

Állatorvostudományi Egyetem
Állatorvostudományi Doktori Iskola



**A környezeti tényezők és a
telepi járványmegelőzési intézkedések hatása
a hús típusú pulyka állományok teljesítményére,
immunológiai és állatjólléti mutatóira**

PhD értekezés

dr. Kovács László

Budapest

2025

Témavezető és témabizottsági tag:

.....

Dr. habil Könyves László Péter

tanszékvezető, egyetemi docens, PhD

Állatorvostudományi Egyetem, Budapest

Állathigiéniai, Állomány-egészségtani Tanszék és Mobilklinika

témavezető

Assoz.Prof. Dr.med.vet. Dieter Liebhart, Dipl.ECPVS

Stellvertretung

Veterinärmedizinische Universität Wien

Klinisches Zentrum für Populationsmedizin bei Fisch, Schwein und Geflügel

témabizottsági tag

Készült 5 példányban, ez a sz. példány.

Doktorjelölt:

.....

dr. Kovács László

egyetemi tanársegéd

Állatorvostudományi Egyetem

Állathigiéniai, Állomány-egészségtani Tanszék és Mobilklinika

Tartalom	
Összefoglalás.....	5
Summary.....	7
1. Bevezetés, célkitűzések	9
2. Irodalmi áttekintés	13
2.1. A pulyka eredete és a mai modern pulykahibridek teljesítménymutatói	13
2.2. A járvány megelőzés és az állatjóllét jelentősége a nagyüzemi pulykatartásban	14
2.4. Az állattenyésztésben – különös tekintettel a nagyüzemi baromfitermelésben – képződő káros gázok humán- és állategészségügyi, valamint állatjólléti vonatkozásai	18
2.4.1. Az egyes állatfajok és különböző tartási rendszerek gázkibocsátásának összehasonlítása	21
2.4.2. Az állattenyésztésben képződő káros gázok humán- és állategészségügyi, valamint állatjólléti vonatkozásai	22
2.4.3. A madarak nitrogén anyagcseréje.....	23
2.4.4. Az ammónia élettani hatása a baromfi szervezetére.....	25
2.4.5. Az ammónia-szint szabályozásának jelentősége baromfinevelés során	28
2.5. A baromfitartásban használt alomtípusok és alomkezelési lehetőségek.....	30
2.5.1. Az alom jellemzői és típusai – nemzetközi trendek	31
2.5.2. Alomkezelési technológiák a baromfitartásban	36
2.5.3. Az alom szerepe az egészséges bélflóra kialakulásában	37
2.5.4. Alomanyag-kezelési megoldások	37
2.6. A nagyüzemben tartott pulykák nem megfelelő tartási körülmények esetén jelentkező rendellenes magatartásformái, illetve immunológiai változásai	45
2.6.1. A stressz kifejeződése a nagyüzemi baromfitartásban és az abnormális viselkedés megnyilvánulása	45
2.6.2. Az immunszuppresszió és a tartási környezet kapcsolata	50
2.6.3. Az immunsejtek szerepe.....	51
3. Saját vizsgálatok.....	54
3.1. Az üzemi járványvédelem és az állatjólléti indikátorok összefüggésének vizsgálata nagylétszámú pulykatartó gazdaságokban	54
3.1.1. Kutatás célja	54
3.1.2. Anyag és módszer.....	54
3.1.3. Eredmények	62
3.1.4. Megbeszélés és következtetések	66
3.2. <i>Bacillus licheniformis</i> tartalmú mikrobiális alomkezelő készítmény hatásának vizsgálata módosított tartási körülmények között nevelt pulykaállományokban	69
3.2.1. Célkitűzések.....	69
3.2.2. Anyag és módszer.....	69
3.2.3. Eredmények	73
3.2.4. Megbeszélés és következtetések	79
3.3. Módosított tartási tényezők hatása a pulykák stresszállapotára, állatjólléti indikátoraira és immunitására.....	81
3.3.1. Célkitűzések.....	81
3.3.2. Anyag és módszer.....	81
3.3.3. Eredmények	89
3.3.4. Megbeszélés és következtetések	101
4. Az elvégzett kutatások tudományos és gyakorlati jelentősége	108
5. Új tudományos eredmények	110
6. Irodalom	111
7. A doktori értekezés témájában született eredmények közlései	125
7.1. Tudományos publikációkban megjelent eredmények.....	125
7.2. A disszertáció témájában tartott előadások	125
7.3. A disszertáció témájában történt TDK témavezetések	125
8. Nem a doktori értekezés témájához kapcsolódó tudományos publikációk.....	126
9. Köszönetnyilvánítás	129
10. Mellékletek.....	132

Rövidítések jegyzéke

ACTH	adrenokortikotrop hormon
AWIN	Animal Welfare Indicators
B.U.T	British United Turkeys (Aviagen cégcsoport által tulajdonolt pulykahibrid típusra utal)
C csoport	kontroll csoport
CD	a leukociták (fehérvérsejtek) felszínén lévő sejtfelszíni fehérjék csoportosítása és megnevezése (angol <i>cluster of differentiation</i>)
CDR	komplementaritást meghatározó régió (angol <i>complementary determining region</i>)
CFU	colony forming unit
CH₄	metán
CO₂	szén-dioxid
CORT	kortikoszteron, kortizol
FP	tollcsipkedés (angol <i>feather pecking</i>)
IP	sérülést okozó csipkedés (angol <i>injurious pecking</i>)
LI csoport	megemelt fényintenzitású kísérleti csoport
MHC	fő szövetösszeférhetőségi komplex (angol <i>major histocompatibility complex</i>)
MKIS	magas telepítési sűrűség melletti kísérleti csoport
MKON	magas telepítési sűrűség melletti kontroll csoport
m²	négyzetméter
NH₃	ammónia
NH₄⁺	ammónium ion
NKIS	normál telepítési sűrűség melletti kísérleti csoport
NKON	normál telepítési sűrűség melletti kontroll csoport
PBMC	perifériás vér mononukleáris sejtjei (angol <i>peripheral blood mononuclear cell</i>)
RT csoport	megemelt teremhőmérsékletű kísérleti csoport
SD csoport	megemelt állománysűrűségű kísérleti csoport
THI	hőmérséklet-páratartalom index (angol <i>temperature-humidity index</i>)
TCR	T-sejt antigénreceptor (angol <i>T-cell antigen receptor</i>)
(NH₄)₂SO₄	ammónium-szulfát
°C	Celsius fok

