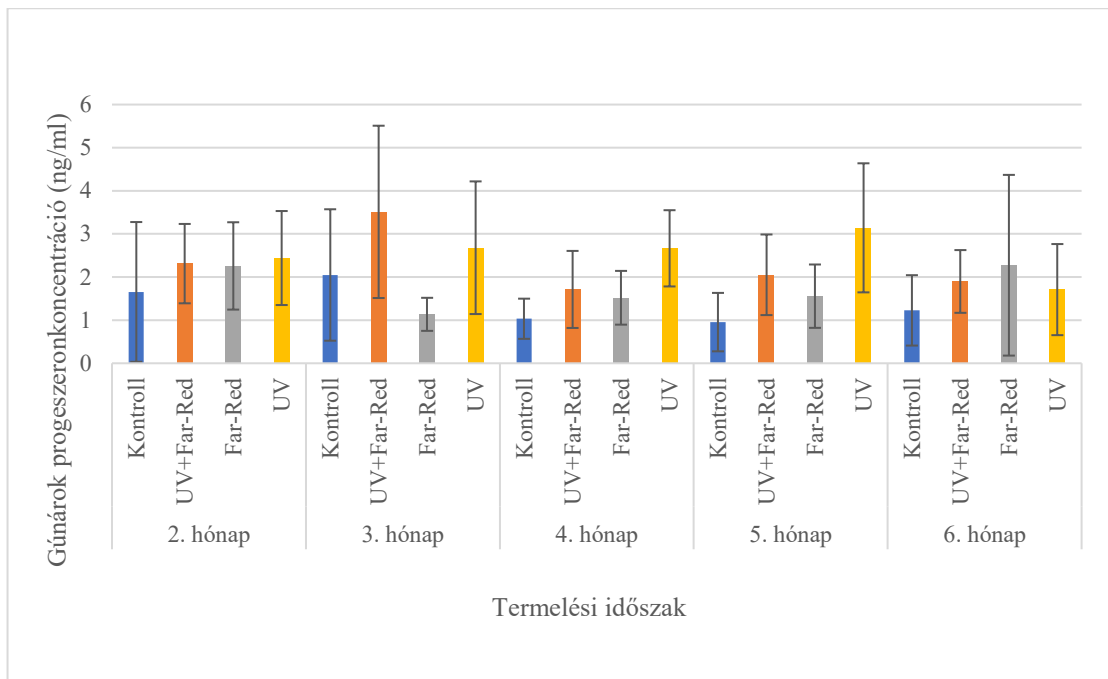
A szülőpároktól gyűjtött ürülékminták kortikoszteron szintje (69. ábra) a vizsgált időszakokban változóan alakult. Az 1. 2. 3. és 6. hónapban az UV+Far-red csoportban figyeltem meg a legalacsonyabb kortikoszteron szintet, míg a 4. és az 5. hónapban a kontroll csoportról mondható el ugyan ez. A polinom trendvonalat figyelembe véve a kontrollcsoportnál a kiindulási érték viszonylag magas, ami emelkedést mutat a 3. hónapig, majd a további hónapokban viszonylag a legalacsonyabb szintre csökken. A Far-red csoportban a polinom emelkedik a 2-3. hónapig, majd enyhe csökkenést mutat. Az UV+Far-red csoportban a görbe a 4. hónapig emelkedik, majd a 6. hónapra határozottan csökken. Az UV csoportban kortikoszteron szint folyamatosan emelkedik a 4. hónapig, majd enyhe csökkenés figyelhető meg. Az UV csoportban negatív korrelációs együtthatót figyeltem meg a kortikoszteron szint és a tojástömeg ($p=0,045$; $r=-0,8213$) illetve a tojásbél tömege ($p=0,0198$; $r=-0,8827$) között.



69. ábra: A kortikoszteronkoncentráció a 0. és 6. hónap közötti időszakban

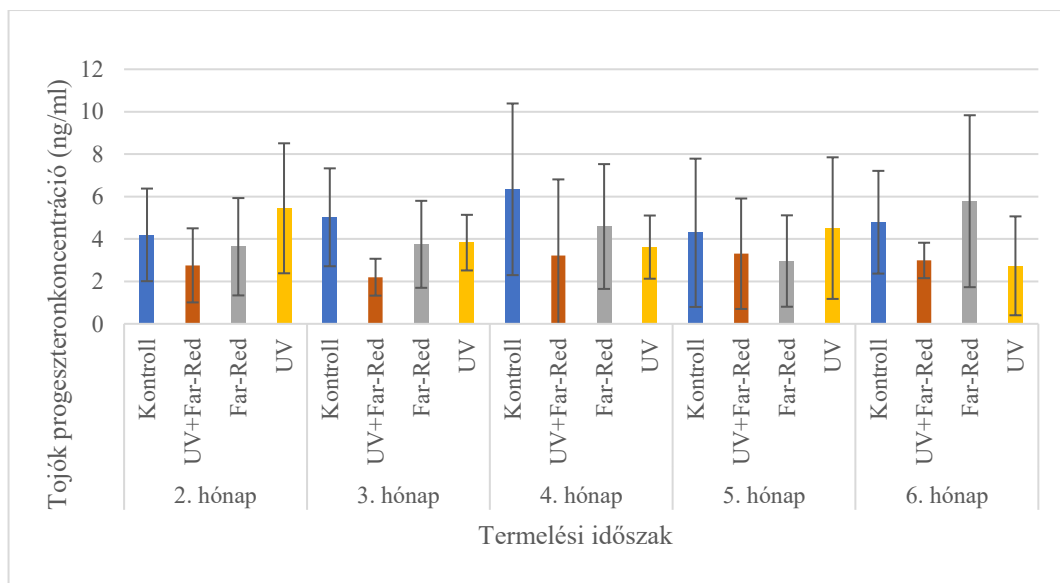
4.3.5.2. A plazma progeszteronkoncentrációjának alakulása

A gúnárok progeszteron szintjét a 70. ábra láthatjuk. A gúnárok élőtömege és progeszteron koncentrációja között közepesen erős összefüggést ($p=0,0466$; $r=0,4388$) figyeltem meg. A 2. és 6. hónapban nem volt eltérés a csoportok progeszteron szintjében. A 3. hónapban a Far-red csoport progeszteron szintje alacsonyabb volt az UV+Far-red ($p=0,006$) és az UV ($p=0,041$) csoportokban mért értékektől. A 4. hónapban az UV csoportban volt a legmagasabb a progeszteron szint, szignifikáns különbséget mutatva a kontroll ($p<0,001$) és a Far-red ($p=0,034$) csoporttal. 5. hónapban szintén az UV csoport gúnárjainak volt kiemelkedő progeszteron szintje összehasonlítva a kontroll ($p=0,001$) és a Far-red ($p=0,038$) csoportokkal. A kontroll és UV+Far-red csoport között ($p=0,023$) is megfigyelhető volt eltérés.



70. ábra: A gúnárok progeszteronkoncentrációjának az alakulása a 2. és 6. hónap közötti időszakban

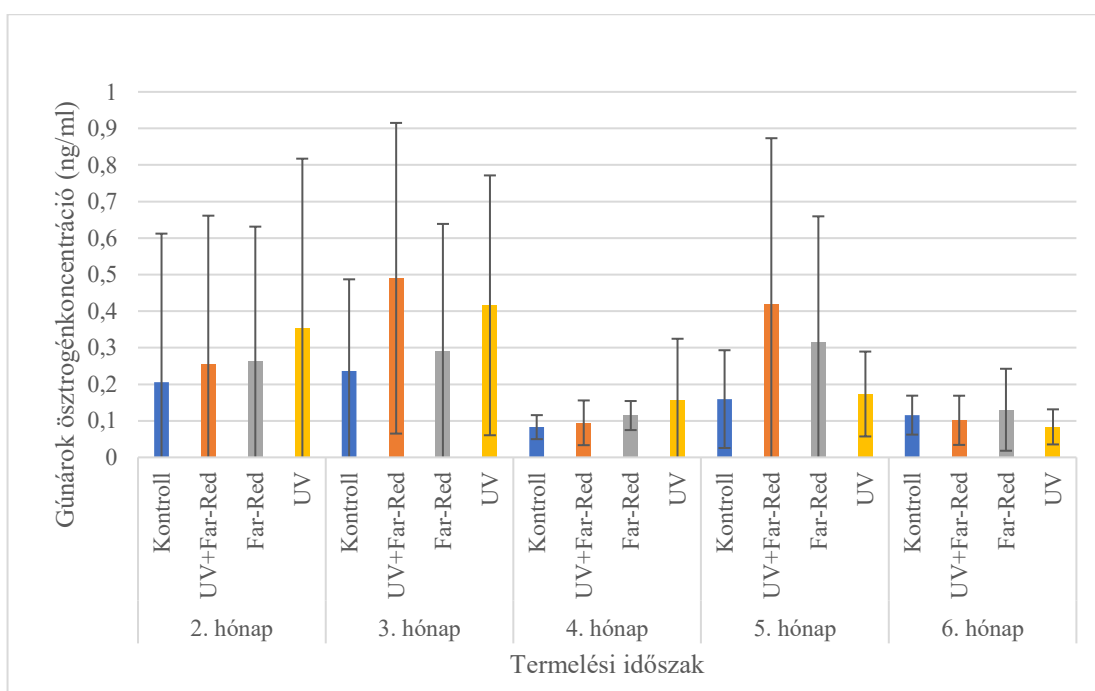
A tojók progeszteron szintje (71. ábra) a vizsgált időpontokban változóan alakult a csoportok között. A 2. hónapban szignifikáns eltérés volt megfigyelhető az UV+Far-red és az UV csoport között ($p=0,047$), ahol az UV csoportban volt magasabb a progeszteron szint. A 3. hónapban az UV+Far-red érte el szignifikánsan a legalacsonyabb progeszteron szintet az UV ($p=0,033$) és a kontroll ($p=0,011$) csoporthoz képest. A 4. hónapban a legmagasabb progeszteron szintet a kontroll csoport mutatta, mely a UV+Far-red csoporttal összevetve mutatott különbséget ($p=0,025$). Az 5. és 6. hónapokban nem volt matematikailag igazolható különbség a csoportok között.



71. ábra: A lúd szülőpár tojók progeszteronkoncentrációjának az alakulása a 2. és 6. hónap közötti időszakban

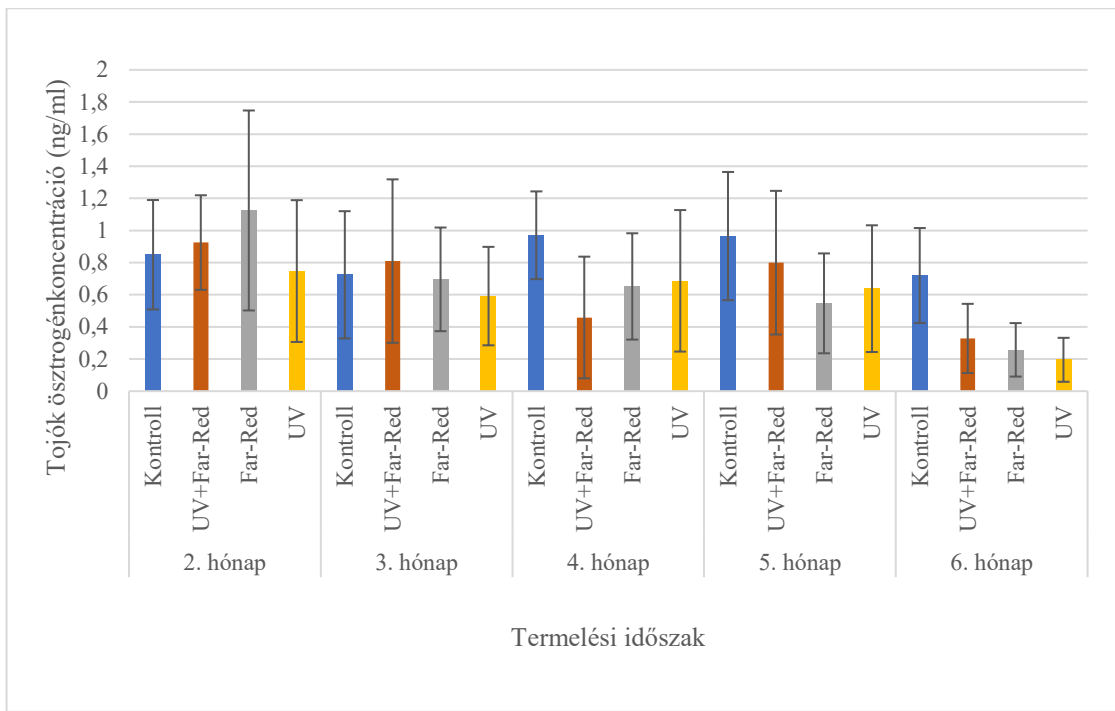
4.3.5.3. A plazma ösztrogénkoncentrációjának alakulása

A gúnárok ösztrogén szintje (72. ábra) a vizsgált időszakokban nem mutatott szignifikáns (N.S.) különbséget a csoportok között. A 2. hónapban szinte azonos értékeket értek el, a legmagasabb ösztrogénszintje az UV csoportnak volt (N.S.). A 3. hónapban az UV+Far-red és UV csoportok értek el valamivel magasabb értéket (N.S.), míg az 5. hónapban az UV+Far-red és Far-red csoportokról mondható ez el (N.S.). A 4. és a 6. hónapban minden csoportnál hasonlóan alacsony szinten maradt az ösztrogénszint.



72. ábra: A gúnárok ösztrogénkoncentrációjának az alakulása a 2. és 6. hónap közötti időszakban

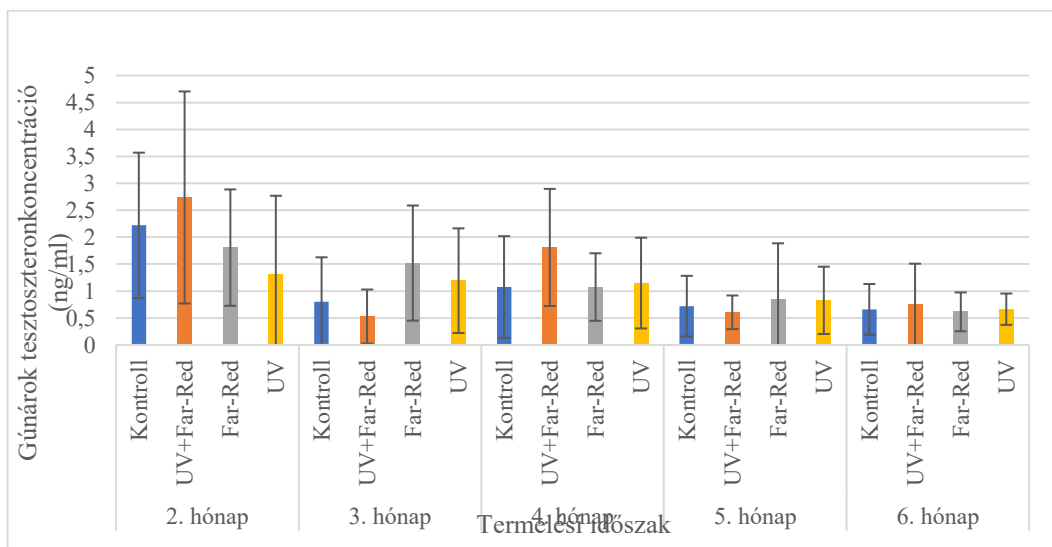
A kontroll csoport tojóinak ösztrogén szintje (73. ábra) a 4. hónapban magasabb volt ($p=0,04$) mint az UV+Far-red csoportban mért érték. Hasonlóan a 6. hónapban a Kontroll csoport értéke magasabb volt, mint az többi csoportban mért ösztrogén szint (UV+Far-red $p=0,033$; Far-red $p=0,012$; UV $p=0,001$). Ez a tendencia az 5. hónapra is igaz, ahol szintén a kontroll csoport értéke érte el a legmagasabb (N.S.) szintet. A 2. hónapban a Far-red csoportban figyeltem meg a legmagasabb (N.S.) szintet, míg a 3. hónapban közel azonos szinten volt minden csoportnál az ösztrogénszint.



73. ábra: A lúd szülőpár tojók ösztrogénkoncentrációjának az alakulása a 2. és 6. hónap közötti időszakban

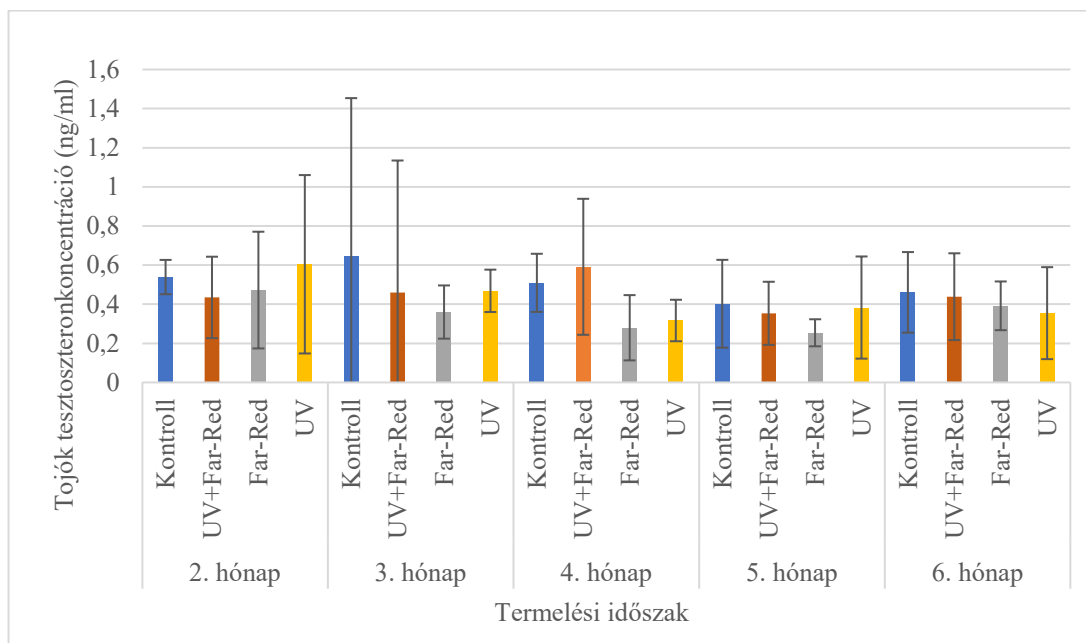
4.3.5.4. A plazma tesztoszteronkoncentrációjának alakulása

Az összes csoportot figyelembe véve az 5. és 6. hónapokra a gúnárok tesztoszteron szintje (74. ábra) csökkenő tendenciát mutat, szinte azonos mértékű minden csoportban. A vizsgált időpontokban a 3. hónapban UV+Far-red csoportban volt a legalacsonyabb a tesztoszteron szintje, mely szignifikánsan ($p=0,045$) alacsonyabb volt a Far-red csoportban mért értéknél. Ezzel szemben az UV-Far-red csoport tesztoszteron szintje e legmagasabb (N.S.) tendenciát mutatta a 2. és 4. hónapban is.