Összefoglalás

Az értekezés intenzíven tartott pulykaállományokon végzett három vizsgálat eredményeit mutatja be. Az első vizsgálat célja a járványvédelmi intézkedések és az állatjólléti mutatók közötti összefüggések feltárása volt magyarországi nagylétszámú hízópulyka-tartó gazdaságokban. Az ország különböző régióiban, összesen 24 hízópulykát nevelő nagylétszámú telepet kerestünk fel a vizsgálathoz. A biológiai biztonsági intézkedések értékelésére a Biocheck.UGent kérdőívet alkalmaztuk, míg az állatjóllét felmérésére az AWIN protokollt használtuk. A járványvédelmi és állatjólléti mutatók közötti kapcsolatot korrelációs vizsgálatokkal, valamint a predikciós pontosságot random forest osztályozási módszerrel elemeztük. A járványvédelmi területek közül azok bizonyultak szoros összefüggésben állónak az állatjólléti mutatókkal, amelyek a telep szervezettségére (telepírányítás, anyagok beszerzése), az egyes telepszerkezeti egységek közötti ellenőrzési és higiéniai intézkedésekre, a gazdaság takarítási és fertőtlenítési eljárásaira, valamint a dolgozók és látogatók be- és kilépéséhez kapcsolódó ellenőrzési és járvány megelőzési protokollokra vonatkoztak. Az eredmények rámutatnak a biológiai biztonság és az állatjóllét közötti összefüggésre a nagyüzemi pulykatermelésben, megállapítva, hogy a fejlettebb járványvédelmi intézkedések jobb állatjólléti eredményekkel társulnak, ezáltal hangsúlyozva az átfogó és szakszerűen megvalósított járvány megelőzési programok fontosságát az iparszerű baromfitermelésben.

A második vizsgálatunk célja annak meghatározása volt, hogy az alomanyag kezelésére zeolit hordozóanyagban alkalmazott *Bacillus licheniformis* baktérium milyen mértékben képes javítani a zárt tartástér levegőminőségét az ammóniaképződés gátlása révén. Ezen túlmenően azt is vizsgáltuk, a készítménynek van-e pozitív hatása a termelési mutatókra (takarmányértékesítés, élősúly). A *Bacillus licheniformis* ($5,2 \times 10^8$ CFU/g koncentrációban) zeolit hordozóanyagban kifejtett hatását hízópulyka-állományokban vizsgáltuk normál ($2,5$ egyed/ m^2) és megemelt ($3,5$ egyed/ m^2) telepítési sűrűség mellett, 18 hetes hizlalási periódus során. A madarakat 6 hetes korban telepítettük a kísérleti gazdaságba. Az élősúlygyarapodást hetente mértük 24 hetes korig. A levegőminőséget ammónia- és szén-dioxid-koncentrációk rögzítésével értékeltük. Emellett a takarmányértékesítési arányt (FCR) 20, 22 és 24 hetes korban is kiszámítottuk. A kísérleti eredmények értékelése alapján megállapítható volt, hogy az alomkezelés szignifikánsan javította a levegőminőséget az ammóniakoncentrációk csökkentése révén a nevelési idő előrehaladtával, mind normál, mind megemelt telepítési sűrűség mellett, a kezelt csoportokban a kontrollcsoportokhoz képest. Az átlagos élősúlyok tekintetében is szignifikáns különbségek mutatkoztak a csoportok között a 15. és a 24. élethét között. A 20–21 hetes ideális vágási korban a takarmányértékesítési arány – bár enyhe mértékben, de – kedvezőbb volt a kezelt csoportokban, mint a kontrollcsoportokban. Azonban a 23–24 hetes korban ez a pozitív hatás már nem volt megfigyelhető.

Harmadik vizsgálatunkban azt kívántuk értékelni, hogy a tartási körülmények módosítása hogyan befolyásolja a brojlerpulykák viselkedését, stresszállapotát és immunológiai paramétereit. Ennek érdekében különböző csoportokba osztott hím ivarú pulykákat eltérő tartástechnológiai feltételek mellett tartottunk: az LI csoportban a megvilágítás intenzitását a kontrollcsoporthoz képest 67%-kal növeltük; az RT csoportban a helyiség hőmérsékletét 20%-kal emeltük; az SD csoportban pedig az állománysűrűséget 40%-kal növeltük a kontrollcsoporthoz képest. A kontrollcsoportban (C csoport) az állatokat a tartástechnológiai szabványoknak megfelelően tartottuk. A 16 hetes kísérleti periódus során a testtömeg-gyarapodást és a takarmányfelvételt rögzítettük, valamint az AWIN protokoll alapján az állatjólléti és viselkedési paramétereket is felmértük. Ezen túlmenően minden egyedből toll- és vérmintát gyűjtöttünk a 3., 7., 11., 15. és 18. héten az egyedi kortizolszintek ELISA módszerrel történő meghatározása céljából. Ezenkívül az immunrendszer változásait is értékeltük, a különböző limfocita populációk vérben történő kvantitatív meghatározásával áramlási citometria segítségével. Az LI, RT és SD csoportokból származó adatokat a kontrollcsoport (C) adataihoz hasonlítottuk. A kísérleti periódus utolsó harmadában a magasabb állománysűrűség mellett tartott madaraknál szignifikáns testtömeg-csökkenést figyeltünk meg. A teljes takarmányértékesítési arány (FCR) minden kísérleti csoportban magasabb volt. Az SD csoportban a 10. héttől kezdődően az állatjólléti értékek romlottak, melyet az agresszióval és sérülésekkel kapcsolatos pontszámok emelkedése, valamint a betegségek és elhullások gyakoribb előfordulása jelzett. A toll kortizolszintek szignifikánsan megemelkedtek az RT csoportban a 3. és 7. héten. A plazma kortizolszintek emelkedését az LI csoportban a 11. héten, az RT és SD csoportokban pedig a 7. héten észleltük. A 15. hétre minden kísérleti csoportban szignifikánsan alacsonyabb kortizolszintet mértünk a kontrollcsoporthoz képest. Az immunrendszer működésére is hatással voltak a módosított tartási körülmények: a CD8⁺ sejtek száma szignifikánsan emelkedett az RT csoportban a 7. héten. Valamennyi kedvezőtlen tartási feltételnek kitett csoportban szignifikánsan magasabb B-sejtszámot mértünk a 15. hétre, ami az SD csoportban tovább növekedett. A vizsgálat eredményei alapján megállapítható, hogy a hőmérséklet és az állománysűrűség változtatása gyakorolta a legjelentősebb hatást az állatjólléti mutatókra, a stressz állapotra és az immunológiai paraméterekre, ezt követte a megvilágítás intenzitásának növelése.