74. ábra: A gúnárok tesztoszteronkoncentrációjának az alakulása a 2. és 6. hónap közötti időszakban

A tojók tesztoszteron szintjében (75. ábra) a 3. hónapban a UV+Far-red és az UV csoport között volt igazolható ($p=0,027$) különbség. Míg a 4. hónapban a kontroll csoport tesztoszteron szintje magasabb volt, mint a Far-red ($p=0,02$) és UV ($p=0,032$) csoportokban mért értékek. Hasonlóan az UV+Far-red csoport értékei is magasabbnak bizonyultak, mint a Far-red ($p=0,032$) és UV ($p=0,048$) csoportokban mért értékek. A többi vizsgált hónapban nem volt különbség a tojók tesztoszteron szintjében.



75. ábra: A lúd szülőpár tojók tesztoszteronkoncentrációjának az alakulása a 2. és 6. hónap közötti időszakban

5. KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

5.1. A pecsenyecsirkékkel végzett vizsgálatok következtetései és gyakorlati javaslatai

A takarmányfogyasztás és takarmány-értékesítésnél kapott eredményeim összhangban vannak korábbi vizsgálatokkal. Olanrewaju et al. (2018) nagy súlyra nevelt brojlerek 56 napos élőtömegénél fénycső megvilágítás mellett 3,97 kg élőtömeget, míg LED megvilágítás mellett 4,1 kg-os ($p < 0,05$) élőtömeget ért el. Gregory (2016) hasonló eredményeket ért el LED és izzó világítás termelésre és takarmány-értékesítésre gyakorolt hatásával brojlercsirkékben. A 45. napi élőtömegben szignifikánsan magasabb értéket értek el a LED csoport (3,07 kg, $p < 0,05$) madarai. Ezzel párhuzamosan a 45. napon az izzós megvilágítás magasabb (1,46 kg/kg) takarmány-értékesítést mutatott, mint a LED csoport (1,43 kg/kg). Hasonló eredményt írt le Mendes et al. (2013) kompakt fénycsövek és LED vonatkozásában. Ezzel szemben Rogers et al. (2015) eredményei nem erősítették meg ezt a tendenciát, ugyanis nem találtak statisztikailag igazoló különbséget a LED és az izzólámpás megvilágítás alatt nevelkedett madarak élőtömege között.

Korábbi tanulmányok még nem foglalkoztak a LED és izzó brojlercsirkék viselkedésére gyakorolt hatásával, különös tekintettel az egyes tevékenységekre fordított idő százalékos megoszlásának vizsgálatával. Azonban a szakirodalomban található olyan eredmények, amelyek támpontot jelentettek munkámban és eredményeim alapján levont következtetések megfogalmazásában: Sophie et al. (2011) a látás fontosságát vizsgálták, miszerint látássérült egyedek a fajra jellemző viselkedési mintázataikban sérülnek, bizonyos tevékenységek, mint a környezet csipegetése ($p < 0,001$) nagymértékben csökken míg a pihenéssel töltött idő jelentősen ($p < 0,01$) nőtt a látásképes egyedekhez képest. A viselkedésre több szerző az eltérő monokromatikus fények hatását vizsgálta. Franco et al. (2022) szerint a fehér fény növelte az aktivitást, míg a kék fényben nyugodtabbak voltak a madarak, nőtt a pihenéssel és tollázkodással töltött időt. Hesham et al. (2018) megállapították, hogy a kék fényben töltöttek a madarak a legtöbb időt evéssel és itt voltak a legnyugodtabbak, míg a vörös fényben voltak a legaktívabbak. Gregory (2016) vizsgálatában a LED és az izzó lámpás megvilágítás hatását vizsgálta brojlereken, amely során izolációs tesztet alkalmazott. Eredményei azt mutatják, hogy az izzóval megvilágított madarak erőteljesebb félelmi reakciót mutattak, mint a LED fényben tartott egyedek. Más tanulmányok is megerősítik, hogy a LED világításban tartott madarak kevésbé féltek, mint egyéb megvilágításban tartott társaik (Gregory 2015; Jesse és Gregory 2015).

A mi vizsgálatunkban is feltehetően az alacsonyabb félelem szint miatt voltak aktívabbak a LED csoport madarai, ami abban nyilvánul meg, hogy számos vizsgált napon több időt töltöttek takarmányfelvétellel, a vizsgált időszak középső szakaszában kevesebbet pihentek és magasabb interakciós arányt figyeltem meg a nevelés első és középső szakaszában.

A LED csoportban a megnövekedett relatív máj és lép tömegekre a LED csoportban elért nagyobb tömeggyarapodás lehet a magyarázat. Az intenzívebb gyarapodás esetén a máj metabolikus igénye is nő, aminek következtében relatíve nagyobb méretet ér el (Zaefarian et al. 2019; Ahmadzadeh et al. 2025). A fokozott immunaktivitás és a fokozott anyagcsere következtében növekedhet meg a lép tömege is párhuzamosan a májjal (Martínez et al. 2021; Sjöfjan et al. 2021).

A brojlercsirke intenzív növekedési dinamikája és nagyarányú mellizom termelése rendszerint megváltoztatja az izomszövet szerkezeti tulajdonságait és befolyásolja az azt szabályozó fiziológiai folyamatokat (Huang és Ahn 2018). A mellizom reológiai tulajdonságait – melyet általában puhának és szaftosnak tartunk – befolyásolja többek között az állat kora, növekedési üteme és stresszszintje, ami kihatással van a termék nedvességtartalmára is (Zhang et al. 2020; Bordignon et al. 2022). A glikogén tejsavvá alakulása csökkenti az izom pH értékét. A pH csökkenése összefüggésben állhat a termék világosabb színével, az emelkedett csepegési és konyhatechnikai veszteségekkel (Zhang et al. 2012; Hao és Gu 2014). Ha a vágást követő időszak elején hirtelen pH csökkenés következik be, az a miofibrillumok zsugorodásához vezet, befolyásolja a fehérjék működését és csökkenti azok vízmeztartó képességét. Tehát a tejsav felhalmozódásának mértéke és annak időbeli lefutása jelentősen befolyásolja a fehérjék szerkezetét, ami közvetlen hatással van a létartó képességére és a nyíróerő értékére is (Duclos et al. 2007; Wilhelm et al. 2010; Gholamreza et al. 2019). A vizsgálataim során kapott értékek esetében nem figyelhető meg különbség a két csoport pH értékében, színében és nedvesség tartalmában. A Lukács (1982) féle színinger különbség skála szerint is szabad szemmel nem ($\Delta E^* = 0,45$) érzékelhető a különbség a két csoport mellizomzatának színében. Ugyanakkor a csepegési veszteség tendenciája a LED-es megvilágításban (3,5%) tartott madaraknál magasabbnak mutatkozott, mint az izzólámpás (2,51%) csoportban, bár ez az eltérés matematikai-statisztikai módszerekkel nem igazolható. Ezzel szemben a nyíróerőben erőteljes szignifikáns különbség volt megfigyelhető ($p < 0,001$), a LED csoportban 1,78 kg, míg az izzó csoportban 2,1 kg értéket mértem, amely feltehetően a LED csoport nagyobb tömeg-gyarapodásával és az alacsonyabb kollagéntartalmával hozható összefüggésbe. Hasonlóan Kim et al. (2013) fehér LED fényben nevelt madaraknál (1,76 kg) kapott alacsonyabb nyíróerő értéket az izzós világításban (2,33 kg) nevelt madarakhoz képest.

A vizsgálataim eredményei alapján a LED megvilágításban tartott brojlercsirkék termelési és viselkedési mutatói kedvezőbbek voltak a hagyományos izzólámpás megvilágításban tartott madarakhoz képest. A LED-es megvilágítás mellett nevelt madarak nagyobb élőtömeget értek el, javult a takarmány-értékesítésük, valamint aktívabb viselkedési mintázatot mutattak, ami alacsonyabb félelemre és jobb közérzetre utalhat. Az élőtömeg gyarapodással párhuzamosan a LED csoportban mért relatív máj- és léptömeg-növekedés az intenzívebb anyagcsere-folyamatok következménye lehetett. A húsminőségi paraméterek tekintetében a két csoport között a pH, szín és nedvességtartalom vonatkozásában nem mutatkozott szignifikáns eltérés, azonban a LED megvilágításban nevelt csirkék mellizomzatában alacsonyabb nyíróerő értéket figyeltem meg, ami a hús puhább, porhanyósabb textúrájára utal. Ezt valószínűsíthetően a gyorsabb növekedésből és az alacsonyabb kollagéntartalomtól eredő izomszerkezeti különbségek magyarázzák.

A vizsgálataim alapján a fehér LED világítás alkalmazása a pecsenyecsirke előállításban kedvezőbb eredményeket hoz mind a termelési mutatók, mind az állatjóllét, mind pedig a húsminőség szempontjából az izzólámpás megvilágításhoz képest. A LED fényforrások energiahatékonyságát is figyelembe véve a baromfitartásban történő szélesebb körű alkalmazásuk ajánlott.

5.2. A brojler szülőpárokkal végzett vizsgálatok következtetései és gyakorlati javaslatai

A tojástermelési intenzitás és a tenyésztójások aránya változóan alakult a termelési időszak alatt. Kai et al. (2018) LED-et és fénycsövet hasonlítottak össze Hy-Line W-36-os tyúkokon, ahol nem találtak eltérést a két kísérleti csoport tojástermelési intenzitása között. Kamanili et al. (2015) izzót, fénycsövet és LED-et összehasonlítva takarmány fogyasztásban, takarmány-értékesítésben, tojástermelésben és egyes tojásmínőségi paraméterekben nem véltek felfedezni különbséget. Hasonlóképpen Borille et al. (2013) izzó és fehér LED között nem talált eltérést tojástermelési intenzitásban tyúkok esetében. Más szerzőkkel összevetve hasonlóan elmondhatom, hogy brojler szülőpár tyúkok termelésében sincs számottevő különbség tojástermelési intenzitásban és a tenyésztójások arányában. A termelési időszak második felében azonban a LED-del megvilágított csoportok tojástömege nagyobb növekedési ütemet mutatott, ami kedvezően befolyásolhatja a keltetett csibék relatív tömegét, így a kedvezőbb fejlődését és életképességét. Ez alapján ajánlható a LED fényforrás a fénycső alternatívájaként.

A tojásmínőségi paraméterekben figyeltem meg eltérést a vizsgált csoportok között. A termelés 2. felére (39. és 47. hetekre) a LED csoportok tojástömege intenzívebben nőtt, mint a fénycső csoport tyúkjaié. A 39. héten a LED1 csoport szignifikánsan nagyobb tojástömeget ($p < 0,001$) ért el a fénycső csoporthoz képest. A nagyobb méretű tojások nagyobb méretű csibéket eredményeznek, melyek fejlődési üteme és vitalitása kedvezőbb (Ramaphala és Mbajiorgu 2013; Iqbal et al. 2023; Tribudi et al. 2023). A vizsgálataim során a relatív csibetömegek alakulása minden mérési időpontban a LED-del megvilágított csoportok valamelyikében mutatta a legkedvezőbb értékeket, azonban ezek a különbségek statisztikailag nem bizonyultak szignifikánsnak a csoportok között. A LED1 csoportban elért FSH koncentráció kedvezően befolyásolhatja az embriófejlődést és a csibék keléskori tömegét ($p = 0,0162$; $r = 0,8525$), ami a LED2 csoportra is igaz ($p = 0,031$; $r = 0,8525$). A fénycső csoportnál erős összefüggést mutat a progeszteron és kortikoszteron hormon ($p = 0,0073$; $r = 0,8514$), ami arra utalhat, hogy a stresszhormon emelkedése befolyásolhatja a reprodukciós hormonok szintjét, így negatív hatást gyakorolva a tojástermelésre és tojásmínőségre.

A tojáshéjak vastagsága minden vizsgált időszakban vastagabb volt a LED csoportokban, mint a fénycső csoportban. A 23. és 47. héten szignifikánsan ($p < 0,001$) vastagabb tojáshéjat ért el a LED1 csoport a fénycsőhöz képest. A vastagabb tojáshéj kedvezőbb, mert kisebb az esélye, hogy megreped vagy eltörik a gyűjtés, szállítás, tárolás vagy egyéb technológiai kezelés (pl. keltetés) során (Knaga et al. 2019). Ezt alátámasztja a tyúkok kalcitonin és parathormon (PTH) tendenciájának alakulása is. A parathormon fokozza a vérplazma Ca szintjét, ami elősegíti a héjképzéshez szükséges Ca jelenlétét és beépülését. A LED1 és LED2 csoportokban mindkét vizsgált időpontban matematikailag nem igazolható módon magasabb volt a PTH szint, ami összefüggésbe hozható az általam mért vastagabb tojáshéjjal. A fénycső csoportban ezzel ellenkezően matematikailag nem igazolható módon a kalcitonin szint volt magasabb mindkét vizsgált időpontban. A fénycső csoportban megfigyelt magasabb kalcitonin szint gátolhatja a Ca felszabadulását a csontokból, ezzel korlátozva a héjképzéshez szükséges Ca hozzáférhetőségét, ami eredményezhette a vékonyabb tojáshéj kialakulását a fénycső csoportban (Zhouzheng et al. 2019; Lim és Ryu 2022; Fu et al. 2024; Gracia-Mejia et al. 2024).

A tojánhéj vastagságának alakulása szintén a LED-csoportok javára mutatott kedvező tendenciát, több mérési időpontban szignifikánsan vastagabb héjjal. Ez a különbség feltehetően a kalcium anyagcsere hormonális szabályozásában (parathormon és kalcitonin egyensúlyában) mutatkozó eltérésekkel magyarázható. A vastagabb tojánhéj technológiai és gazdasági szempontból egyaránt előnyös, mivel csökkenti a törési veszteségeket és javítja a keltethetőséget.

Eredményeim alapján a fehér LED világítás a brojler szülőpár állományokban alkalmas alternatívája a hagyományos fénycsőves megvilágításnak, mivel nem rontja a tojástermelési mutatókat, ugyanakkor javíthatja az egyes tojásmínőségi (tojástömeg, héjvastagság) paramétereket, mindemellett energiatakarékosabb megoldást kínál.

5.3. A lúd szülőpárokkal végzett vizsgálatok következtetései és gyakorlati javaslatai

A tenyészállatok élőtömegénél a csoportok között nem figyelhető meg szignifikáns különbség. A tojástermelési intenzitás és a tenyésztojások tömege változóan alakult a vizsgált időpontokban. Chang et al. (2016b) fehér római libákon végzett kísérletében talált szignifikáns eltérést a termelési intenzitásban, azonban ők a fehér LED fényt a vörös és kék monokromatikus színtartománnyal vetették össze. Arra jutottak, hogy a kék monokromatikus fénynél a fehér LED és a vörös monokromatikus LED kedvezőbb ($p < 0,05$) tojástermelési intenzitást eredményezett, továbbá a vörös fénynek pozitív hatása volt a tojástermelési időszak hosszára is. Sobotik et al. (2020) LED és UV tartománnyal kiegészített LED világítást vizsgáltak tojótyúkokon, ahol nem találtak számottevő különbséget termelési paraméterekben, viszont kedvezőbb stresszparamétereket mértek az UV-val kiegészített csoportban. Hasonló eredményeket írt le House et al. (2020b) pekingi kacsákat vizsgálva. Esetemben az UV csoportban megfigyelt negatív összefüggés a tojástömeg ($p = 0,045$; $r = -0,8213$) és tojánhéj tömeg ($p = 0,0198$; $r = -0,8827$) arra utalhat, hogy a magasabb stressz negatívan befolyásolhatja a tojástermelést és negatív hatással lehet a kalcium-anyagcserére, ezen keresztül a héjképzésre is.

A tojánhéj vastagság több vizsgált héten kedvezőbben alakult ($p < 0,05$) a kísérleti csoportokban, mint a kontroll csoportban. Az Uv+Far-red (91,8%) kedvezőn ($p = 0,023$) befolyásolta a tenyészludak termékenységet a kontroll csoporttal összehasonlítva (89,5%). A tenyésztojások keltethetősége az UV csoportban (72%) alakult a legkedvezőbben, szignifikáns ($p = 0,049$) különbséget mutatva a kontroll (67,1%) csoporttal. Ez az eredmény összefüggésbe hozható a gúnárok progeszteron szintjével, mivel több vizsgált időpontban az UV csoportban lévő gúnárok progeszteron szintje volt a legmagasabb ($p < 0,05$). A hímivarú állatokban a progeszteron szteroidprekursor szerepét tölti be és képes tesztoszteronná átalakulni, ami pozitív irányba befolyásolhatta a termékenységet (Péczely, 2013; Lawrence et al. 2022). Az Uv+Far-red csoportban a gúnárok testtömege és progeszteron szintje között pozitív ($p = 0,0466$; $r = 0,4388$) kapcsolat utalhat a jobb kondíciójú hímek magasabb hormonális aktivitására.

A termelők számára a legfontosabb, hogy egy tojóra vetítve mennyi kislibát tudnak értékesíteni. Az egy tojóra jutó kislibák aránya a kontroll csoportban 27,17 db, UV+Far-red csoportban 27,57 db, Far-red csoportban 28,24 db, UV csoportban 27,92 db kisliba volt. Bár tenyészidőszakra vetítve nem volt szignifikáns (N.S.) különbség a csoportok között, 1000 tojóra esetében mégis a kontrollhoz képest az UV+Far-red csoportban 40 db, az UV csoportban 75 db, a Far-red csoportban 107 db kislibával lett több értékesíthető napos liba.

A vizsgálat eredményei alapján a különböző spektrális kiegészítésekkel (UV, Far-red, UV+Far-red) működő LED megvilágítások nem befolyásolták szignifikánsan a tenyészludak élőtömegét és tojástermelési intenzitását, azonban több termelési és reprodukciós paraméterben kedvező tendenciák voltak megfigyelhetők a kiegészített spektrumú csoportokban.