A feltárt összefüggések a nagyüzemi pulykatartásban jelentkező állomány-egészségügyi, állatjólléti problémák hátterének jobb megismeréséhez járultak hozzá, hangsúlyozva, a jövőben az iparszerű állattartási gyakorlatok csak az állatok környezettel szemben támasztott szükségleteinek kielégítése és szakszerűen végrehajtott járványvédelmi intézkedések mellett lehetnek állatjólléti szempontból is megfelelők és gazdaságosak.

Summary

The dissertation presents the results of three studies conducted on intensively reared turkey flocks. The first research aimed to determine the association between biosecurity and animal welfare measures in large-scale fattening turkey farms in Hungary. Large-scale farms raising male fattening turkeys across Hungary were contacted, with 24 agreeing to participate. The Biocheck.UGent questionnaire was used to evaluate biosecurity measures, and Animal Welfare Indicators (AWIN) protocol was used for welfare assessment. The association between biosecurity and welfare indicators was investigated by correlation testing and prediction accuracy using random forest classification. The areas of biosecurity that were shown to be closely linked to the welfare index were the organization of the farm (farm management, supply of materials), the control and hygienic measures implemented between farm structures, cleaning and disinfection measures on the farm, and control and hygienic measures implemented in the case of farm workers and visitors upon entrance and exit. The study highlighted the link between biosecurity and animal welfare in turkey production, concluding that enhanced biosecurity measures correlate with better welfare outcomes and emphasizing the need for comprehensive and well-implemented biosecurity protocols.

The aim of the second study was whether and to what extent the bacterium *Bacillus licheniformis* in zeolite carrier medium improves indoor air quality by inhibiting ammonia formation. We also wanted to know whether the product had a positive effect on performance indicators (feed conversion, live weight). The effect of *Bacillus licheniformis* at a concentration of 5.2×10^8 CFU/g in zeolite carrier medium was investigated in commercial turkey flocks at normal (2.5 birds/m^2) and increased (3.5 birds/m^2) stocking densities for 18 weeks fattening period. Birds were placed to the experimental farm at 6 weeks of age and weight gain was measured weekly until 24 weeks of age. Air quality was assessed by recording ammonia and carbon dioxide concentrations. In addition, feed conversion ratio (FCR) was calculated at 20, 22 and 24 weeks of age. After evaluating the experimental results, it was found that the litter treatment significantly improved air quality by reducing ammonia concentrations as the rearing period progressed in the treated groups compared to controls at both normal and higher stocking densities. There were also significant differences in average weights between groups from week 15 to week 24. Feed conversion ratios at the ideal slaughter age of 20-21 weeks of age were slightly better in the litter treated groups compared to the control groups. However, the positive effect on feed conversion ratio could no longer be observed at age of 23-24 weeks.

The third study investigated how modification of housing conditions can influence behavior, stress status and immunological parameters of commercial turkeys. For this, different groups of

male turkeys were exposed to varying environmental husbandry parameters: group LI with higher light intensity (+67% compared to control); group RT with increased room temperature (+20% compared to control) and group SD with higher stocking density (+40% compared to control). In the control group (group C), the birds were kept in accordance to the producer's guideline. During period of 16 weeks bodyweight and feed intake were recorded together with welfare and behavior parameters based on a previously developed objective scoring system (AWIN protocol). Furthermore, feather and blood samples were collected from every turkey at 3, 7, 11, 15, 18 weeks of the experiment to determine individual cortisol levels using ELISA. Additionally, changes in the immune system were evaluated by quantitatively determining the composition of different populations of lymphocytes by flow cytometry in the blood of the birds. The recorded data of groups LI, RT and SD were compared to the data determined from birds of the control group. A significant decrease in overall body weight was observed in birds with higher stocking density the last third of the experimental period. The overall feed conversion ratio (FCR) was higher in all experimental groups. Welfare values in group SD differed from week 10 onwards by increased scores related to aggression and injuries and higher incidence of illness and mortality. Feather cortisol levels were significantly elevated in group RT at weeks 3 and 7. Plasma cortisol levels increased in group LI at week 11 and in group RT as well as in group SD at week 7. By week 15, all experimental groups had significantly lower cortisol levels than the control birds. The immune system was significantly affected by increased counts CD8+ cells (group RT) at week 7 in the blood of turkeys. All groups with adverse housing parameters showed significantly higher B cell counts by week 15, which continued in group SD. The result of the present work indicates housing conditions such as temperature and stocking density have the most significant impacts on animal welfare, stress and immune function, followed by increased light intensity. For the first time, the effect of housing on behavior, cortisol level and the composition of lymphocytes was investigated in turkeys, highlighting its importance on animal welfare and production.

The identified correlations contributed to a better understanding of the underlying causes of flock health and animal welfare issues occurring in large-scale turkey production, emphasizing that in the future, industrial animal husbandry practices can only remain economically viable if they fully meet the animals' needs and are accompanied by strict biosecurity measures.

1. Bevezetés, célkitűzések

A nagyüzemi állattartás több évtizedes elterjedése óta, mára már biztonságos élelmiszer-ellátás alapját képezi szerte a világon. Csak így biztosítható megfelelő mennyiségű és minőségű állati eredetű táplálék a rohamos globális népességnövekedés viszonylatában.

Az iparszerű állattartáson belül a baromfitenyésztés az egyik legdinamikusabban fejlődő állattenyésztési ágazat, tekintve, hogy a hús típusú baromfifajok, továbbá a tojástermelő tyúkfajták nagyüzemi tartásával rövid idő alatt magas minőségű fehérjeforrás produkálható. A genetikai előrehaladás is a baromfifajok tenyésztése területén a legdinamikusabb. A genetikai előrehaladás az a tenyésztési eredmény, amely során a baromfifajok – brojlercsirkék, hízópulykák, tojóhibridek stb. – öröklődő tulajdonságait célzott szelekcióval és keresztezéssel folyamatosan javítják. Ennek eredményeként nő az állatok takarmányhasznosítása, napi tömeggyarapodása, tojáshozama, valamint javul a termelési hatékonyság és az állomány genetikai egészségi állapota is. A genetikai előrehaladás tehát lehetővé teszi, hogy az iparszerű baromfitartás egyre rövidebb idő alatt, egyre gazdaságosabban állítson elő magas biológiai értékű élelmiszert.

A nagylétszámú gazdaságokban manapság a közgazdasági tényezők – így a minél kisebb költségekből a minél nagyobb mennyiségű termék előállítás – játszik a kulcsszerepet. Csak megfelelő ökonómiai paraméterek mellett lehet nagylétszámú telepeket üzemeltetni.

A költségcsökkentés a baromfiágazat területén sok esetben a mind rövidebb szervizidőszakkal, illetőleg a megnövelt állatlétszám – nagyobb állománysűrűség – révén érhető el. Az intenzív tartási viszonyok, továbbá a manapság a teljesítményre szelektált baromfi hibridek egyik gyengítő faktora a fertőző betegségekkel szembeni fogékonyság, továbbá a szociális tér csökkenésével (**1.1. ábra**) az abnormális viselkedések megjelenése. A szelekciós eljárások során megvalósuló mind nagyobb teljesítményre történő törekvések azt a negatív hatást vonták magukkal, hogy az állatok ideális tartási körülmények között tudnak a genetikai potenciáljuknak megfelelően termelni. Amint az ideális környezet megváltozik, ezen hibridek az enyhébb fertőzésekkel szemben is fokozottabb érzékenységet mutat(hat)nak. Mind a fertőző betegségek, mind a tartástechnológiából fakadó, úgynevezett telepi menedzsmenthez köthető –összetett kóroktanú – betegségek jelentős gazdasági kárt képesek okozni, amely veszélyezteti a nagyüzemi baromfitartás működését.

A baromfiállományokat érintő legfontosabb kórokozók terjedési útvonalainak, kockázati tényezőinek és környezeti túlélési sajátosságainak ismerete és vizsgálata, valamint a szigorú járványvédelmi intézkedések kulcsfontosságúak a betegségek megelőzésében.

A pulyka a házityúk fajjal összevetésben kevésbé kutatott baromfi, pedig a kóros viselkedésformák megjelenése gyakrabban jellemző ezen baromfifajra. Manapság a nagyüzemi

tartási viszonyok esetén elengedhetetlen az állatjóllét és a fertőző betegségek elleni nem specifikus betegségmegelőzési intézkedések, azaz a járványvédelem szem előtt tartása.

„Itt előljáróban annyit szükséges leszögezni, hogy gazdaságosan termelni, csak egészséges állatállománnyal lehet. Egészségesnek pedig csak az az állatállomány tekinthető, amely genetikai képességeinek megfelelően termel” – írja Prof. Dr. Kovács Ferenc, az Állatorvostudományi Egyetem néhai rektora Állathigiénia (1975) c. könyvében. Az állatok a megfelelő tartási környezetben, normális viselkedés megnyilvánulásaik kifejeződése esetén, fertőző eredetű, obligát patogénektől mentes tartási környezetben tudják csak a bennük rejlő teljesítményt fenotípusosan is érvényre juttatni.

Éppen ezért, kutatásunk célja, a kevésbé kutatott, intenzív állattartási viszonyok között tartott hús típusú pulykák állatjólléti, illetve immunológiai vizsgálata volt. Ezen túlmenően fontos vizsgálati szempont volt a nagylétszámú pulykatartó gazdaságok járványvédelmi szintjének felmérése, és az állatjólléti indikátorokkal történő összevetése.

A kutatási téma jelentőségét az Egy Egészség (*One Health*) koncepció égisze alá lehet elhelyezni. Az Egy Egészség szemléletben megvalósuló környezeti egészség, az állatok egészsége és jólléte, továbbá az ételbiztonság, azaz a humánegészségügy együttese egymással szoros kapcsolatban állók és elválaszthatatlanok. Ezen elv érvényesülése esetén lehet a nagyüzemi baromfitermelésben gazdaságilag is megtérülő, ugyanakkor állategészségügyi és állatjólléti szempontból is megfelelő, biztonságos ételanyagokat előállító, környezetkímélő állattartást megvalósítani.

A higiéniai ismeretek hiányában aligha van lehetőség a különféle járványok megelőzésére vagy felszámolására. Az állattartó gazdaságok higiéniai normáinak megtartása nélkül a járványvédelem eredményessége csakis a véletlen szerencsére alapozódik. Állathigiéniai ismeretek nélkül eredménytelenek maradhatnak a specifikus betegségmegelőzési programok is, a nem megfelelő ellenálló képességű állatállomány ugyanis nem ad megfelelő immunválaszt, s az egyébként – megfelelő körülmények között – hatékony vakcinákkal sem létesíthető bennük kielégítő immunitás.

A többféle kórokozó környezeti stabilitása és hosszú távú túlélése kiemeli a járványvédelem, a higiénia és a fertőtlenítés szerepét, jelentőségét a betegségek baromfitartó gazdaságokban történő felbukkanásának megelőzésében. A termelőrendszerekben alkalmazott magas állománysűrűség, az alacsony szintű szellőztetés és az elégtelen járványvédelmi intézkedések tovább növelik a terjedés kockázatát. A tanulmány összefoglalja a fontosabb betegségterjedési mechanizmusokat és megerősíti a szigorú járványvédelmi protokollok, valamint a rutinszerű egészségügyi monitorozás szükségességét a kórokozók baromfitelepen belüli és kívüli terjedésének megelőzése érdekében.

Jelen kutatómunka a globálisan zajló baromfitermelés mellett megjelenő, egyre komolyabb gazdasági kárral járó, a nem specifikus telepi szintű védekezési rendszereknek és az állatok immunrendszerének időről időre komoly kihívást jelentő fertőző eredetű baromfibetegségek – mint pl. madárinfluenza – elleni, gazdaságra adaptált védekezési lehetőségeit elemzi. Ezen túlmenően pedig az állatbetegségek elleni védekezésében lényeges szerepet játszó egyéb környezeti – klimatikus, tartástechnológiai, immunológiai – tényezők vizsgálatát hivatott vizsgálni. A kutatásunk céljai az alábbi pontokban foglalhatók össze:

- A pulykatartó gazdaságokban a telepi járványvédelmi szint és az állatjólléti körülmények közötti összefüggések vizsgálata objektív rendszerek alapján, melynek célja mérhető összefüggések feltárása a telepi menedzsment tényezők, a tartástechnológiai környezet és a gazdaságban alkalmazott járványmegelőzési gyakorlatok között.
- A *Bacillus licheniformis* és zeolit összetevőkből álló alomkezelő készítmény hatásának vizsgálata az istállók levegőjének szén-dioxid és ammónia koncentrációira – a hízópulykák teljesítménymutatóira és az állatjólléti indikátorokra.
- A különféle, módosított tartástechnológiai környezeti tényezők – megemelt fényintenzitás, megemelt állatsűrűség, illetve megnövelt teremhőmérséklet – pulykák teljesítményére, stresszhormon szintjeire és immunológiai állapotára gyakorolt hatásának vizsgálata.