A vizsgálatok alapján a komplex, UV+Far-red kiegészítésű LED világítás ajánlható a termelők számára. Bár a kislibák arányában a Far-red csoport eredményezte a legkedvezőbb értékeket, az UV+Far-red világítás az, ahol a tenyésztojások termékenysége a legkedvezőbbben ($p=0,023$) alakult, a vizsgált hetek többségében a legkedvezőbb héjvastagságot, tenyésztojás keltethetőséget és I. osztályú kislibák arányát (N.S.) adta, miközben a termelési intenzitásban nem okozott negatív eltérést. Továbbá az UV+Far-red csoport az 1., 2., 3. és 6. heteken a kortikoszteron szintben a legalacsonyabb tendenciát mutatta, ami a kedvezőbb állatjóléti státuszra utalhat.

6. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Megállapítottam, hogy a LED világításban tartott csirkék a nevelési időszak alatt kedvezőbb takarmány-értékesítést produkáltak a wolframszálas izzóval megvilágított csoporthoz képest, ami hozzájárult a LED csoport nagyobb (7-35. nap, $p < 0,05$) átlagos élőtömegének az eléréséhez.
2. Kimutattam, hogy a LED világítás alkalmazása során a pecsenyecsirkék a nevelési idő középső szakaszában (21-25. nap) több időt töltenek ($p < 0,01$) takarmányfelvétellel, szemben az izzóval megvilágított társaikkal. Megállapítottam továbbá, hogy a nevelési időszak végére gyakorlatilag megszűntek az állatok közötti viselkedési interakciók (egymás felé irányuló magatartás pl. viaskodás) (LED: középső-végső időszak $p < 0,0001$; izzó: első-végső időszak $p = 0,000234$), amik összefüggést mutatnak az állatok testtömegével és az egyéb viselkedésformák gyakorlásával (pihenés LED és izzó: első-középső időszak $p < 2 \cdot 10^{-16}$; középső-végső $p < 2 \cdot 10^{-16}$).
3. Elsőként végeztem teljeskörű test, szerv, értékes húsrészek, pH, szín, csepegési veszteség, konyhatechnikai veszteségek, nyíróerő és hús beltartalmi paraméterekre is kiterjedő vizsgálatot LED-el és izzóval megvilágított pecsenyecsirkéken, ahol kimutattam, hogy a LED csoportba tartozó madarak mellizomzatának nyíróerő értéke szignifikánsan ($p < 0,001$) alacsonyabb az izzólámpás csoporthoz képest.
4. Igazoltam, hogy a brojler szülőpárok tojástermelési intenzitására és tenyésztőjásainak arányára nincs negatív hatással a LED világítás a fénycsőhöz képest. Ezt alátámasztják a hormonvizsgálatok (P4, E2, LH, FSH, T) eredményei is, ahol szintén nem figyeltem meg jelentős eltérést a vizsgált időpontokban a csoportok között. Továbbá igazoltam a fénycső csoportnál, hogy stresszhormonszint (kortikoszteron) mértékével összefügg a progeszteron szint mértéke ($p = 0,0073$; $r = 0,8514$), ami a stressz emelkedésével emelkedett progeszteron szintet eredményez.
5. Igazoltam, hogy a LED világítás alkalmazásával bizonyos időszakokban a brojler szülőpárok tojásmínőségi paraméterei javulnak a fénycsővel megvilágított csoporthoz képest, különös tekintettel azok méretének (39. hét LED1>F $p < 0,001$) növekedésével és a tojáshéjminőség (23. hét LED1>F $p < 0,00069$, 47. hét LED1>F $p < 0,0001$) javulásával.
6. Elsőként vizsgáltam a LED, valamint annak UV, Far-red, UV+Far-red világítással történő kiegészítés hatását máj típusú lúd szülőpárok termelési és reprodukciós paramétereire. Megállapítottam, hogy a LED világítás UV és Far-red spektrumokkal történő kiegészítése nincs befolyással a lúd szülőpárok élőtömegére és tojástermelési intenzitására (N.S.). Az UV és UV+Far-red kiegészítés meghatározott időszakokban (4. hét UV+Far-red $p < 0,001$, Far-red $p < 0,001$; UV $p = 0,001$; 12. hét UV $p = 0,003$, UV+Far-red $p < 0,001$; 14. hét UV $p = 0,002$; 18. hét UV $p = 0,00694$; egész termelési időszakra vetítve kontroll < UV+Far-red ($p = 0,00576$)) szignifikánsan növeli a keltetőtojások héjvastagságát.
7. Megállapítottam, hogy a vizsgálatban alkalmazott LED világítás kiegészítve UV+Far-red spektrumtartománnyal kedvezően befolyásolja a máj típusú tenyészlúd állomány tojásainak termékenységét (kontroll – UV+Far-red $p = 0,023$), továbbá a LED UV spektrummal történő kiegészítése pozitívan befolyásolja a tenyésztőjások keltethetőségét ($p = 0,049$).

7. ÖSSZEFOGLALÁS

A nagyüzemi állattartás modernizációja a hatékonyság, gazdaságosság és fenntarthatóság irányába mozdítja el a termelést. A technológiai fejlődés kulcsszerepet játszik a termelékenység növelésében és az állatjóllét javításában egyaránt.

A modern nagyüzemi állattartásban szinte egészében zárt rendszereket alkalmazunk, ahol elengedhetetlen a mesterséges világítás alkalmazása. A baromfitartásban különösen fontos tényező, amely nem csupán a látást szolgálja, hanem befolyásolja a madarak élettani működését, viselkedését, ezen keresztül a termelési teljesítményét is. A zárt tartástechnológiákban alkalmazott mesterséges világítás lehetőséget ad a megvilágítás időtartama, a fényintenzitás és a spektrális összetétel pontos szabályozására, ugyanakkor ezeknek a paramétereknek a helytelen beállítása kedvezőtlen fiziológiai és jólléti hatásokkal járhat.

Az eddigi vizsgálatok főként a világítási programok és a fényintenzitás hatásait vizsgálták, első sorban pecsenyecsirkéken és tojótyúkokon. Az eltérő világítási módok és a világítás spektrális összetétele kevésbé vizsgált terület, kiváltképp tyúk szülőpár állományokban és víziszárnyas fajokban.

1. Brojlercsirkék vizsgálata:

A vizsgálatom célja a modern LED-technológiával és a hagyományos, izzólámpás világítással nevelt brojlerek termelési, viselkedési és húsminőségi paramétereinek összehasonlítása volt.

A vizsgálatok során részletesen elemeztem a természetes termelési mutatókat, mint az élőtömeget, takarmányfogyasztást és takarmányértékesítést. Testtömegben végig a LED csoport madarai értek el nagyobb élőtömeget, mely az első öt héten szignifikánsan különbözött. A két csoport takarmányfelvétele változóan alakult, azonban takarmány-értékesítésben a LED csoport ért el kedvezőbb eredményt, ami a 2. és 3. héten statisztikailag is igazolható.

A viselkedés megfigyelését non stop videofelvételek segítségével végeztem, ahol az egyes tevékenység típusokat (takarmány felvétel, ivás, pihenés, egyéb aktivitás, interakciók) a megvilágított órák átlagában értékeltem. A LED világításban lévő madarak a nevelési idő középső szakaszában szignifikánsan több időt töltöttek takarmányfelvétellel. A nevelési időszak első és középső szakaszában a LED csoport madarai aktívabbak voltak, a vizsgált napok többségében több interakcióba kerültek társaikkal, mely egyes napokon szignifikáns különbséget is mutatott. Ezt alátámasztja a pihenéssel töltött idő is, mely nevelés középső szakaszában az izzó csoport minden vizsgált napon szignifikánsan több időt töltött pihenéssel.

Mértem továbbá a vágott test, a belső szervek és az értékes húsrészek arányát. A húsminőségi vizsgálatok keretében pH-, szín- csepegési- és konyhatechnológiai veszteségmérést végeztem, továbbá meghatároztam a nyíróerőt és a főbb beltartalmi jellemzőket (nedvesség-, fehérje-, zsír-, kollagén-, hamu- és sótartalom). Szignifikáns eltérés mellizomzat nyíróerő értékében mutatkozott, ami a LED csoportban hozott alacsonyabb értéket. Korrelációs vizsgálatnál erőteljes pozitív összefüggés volt megfigyelhető a nyíróerő érték és a kollagén tartalom között.

A vizsgálataim alapján a fehér LED világítás alkalmazása a pecsenyecsirke előállításban kedvezőbb eredményeket hoz mind a termelési mutatók, mind az állatjóllét, mind pedig a húsminőség szempontjából az izzólámpás megvilágításhoz képest. A LED fényforrások energiahatékonyságát is figyelembe véve a baromfitartásban történő szélesebb körű alkalmazásuk ajánlott.

2. Brojler szülőpárok vizsgálata:

A második kísérlet célja a hagyományos fénycsőves és két eltérő spektrális összetételű LED-világítási rendszer hatásainak összehasonlítása volt brojler szülőpárok termelési, hormonális és szaporodásbiológiai paramétereiben. A vizsgálatok során a természetes termelési mutatók (kakas- és tojótömeg, tojástermelési intenzitás, takarmányértékesítés) mellett meghatároztam a tenyésztójások arányát, tömegét és héjvastagságát. A természetes mutatók változóan alakultak, melyek között több esetben megfigyelhető matematikailag alátámasztható különbség is. A 39. termelési héten szignifikánsan nagyobb tojásokat termeltek a LED1 csoport madarai, mint a fénycső csoportban lévők és a tojáshéj szilárdsági értékek is több héten matematikailag igazolhatóan kedvezőbben alakultak a LED1 csoportban.

A keltetési kísérletek során mértem a relatív csibetömeget és a keltetési veszteségeket, ezáltal értékelve a tojásminőség és a keltethetőség összefüggéseit. Az itt kapott eredmények változóan alakultak a vizsgált időszakokban.

A fiziológiai válaszreakciók feltárása érdekében hormonvizsgálatokat is végeztem, amelyek során a progeszteron, ösztrogén, luteinizáló hormon, follikulus-stimuláló hormon, parathormon, tesztoszteron, kalcitonin és kortikoszteron koncentrációját határoztam meg. A tojásminőségi vizsgálatok eredményeit alátámasztva a LED1 és LED2 csoportokban magasabb parathormon szintet mértem, miközben a kalcitonin szint a fénycső csoportban mutatott emelkedett tendenciát.

Eredményeim alapján a fehér LED világítás a brojler szülőpár állományokban alkalmas alternatívája a hagyományos fénycsőves megvilágításnak, mivel nem rontja a tojástermelési mutatókat, ugyanakkor javíthatja az egyes tojásminőségi (tojástömeg, héjvastagság) paramétereket, mindemellett energiatakarékosabb megoldást kínál.

3. Lúd szülőpárok vizsgálata:

A harmadik kísérletben a látható fény tartományában működő (RGB) LED világítást, valamint annak UV és távoli vörös (Far-red) spektrumtartománnyal történő kiegészítésének egyedi és együttes hatásait vizsgáltam májhasznú lúd szülőpár állományon. A kísérlet célja a fény spektrális összetétele és a szülőpárok termelési, hormonális, tojásminőségi és keltethetőségi paramétereinek közötti összefüggések feltárása volt.

A vizsgálatok során mértem a gúnárok és tojók élőtömegét, a tojástermelési intenzitást, valamint a tojások főbb minőségi mutatóit, úgymint tömeg, héjszilárdság, Haugh érték, héjtömeg, héjvastagság és a szikharépa erőssége. A madarak élőtömegei változóan alakultak, a csoportok között nem volt szignifikáns eltérés egyik vizsgált időpontban sem. A tojástermelési intenzitás változóan alakult a csoportok között, több esetben szignifikáns különbséget mutatva. A tenyésztójások tömegében többnyire a legnagyobb tömeget a kontroll csoport és az UV csoport érte el, azonban szignifikáns eltérés csak egyetlen héten volt megfigyelhető meg a kontrollcsoport javára. Az UV és UV+Far-red több vizsgált héten kedvezően befolyásolta a héjvastagságot. A többi tojásminőségi paraméterben nem volt jelentős eltérés.

A keltetési vizsgálatokban értékeltem a termékenységet, a keltethetőséget, a naposlibák minőségét, az első osztályú kislábak arányát és az egy tojóra jutó kislábak számát. A termékenységekben a UV+Far-red és UV csoportok érték el a legmagasabb termékenységi százalékot, ami a keltethetőségre is igaz. Az I. osztályú kislábak minőségénél az UV+Far-red csoport nyújtotta a legkiegyenlítettebb eredményt. Míg az egész ciklusra vetített egy tojóra jutó kislábak mennyisége a Far-red csoportban alakult a legkedvezőbben.

A fiziológiai hatások pontosabb feltárása érdekében hormonvizsgálatokat is végeztem, amelyek során a kortikoszteron, progeszteron, ösztrogén és tesztoszteron koncentrációját határoztam meg.

A vizsgálat eredményei alapján a különböző spektrális kiegészítésekkel (UV, Far-red, UV+Far-red) működő LED megvilágítások nem befolyásolták szignifikánsan a tenyészludak élőtömegét és tojástermelési intenzitását, azonban több termelési és reprodukciós paraméterben kedvező tendenciák voltak megfigyelhetők a kiegészített spektrumú csoportokban.

A vizsgálatok alapján a komplex, UV+Far-red kiegészítésű LED világítás ajánlható a termelők számára. Bár a kislibák arányában a Far-red csoport eredményezte a legkedvezőbb értékeket, az UV+Far-red világítás az, ahol a tenyésztojások termékenysége a legkedvezőbbben ($p=0,023$) alakult, a vizsgált hetek többségében a legkedvezőbb héjvastagságot, tenyésztojás keltethetőséget és I. osztályú kislibák arányát (N.S.) adta, miközben a termelési intenzitásban nem okozott negatív eltérést. Továbbá az UV+Far-red csoport az 1., 2., 3. és 6. heteken a kortikoszteron szintben a legalacsonyabb tendenciát mutatta, ami a kedvezőbb állatjóléti státuszra utalhat.

Összegzésként megállapítható, hogy a modern LED világítás alkalmazása, annak energiahatékonyasága és szabályozhatósága révén, jelentős potenciállal bír az állattenyésztés különböző ágazataiban, beleértve a baromfiágazatot is. A vizsgálataim eredményei alapján elmondhatom, hogy a LED technológia nemcsak hatékonyabb és gazdaságosabb termelést eredményez, hanem kedvezően befolyásolhatja az állatok viselkedését, fiziológiai állapotát és jóllétét is.

Megállapíthatom, hogy a LED világítás alatt tartott állatok aktívabb viselkedést, kedvezőbb termelési mutatókat és bizonyos esetekben jobb szaporodásbiológiai eredményeket értek el. Ez arra utal, hogy a fény intenzitásán és a megvilágított órák számán túlmutatva, jelentős hatással van az állatok biológiai folyamataira és teljesítményére a fény spektrális összetétele.

Bár a LED világításban rejülő lehetőségek és annak pontos élettani hatásait nem ismerjük teljeskörűen, saját tapasztalataim és mások kutatásai is rávilágítanak arra, hogy a baromfiágazatban a világítás nem pusztán technológiai, hanem biológiai tényezőként is értelmezendő, ezért a jövőben célszerű a világítás paramétereinek, mint a spektrális összetételnek és frekvenciának a tudományosan megalapozott optimalizálására törekedni.

A minél inkább megfelelő világításnak az alkalmazása elősegítheti a fenntarthatóbb, energiahatékonyabb és jobb állatjólétet, miközben javíthatja a termelést a takarmány-értékesítés, a szaporodási mutatók, valamint az előállított termékek minőségének javításával. Ennek alapján a modern LED technológia alkalmazása hosszú távon nemcsak gazdasági, hanem jólléti és környezeti szempontból is előnyös irányt jelent az intenzív állattartás fejlesztésében.

8. SUMMARY

The modernization of large-scale livestock production shifts farming toward greater efficiency, cost-effectiveness, and sustainability. Technological development plays a key role in improving both productivity and animal welfare.

In modern large-scale livestock systems, almost entirely closed housing environments are used, where the application of artificial lighting is indispensable. In poultry production, lighting is a particularly important factor that not only provides visibility but also affects the birds' physiological functions and behavior, thereby influencing their production performance. Artificial lighting in closed housing systems allows precise control of illumination duration, light intensity, and spectral composition; however, improper adjustment of these parameters can lead to adverse physiological and welfare effects.

Previous studies have mainly examined the effects of lighting programs and light intensity, primarily on broiler chickens and laying hens. Different lighting types and the spectral composition of light have been less investigated, especially in broiler parents stock and waterfowl species.

1. Examination of Broiler Chickens

The aim of my examination was to compare the production, behavioral, and meat quality parameters of broilers reared under modern LED lighting and incandescent lighting.

During the examination, I conducted a detailed analysis of the natural production indicators, such as live body weight, feed intake, and feed conversion ratio. Throughout the rearing period, the birds in the LED group achieved higher body weights, which were significantly different during the first five weeks. Feed intake between the two groups varied over time; however, the LED group showed a more favorable feed conversion ratio, with statistically significant differences observed in weeks 2 and 3.

Behavioral observations were performed using continuous video recordings, where each type of activity (feed intake, drinking, resting, other activities, interactions) was evaluated based on the average of illuminated hours. Birds kept under LED lighting spent significantly more time on feed intake during the middle phase of rearing. In the early and middle stages, the LED group was more active and engaged in more social interactions with their flockmates, showing significant differences on certain days. This is supported by resting behavior data, as birds in the incandescent group spent significantly more time resting during the middle phase of rearing on all observed days.

I also measured the ratios of carcass, internal organs, and valuable meat parts. Within the meat quality assessment, I performed pH, color, drip loss, and cooking loss measurements, as well as determined shear force and major compositional traits (moisture, protein, fat, collagen, ash, and salt content). A significant difference was found in breast meat shear force, with lower values in the LED group. Correlation analysis revealed a strong positive relationship between shear force and collagen content.

Based on my findings, the use of white LED lighting in broiler production results in more favorable outcomes compared to incandescent lighting, in terms of production performance, animal welfare, and meat quality. Considering also the energy efficiency of LED light sources, their wider application in poultry production is recommended.

2. Examination of Broiler Parent Stock

The aim of the second experiment was to compare the effects of a traditional fluorescent lighting system and two LED lighting systems with different spectral compositions on the production, hormonal, and reproductive parameters of broiler parent stock.