1.1. ábra A nagyüzemi pulykatartásban sokszor jelentősen lecsökkent szociális tér áll az állatok rendelkezésére, amely abnormális viselkedés megnyilvánulásokhoz vezethet
(Forrás: saját fénykép)

2. Irodalmi áttekintés

2.1. A pulyka eredete és a mai modern pulykahibridek teljesítménymutatói

A pulyka (*Meleagris gallopavo*) a madarak osztályán (*Aves*) belül a tyúkalakúak rendjébe (*Galliformes*), a fácánfélék családjába (*Phasianidae*) tartozik. Vad őst, az észak-amerikai vadpulykát az indián kultúrák háziasíthatták, majd az európai kontinensre a 16. században került (Schorger, 1966; Sütő, 1997). A modern, iparszerű pulykatenyésztés alapját a *M. gallopavo sylvestris* mexikói alfajba (*M. g. gallopavo*) történő beolvadása alakította, melyből a mai nagy testű hús típusú hibridek (pl. Hybrid Converter, B.U.T. 6) szelektív nemesítéssel alakultak ki (Sütő, 1997). Ezek a hibridek rendkívül gyors növekedésre, kiváló takarmányértékesítésre és jelentős mellhúsarányra lettek szelektálva, ami az ipari baromfitermelés fő szempontja (Havenstein és mtsai., 2007; FAO, 2010).

A hústípusú pulykák, különösen a nagy testű hibridek, intenzív növekedésük és érzékeny élettani sajátosságai miatt szigorúan szabályozott tartási környezetet igényelnek. A kelést követő első napokban a környezeti hőmérséklet 33-35 °C körül ideális, majd fokozatosan, heti 2–3 °C-os csökkentéssel kb. 18–19°C-ra mérséklendő 6–8 hetes korra (NRC, 1994; Aviagen Turkeys, 2022; Hybrid Turkeys, 2022). Az ideális relatív páratartalom kezdetben 60–70% között van, amely lecsökken 40-50 %-os értékre. Táplálóanyag-igényük magas fehérje- és energiaellátást igényel, különösen a korai életszakaszban. A takarmányfehérje-igény 0–4 hetes korban 26–28%, 5–8 hetesen 22–24%, míg a hízalás végső szakaszában 16–18% (Leeson & Summers, 2000; Aviagen Turkeys, 2022; Hybrid Turkeys, 2022).

A pulykák természetes viselkedésformái közé tartozik a kapirgálás, porfürdőzés, társas együttlét, valamint a napfényhez és mozgáshoz való igény, amelyeket a jóllétorientált tartástechnológiáknak támogatniuk kell. A pulykák érzékenyek a zsúfoltságra, hajlamosak a kannibalizmusra és a stressz okozta viselkedészavarokra, ezért fontos a megfelelő mozgástér, vizuális ingerek és elfoglaltság biztosítása. Ivarérésük – különösen a tojóké – 28–30 hetes korban következik be, bár a hibrid vonalak többségénél a természetes pároztatás nem alkalmazható a jelentős testméretkülönbségek miatt (Hafez és Attia, 2021).

2.2. A járványmegelőzés és az állatjóllét jelentősége a nagyüzemi pulykatartásban

A pulykahús kiváló minőségű, sovány fehérjeforrás, amely esszenciális aminosavakat és alacsony telített zsírtartalmat biztosít, egyértelmű egészségügyi előnyökkel a fogyasztók számára (Al-Baidhani és Al-Qutaifi, 2021; Jilo és Hasan, 2022). Emellett a pulykahústermelés gazdaságosnak tekinthető, köszönhetően a jó takarmányhasznosítási mutatóknak és az alacsony termelési költségeknek (Kálmán és Szöllősi, 2023). Mindezek következtében a pulykahús népszerűvé vált az egészséges testsúly megőrzésében és a krónikus betegségek – például szív- és érrendszeri betegségek, elhízás és cukorbetegség – kockázatának csökkentésében (Al-Baidhani és Al-Qutaifi, 2021). A pulykatenyésztők olyan lehetőségeket keresnek, amelyek növelik a termelékenységet és kielégítik a növekvő keresletet. Azonban a gyors növekedésre és a nagy izomtömegre irányuló szelekciós tenyésztés jelentős jólléti problémákat okozott a pulykák számára, amelyek következményesen a csontrendszeri és izomrendszeri rendellenességek, valamint fájdalmas lábproblémák mind gyakoribb előfordulását vonták maguk után (Erasmus, 2018; Hafez és Shehata, 2021). Ezen felül a nagyüzemi pulykatartás gyakran zsúfolt módon, magas állománysűrűség mellett zajlik, amely tartástechnológiai körülmény korlátozhatja a természetes viselkedésformák kifejeződését és abnormális magatartási formák jelenhetnek meg az állományokban. A pulykák befogása, szállítása és levágása további stresszt és szenvedést idézhet elő (Erasmus, 2018). A fogyasztók körében mérhető tudatos vásárlási szokások mind gyakoribb elterjedése hangsúlyozza a biobiztonsági intézkedések és az állatjólléti értékelések fontosságát a hús etikus és biztonságos előállításának biztosítása érdekében (Scott és mtsai., 2018; Alarcón és mtsai., 2021).

A biológiai biztonság, illetőleg járványvédelem eredetileg a biológiai fegyverekhez és bioterrorizmushoz kapcsolódóan fejlődött, azonban mára számos területre – például mezőgazdaság, laboratóriumi biztonság, közegészségügy – kiterjed. Az ENSZ Élelmezési és Mezőgazdasági Szervezete (FAO) a járványvédelmet olyan stratégiai és integrált megközelítésként határozza meg, amely magában foglalja az emberi, állati és növényi egészséget érintő kockázatok és a kapcsolódó környezeti veszélyek kezelésére szolgáló irányelveket és szabályozási kereteket. A járványvédelem része az élelmiszerbiztonság, az állat- és növénybetegségek kezelése, a genetikailag módosított (GMO-k) és élő módosított organizmusok (LMO-k) alkalmazása, valamint az invazív fajok kezelése is (FAO, 2007). A járványvédelem két fő eleme: külső és belső járványvédelem (Dewulf és van Immerseel, 2019). A baromfiállományokat érintő legfontosabb kórokozók terjedési útvonalainak, kockázati tényezőinek és a környezetben történő túlélési sajátosságainak ismerete és vizsgálata, valamint a szigorú járványvédelmi intézkedések

fontossága kulcsfontosságú. A terjedési útvonalakat közvetlen és vektorok által terjesztett, valamint közvetett formákra osztjuk. A járványvédelem két előbb említett eleme nagyban segíthet a fertőzési útvonalakon keresztüli terjedés kockázatának csökkentésében. A külső járványvédelmi intézkedések célja a kórokozók gazdaságba történő bejutásának megelőzése. Ilyen intézkedések például a látogatók és a személyzet mozgásának ellenőrzése, egyéni védőfelszerelések és fertőtlenítési eljárások alkalmazása, forgalom korlátozása, állat- és termékimport szabályozása, beérkező anyagok fertőtlenítése, valamint a takarmány, ivóvíz, kártevők vagy vadmadarak általi szennyeződésének megakadályozása (Owen, 2017; Huber és mtsai., 2022). A belső járványvédelem célja a betegségek terjedésének minimalizálása a gazdaságon belül. Ide tartozik az épületek tisztítása és fertőtlenítése, istállónként külön védőruházat használata, állománysűrűség kezelése, az állatok egyszerre történő be- és egyszerre megvalósuló kitelepítése (angol *all-in-all-out*) elv alkalmazása, valamint a fogékony vagy beteg egyedek elkülönítése (Owen, 2017; Dewulf és van Immerseel, 2019). A járványmegelőzés kulcsszerepet játszik az antimikrobiális szerek használatának csökkentésében és az állatorvosi beavatkozások szükségességének minimalizálásában (Mallioris és mtsai., 2023). Egy, a 2000–2010 közötti globális antibiotikumhasználatot vizsgáló tanulmány jelentős növekedést mutatott ki, ami rávilágított a biológiai biztonság szerepére az antibiotikumrezisztencia kezelésében, hiszen előbbi hiányában utóbbi fokozódása várható (Van Boeckel és mtsai., 2014). A járványvédelmi intézkedések gazdasági előnyökkel is járnak, mivel jobb gazdasági eredményekkel társulnak tejtermelő (Osawe és mtsai., 2022) és baromfitermesztő gazdaságokban egyaránt (Siekkinen és mtsai., 2012). A baromfitermesztésben a hangsúly a megelőzés irányába tolódott el, amelynek egyik alappillére a járványvédelem, ez kiegészülve a vakcinázási programokkal és a jó gazdálkodási gyakorlatokkal (Butcher és Miles, 2019). A hatékony járványmegelőzési intézkedések olyan környezetet teremtenek a gazdaságokban, ahol a betegségek kevésbé tudnak bejutni az állattartó létesítményekbe, illetve kisebb kockázattal tudnak elterjedni az üzemeken belül és az állatok ebből fakadóan megfelelő állategészségügyi státuszban növekedhetnek, fejlődhetnek (Yadav és Jha, 2019; Butucel és mtsai., 2022). A biológiai biztonsági intézkedések tehát az állatállomány egészségének és jóllétének fenntartását szolgálják. A gazdaságokban a járványvédelmi szint mérésének, értékelésének egyik, nemzetközi szinten is elterjedt módszere a Biocheck.Ugent protokoll. A Genti Egyetemen fejlesztették és először sertéstartó gazdaságok felmérésére került alkalmazásra Belgiumban (Ribbens és mtsai., 2008). A kérdőívet a későbbiekben több állatfajra is kidolgozták (Dewulf és mtsai., 2019), és az eredmények online is feldolgozhatók (<https://biocheckgent.com/en>). A baromfi tartó gazdaságokra kifejlesztett járványvédelmi kérdőív fejlesztésébe az Állatorvostudományi Egyetem is bekapcsolódott (Netpoulsafe Horizon Europe kutatási projekt).

Az állatjóllét ugyanolyan fontos szerepet játszik a termelési hatékonyságban, mint a járványvédelem. Hasonlóan más haszonállat-termelési ágazatokhoz, a pulykák jólléte a növekedésük és fejlődésük során alapvető fontosságú a minőségi hús előállításához és az etikus, fenntartható gyakorlatok betartásához. Az állatjóllétet úgy definiálják, mint az állat olyan állapotát, amelyben az környezeti hatásokra megfelelően reagál; ha a környezeti változásokra adott fiziológiai reakciók sikertelenek vagy csökkent mértékűek, az rossz állatjólléti státuszt jelez (Broom, 1986, 1991). A szenvedés – amely olyan negatív érzetekkel járhat, mint a félelem vagy fájdalom – a jóllét egyik kulcstényezője (Dawkins, 2008). A modern állatjólléti értékelések során az állati eredetű indikátorok alkalmazása lehetővé teszi a fizikai és mentális állapotok együttes vizsgálatát (Webster, 2005, 2022). A viselkedés alapú mutatók „negatív” változásából, azaz az abnormális viselkedéssjegyek megjelenése miatt keletkeznek az állatokon például a sérülések, akár a mozgásképtelenség is, ezek pedig már észlelhető változások, ezáltal indikátorként jegyezhetők. A pulyka állományok állatjólléti értékelésére alkalmazott eljárás pl. az ún. AWIN protokoll. E módszer az állatalapú indikátorokat, az üzemi tartástechnológiai gyakorlatot, továbbá a viselkedésalapú mutatókat veszi figyelembe az értékelés során. Ez a megközelítés átfogó képet ad a gazdasági szintű jólléti állapotokról, beleértve többek között a mozgásképtelenséget, testméretet, az állatokon található sebzések, sérülések minőségét, valamint bizonyos tartástechnológiai menedzsment stratégiákat stb. (AWIN, 2015). Az állatalapú mutatók számítanak a legrelevánsabb és legalkalmasabb eszközöknek az állatjóllét értékelésére (EFSA, 2012).

A járványvédelem és az állatjóllét ugyanannak az éremnek – nevezetesen az állathigiénának – a két oldala. A megfelelő állattartási technológia és a telepi menedzsment elengedhetetlen az állatjóllét megfelelő szintjének fenntartásához. Az elégtelen tartási körülmények (stressztényezők) növelik a fertőző betegségekkel szembeni fogékonyságot (Hoffmann és mtsai., 2020). A stressz csökkentése és a természetes viselkedésformák kifejezésének szabadsága pozitív hatással lehet a termelés végső jövedelmezőségére (Vigors és mtsai., 2020).

2.3. Állatjólléttel és állattartással foglalkozó fontosabb közösségi és hazai jogszabályok

Az iparszerű pulykatartás állatvédelmi és állatjólléti követelményeit az Európai Unióban és Magyarországon elsősorban általános érvényű jogszabályok határozzák meg, mivel a pulykákra vonatkozó specifikus uniós szabályozás jelenleg nem létezik. Az alábbiakban összefoglalva

olvashatóak a legfontosabb közösségi és hazai jogszabályok, amelyek a pulykatartás állatvédelmi és állatjóléti előírásait tartalmazzák.