During the examinations, in addition to the natural production indicators (male and female body weight, egg production intensity, feed conversion ratio), I determined the proportion, weight, and shell thickness of hatching eggs. The production indicators showed variable results, with statistically significant differences observed in several cases. In the 39th production week, the birds in the LED1 group produced significantly larger eggs compared to those in the fluorescent light group, and eggshell strength values were also statistically higher in the LED1 group during several weeks.

During the hatching experiments, I measured the relative chick weight and hatching losses to evaluate the relationship between egg quality and hatchability. The obtained results varied throughout the experimental periods.

To reveal physiological responses, I conducted hormone analyses to determine the concentrations of progesterone, estrogen, luteinizing hormone, follicle-stimulating hormone, parathyroid hormone, testosterone, calcitonin, and corticosterone. Supporting the egg quality results, higher parathyroid hormone levels were measured in the LED1 and LED2 groups, while the fluorescent light group showed an elevated tendency in calcitonin levels.

Based on my findings, white LED lighting can be considered a suitable alternative to traditional fluorescent lighting in broiler parent stock, as it does not impair egg production performance while potentially improving certain egg quality parameters (egg weight, shell thickness) and providing a more energy-efficient solution.

3. Examination of Goose Parent Stock

In the third experiment, I investigated the individual and combined effects of LED lighting operating in the visible (RGB) spectrum and its supplementation with ultraviolet (UV) and Far-red (FR) spectral ranges on foie gras-type goose parent stock. The aim of the experiment was to explore the relationships between the spectral composition of light and the production, hormonal, egg quality, and hatchability parameters of breeder geese.

During the study, I measured the live weight of ganders and females, egg production intensity, and the main egg quality traits such as egg weight, shell strength, Haugh unit, shell weight, shell thickness, and vitelline membrane strength. The live weights of the birds varied over time, but no significant differences were observed between the groups. Egg production intensity fluctuated among the groups, showing significant differences in several cases. Regarding egg weight, the control and UV groups generally achieved the highest values; however, a statistically significant difference was found only in one week, in favor of the control group. Both the UV and UV+Far-red treatments positively affected shell thickness during several examined weeks, while no major differences were found in other egg quality traits.

In the hatching examination, I evaluated fertility, hatchability, the quality of day-old goslings, the proportion of first-grade goslings, and the number of goslings produced per female. Fertility was highest in the UV+Far-red and UV groups, which also showed the most favorable hatchability results. Regarding gosling quality, the UV+Far-red group provided the most uniform results, while the total number of goslings per female throughout the production cycle was most favorable in the Far-red group.

To better understand the physiological effects, I also performed hormone analyses, determining corticosterone, progesterone, estrogen, and testosterone concentrations.

Based on the results, LED lighting systems supplemented with different spectra (UV, Far-red, and UV+Far-red) did not significantly affect the live weight or egg production intensity of breeder geese, but several production and reproductive parameters showed favorable tendencies in the supplemented spectrum groups.

Overall, LED lighting with combined UV+Far-red supplementation can be recommended for producers. Although the Far-red group achieved the highest total number of goslings per female, the UV+Far-red lighting produced the most favorable results in terms of egg fertility ($p=0.023$), eggshell thickness, hatchability, and proportion of first-grade goslings (N.S.), without negatively affecting production intensity. Furthermore, the UV+Far-red group showed the lowest corticosterone levels during weeks 1, 2, 3, and 6, which may indicate an improved animal welfare status.

In conclusion, it can be stated that the application of modern LED lighting, due to its energy efficiency and controllability, holds significant potential across various sectors of animal production, including the poultry industry. Based on the results of my research, I can confirm that LED technology not only leads to more efficient and economical production but also positively influences animal behavior, physiological state, and welfare.

It was observed that animals kept under LED lighting exhibited more active behavior, achieved more favorable production parameters, and, in certain cases, demonstrated improved reproductive performance. This suggests that, beyond light intensity and photoperiod, the spectral composition of light has a substantial effect on the animals' biological processes and performance.

Although the full range of physiological mechanisms underlying LED lighting effects is not yet completely understood, my findings and those of other researchers highlight that lighting in poultry production should be regarded not merely as a technological factor but also as a biological one. Therefore, future research should focus on the scientifically based optimization of lighting parameters, such as spectral composition and frequency, in order to enhance animal welfare and productivity.

The implementation of appropriately designed lighting systems can promote more sustainable, energy-efficient, and welfare-oriented production while improving productivity through better feed conversion ratio, reproductive indicators, and overall product quality. Accordingly, the adoption of modern LED technology represents a promising direction for the advancement of intensive livestock production, not only from an economic standpoint but also from welfare and environmental perspectives.

M1. Irodalomjegyzék

1. 1998. évi XXVIII. törvény, az állatok védelméről és kíméletéről
2. 32/1999. (III. 31.) FVM rendelet 7. számú melléklet: A hústermelés céljából tartott csirkék tartásának minimális követelményei, <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=99900032.fvm>
3. Abdo S.E., El-Kassan S., El-Nahas A., Mahmoud S., (2017) Modulatory Effect of Monochromatic Blue Light on Heat Stress Response in Commercial Broilers, *Oxidative Medicine and Cell. Longevity*, 1351940-1351913.
4. Ábrahám Cs., Seenger J., Szűcs E., (2003) A stresszállapot és annak mérhetősége *Állattenyésztés és Takarmányozás*, 52. 527-537.
5. Adu-Asiamah P., Zhang Y., Amoah K., Leng Q.Y., Zheng J.H., Yang H., Zhang L., (2021) Evaluation of physiological and molecular responses to acute heat stress in two chicken breeds, *Anim.*, 15, 100106
6. Agrawal S., Chakole S., Shetty N., Prasad R., Lohakare T., Wanjari M., (2023) Exploring the role of oxidative stress in skeletal muscle atrophy: mechanisms and implications, *Cureus*, 15, 42178
7. Ahmadzadeh R., Samadian F., Habibizad J., Mohaghegh-Dolatabadi M., Eivakpour, A., (2025), Effect of Broiler Strain, Sex, and Age on the Live Body Weight and Relative Weights of the Visceral Organs in Broiler Chickens, *J. of Poult. Sci. and Avian Diseases*, 3, 29-39
8. Alagawany M., Farag M.R., Abd El-Hack M.E., Patra A., (2017) Heat stress: effects on productive and reproductive performance of quail, *World's Poult. Sci. J.*, 73.
9. Albert H. M., Donald S. F., (1964) Possible Endocrine Basis for Premigratory Fattening in the White-Crowned Sparrow, *Zonotrichia leucophrys gambelii* (Nuttall), *Gen. Comp. Endocrinol.*, 4. 584-595.
10. Alexy M., Jung A., Molnár B., (2022) Information Technology Drivers in Smart Farming Management Systems, *Smart Farming*, Subhan, D.; Hakoomat, A.; Rahul D., London, United Kingdom, Intech Open, 110
11. Ali D. G., Jennifer L. E., Gurprit S. L., Shafiqul H., Cara M. A., Hsi-Wen L., Alun R. B., Hugh C., Tudor C. B., Haiging Z., Mark W. H., David M. B., Robert J. L., King-Wai Y., Samer H., (2008) Melanopsin cells are the principal conduits for rod-cone input to non-image-forming vision, *Nature*, 453. 102-106.
12. Aljohani A., Khan M.I., Syed D.N., Abram B., Lewis S., Neill L.O., Mukhtar H., Ntambi J.M., (2019) Hepatic stearyl-CoA desaturase-1 deficiency-mediated activation of mTOR1-PGC-1alpha axis regulates ER stress during high-carbohydrate feeding, *Sci. Rep.*, 9, 15761.
13. Alo E.T., Daramolo J.O., Wheto M., Oke O.E., (2024) Impact of broiler breeder hens' age and egg storage on egg quality, embryonic development, and hatching traits of FUNAAB-alpha chickens, *Poult. Sci.*, 103, 103313
14. Altan Ö., Pabuccuoglu A., Altan A., Konyalioglu S., Bayraktar H., (2003) Effect of heat stress on oxidative stress, lipid peroxidation and some stress parameters in broilers, *Br. Poult. Sci.*, 44., 545-550
15. Amraei S., Mehdizadeh S.A., Nääs I.D.A., (2018) Development of a transfer function for weight prediction of live broiler chicken using machine vision, *Eng. Agric.*, 38, 776-782.
16. AMSA—American Meat Science Association. Research Guidelines for Cookery, Sensory Evaluation, and Instrumental Tenderness Measurements of Meat; American Meat Science Association: Champaign, IL, USA, (2015)

17. Arablouei R., Wang L., Phillips C., Currie L., Yates J., Bishop-h. G.J., (2023) In-situ animal behavior classification using knowledge distillation and fixed-point quantization, *Smart Agric. Technol.*, 4, 100159.
18. Archile-Contreras A.C., Purslow P.P., (2011) Oxidative stress may affect meat quality by interfering with collagen turnover by muscle fibroblasts, *Food Res. Int.*, 44., 582-588
19. Arcidiacono C., Mancino M., Porto S.M.C., Bloch V., Pastell M., (2021) IoT device-based data acquisition system with on-board computation of variables for cow behaviour recognition, *Comput. Electron. Agric.*, 191, 106500.
20. Arendt J., Aulinas A., (2022) *Physiology of the Pineal Gland and Melatonin*, MDText.com, Inc., 2000-2025, Bookshelf ID: NBK550972.
21. Astill J., Dara A.R., Fraser D.G.E., Roberts B., Sharif S., (2020) Smart poultry management: Smart sensors, big data, and the internet of things, *Comp. and Elect. in Agri.*, 170, 105291
22. Aziz N. S., Natasha A., Daud S. M., Dziauddin R. A., Adam M. Z., Azizan A., (2020) A review on computer vision technology for monitoring poultry farm - application, hardware, and software, *IEEE Access*, 9., 12431-12445
23. Barber C.L., Prescott N.B., Jarvis J.R., Le Sueur C., Perry G.C., Wathes C.M., (2006) Comparative study of the photopic spectral sensitivity of domestic ducks (*Anas platyrhynchos domesticus*), turkeys (*Meleagris gallopavo gallopavo*) and humans, *Brit. Poult. Sci.*, 47, 365-374.
24. Barry B., Janice S., (1998) Az emberi test, *Medicina Könyvkiadó Rt.*, Budapest, 343.
25. Baso A., Bllo U.M., Sulaiman M.H., Gosomji I.J., Omirinde O.J., Zubairu M., Abubakar M.T., (2023) Photoperiodic-dependent histomorphological changes in the excurrent duct system of helmeted guinea fowl subjected to short day (8L:16D), long-day (16L:8D) light/dark cycles and exogenous melatonin, *Vet. and Anim. Sci.*, 19, 100282.
26. Batres D., (2022) Evaluation of dietary calcium level effects on the productivity, eggshell quality, and bone traits of laying hens. A Thesis of the Department of Agricultural, Food and Nutri. Sci. Uni. of Alberta, Canada, 93, 1289-1297
27. Baxter M., Joseph N., Osborne V.R., Bedecarrats G.Y., (2014) Red light is necessary to activate the reproductive axis in chicken independently of the retina of the eye, *Poult. Sci.*, 93., 1289-1297
28. Bédécarrats G.Y., Baxter M., Sparling B., (2016) An updated model to describe the neuroendocrine control of reproduction in chickens, *Gen. and Comp. Endocrin.*, 227, 58-63
29. Bejarano I., Monllor F., Merchena A.M., Ortiz A., Lozano G., Jiménez M.I., Gaspar P., García J.F., Pariente J.A., Rodríguez A.B., Espino J., (2014) Exogenous melatonin supplementation prevents oxidative stress-evoked DNA damage in human spermatozoa, *J. of Pineal Res.*, 57, 3, 333-339.
30. Bell-Pedersen D., Cassone V.M., Earnest D. J., Golden S. S., Paul E., Hardin P. E., (2005) Circadian rhythms from multiple oscillators: lessons from diverse organisms., *Nat. Rev. Genet.*, 6, 544–556
31. Bennato F., Ianni A., Martino C., Grotta L., Martino G., (2021) Evaluation of Chemical Composition and Meat Quality of Breast Muscle in Broilers Reared under Light-Emitting Diode, *Animals* 11, 1505
32. Bennett A. T. D., Cuthill I. C., (1993) Ultraviolet vision in birds: What is its function? *Vision Res.*, 34. 1471-1478.

33. Benoit J., (1934) Activation sexuelle obtenue chez le canard par l'éclairage artificiel pendant la période de repos génital, Acad. Sci. Paris, 199, 1671-1673.
34. Bessho M., Shimizu K., (2011) Latest trends in LED lighting, Electronics and Communications in Japan, 95, 315-320
35. Bilotto F, Harrison M.T., Vibart R., Mackay A., Christie-W. K.M., Ferreira C.S.S., Cottrell R.S., Forster D., Chang J., (2024) Towards resilient, inclusive, sustainable livestock farming systems, Trends of Food Sci. and Tech., 152, 104668
36. Bispo-Jr A., Saraiva L. F., Lima S. A. M., Pires A. M., Davolos M. R., (2021) Recent prospects on phosphor-converted LEDs for lighting, displays, phototherapy, and indoor farming, J. of Luminescence, 237., 118167
37. Bobadilla-Mendez M.F., Rojas-Granados C.P., Andrade E.F., Retes P.L., Ferreira L.G., (2016) Alvarenga R.R., Rodriguez-Gil J.E., Fassani E.J., Zangeronimo M.G., Effect of different light sources on reproductive anatomy and physiology of Japanese quail (*Coturnix coturnix japonica*), Anim. Reprod. Sci. 168, 50-56.
38. Bogenfürst F., (2017) Lúdtényésztők kézikönyve, Central Press '99, Kaposvár, 44-45 p.
39. Bordignon F., Xiccato G., Cabrol M.B., Birolo M., Trocino A., (2022) Factors Affecting Breast Myopathies in Broiler Chickens and Quality of Defective Meat: A Meta-Analysis, Front Physiol, 13,933235.
40. Borille R., Garcia R., Royer A, Santana M., Colet S., Naas I., Caldara I., (2013) The use of light emitting diodes (LED) in commercial layer production, Rev. Bras. Ciencia Avícola., 15., 135-140
41. Bowman J. C. és Archibald J. D. H., (1959) Effect of Controlled Lighting on Production Characters in the Fowl, Nature, 183, 1138-1139
42. Brennan C.P., Hendricks G.L., El-S. T.M., Mashaly M.M., (2002) Melatonin and the Enhancement of Immune Responses in Immature Male Chickens, Poult. Sci., 81, 3, 371-375.
43. Byerly T. C. and Moore O. K., 1941, (1941) Clutch Length in Relation to Period of Illumination in the Domestic Fowl, Poult. Sci., 20, 387-390
44. Calvo J.R., Maldonado M.D., (2024) Immunoregulatory properties of melatonin in the humoral immune system: A narrative review, Immun. Lett., 269, 106901.
45. Campo J.L., Gil M.G., Davila S.G., Munoz I., (2007) Effect of lighting stress on fluctuating asymmetry, heterophil-to-lymphocyte ratio, and tonic immobility duration in eleven breeds of chickens. Poult. Sci., 43, 355-363.
46. Cao J., Liu W., Wang Z., Xie D., Chen Y., (2008) Green and blue monochromatic lights promote growth and development of broilers via stimulating testosterone secretion and microfiber growth. J. Appl. Poult. Res., 17, 211-218.
47. Carla W. P., Molenaar R., Buitink C.J., Roover-Reijrink I.A.M., Maatjens C.M., Brand H., Kemp B., (2015) Lighting schedule and dimming period in early life: consequences for broiler chicken leg bone development, Poult. Sci., 94, 2980-2988
48. Capar A. H.C., Onbasilar E.E., (2018) Light wavelength on different poultry species. World's Poult. Sci. J., 74, 79-87.
49. Chainy G.B., Sahoo D.K., (2020) Hormones and oxidative stress: an overview, Free Radic. Res., 54., 1-26.

50. Chambers R.D., Yoder N.C., Carson A.B., Junge C., Allen D.E., Prescott L.M., Bradley S., Wymore G., Lloyd K., Lyle S., (2021) Deep learning classification of canine behavior using a single collar-mounted accelerometer: Real-world validation, *Animals*, 11, 1-19.
51. Chang S.C., Lin M. J., Fan Y. K., Lee T. T., (2016 a) Effects of lighting intensity on growth and reproductive performance of breeding geese, *J. of App. Poult. Res.*, 25, 315-321
52. Chang S.C., Lin M.J., Zhuang Z.X., Huang S.Y., Lin T.Y., Jea Y.S., Fan Y.K., Lee T.T., (2016b) Effect of Monochromic Light-emitting Diode Light with Different Color on the Growth and Reproductive Performances of Breeder Geese, *Asian Australas. J. Anim. Sci.*, 29, 830-837.
53. Charlotte J., Lucy A., Katherine H., Julian W., (2018) The effect of supplementary ultraviolet wavelengths on broiler chicken welfare indicators, *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 209, 55-65.
54. Chemineau P., Malpoux B., Brillard J.P., Fostier A., (2007) Seasonality of reproduction and production in farm fishes, birds and mammals, *Anim*, 1, 419-432
55. Chen Z., Xing T., Li L., Zhang J., Jiang Y., Gao F., (2022) Oxidative stress impairs the meat quality of broiler by damaging mitochondrial function, affecting calcium metabolism and leading to ferroptosis, *Anim. Biosci.*, 35., 1616-1627
56. Cheng F., Tiemin Z., Haikun Z., Junduan H., Kaixan C., (2021) Pose estimation and behavior classification of broiler chickens based on deep neural networks, *Comp. and Elect. in Agri.*, 180, 105863
57. Cheng K., Zhang M., Huang X., Zheng X., Song Z., Zhang L., Wang T., (2017) An evaluation of natural and synthetic vitamin E supplementation on growth performance and antioxidant capacity of broilers in early age, *Can. J. Anim. Sci.*, 98.
58. Cheng Q.D., Sun W., (2008) Factors affecting the water holding capacity of red meat products: a review of recent research advances, *Crit. Rev. Food Sci. Nut.*, 48., 137-159.
59. Clark W.D., Classen H.L., (1995) The Effects of Continuously or Diurnally Fed Melatonin on Broiler Performance and Health, *Poult. Sci.*, 74, 11, 1900-1904.
60. Classen H.L., (2003) Barn of the future lighting programs. Ministry Agric. and Food, Government of Ontario, Canada. 1-12.
61. Cobb Breeder M. G., chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.cobbgenetics.com/assets/Cobb-Files/Breeder-Management-Guide.pdf
62. Colapietro M., Ianni A., Bennato F., Martino G., (2022) Evaluation of Commercial Meat Products of Red Chicken Reared under LED Lights, *Foods*, 11, 370
63. Compere S.J., McKnight G.S., Palmiter R.D., (2008) Androgens regulate ovomucoid and ovalbumin gene expression independently of estrogen, *J. of Biol. Chem.*, 256, 6341-6347
64. Core Team R: A Language and Environment for Statistical Computing; R Foundation for Statistical Computing: Vienna, Austria, (2013) Online elérhető: <http://www.R-project.org/> (accessed on 12 10 2023)
65. CT User Manual: Chicken Calcitonin (CT) ELISA kit 96 Tests User Manual, Cat. Num.: SL0209Ch, SUNLONG BIOTECH CO., LTD
66. Csaba György (szerk), (1984) A biológia aktuális problémái 31, Medicina Könyvkiadó, Bp, 73-118.