- **A Tanács 98/58/EK irányelve (1998. július 20.) a tenyésztés céljából tartott állatok védelméről**

Ez az általános irányelv minden mezőgazdasági haszonállatra, így a pulykákra is vonatkozik. Előírja, hogy az állatokat megfelelő körülmények között kell tartani, biztosítva számukra a megfelelő táplálékot, vizet, pihenőhelyet és mozgásteret. Az állattartó köteles gondoskodni az állatok egészségéről és jólétéről, valamint minimalizálni a szenvedést és sérüléseket.

- **A tenyésztés céljából tartott állatok védelméről szóló európai egyezmény**

Az Európa Tanács által elfogadott egyezmény, amely az állatok tartási körülményeire vonatkozó alapelveket rögzíti. Előírja, hogy az állatok elhelyezésének, etetésének és gondozásának figyelembe kell vennie azok fiziológiai és etológiai szükségleteit.

- **2005/1/EK rendelet az állatoknak a szállítás és a kapcsolódó műveletek közbeni védelméről**

Ez a jogszabály részletezi, hogy az állatok szállítása és levágása során be kell tartani az uniós rendeletekben foglalt jóléti előírásokat, amelyek célja a stressz és szenvedés minimalizálása.

- **32/1999. (III. 31.) FVM rendelet a mezőgazdasági haszonállatok tartásának állatvédelmi szabályairól**

Kifejezetten az élelmiszer-termelő állatokkal – így a baromfifajokkal, köztük a pulykával – foglalkozó állatvédelmi előírásokat tartalmazó jogszabály.

- **1998. évi XXVIII. törvény az állatok védelméről és kíméletéről**

Ez a törvény az állatvédelem alapvető szabályait rögzíti Magyarországon. Előírja, hogy az állattartónak biztosítani kell az állatok megfelelő elhelyezését, táplálását, gondozását és egészségügyi ellátását. Tilos az állatok indokolatlan szenvedésének okozása, valamint az állatkínzás minden formája.

- **41/1997. (V. 28.) FM rendelet az Állat-egészségügyi Szabályzat kiadásáról**

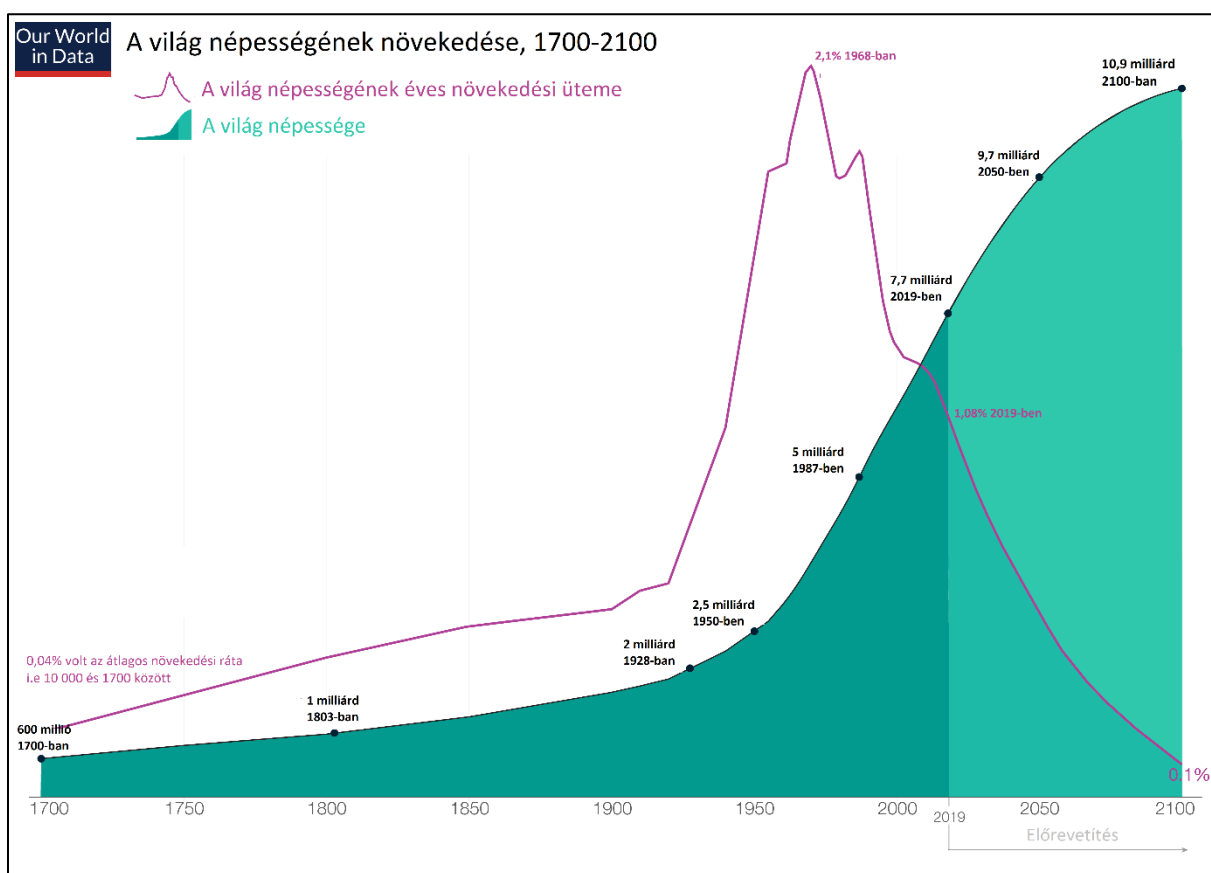
Ez a rendelet részletesen szabályozza az állatok tartásának állategészségügyi követelményeit, beleértve a pulykák tartását is. Előírja a telepek higiéniai követelményeit, az állatok elhelyezésének és gondozásának szabályait, valamint a betegségek megelőzésére és leküzdésére vonatkozó előírásokat.

- **87/2012. (VIII. 27.) VM rendelet az élő állatok belföldi szállításának állat-egészségügyi szabályairól**

Ezen hazai jogszabály az élőállat szállítás legfontosabb állatvédelmi előírásait jegyzi.