67. Daigle C.L., Banerjee D., Biswas S., Siegford J.M., (2012) Noncaged laying hens remain unflappable while wearing body-mounted sensor: Levels of agonistic behaviors remain unchanged and resource use is not reduced after habituation, *Poult. Sci.*, 91, 2415-2423
68. Daxer A., Misof K., Grabner B., Ettl A., Fratzi P., (1998) Collagen fibrils in the human corneal stroma: structure and aging, *Invest. Ophthalmology and Vis. Sci.*, 39, 644-648.
69. De O., Lara L.J.C., (2016) Lighting programmes and its implications for broiler chickens, *World Poult. Sci.*, 72, 735-741
70. Demotes-Mainard S., Péron T., Corot A., Bertheloot J., Gourrierc J.L., Pelleschi-Travier S., Crespel L., Morel P., Huché-Thélier L., Boumaza R., Vian A., Guérin V., Leduc N., Sakr S., (2016) Plant responses to red and Far-red lights, applications in horticulture, *Env. and Exp. Botany*, 121, 4-21.
71. Ding X., Cai C., Jia R., Bai S., Zeng Q., Mao X., Xu S., Zhang K., Wang J., (2022) Dietary resveratrol improved production performance, egg quality, and intestinal health of laying hens under oxidative stress, *Poult. Sci.*, 101., 101886
72. Directive 2010/63/EU of the European Parliament and of the Council of 22 September 2010 on the protection of animals used for scientific purposes. *Off. J. EU* (2010) 276, 33–79.
73. Dobie, J. B., J. S. Carver and J. Roberts, (1946) Poultry lighting for egg production. *Washington Exp. Sta. Bull. No. 471.*
74. Duclos M.J., Berri C., Bihan-Duval E.L., (2007) Muscle Growth and Meat Quality, *Poult. J. of Appl. Poult. Res.*, 16, 107-112.
75. Dunning K.R., Russel D.L., Robker R.L., (2014) Lipids and oocyte developmental competence: the role of fatty acids and b-oxidation, *Reprod*, 148., 15-27.
76. E2 Instructions for Use: Estradiol ELISA (EIA-2693) DRG, Instruments GmbH, Marburg, DE, chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.scti.co.jp/images/psearch/pdf/DRG_EIA2693_p.pdf
77. E2 User Manual: 17 beta-Estradiol (E2) ELISA kit, User Manual, Cat. Num.: DNOV003, NovaTec Immundignostica GmbH
78. Eberhard G., (2003) Circannual rhythms in birds, *Curr. Opin. Neurobiol.*, 13, 770-778
79. Edgar O. Ovideo-Rondón, (2019) Holistic view of intestinal health in poultry, *Anim. Feed Sci. and Tech.*, 250, 1-8.
80. Eerdeken A., Deruyck M., Fontaine J., Martens L., De Poorter E., Joseph W., (2020) Automatic equine activity detection by convolutional neural networks usin accelerometer data, *Comput. Electron., Agric.*, 168, 105139.
81. Egbuniwe I.C., Ayo J.O., (2016) Physiological roles of avian eyes in light perception and their responses to photoperiodicity. *World's Poult. Sci. J.*, 72, 605-614
82. Eisen,E.J., Bohren B.B., McKean H.E., (1962) The HU as a measure of egg albumen quality, *Poultry Science*, 41, 1461-1468
83. El-Iethy H., Jung T.W., Huber-Eicher B., (2001) Effects of feeding corticosterone and housing conditions on feather pecking in laying hens (*Gallus gallus domesticus*), *Physiol. and Behav.*, 73., 243-251.
84. Estévez M., (2015) Oxidative damage to poultry: from farm to fork, *Poult. Sci.*, 94., 1368-1378.
85. Etches R.J., (1990), The ovulatory cycle of the hen, *Poult. Biol.* 2, 293-318

86. Etuah S., Ohene-Yankyera K., Liu Z., Mensah J.O., Lan J., (2020) Determinant of cost inefficiency in poultry production: Evidence from small-scale broiler farms in the Ashanti region of Ghana, *Trop. Anim. Health Prod.*, 52., 1149-1159.
87. European Commission (2011) Green paper, Lighting the Future, Accelerating the deployment of innovative lighting technologies, Brussels 19 p. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/d9c733b3-32a9-42da-8481-0e9e585076cb/language-en>
88. European Parliament, Directive 2009/125/EC of the European parliament and of the council of 21 October 2009 establishing a framework for the setting of ecodesign requirements for energy-related products, *Official J. of the Eu. Union*
89. Fairchild M.D., (2013) Color appearance models, John Wiley & Sons Ltd, 458.
90. Falcón J., Torriglia A., Attia D., Viénot F., Gronfier C., Behar-Cohen F., Martinsons C., Hicks D., (2020) Exposure to Artificial Light at Night and the Consequences for Flora, Fauna, and Ecosystems., *Front. Neurosci.*, 14, 602796.
91. Fang C., Huang J., Cuan K., Zhuang X., Zhang T., (2020) Comparative study on poultry target tracking algorithms based on a deep regression network, *Biosys. Eng.* 190, 176-183
92. Farghly M.F., Mahrose K. M., Ahmad, E.A.M.; Rehman, Z.U.; Yu, S, (2019) Implementaion of different feeding regimes and flashing light in broiler chicks, *Poult. Sci.*, 98, 2034-2042
93. Farghly M.F.A., Makled M.N., (2015) Application of intermittent feeding and flash lighting regimes in broiler chickens management, *Egypt. Jour. of Nutri. and Feeds*, 18, 261-276
94. Fehér Gy., (2004) A háziállatok funkcionális anatómiája, <https://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tkt/haziállatok/adatok.html>
95. Fernández A.P., Norton T., Tullo E., Hertem von T., Youssef A., Exadaktylos V., Vranken E., Guarino M., Berckmans D., (2018) Real-time monitoring of broiler flock's welfare status using camera-based technology, *Biosys. Engin.*, 173. 103-114
96. Fischer T.W., Kleszczynski K., Hardkop L. H., Kruse N., Zillikens D., (2012) Melatonin enhances antioxidative enzyme gene expression (CAT, GPx, SOD), prevents their UVR-induced depletion, and protects against the formation of DNA damage (8-hydroxy-2'-deoxyguanosine) in ex vivo human skin, *J. of Pineal Res.*, 54, 3, 303-312.
97. Fonyó A., (2011) Az orvosi élettan tankönyve, https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/2011_0001_524_Elettan/adatok.html (2020).
05)https://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/2011_0001_524_Elettan/ch10s07.html
98. Fouad A.M., Chen W., Ruan D., Wang S., Xia W.G., Zheng C.T., (2016) Impact of heat stress on meat, egg quality, immunity and fertility in poultry and nutritional factors that overcome these effects: a review, *Int. J. Poult. Sci.*, 15., 81-95.
99. Földes S., (2013) LED égők váltják fel a hagyományos izzókat, *Baromfiágazat*, 13. évfolyam, 2013/1, 54-55
100. Franco B.R., Shynkaruk T., Crowe T., Fancher B., French N., Gillingham S., Lardner K.S., (2022) Light color and the commercial broiler: effect on behavior, fear, and stress, *Poult. Sci.*, 101, 102052
101. Freitas M., Lima J.L., Fernandes E., (2009) Optical probes for detection and quantification of neutrophils' oxidative burst. A review, *Anal. Chim. Acta.*, 649., 8-23.

102. Frisch v. K., (1911) Beitrage zur Physiologie der Pigmentzellan in der Fischhaut, Pflugers Arch., 138, 319-387.
103. FSH User Manual: Chicken follicle-stimulating hormone (FSH) ELISA kit 96 Tests User Manual, Cat. Num.: SL0019Ch, SUNLONG BIOTECH CO., LTD
104. Fu Y., Zhou J., Schroyen M., Zhang H., Wu S., Qi G., Wang J., (2024) Dereased eggshell strength caused by impairment of uterine calcium transport coincide with higher bone minerals and quality in aged laying hens, J. of Anim. Sci. and Biotech., 15., 37.
105. García-Fernández J.M., Cernuda-C. R, Davies W.I.L., Rodgers J., Turton M., Peirson S.N., Follett B.K., Halford S., Hughes S., Hankins M.W., Foster R.G., (2015) The hypothalamic photoreceptors regulating seasonal reproduction in birds: A prime role for VA opson, Frontiers in Neuroendocrin., 37, 13-28.
106. Geng A.L., Zhang Y., Zhang J., Wang H.H., Chu Q., Liu H.G., (2018) Effects of lighting pattern and photoperiod on egg production and egg quality of native chicken under free-range condition, Poult. Sci., 97, 2378-2384
107. Geronimo B.C., Mastelin S.M., Carvalho R.H., Júnior S.B., Barbin D.F., Shimokomaki M., Ida E.I., (2019) Computer vision system and near-infrared spectroscopy for identification and classification of chicken with wooden breast and physicochemical and technological characterization, Infr. Phys. Technol., 96, 303-310
108. Gessner D.K., Ringseis R., Eder K., (2017) Potential of plant polyphenols to combat oxidative stress and inflammatory processes in farm animals, J. Anim. Physiol. Anim. Nutr. 101., 605-628.
109. Ghazal S., Munir A., Qureshi W.S., (2024) Computer vision in smart agriculture and precision farming: Techniques and applications, Artif. Intell. in Agric., 13, 64-83
110. Gholamreza Z., Xi H., Xi F., Dong A., (2019) How can heat stress affect chicken meat quality? – a review, Poul. Sci. 98., 1551-1556.
111. Glabe C.G., Hong K., Vacquier V.D., (2019) Fusin of sperm and egg plasma membranes during frtilization, Membrane Fusin, CRC Press, Florida, 20
112. Gosomji I.J., Bello U.M., Dzenda T., Baso A., Arukwe A., Aire T.A., (2024) Influence of photoperiod and exogeous melatonin on testis morpho-physiology of sexually mature guinea fowl (*Numida melegris*), Anim. Rep. Sci., 263, 107410.
113. Gracia-Mejia R.A., Sinclair-B. M., Blair L.R., Angel R., Jaramillo B., Regmi P., Neupane N., Proszkowiec-W.M., Arbe X., Cavero D., Ellestad L.E., (2024) Physiological changes in the regulation of calcium and phosporus utilization that occur after the onset of egg production in commercial laying hens, Front. in Phys., 15, 1465817.
114. Gregory F.B., Ellen D.K., (2008) Sex differences in the response to environmental cues regulating seasonal reproduction in birds, Phil. Trans. R. Soc. B. 363, 231-246
115. Gregory S.A., (2015) Comparison of Incandescent, CFL, LED and Bird Level LED Lighting: Growth, Fear and Stress, Int. J. of Poult. Sci., 14, 449-455.
116. Gregory S.A., (2016) Comparison of Raising Broiler Chickens Under Light Emitting Diode or Incandescent Light at Differing Intensities on Growth, Stress and Fear, Int. J. of Poult. Sci., 15, 425-431.
117. Guanjun B., Mimi J., Yi X., Shibo C., Qinghua Y., (2019) Cracked egg recognition based on machine vision, Comput. Electron. Agricult., 158, 159-166
118. Gwinner E., Brandstätter R., (2001) Complex bird clocks, Philos. Trans. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci., 356, 1801-1810.

119. Gwinner, E., (1996) Circadian and circannual programmes in avian migration, *Experimental Biology*, 199, 39-48.
120. Hafez M.H., El-Kazaz S.E., Alharthi B., Ghamry H.I., Alshehri M.A., Sayed S., Shukry M., El-Sayed Y.S., (2022) The impact of curcumin on growth performance, growth-related gene expression, oxidative stress, and immunological biomarkers in broiler chickens at different stocking densities, *Animals*, 12., 958
121. Hajrasouliha A.R., Kaplan H.J., (2012) Light and ocular immunity, *Curr. Opin. Allergy Clin. Immunol.*, 12, 504-509
122. Halliwell B. és Gutteridge J.M., (1999) *Free Radicals in Biology and Medicine*, Qxford, U.K., Oxford Uni. Press, 1-25.
123. Halliwell B., Whiteman M., (2004) Measuring reactive species and oxidative damage in vivo and in cell culture: how should you do it and what do the results mean?, *Br. J. Pharmacol.*, 142., 231-255.
124. Hao E., Liu X., Chang L., Xue H., Su B., Chen Y., Wang D., Shi L., Chen H., (2024b) Melatonin alleviates endoplasmatic reticulum stress to improve ovarian function by regulating the mTOR pathway in aged laying hens, *Poult. Sci.*, 103, 6, 103703.
125. Hao E., Liu X., Chen X., Xue H., Su. B., Chen Y., Wang D., Shi L., Bai K., Hou J., Bao H., Chen H., (2024a) Melatonin alleviates endoplasmatic reticulum stress and follicular granulosa cell apoptosis by regulating ATF4 to activate mTOR signaling pathway in chickens, *Poult. Sci.*, 103, 6, 103656.
126. Hao Y, Gu X.H., (2014) Effects of heat shock protein 90 expression on pectoralis major oxidation in broilers exposed to acute heat stress, *Poult. Sci.*, 93, 2709-2717.
127. Hart N.S., (2001) The Visual Ecology of Avian Photoreceptors, *Progr. in Retinal and Eye Res.*, 20, 675-703.
128. Hassan M.R., Sultana S., Choe H.S., Ryu K.S., (2014) Effect of combinations of monochromatic LED light color on the performance and behavior of laying hens, *J. Poult. Aci.*, 51., 321-326.
129. He Y.-M., Deng H.-H., Shi M.-H., Bodinga B.M., Chen H.-L., Han Z.-S., Jiang Z.-L., Li q.-W., (2016) Melatonin modulates the functions of porcine granulosa cells via its membrane receptor MT2 in vitro, *Anim. Rep. Sci.*, 172, 164-172.
130. Hedlund L., Whittle R., Jensen P., (2019) Effects of commercial hatchery processing on short-and long-term stress responses in laying hens, *Sci. Rep.*, 9., 2367.
131. Herbert U., Michael M., (1970) Photoperiodically significant photoreception in sparrows: Is the retina involved? *Science*, 167, 298-301.
132. Hesham M.H., El-Shereen A.H., Enas S.N., (2018) Impact of different light colors in behavior, welfare parameters and growth performance of Fayoumi broiler chickens strain. *J. Hellenic Vet. Med. Soc.*, 69, 951-958.
133. Heshmatollah K., (2007) Preference of Broiler Chicks for Color of Lighting and Feed. *J. Poult. Sci.*, 44, 213-219.
134. Holthues H., Engel L., Spessert R., Vollrath L., (2005) Circadian gene expression patterns of melanopsin and pinopsin in the chick pineal gland, *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, 326, 160-165.
135. Honikel, K.O. (1987) Wasserbindungsvermogen von Fleisch. *Fleischwirtschaft* 67, 418–428.

136. Hossain S., Bhowmick S., Jahan S., Rozario L., Sarkar M., Islam S., Basunia M.A., Rahman A., Choudhury B.K., Shahjalal H., (2016) Maternal lead exposure decreases the levels of brain development and cognition-related proteins with concomitant upsurges of oxidative stress, inflammatory response and apoptosis in the offspring rats, *Neurotoxi.*, 56., 150-158.
137. Hossein S., Mojtaba Z., (2017) Effect of light emitting diodes with different color temperatures on immune responses and growth performance of male broiler, *Ann. Anim. Sci.*, 17, 545–553.
138. House G. M., Sobotik E. B., Nelson J. R., Archer G. S., (2020a) Effect of the addition of ultraviolet light on broiler growth, fear, and stress response, *J. Appl. Poult. Res.*, 29, 402-408.
139. House G. M., Sobotik E. B., Nelson J. R., Archer G. S.. (2020b) Effects of ultraviolet light supplementation on Pekin duck production, behavior and welfare. *Animals*, 10, 833.
140. https://www.cobb-vantress.com/en_US/products/cobb500/ (2022. július)
141. <http://www.tt-trade.cz/docs/cobb-broiler-en.pdf> (2022. július)
142. <https://brokerbetkft.eu/bro-ker-bet-kft/> (2022. július)
143. <https://www.demilked.com/bird-vs-human-vision/> (2024 június)
144. Huang X., Ahn D.U., (2018) The Incidence of Muscl Abnormalities in Broiler Breast Meat – A Review, *Korean J. Food Sci. Anim. Resour.*, 38, 835-850.
145. Hubert-Eicher B., Suter A., Spring-Stähli P., (2013) Effects of colored light-emitting diode illumination on behaviour and performance of laying hens, *Poult. Sci.*, 92., 869-873.
146. Inglehearn C.F., Mohamed M.D., Downey L.M., Simmons I.G., Thaung C., Bridges L.R., Robertson G.W., Lester D.H., Burt D.W., Hocking P.M., (2004) Blindness Enlarged Globe (beg), a recessively inherited mutation in chickens, *Investigative Ophtalmology & Visual Sci.*, 45, 13.
147. Iqbal J., Khan S.H., Mukhtar N., Ahmed T., (2023) Impact of egg size on the quality of eggs, chicks, hatch overview of offspring during the mid stage (45th week) in Hubbard broiler breeders, *Adv. in Life Sci.*, 10, 368-374.
148. Jacobs G.H., (2018) Photopigments and the dimensionality of animal color vision, *Neurosci. and Biobehav. Rev.*, 86, 108-130
149. James C., Asher L., Herborn K., Wi J., (2018) The effect of supplementary ultraviolet wavelengths on broiler chicken welfare indicators, *Appli. Anim. Behav. Sci.*, 209, 55-64
150. James C., Wiseman J., Asher L., (2020) The effect of supplementary ultraviolet wavelengths on the performance of broiler chickens, *Poult. Sci.*, 99, 11, 5517-5525
151. Jennifer E. E., Emma L. H., Andrew T. D. B., Innes C. C., Katherine L. B., (2011) Short-term physiological and behavioural effects of high- versus low-frequency fluorescent light on captive birds, *Anim. Behav.*, 83, 25-33.
152. Jesse C. H., Gregory S. A., (2015) Comparison of two LED light bulbs to a dimmable CFL and their effects on broiler chicken growth, stress, and fear., *Poult. Sci.*, 94, 2027-2036.
153. Jia Y.X., Yang M.H., Zhu K.F., Liang W., Song Y.K., Wang J., Qin W.X., Yu Z.Y., Chen Y., Liu G.S., (2016) Melatonin implantation improved the egg-laying rate and quality in hens past their peak egg-laying age, *Sci. Rep.*, 6, 39799.
154. Jiang J., Jinming P., Yue W., Zhangyin Y., Yibin Y., (2012) Effect of Light Color on Growth and Waste Emission of Broilers. *Proceedings 9th International Livestock Environment Symposium (ILES IX), Valencia, Spain., 20133363062*

155. Jiang N., Wang Z., Cao J., Dong Y., Chen Y., (2016) Role of monochromatic light on daily variation of clock gene expression in the pineal gland of chick, *J. Photochem. Photobiol., B: Biology*, 164, 57–64.
156. Jiao Y., Lau T., Hatzikirou H., Meyer-Hermann M., Corbo J.C., Torquato S., (2014) Avian photoreceptor patterns represent a disordered hyper-uniform solution to a multi-scale packing problem. *Phys. Rev.*, 89, 1-13.
157. Jin J., Zhou Q., Lan F., Li J., Yang N., Sun C., (2022) v. Microbial composition of egg component and its association with hatchability of laying hens, *Front Microb.*, 13,
158. Johnson A.L., Bridgham J.T., (2001) Regulation of steroidogenic acute regulatory protein and luteinizing hormone receptor messenger ribonucleic acid in hen granulosa cells, *Endocrin.*, 142, 3116-3124
159. Johnson A.L., Tienhoven V., (1980) Plasma concentrations of six steroids and LH during the ovulatory cycle of the hen, *Biol. of Repr.* 23, 386-393
160. Jonathan E. (szerk.), (1996) *A madárvonulás atlasza*, Cser Kiadó, Budapest, 180.
161. Kai L., Hongwei X., Jasreen S., Tong, W., (2018) Effect of fluorescent vs. poultry-specific light-emitting diode lights on production performance and egg quality of W-36 laying hens, *Poult. Sci.*, 97., 1-11.
162. Kamanili S., Durmus I., Demir S., Tarim B., (2015) Effect of different light sources on performance and egg quality traits in laying hens, *Europ. Poult. Sci.*, 79., 1-7.
163. Kamfaor W.W., Khraiweh H.M., Ibrahim M.O., Qadhi A.H., Azhar W.F., Ghafouri K.J., Alhussain M.H., Aldairi A.F., AlShahrani A.M., Alghannam A.F., Abulal R.H., Al-Slaihat A.H., Qutob M.S., Elrggal M.E., Ghaith M.M., Azzeh F.S., (2024) Comprehensive review of melatonin as a promising nutritional and nutraceutical supplement, *Heliyon*, 10, 24266.
164. Karakaya M., Parlat S.S., Yilmaz M.T., Yildirim, Ozalp B., (2009) Growth performance and quality properties of meat from broiler chickens reared under different monochromatic light sources, *Brit. Poult. Sci.*, 50, 76-82
165. Karlen M., Benya J. R., *Lighting Design Basic*, (2004) Published by John Wiley & Sons, Inc, Hoboken, New Jersey, 6-11
166. Karlen M., Spangler C., Benya J. R., (2017) *Lighting Design Basic*, Published by John Wiley & Sons, Inc, Hoboken, New Jersey, 35-40
167. Kaswati E.L.N., Saputro A.H., Imawan C., (2020) Examination system of chicken meat quality based on hyperspectral imaging, *J. Phys. Conf. Ser.*, 1528
168. Kawashima M., Takahashi T., Kamiyoshi M., Tanaka K., (1996) Effects of progesterone, estrogen, and androgen on progesterone receptor binding in hen oviduct uterus (shell gland), *Poult. Sci.*, 75, 257-260
169. Ke Y., Liu W.J., Wang Z.X., Chen Y.X., (2011) Effects of mono-chromatic light on quality properties and anti-oxidation of meat in broilers. *Poult. Sci.*, 90, 26.
170. Kelber A., (2019) Bird colour vision – from cones to perception, *Curr. Opin. Behav. Sci.*, 30, 34-40.
171. Khang T. Q., Bodrogi P., Vinh Q. T., Winkler H., (2015) *LED Lighting, Technology and Perception*, Wiley – VCH Verlag GmbH, Weinheim, Germany,
172. Kidwell M.G., Nordskog A.W., Forsythe R.H., (1964), *Ont he Problem of Correcting Albumen Quality Measures for Egg Weight*, *Poult. Sci.* 43, 1, 42-49

173. Kikusato M., Xue G., Pastor A., Niewold T.A., Toyomizu M., (2021) Effects of plant-derived isoquinoline alkaloids on growth performance and intestinal function of broiler chickens under heat stress, *Poult. Sci.*, v. 100
174. Kim M.J., Kim J.H., Kang H.K., Kim D.W., Na J.C., Hwanbo J., Choi H.C., (2012) Effect of monochromatic light on growth performance of broilers. *Poult. Sci.*, 91, 98.
175. Kim, M.J.; Parvin, R.; Mushtaq, M.M.H.; Hwangbo, J.; Kim, J.H.; Na, J.C.; Kim, D.W.; Kang, H.K.; Kim, C.D.; Cho, K.O.; Yang, C.B.; Choi, H.C., (2013) Influence of monochromatic light on quality traits, nutritional, fatty acid, and amino acid profiles of broiler chicken meat, *Poult. Sci.*, 92, 2844-2852
176. Knaga S., Kibala L., Kasperek K., Rozempolska-R. I., Búza M., Zieba G., (2019) Eggshell strength in laying hens breeding goals – a review, *Anim. Sci. and Reports*, 37, 119-136.
177. Kogut M.H., Lee A., Santion E., (2020) Microbiome and pathogen interaction with the immune system, *Poult. Sci.*, 99., 1906-1913.
178. KORT Instructions for Use: Corticosterone ELISA (ZX-55101) ZELLX, ZellBio GmbH, Lonsee, DE, file:///D:/PhD/Boldog%20liba/F%C3%A9ny%20k%C3%ADs%C3%A9rlet%20M%C3%A1traderecske/ZELLX-Corticosterone-ELISA-ZX-55101-96%20liba%20b%C3%A9ls%C3%A1r%20m%C3%A9r%C3%A9shez.pdf
179. KORT User Manual: Corticosterone (CORT) ELISA kit, User Manual, Cat. Num.: K014-H1/H5, DetectX, ARBOR ASSAYS
180. Kram Y.A., Mantey S., Corbo J.C., (2010) Avian cone photoreceptors tile the retina as five independent, self-organizing mosaics. *PLoS One*, 5, e8992.
181. Krishnan K.A., Prodman J.A., Bolt D.J., Bahr J.M., (1993) Development of a homologous radioimmunoassay for chicken follicle-stimulating hormone and measurement of plasma FSH during the ovulatory cycle, *Comp. Biochem. and Phys.* 105, 729-734
182. Kristensen H.H., Prescott N.B., Perry G.C., Ladewig J., Ersboll A.K., Overvad K.C., Wathes C.M., (2007) The behaviour of broiler chickens in different light sources and illuminances, *App. Anim. Beh. Sci.*, 103, 75-89
183. Kryeziu A.J., Mestani N., Berisha Sh., Kamberi M.A., (2018) The European performance indicators of broiler chickens as influenced by stocking density and sex, *Agron. Res.*, 16, 483-491
184. KSH (2015) Központi Statisztikai Hivatal, Statisztikai tükör, Pillanatkép a magyar baromfiágazatról, chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.ksh.hu/docs/hun/xftp/stattukor/baromfi.pdf
185. KSH (2016) Központi Statisztikai Hivatal, Statisztikai tükör, Élelmiszermérlegek 2016, https://www.ksh.hu/docs/hun/xftp/stattukor/elelmfogy/elelmfogy16.pdf
186. Kumar M., Ratwan P., Dahiya S.P., Nehra A.K., (2021) Climate change and heat stress: Impact on production, reproduction and growth performance of poultry and its mitigation using genetic strategies, *J. of Therm. Biol.*, 97, 102867.
187. Kumari K.N.R., Nath D.N., (2018) Ameliorative measures to counter heat stress in poultry, *W. Poult. Sci. J.*, 74., 117-130.
188. Lan X., Li D., Wang Y., Zhao X., Liu Y., Zhu Q., (2013) Effect of monochromatic light on the crown performance of chickens. *Indian J. Anim. Res.*, 47, 175-177.
189. Lantos T., Vidovszky N. Á., (2010) Világítástechnika, OMKT Kft, Budapest, 120 p.

190. Lawrence B.M., O'Donnell L., Smith L.B., Rebourcet D., (2022) New Insights into Testosterone Biosynthesis: Novel Observations from HSD17B3 Deficient Mice, *Mol. Sci.*, 23, 15555.
191. Lepetit J., (2007) A theoretical approach of the relationships between collagen content, collagen crosslinks and meat tenderness, *Meat Sci.*, 76, 147-159
192. Lewis P.D., (2006) A review of lighting for broiler breeders, *Brit. Poultry Sci.*, 47, 393-404
193. Lewis P.D., (2010) Lighting, ventilation and temperature, *Brit. Poultry Sci.* 51, 35–43.
194. Lewis P.D., Gous R.M., (2009) Responses of poultry to ultraviolet radiation, *World Poultry Sci. Assoc.*, 65, 499-510
195. Lewis P.D., Morris T.R., (2000) Poultry and coloured light, *World Poultry Sci.*, 56, 189-207.
196. Lewis P.D., Morris T.R., (2006) *Poultry Lighting- The Theory and Practice*. Nottingham Univ. Press, Nottingham, UK., 168.
197. LH User Manual: Chicken Luteinizing Hormone (LH) ELISA kit 96 Tests User Manual, Cat. Num.: SL0057Ch, SUNLONG BIOTECH CO., LTD
198. Li D., Song Z., Quan C., Xu X., Liu C., (2021) Recent advances in image fusion technology in agriculture, *Comp. and Elect. in Agri.*, 191, 106491
199. Li D., Zhang L., Yang M., Yin H., Xu H., Trask J.S., Smith D.G., Zhang Z., Zhu Q., (2014) The effect of monochromatic light-emitting diode light on reproductive traits of laying hens, *J. Appl. Poultry Res.*, 23., 367-375.
200. Li G., (2025) A survey of open-access datasets for computer vision in precision poultry farming, *Poultry Sci.*, 104, 2, 104784
201. Li X., Ha M., Warner R.D., Dunshea G.R., (2022) Meat-analysis of the relationship between collagen characteristics and meat tenderness, *Meat Sci.*, 185, 108717
202. Lim C.I., Ryu K.S., (2022) Interactive effect of dietary levels of calcium and 25-hydroxy vitamin D3 on the performance, serum biochemical concentration and digestibility of laying hens from 61 to 70 weeks of age, *Anim. Biosci.*, 35, 1426-1433.
203. Lin H., Jiao H.C., Buyse J., Decuypere E., (2006) Strategies for preventing heat stress in poultry, *World Poultry Sci. J.*, 62., 71-85.
204. Lisanne M. S. T., Bas R., Bart A., Bert R., Frank A.M., (2018) Tuytens; An automated positioning system for monitoring chickens' location: Effects of wearing a backpack on behaviour, leg health and production, *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 198, 83-88
205. Lustrat A., Lebret B., Louveau I., Astruc T., Bonnet M., Lefaucheur L., Picard B., Bugeon J., (2016), How muscle structure and composition influence meat and flesh quality, *Sci. W. J.*, 3182746
206. Liu L., Wang Z., Cao J., Dong Y., Chen Y., (2019) Effect of melatonin on monochromatic light-induced changes in clock gene circadian expression in the chick liver, *J. Photochem. Photobiol. B: Biology.*, 197, 111537
207. Liu W., Wang Z., Chen Y., (2010) Effects of monochromatic light on developmental changes in satellite cell population of pectoral muscle in broilers during early post-hatch period. *Anatom. Rec.*, 293, 1315-1324.
208. Long H., Zhao Y., Wang T., Ning Z., Xin H., (2016a) Effect of light-emitting diode vs. fluorescent lighting on laying hens in aviary hen houses: Part 1 – Operational characteristics of lights and production traits of hens, *Poultry Sci.*, 95., 1-11.

209. Long H., Zhao Y., Xin H., Hansen H., Ning Z., Wang T., (2016b) Effect of light-emitting diode (LED) vs. fluorescent (FL) lighting on laying hens in aviary hen houses: Part 2 – Egg quality, shelf-life and lipid composition, *Poultry Science*, 95., 115-124.
210. Lukács, G. (1982) *Colour Measurement*; Műszaki Kiadó: Budapest, Hungary, 341.
211. Ma H., Xin H., Zhao Y., Li B., Shepherd T.A., Alvarez I., (2016) Assessment of lighting needs by W-36 laying hens via preference test, *Animal* 10, 671-680.
212. Maganhin C.C., Fuchs L.F.P., Simoes R.S., Oliveira-F.R.M., Simoes M. de J., Baracat E.C., Jr J.M.S., (2013) Effects of melatonin on ovarian follicles, *Eu. J. of Obst. & Gyneco. and Repr. Biol.* 166, 2, 178-184.
213. Magee C.L., Olanrewaju H.A., Purswell, (2023) Effect of photoperiod on physiological parameters in broiler chicks from placement to 7 d of age, *J. of Appl. Poult. Res.*, 32, 100353.
214. Magyar Takarmánykódex, (2003) Magyar közlöny, 42, 3123-3562
215. Mahdi Z., Gholamreza G., Majid T., Amir H.A., (2019) Mehdi T., Effect of sequential and intermittent white, green and blue monochromatic lights on productive traits, some immune and stress responses of broiler chicken, *Livest Sci.*, 227, 153-159
216. Mahmoudi J., Hosseini L., Sadigh-Eteghad S., Farajdokht F., Vatandoust S.M., Ziaee M., (2021) Sericin alleviates thermal stress induced anxiety-like behavior and cognitive impairment through regulation of oxidative stress, apoptosis, and heat-shock protein-70 in the hippocampus, *Neurochem. Res.*, 46., 2307-2316.
217. Majoros A., (1998) *Belsőterek világítása*, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 172 p.
218. Manabe N., Goto Y., Matsuda-M.F., Inoue N., Maeda A., Sakamaki K., Miyano T., (2004) Regulation Mechanism of Selective Atresia in Porcine Follicles: Regulation of Granulosa Cell Apoptosis during Atresia, *J. of Reprod. and Develop.*, 50, 5, 493-514.
219. Manfio E.S., Jácome I.M.T.D., Serpa F.C., Zanchin L.F., Burbarelli M.F. de C., Przybulinski B.B., Barbosa D.K., Garcia R.G., (2019) Intermittent lighting program does not hinder the performance of broiler chickens and promotes energy economy, *Canadian J. of Anim. Sci.*, 100, 228-233
220. María G.A., Escós J., Alados C.L., (2004) Complexity of behavioural sequences and their relation to stress conditions in chickens (*Gallus gallus domesticus*): a non-invasive technique to evaluate animal welfare, *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 86, 93-104.
221. Martínez Y., Altamirano E, Ortega V., Paz P., Valdivié M., (2021) Effect of Age ont he Immune and Visceral Organ Weights and Cecal Traits in Modern Broilers, *Animals*, 11, 845
222. Mashkoor J., Al-Saeed F.A., Guangbin Z., Alsayeqh A.F., Gul S.T., Hussain R., Kan A., (2023) Oxidative stress and toxicity produced by arsenic and chromium in broiler chickes and application of vitamin E and bentonite as ameliorating agents, *Front. Vet. Sci.*, 10.
223. McMillin K.W., (2008) Where is MAP going? A review and future potential of modified atmosphere packaging for meat, *Meat Sci.*, 80., 43-65.
224. McPhee S., Shynkaruk T., Buchynski K., Crowe T., Schwean-Lardner, (2024) How does visible light flicker impact laying hen pullet behavior, fear, and stress levels?, *Poult. Sci.*, 103, 6.
225. Mehdizadeh S.A., Neves D.P., Tscharke M., Nääs I.A., Banhazi T.M., (2015) Image analysis method to evaluate beak and head motion of broiler chickens during feeding, *Comp. and Electron. in Agric.*, 114, 88-95.

226. Mei W., Yang X., Zhao Y., Wang X., Dai X., Wang K., (2023) Identification of aflatoxin-poisoned broilers based on accelerometer and machine learning, *Biosys. Engine.*, 227, 107-116.
227. Mendes A.S., Paixao S.J., Restelatto R., Morello G.M., Moura D.J., Possenti J.C., (2013) Performance and preference of broiler chickens exposed to different lighting sources, *J. of Appli. Poult, Res.*, 22., 62-70.
228. Mézes M., Matkovics B., (1986) A lipidperoxidáció molekuláris mechanizmusa és mennyiségi mérése. In: Csaba Gy. (ed.): *A Biológia Aktuális Problémái, Medicina, Budapest*, 34, 61-105.
229. Miao Q., Si X., Xie Y., Chen L., Liu Z., Liu L., (2020) Zhang H., Effects of acute heat stress at different ambient temperature on hepatic redox status in broilers, *Poult. Sci.*, 99., 4113-4122.
230. Milewski T.M., Lee W., Champagne F.A., Curley J.P., (2022) Behavioural and physiological plasticity in social hierarchies, *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.*, 377. 1845.
231. Miller M.F., Carr M.A., Ramsey C.B., Crockett K.L., Hoover L.C., (2001) Consumer thresholds for establishing the value of beef tenderness, *J. Anim. Sci.*, 3062-3068
232. Min J.K., Hassan M.S., Nazma A., Joe C.N., Han T.B., Hwan K.K., Dong W.K., Hyun S.C., Hee C.C., Ok S.S., (2012) Effect of monochromatic light on sexual maturity, production performance and egg quality of laying hens, *Avian Biol. Res.*, 5., 69-74.
233. Mishra B., Jha R., (2019) Oxidative stress in the poultry gut: Potential challenges and interventions, *Front.Vet. Sci*, 6.
234. Miyamoto K., Hasegawa Y., Nomura M., Igarashi M., Kangawa K., Matsuo H., (1984) Identification of the second gonadotropin-releasing hormone in chicken hypothalamus: Evidence that gonadotropin secretion is probably controlled by two distinct gonadotropin-releasing hormones in avian species, *Proceed. of the Nation, Acad. of Sci.*, 81, 3874-3878
235. Mobarkey N., Avital N., Heiblum R., Rozenboim I., (2010) The role of retinal and extra-retinal photosituations in reproductive activity in broiler breeder hens, *Domest. Anim. Endocrinol.* 38, 235-243.
236. Mohamed R.A., El-K.S.Z., Shukry M., El-K.S., El Saidy N.R., (2017) Manipulation of Broiler Growth Performance, Physiological and Fear Responses Using Three Monochromatic LED lights, *Alexand. J. of Vet. Sci.*, 53, 57-62.
237. Mohammed A., Mahmoud M., Murugesan R., Cheng H.W., (2021) Effect of a synbiotic supplement on fear response and memory assessment of broiler chickens subjected to heat stress, *Animals*, 11., 427.
238. Mollah B.R., Hasan A., Salam A., Ali A., (2010) Digital image analysis to estimate the live weight of broiler, *Comp. and Electron. in Agric.*, 72,48-52.
239. Monaghan P., Metcalfe N.B., Torres R., (2009) Oxidative stress as a mediator of life history trade-offs: mechanisms, measurements, and interpretation, *Ecol. Lett.*, 12., 75-92
240. Montoya F.G., Garcia-P.A., Juaidi A., Agugliaro-M.F., (2017) Indoor lighting techniques: An overview of evolution and new trends for energy saving, *Energy. and Buildings*, 140, 50-60.
241. Moore B.A., Baumhardt P., Doppler M., Randolet J., Blackwell B.F., DeVault D.L., Loew E.R., Fernández-J.E., (2012) Oblique color vision in an open-habitat bird: spectral

- sensitivity, photoreceptor distribution and behavioral implications, *J. of Exp. Biol.*, 215, 3442-3452.
242. Moore C.B., Siopes T.D., (2000) Effects of Lighting Conditions and Melatonin Supplementation on the Cellular and Humoral Immune Responses in Japanese Quail *Coturnix coturnix japonica*, *General and Comp. Endocr.*, 119, 1, 95-104.
 243. Moore C.B., Siopes T.D., (2002) Effect of melatonin supplementation on the ontogeny of immunity in the Large White turkey poult, *Poult. Sci.* 81, 12, 1898-1903.
 244. Moran E.T. Jr., (1987) Protein requirement, egg formation and the hens ovulatory cycle, *The J. of Nutri.*, 117, 612-618
 245. Morohashi K., Baba T., Tanaka M., (2012) Steroid hormones and the development of reproductive organs, *Sex. Dev.*, 7., 61-79.
 246. Mottier p., (2009) LEDs for Lighting Applications, Published by John Wiley & Sons, Inc, Hoboken, New Jersey, 269.
 247. Nasiri A., Omid M., Taheri-Garavand A., (2020) An automatic sorting system for unwashed eggs using deep learning, *J. Food Eng.*, 283, 1-9
 248. Natesan A., Geetha L., Zath M., (2002) Rhythm and soul in the avian pineal, *Cell Tiss. Res.*, 309, 35-45.
 249. Nayak S.K., Jegla T., Panda S., (2007) Role of a novel photopigment, melanopsin, in behavioral adaptation to light, *Cell. Mol. Life Sci.*, 64, 144-154.
 250. Neitz J., Neitz M., (2011) The genetics of normal and defective color vision, *Vision Res.*, 51, 633-651.
 251. Niu X., Jiang Z., Peng Y., Huang S., Wang Z., Shi L., (2022) Visual cognition of birds and its underlying neural mechanism: A review, *Avian Res.*, 13, 100023.
 252. Ogbonna A.C., Chaudhry A.S., Asher L., (2023) Effect of dietary vitamin D3 and ultraviolet-B light on the behaviour and growth of broilers challenged with social isolation stress, *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 268, 106083.
 253. Okabayashi N., Yasuo S., Watanaba M., Namikawa T., Ebihara S., Yoshimura T., (2003) Ontogeny of circadian clock gene expression in the pineal and the suprachiasmatic nucleus of chick embryo, *Brain Res.*, 990, 231-234.
 254. Olanrewaju H.A., Miller W.W., Maslin W.R., Collier S.D., Purswell J.L., Branton S.L., (2018) Influence of light sources and photoperiod on growth performance, carcass characteristics, and health indices of broilers grown to heavy weights, *Poult. Sci.*, 97, 1109-1116.
 255. Olanrewaju H.A., Miller W.: W., Maslin W.R., Collier S.D., Purswell J.L., Branton S.L., (2016) Effects of light sources and intensity on broilers grown to heavy weights. Part 1: Growth performance, carcass characteristics, and welfare indices, *Poult. Sci.*, 95, 727-735
 256. Olanrewaju H.A., Purswell J.L., Collier S.D., Branton S.L., (2013) Interactive effects of photoperiod and light intensity on blood physiological and biochemical reactions of broilers grown to heavy weights, *Poult. Sci.*, 92, 1029-1039
 257. Olanrewaju H.A., Thaxton J.P., Dozier W.A., Purswell J., Roush W.B., Branton S.L., (2006) A review of lighting programs for broiler production. *Inter. J. Poult. Sci.* 5, 301-308.
 258. Oliver J., Bayle J., (1976) The involvement of the preoptic-suprachiasmatic region in the photosexual reflex in quail: effects of selective lesions and photic stimulation, *J. Physiol.*, 72, 627-637.

259. Olsson P., Lind O., Kelbert A., (2015) Bird colour vision: behavioural thresholds reveal receptor noise, *J. of Exper. Biol.*, 218, 184-193.
260. Oluwagbenga E.M., Fraley G.S., (2023) Heat stress and poultry production: a comprehensive review, *Poult. Sci.*, 102., 103141.
261. Oluwagbenga E.M., Schober J.M., Bergman M.M., Karcher D.M., Chavez C., Fraley G.S., (2025) Photostimulation decreases fearfulness, but improves growth performance and egg quality of breeder Pekin ducks, *Poult. Sci.*, 104, 104563
262. Oni A.I., Abiona J.A., Fafiolu A.O., Oke O.E., (2024) Early-age thermal manipulation and supplemental antioxidants on physiological, biochemical and productive performance of broiler chickens in hot-tropical environments, *Stress*, 27., 2319803.
263. Oni A.I., Adeleye O.O., Adebawale T.O., Oke O.E., (2023) The role of phytogetic feed additives in stress mitigation in broiler chickens, *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.*, 108., 81-98.
264. Oruc E.Ö., (2010) Oxidative stress, steroid hormone concentrations, and acetylcholinesterase activity in *Oreochromis niloticus* exposed to chlorpyrifos, *Pestic. Biochem. Physiol.*, 96., 160-166.
265. P4 Instructions for Use: Progesterone ELISA (EIA-1561) DRG, Instruments GmbH, Marburg, DE, chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://weldonbiotech.com/wp-content/uploads/2018/04/Progesterone-ELISA-EIA-1561.pdf
266. P4 User Manual: Progesterone (P4) ELISA kit, User Manual, Cat. Num.: DNOV006, NovaTec Immundignostica GmbH
267. Pajor G., (2019) A mezőgazdaság 4.0 kihívása az állattenyésztésben, avagy mit jelent a szakmai adatanalízis? *Állatteny Takarm.*, 68, 211-220.
268. Pan C., Xiang R., Pan J., (2025) Lighting quality valuation on growth performance and feather pecking behavior of broilers, *Poult. Sci.*, 104, 104656
269. Parvin R., Mushtaq M.M.H., Kim M.J., Choi H.C., (2014) Light emitting diode (LED) as a source of monochromatic light: a novel lighting approach for behaviour, physiology and welfare of poultry, *Worl. Poult. Sci. Jour.*, 70, 543-556
270. Patterson S.S., Kuchenbecker J. A., Anderson J. R., Neitz M., Neitz J., (2020) A color vision circuit for non-image-forming vision in the primate retina, *Curr. Biol.*, 30, 1-6
271. Paudel B., Riaz S., Teng S.W., Kolluri R.R., Sandhu H., (2025) The digital future of farming: A bibliometric analysis of big data in smart farming research, *Clean. and Circ. Bioecon.*, 10, 100132
272. Péczely P., (2013) *Madár szaporodásbiológia*, Agroinform Kiadó, Budapest, 352.
273. Perry G.C., (2003) *Lighting. Welfare of the laying hen* (ed. GC Perry), CABI, Wallingford, UK., 299–311.
274. Possart A., Fleck C., Hiltbrunner A., (2014) Shedding (Far-red) light on phytochrome mechanisms and responses in land plants, *Plant Sci.*, 217-218, 36-46.
275. Post J., Rebel J.M., Huurne A.A., (2003) Physiological effects of elevated plasma corticosterone concentrations in broiler chickens. An alternative means by which to assess the physiological effects of stress, *Poult. Sci.*, 82., 1313-1318.
276. Prescott N.B., Wathes C.M., Jarvis J.R., (2003) Light, vision and welfare of poultry, *Anim. Welf.*, 12, 269-288.
277. PTH User Manual: Chicken parathyroid hormone (PTH) ELISA kit, User Manual, Cat. Num.: CSB-E11880CH, CUSABIO

278. Querubin A., Lee H.R., Provis J.M., Bumstead O.K.M., (2009) Photoreceptor and ganglion cell topographies correlate with information convergence and high acuity regions in the adult pigeon (*Columba livia*) retina, *The J. of Comp. Neurol.*, 517, 711-722.
279. Raabe J., Raveendran G., Otten W., Homeyer K., Bartels T., (2024) Research Note: Irritating flashing light or poultry – friendly lighting – are flicker frequencies of LED luminaires a potential stress factor in the husbandry of male fattening turkeys?, *Poult. Sci.*, 103, 103214
280. Rahman M.L., Aoyama M., Sugita S., (2007) Number and density of retinal photoreceptor cells with emphasis on oil droplet distribution in the Mallard Duck (*Anas platyrhynchos var. domesticus*) *Anim. Sci. J.*, 78, 639-949.
281. Ramaphala N.O., Mbajiorgu C.A., (2013) Effect of Egg Weight on Hatchability and Chick Hatch-weight of COBB 500 Broiler Chickens, *Asian J. of Anim. and Vet. Adv.*, 8, 885-892
282. Redshaw M.R., Follett B.K., (1972) The physiology of egg yolk production in the hen, *Egg Form. and Prod.*, 8, 35-50
283. Rehman Z.U., Meng C., Sun Y., Safdar A., Pasha R.H., Munir M., Ding C., (2018) Oxidative stress in poultry: lessons from the viral infections, *Oxidative Med. Cell. Long.*, 5123147.
284. Reiter R.J., Mayo J.C., Tan D.-X., Sainz R.M., Alatorre-J. M., Quin L., (2016) Melatonin as an Antioxidant: Under Promises but Over Delivers, *J. of Pineal Res.*, 61, 253-278.
285. Reiter R.J., Tan D.-X., Fuentes-B. L., (2010) Melatonin: a multitasking molecule, *Prog. in Brain Res.* 181, 127-151.
286. Renema R.A, Robinson F.E., Feddes J.J.R., Fassenko G.M., Zuidhofs M.J., (2001) Effects of Light Intensity form Photostimulation in Four Strain of Commercial Egg Layers: 2. Egg Production Parameters, *Poult. Sci.*, 80, 1121-1131.
287. Riber A.B., (2015) Effects of color of light on preferences, performance, and welfare in broilers, *Poult. Sci.*, 94, 1767-1775
288. Robert M., Drolet B., Savard J.-P.L., (2006) Effects of backpack radio-transmitters on female Barrow's Goldeneyes, *Waterbirds*, 29., 115-120.
289. Rodrigues I., Choct M., (2019) Feed intake pattern of broiler chickens under intermittent lighting: Do birds eat in the dark?, *Anim. Nutri.*, 5, 174-178
290. Rodrigues I., Svihus B., Bedford M. R., Gous R., Choct M., (2018) Intermittent lighting improves resilience of broilers during the peak phase of sub-clinical necrotic enteritis infection, *Poultry Sci.*, 97, 438-446.
291. Rogers A.G., Pritchett E.M., Alpin R.L., Brannick E.M., Benson E.R., (2015) II. Evaluation of the impact of alternative light technology on male broiler chicken stress, *Poult. Sci.*, 94., 331-337.
292. ROSS 308 PO (2021) European Parent Stock ROSS 308, Performance Objectives
293. Ross P.S.M.H. Ross Parent Stock Managemet Handbook, https://aviagen.com/assets/Tech_Center/Ross_PS/Aviagen_Ross_PS_Handbook_2023_Interactive_EN.pdf
294. Rossi F.B., Rossi N., Orso G., Barberies L., Marin R.H., Kembro J.M., (2025) Monitoring poultry social dynamics using colored tags: Avian visual perception, behavioral effects, and artificial intelligence precision, *Poult. Sci.*, 104, 104464.
295. Rusty D.R., (2011) Broiler preference for light color and feed form, and the effect of light on growth and performance of broiler chicks. M.Sc. thesis in Dept. of Anim. Sci. and Industry College of Agric., Kansas State Univ., 71.

296. Saini R., Jaskolski M., Davis S. J., (2019) Circadian oscillator proteins across the kingdoms of life: structural aspects. *BMC Biol.*, 17, 13.
297. Saldanha C. J., Leak R. K., Silver R., (1994) Detection and transduction of daylength in birds, *Psychoneuroendocrinology*, 19, 5-7
298. Saraswat S., Jindal S.K., Priyadharsini R., Ramachandran N., Yadav S., (2012) The effect of antioxidant supplementation to cryopreservation protocol on seminal attributes and sperm membrane characteristics in Sirohi goat, *J. Physiol. Pharm. Adv.*, 2., 49-58.
299. Sekuler R., Blake R., (2000) *Észlelés, Osiris Kiadó, Budapest*, 618.
300. Selye H., (1936) A Syndrome produced by Diverse Nocuous Agents, *Nature*, 32.
301. Senaratna D., Samarakone T.S., Madusanka A.P., Gunawa-Rdane W.D., (2012) Preference of broiler chicken for different light colors in relation to age, session of the day and behavior. *Trop. Agric. Res.*, 23, 193-203.
302. Seo H.S., Kang M., Yoon R.H., Roh J.H., Wei B., Ryu K.S., Cha S.Y., Jang H.K., (2016) Effects of various LED light colors on growth and immune response in broilers. *J. Poult. Sci.*, 53, 76-81
303. Shoup Geo. P., (1918) Artificial lighting of poultry house in Western Washington, *J. of American Association of Instructors and Investigations of Poultry Husbandry*, 4, 6.
304. Silversides F.G., Villeneuve P., (1994) Is the Haugh Unit correction for egg weight valid for eggs stored at room temperature?, *Poultry Science*, 73, 1, 50-55
305. Simanungkalit G., Barwick J., Cowley F., Dawson B., Dobos R., Hegarty R., (2021) Use of an ear-tag accelerometer and a radio-frequency identification (RFID) system for monitoring the licking behaviour in grazing cattle, *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 244, 105491.
306. Sjöfjan O., Adli D.N., Harahap R.P., Jayanegara A., Utama D.T., Seruni A.P., (2021) The effects of lactic acid bacteria and yeasts as probiotics on the growth performance, relative organ weight, blood parameters, and immune responses of broiler: A meta-analysis, *F1000Res.*, 10, 183.
307. Skata J.A, Siqueira J.A.C., (2023) Poultry farming and lighting: A review on the importance of lighting in broiler chicken aviaries, *Eng. Agric.*, 43, 4.
308. Slauch J.M., (2011) How does the oxidative burst of macrophages kill bacteria? Still an open question, *Mol. Microbiol*, 80., 580-583.
309. Sobotik E.B., Nelson J.R., Archer G.S., (2020) How does ultraviolet light affect layer production, fear, and stress, *A. Anim. Behav. Sci.*, 223, 104926.
310. Soliman E.S., Hassan R.A., (2019) Impact of lighting color and duration on productive performance and Newcastle disease vaccination efficiency in broiler chickens. *Vet. World.*, 12, 1052-1059.
311. Soliman N.K., Farid El-Sabrou, (2020) Light wavelengths/colors: Future prospects for broiler behavior and production, *Jour. of Vet.Beh.*, 36, 34-39
312. Son J.H., (2015) Effects of using far infrared ray (FIR) on growth performance, noxious gas emission and blood biochemical profiles in broiler, *Korean J. Poult. Sci.* 42, 125-132
313. Son J.H., Velmurugu R., (2009) The effects of light colors on the behavior and performance of broiler chickens. *Korean J. Poult. Sci.*, 36, 329-335.
314. Soni R., Haldar C., Chaturvedi C.M., (2021) Retinal and extra-retinal photoreceptor responses and reproductive performance of Japanese quail (*Coturnix coturnix japonica*) following exposure to different photoperiodic regime, *Gen. and Comp. Endocrin.*, 302, 113667.

315. Sophie C., Björn F., Helle H. K., Peter S., Paul M. H., (2011) Investigating the importance of vision in poultry: Comparing the behaviour of blind and sighted chickens, *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 133, 60-69
316. Steinberg S.F., (2012) Oxidative stress and sarcomeric protein, *Circ. Res.*, 112., 2.
317. Stevenson T. J., Visser M. E., Arnold W., Barrett P., Biello S., Dawson A., Helm B., (2015) Disrupted seasonal biology impacts health, food security and ecosystems, *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 282(1817), 20151453.
318. Sultana S., Hassan Md.R., Choe H.S., Ryu K.S., (2013 a) The effect of monochromatic and mixed LED light colour on the behaviour and fear responses of broiler chicken, *Avi. Biol. Res.*, 6, 207-214
319. Sultana, S., Hassan Md. R., Choe H. S., Ryu K. S., (2013 b) Impact of Different Monochromatic LED Light Colours and Bird Age on the Behavioural Output and Fear Response in Ducks, *Italian J. of Anim. Sci.*, 12., 94.
320. Suman S.P., Joseph P., (2013) Myoglobin chemistry and meat color, *Annual Rev. Food Sci. Tech.*, 4., 79-99.
321. Surai P.F., Kochish I.I., Fisinin V.I., Kidd M.T., (2019) Antioxidant defence systems and oxidative stress in poultry biology: an update, *Antioxidants*, 8., 235.
322. T Instructions for Use: Testosterone ELISA (EIA-1559) DRG, Instruments GmbH, Marburg, DE, chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://weldonbiotech.com/wp-content/uploads/2018/04/Testosterone-ELISA-EIA-1559.pdf
323. T User Manual: Testosterone (T) ELISA kit, User Manual, Cat. Num.: DNOV002, NovaTec Immundignostica GmbH
324. Tan T., Li S., Fan Y., Wang Z., Raza M.A., Wang B., Wu X., Yong T., Wang X., Wu Y., Yang F., Yang W., (2022) Far-red light: A regulator of plant morphology and photosynthetic capacity, *The Crop J.*, 10, 300-309.
325. Tonissen S., Emmert B.J., Schober J.M., Oluwagbenga E.M., Karcher D.M., Fraley G.S., (2025) Pulsed Alternative Wavelength System lighting does not negatively impact production or welfare but reduces dopamine activity and may improve bone growth in grow-out Pekin ducks: Effects of PAWS lighting on meat ducks, *Poult. Sci.*, 104853
326. Tóth L., (2005) A madarak anatómiája és élettana, *Egyetemi jegyzet, SZIE, Gödöllő*, 78.
327. Tribudi Y.A., Ulfah M., Gusmalawati D., Sari A.P.Z.N.L., Harlyono D.N.H., Ibrahim A., Nurgiartiningsih V.M.A., (2023) Revealing the correlation between hatching weight and egg characteristics in Tukong chickens, *BIO Web of Conf.* 81, 00006.
328. Utrera M., Parra V., Estévez M., (2014) Protein oxidation during frozen storage and subsequent processing of different beef muscles, *Meat Sci.*, 96., 812-820.
329. Veissier I., Mialon M.M., Sloth K.H., (2017) Short communication: Early modification of the circadian organisation of cow activity in relation the disease or estrus, *J. Dairy Sci.*, 100, 3969-3974.
330. Verhaar H., (2017) *Lighting: From Human Evolution to Sustainable Revolution*, Light-Based Science, CRC Press, 12.
331. Wang L., Arablouei R., Alvarenga F.A.P., Bishop-h. G.J., (2023) Classifying animal behavior from accelerometry data via recurrent neural networks, *Comput. Electron, Agric.*, 206, 107647.

332. Wang R.R., Pan X.J., Peng Z.Q., (2009) Effects of heat exposure on muscle oxidation and protein functionalities of pectoralis majors in broilers, *Poult. Sci.*, 88., 1078-1084.
333. Wang Y., Ding J.T., Yang H.M., Cao W., Li Y.B., (2015) The effect of new monochromatic light regimes on egg production and expression of the circadian gene *BMAL1* in pigeons, *Poult. Sci.*, 94., 836-840.
334. Wasti S., Sah N., Mishra B., (2020) Impact of heat stress on poultry health and performances, and potential mitigation strategies, *Animals*, 10., 1266.
335. Wheeler T.L., Shackelford S.D., Koohmaraie M., (1997) Standardizing Collection and Interpretation of Warner-Bratzler Shear Force and Sensory Tenderness Data, *Am. Meat Sci. Asso., Recip. Meat Conf. Proc.*, 50, 68-77
336. Whittow, G.C. (szerk.) (1998): *Sturkie's Avian Physiology*, 5.th ed., Academic Press, New York., 675
337. Widowski T.M., Keeling L.J., Duncan I.J.H., (1992) The preferences of hens for compact fluorescent over incandescent lighting, *Can. J. of Anim. Sci.*, 72, 203-211
338. Wilhelm A.E., Maganhini M.B., Hernández-B.F.J., Ida E.I., Shimokomaki M., (2010) Protease activity and the ultrastructure of broiler chicken PSE (pale, soft, exudative) meat, *Food Chem.*, 119, 1201-1204.
339. Wilson, W. O., A. E. Woodward and H. Abplanalp, (1956) The effect and after-effect of varied exposure to light on chicken development. *Biol. Bull. Ill.* 415-422.
340. Wu D., Cui D., Zhou M., Ying Y., (2022) Information perception in modern poultry farming: A review, *Comp. and Electr. in Agric.*, 199, 107131
341. Xiao L., Ding K., Gao Y., Rao X., (2019) Behavior-induced health condition monitoring of caged chickens using binocular vision, *Comp. and Electron. in Agric.*, 156, 254-262.
342. Xie D., Li J., Wang Z.X., Li T.T., Chen J.L., Chen . X., (2011) Effects of monochromatic light on mucosal mechanical and immunological barriers in the small intestine of broilers, *Poult. Sci.*, 90, 12, 2697-2704.
343. Xie D., Wang Z.X., Dong Y.L., Cao J., Wang J.F., Chen J.L., Chen Y.X., (2008) Effects on Monochromatic Light on Immune Response of Broilers, *Poult Si.*, 87, 8, 1535-1539.
344. Xu Y., Tang Y., Cheng Y., Yang W., Liu J., Guo B., Luo G., Zhu H., (2025) Effects of different monochromatic light on growth performance and liver circadian rhythm of Yangzhou geese, *Poult. Sci.*, 104, 1.
345. Yang D., Cui D., Ying Y., (2024) Development and trends of chicken farming robots in chicken farming tasks: A review, *Comp. and Electr. in Agric.*, 221, 108916
346. Yang K.T., Lin C.Y., Huang H.L., Liou J.S., Chien C.Y., Wu C.P., Huang C.W., Ou B.R., Chen C.F., Lee Y.P., Lin E.C., Tang P.C., Lee W.C., Ding S.T., Cheng W.T.K., Huang M.C., (2008) Expressed transcripts associated with high rates of egg production in chicken ovarian follicles, *Mol. Cell Probes.*, 22, 47-54.
347. Yang X., Zhao Y., Street G.M., Huang Y., Filip T.S.D., Purswell J.L., (2021) Classification of broiler behaviours using triaxial accelerometer and machine learning, *Animal*, 15, 100269.
348. Yang Y., Pan C., Zhong R., Pan J., (2018) The quantitative models for broiler chicken response to monochromatic, combined, and mixed light-emitting diode light: A meta-analysis, *Poult. Sci.* 97., 1-10.
349. Yang Y., Yu Y., Pan J., Ying Y., Zhou H., (2016a) A new method to manipulate broiler chicken growth and metabolism: Response to mixed LED light system, *Sci. Rep.*, 6., 25972.

350. Yang Y.F., Jiang J.S., Pan J.M., Ying Y.B., Wang X.S., Zhang M.L., Lu M.S., Chen X.H., (2016b) The relationship of spectral sensitivity with growth and reproductive response in avian breeders (*Gallus gallus*), *Sci. Rep.*, 6, 19291.
351. Ye C., Yu Z., Kang R., Yousaf K., Qi C., Chen K., Huang Y., (2020) An experimental study of stunned state detection for broiler chickens using an improved convolution neural network algorithm, *Comp. and Elect. in Agri.*, 170, 105284
352. Yu S., Liu X., Tan Q., Wang Z., Zhang B., (2024) Sensors, systems and algorithms of 3D reconstruction for smart agriculture and precision farming: A review, *Comp. and Electr. in Agric.*, 224, 109229
353. Zaefarian F., Abdollahi M.R., Cowieson A., Ravindran V., (2019) Avian Liver: The Forgotten Organ, *Animals*, 9, 63.
354. Zawilska J. B., Lorenc A., Berezinska M., Vivien-Roels B., Pévet P., Skene D. J., (2007) Photoperiod-dependent changes in melatonin synthesis in the turkey pineal gland and retina, *Poult. Sci.*, 86, 1397-1405.
355. Zhang J.F., Bai K.W., Su W.P., Wang A.A., Zhang L.L., Huang K.H., Wang T., (2018) Curcumin attenuates heat-stress-induced oxidant damage by simultaneous activation of GSH-related antioxidant enzymes and Nrf2-mediated phase II detoxifying enzyme systems in broiler chickens, *Poult. Sci.*, 97, 1209-1219.
356. Zhang L., Cao J., Wang Z., Dong Y., Chen Y., (2016) Melatonin modulates monochromatic light-induced GHRH expression in the hypothalamus and GH secretion in chicks. *Acta Histochem*, 118, 286–292.
357. Zhang T., Chen L., Han K.P., Zhang X.Q., Zhang G.X., Dai G.J., Wang J.Y., Xie K.Z., (2019) Transcriptome analysis of ovary in relatively greater and lesser egg producing Jinghai Yellow Chicken, *Anim. Reprod. Sci.*, 208, 106114.
358. Zhang Y., Huang M., Shao X., Zhang F., Li Z., Bai Y., Xu X., Wang P., Zhao T., (2023) Insights into intramuscular connective tissue associated with wooden breast myopathy in fast-growing broiler chickens, *Foods*, 12, 2375
359. Zhang Y., Wang P., Xu X., Xia T., Li Z., Zhao T., (2020) Effect of wooden breast myopathy on water-holding capacity and rheological and gelling properties of chicken broiler breast batters, *Poult. Sci.*, 99, 3742-3751.
360. Zhang Z., Cao J., Wang Z., Dong Y., Chen Y., (2014) Effect of a combination of green and blue monochromatic light on broiler immune response, *Jour. of Photochem. and Photobiol.* 138, 118-123
361. Zhang Z.Y., Jia G.Q., Zuo J.J., Zhang Y., Lei J., Ren L., Feng D.Y., (2012) Effects of constant and cyclic heat stress on muscle metabolism and meat quality of broiler breast fillet and thigh meat, *Poult. Sci.*, 91, 2931-2937.
362. Zhouzheng R., Wenqiang S., Yanli L., Zhipeng L., Di H., Xi C., Jiakun Y., Xiaojun Y., (2019) Dynamics of serum phosphorus, calcium, and hormones during egg laying cycle in Hy-Line Brown laying hens, *Poult. Sci.*, 98, 2193-2200.
363. Zhu H.X., Hu M.D., Guo B.B., Qu X.L., Lei M.M., Chen R., Chen Z., Shi Z.D., (2019) Effect and molecular regulatory mechanism of monochromatic light colors on the egg-laying performance of Yangzhou geese, *Anim. Reprod. Sci.*, 204, 131–139.
364. Zhu Z., Kawai T., Umehara T., Hoque S.M., Zeng W., Shimada M., (2019) Negative effects of ROS generated during linear sperm motility on gene expression and ATP generation in boar sperm mitochondria. *Free Radic. Biol. Med.*, 141, 159-171.

365. Zhuang X, Zhang T., (2019) Detection of sick broilers by digital image processing and deep learning, *Biosys. Engine.*, 179, 106-116.
366. Zhuang X., Bi M., Guo J., Wu S., Zhang T., (2018) Development of an early warning algorithm to detect sick broilers, *Comp. and Electro. in Agri.*, 144, 102-113
367. Zukiwsky N.M., Afrouzیه M., Robinson F.E., Zuidhof M.J., (2021) Broiler growth and efficiency in response to relaxed maternal feed restriction, *Poult. Sci.*, 100, 4, 100993

9. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton szeretnék köszönetet mondani, mindazoknak, akik a doktori munkám során segítséget nyújtottak:

- Mindenekelőtt köszönettel tartozom témavezetőmnek **Dr. Kovács-Weber Máriának**, hogy megteremtette a Ph.D. kutatásom lehetőségét, és segítségével, valamint szakmai támogatásával hozzájárult mind a tudományos, mind személyes előmenetelemhez. Köszönöm **Dr. Mezőszentgyörgyi Dávid** témavezetőm segítségét.
- Külön köszönöm **Dr. Szabó Rubina Tündének** egész Ph.D. munkám során nyújtott segítségét és támogatását.
- Köszönöm az Állattenyésztés-technológiai és Állatjóléti Tanszék munkatársainak minden irányú támogatását, külön kiemelve **Dr. Pajor Ferencet**, **Dr. Bodnár Ákost** és **Dr. Egerszegi Istvánt**, akik rendszeres segítséget nyújtottak a mintavételek során és **Bényi Erzsébetet**, aki az adminisztrációs feladatokban nyújtott segítségét.
- Köszönettel tartozom az Állatbiotechnológiai és Állattudományi Doktori Iskolának és vezetőjének **Dr. Mézes Miklósnak**, hogy befogadták a témámat, és végig támogattak a munkám során.
- Köszönöm az Agrár- és Élelmiszertudományok Doktori Iskolának és vezetőjének **Dr. Kovács Melindának** és az Állattudományi Programnak és vezetőjének **Dr. Szabó Andrásnak** és az Állattenyésztési és Genetikai Alprogramnak és vezetőjének **Dr. Nagy Istvánnak** a fokozatszerzési eljárás támogatását.
- Köszönöm a Magyar Agrár -és Élettudományi Egyetem, Állattenyésztés Tudományok Intézet vezetőjének, **Dr. Áprily Szilviának** és az Állattenyésztés-technológiai és Állatjóléti Tanszék vezetőjének **Dr. Póti Péternek**, hogy támogattak munkám során és biztosították a kutatásomhoz szükséges feltételeket.
- Köszönöm az Takarmánybiztonsági Tanszéknek, vezetőjének **Balláné Dr. Erdélyi Mártának** és kollégáinak **Dr. Balogh Krisztián Milánnak**, **Dr. Kulcsár Szabinának** és **Tóth Márknak** a munkám során nyújtott segítséget.
- Köszönettel tartozom a Genetika és Biotechnológia Intézet, Szaporodásbiológia és Toxikológia Csoportnak és vezetőjének **Dr. Ferencziné Dr. Szőke Zsuzsannának**, volt és jelenlegi kollégáinak **Tóth Arnoldnak**, **Plank Patriknak** és **Molnár Zsófiának** a hormonmérésekben nyújtott segítségükért.
- Köszönöm a Matematika és Természettudományi Alapok Intézet, Fizika Tanszékének és **Dr. Seres Istvánnak** a fénymérésekben nyújtott segítséget.
- Ezúton is köszönetemet fejezem ki a Led Lighting Kft.-nek és **Pacz Marcellnek**, hogy részt vehettem a BrightLife LED fejlesztésében.
- Köszönöm az AgriSearch Hungary Kft.-nek és **Podmaniczky Bélának**, aki lehetővé tette a brojleren végzett kísérlet létrejöttét, helyet biztosított annak kivitelezéséhez és segítséget nyújtott a kísérleti munka során.
- Köszönöm a Bro-Ker-Bét Kft.-nek és vezetőinek, hogy lehetőséget biztosítottak a kísérletem elvégzéséhez, külön köszönöm **Németh Gergelynek** és **Pálinkás Krisztinának**, hogy segítséget nyújtottak a mérések kivitelezésében. Továbbá köszönöm **a telep minden munkatársának**, akik segítségemre voltak a kísérlet eredményes lefolytatásában.

- Köszönöm a Herbro Kft.-nek és vezetésének, hogy lehetőséget biztosítottak a keltetői kísérlet elvégzéséhez. Köszönöm **Rizmaier Pálnak**, az akkori keltetőüzem vezetőnek, továbbá **a keltetőüzem minden munkatársának**, akik közreműködtek a kísérlet sikeres lebonyolításában. Külön köszönet illeti **Németh Gergelyt** támogató közreműködéséért.
- Köszönöm az Lab-Nyúl Kft.-nek és vezetőjének **Kustos Károlynak**, hogy a lúd szülőpár kísérlet létrejöhett.
- Köszönettel tartozom **Dr. Heincinger Mónikának és Dolányi Ágnesnek**, akik végig segítségemre voltak a kísérlet sikeres lebonyolításában.
- Köszönöm a Mátraderecskei telep vezetőjének **Hargittai Zoltánnak**, hogy segítségemre volt a lúd szülőpár kísérletek lebonyolításában.
- Köszönöm **Kiss Csabának** az Integrál MB 09-es lúd tenyésztés-vezetőjének a fajtával kapcsolatos segítségnyújtást.
- Köszönöm a Nemzeti Biodiverzitás- és Génmegőrzési Központ, Haszonállat Génmegőrzési Intézet, Génmegőrzés-tudományi és Kisállattenyésztési Osztályának, **Dr. Liptói Krisztinának, Dr. Végi Barbarának, Dr. Drobnyák Árpádnak, Kissné Dr. Váradi Évának, Szabó Zsuzsa Mónikának és Török Évának** a lúd szülőpárok tojásminőség vizsgálataival kapcsolatos messzemenő szakmai támogatást és a tojásminőségi vizsgálatok elvégzését.
- Köszön a Pályázatadminisztrációs Osztály munkatársainak **Szélesné Koska Mariann-nak** és **Sós Ivettnek** a beszerzésekben és adminisztrációban nyújtott segítséget.
- Köszönöm a Doktori és Habilitációs Központnak, **Hajdú Mónikának** és **Megyeri Ágnesnek** az ügyintézésben nyújtott segítséget.
- Köszönöm továbbá a számos hallgatónak, akik nagy segítséggel szolgáltak a mintavételek lebonyolításában, **Lengyel Árminnak** a tyúk szülőpárok mintavételeinél, **Boros Petrának** a keltetőben nyújtott segítségért, **Bangó-Fi Boldizsárnak, Turuc Tamásnak, Mihók Attilának, Hajdara Hubának, Bánki Zoltánnak, Tar Péternek, Baróthy Benedeknek, Lukács Gábornak** és **Cselótei Bencének** a lúd szülőpároknál nyújtott segítségért.
- Köszönöm az Állattenyésztési Szakkollégiumnak és vezetésének, hogy a munkám során támogattak, **Németh Tibornak, Vlaskality Sárának, Tóth Enikőnek, Kiss Laurának, Hoffmann Flórának, Drusza Dorinának, Takács Tamarának** és **Janda Zsófiának**.
- Végül de nem utolsó sorban hálás köszönettel tartozom **nagyapámnak**, aki gyermekként elindított ezen az úton, **barátaimnak, közeli hozzátartozóimnak, szüleimnek, feleségemnek Pap Adrienn Mercédesznek** és **kislányomnak Pap Zselykének**, akiknek a szerető támogatása nélkül ez a munka nem valósulhatott volna meg.
- A munkám megvalósulását támogatta:
 - **GINOP_PLUSZ-2.1.1-21-2022-00126**, „Antibiotikum mentes, prémium libamáj előállítás tenyésztés- tartástechnológiájának fejlesztése” c. pályázat.
 - Az **ÚNKP-21-3** Nemzeti Felsőoktatási Kiválóság Ösztöndíj - Felsőoktatási Doktori Hallgatói Kutatói Ösztöndíj a brojler szülőpárokon végzett vizsgálatomat.