2.4. Az állattenyésztésben – különös tekintettel a nagyüzemi baromfitermelésben – képződő káros gázok humán- és állategészségügyi, valamint állatjólléti vonatkozásai

A világ népessége az elmúlt 200 évben több, mint hétszeresére gyarapodott. Míg a 19. század kezdetén körülbelül 1 milliárd főt számlált, addig napjainkban Földünk lakossága 7,9 milliárdra tehető. A népesség növekedési rátája a világtörténelmi események hatására ugyan ingadozott, csúcspontját 1968-ban érte el 2,1%-os növekedéssel, és szintén ingadozásokkal ugyan, de azóta folyamatosan csökken, napjainkban pedig valamivel 1% alatt van az értéke. Jövőbeli becslések alapján további jelentős csökkenése várható, ám a világ népességét így is közel 11 milliárd főre becsülik 2100-ra (**2.2.1. ábra**, Roser és mtsai., 2013).



2.2.1. ábra A Föld népességének növekedése 1700-tól napjainkig, és becsült értéke 2100-ig
(forrás: <https://ourworldindata.org/world-population-growth>)

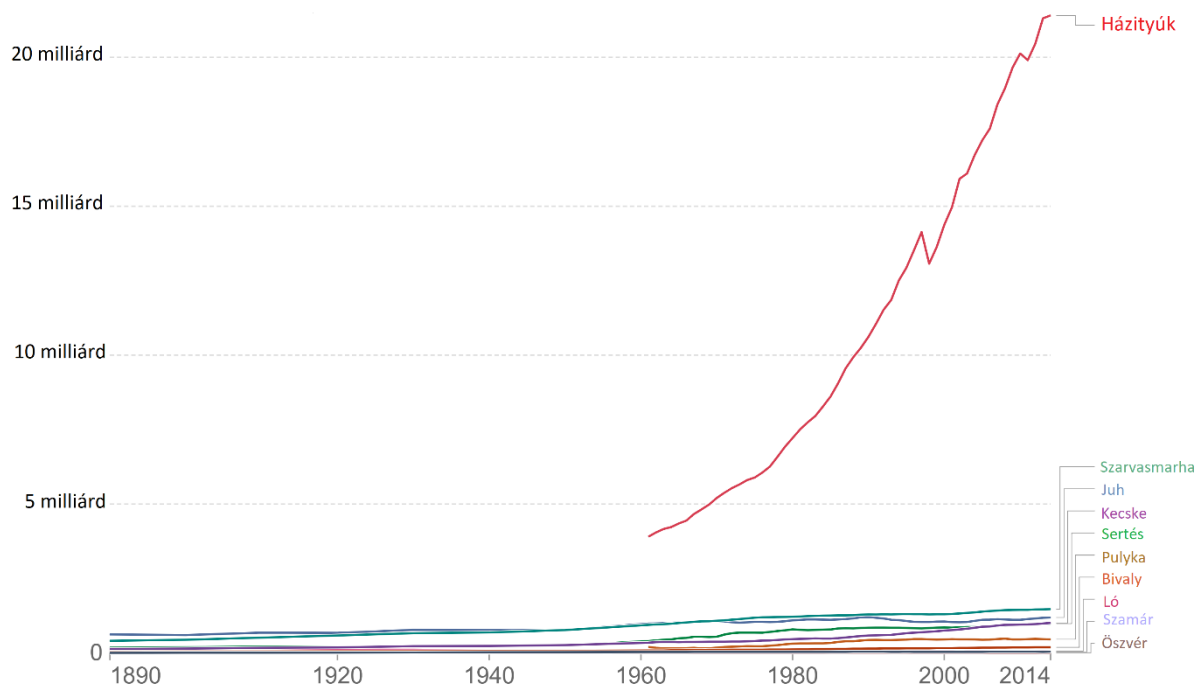
Ez az intenzív növekedés jelentős terhet és a folyamatos fejlesztés igényét jelentette a mezőgazdaság számára is, melynek eredményeképpen kialakult a mai modern növénytermesztés és nagyüzemi állattenyésztés. A haszonállatok genetikai szelekciója és az ennek megfelelően alakított tartási rendszerek, technológiák folyamatos fejlesztése együttesen lehetővé tette az intenzív termelést, így a növekvő népesség biztonságos ellátását állati eredetű fehérjével (**2.2.2. ábra és 2.2.1. táblázat**). A tejtermelő tehenek napi tejhozama az elmúlt 40 évben duplájára nőtt (Oltenacu és mtsai., 2010). A brojlercsirkék növekedési erélye 1950 és 2005 között közel 400%-kal emelkedett. Míg 1957-ben egy 28 napos brojler tömege átlagosan 316 g volt, addig 1978-ra ez az érték 632 g-ra, 2005-re pedig 1396 g-ra nőtt, manapság pedig már eléri, illetve meghaladja az 1500 grammot. A genetikai fejlődésnek számos gazdasági és környezeti hatása is van. Így például az egy kilogramm élőtömeg előállításához szükséges fajlagos takarmányfelhasználás értéke 1957 és 2005 között 50%-kal csökkent. Azon túlmenően, hogy ez egyértelmű gazdasági előrehaladást jelent, a baromfitartásból származó, környezetre káros hatások mértékét is jelentősen csökkenti. Gondoljunk csak bele, ha a madár ugyanazon vágási súly eléréshez kevesebb takarmányt igényel, akkor egyrészt a takarmány előállításával kapcsolatos környezeti hatások (pl. a növénytermesztéshez felhasznált fosszilis tüzelőanyagokból származó üvegházhatású gázok kibocsátása és a mezőgazdasági földhasználat megváltozásával kapcsolatos kibocsátások) is csökkennek, másrészt trágyával és az ebből fakadó káros gázokkal is kevésbé terheli az állat a környezetet (Zuidhof és mtsai., 2014).

A genetikai előrehaladás azonban önmagában nem volt elengedő a nagyüzemben gyarapodó népesség élelmiszerrel való ellátásához, így a haszonállatok száma évről évre jelentősen növekedett az elmúlt évtizedekben, ezzel együtt pedig a tartásukból fakadó károsanyagok kibocsátása is nagyobb. Legintenzívebben a baromfiipar, ezen belül is a házityúk, főleg a brojlercsirke nagyüzemi tartása növekedett. Ennek magyarázata egyrészt a rövid, kiszámíthatóbb nevelési idő, a gazdaságosság, a jó növekedési és takarmányhasznosítási mutatók, valamint a baromfi hús iránti növekvő fogyasztói igény.

Állatállományok létszáma a világon 1890 és 2014 között

Our World
in Data

Az állatállományok teljes létszáma, az élő állatok számában mérve az adott év egy adott időpontjában



2.2.2. ábra A haszonállatok egyedszámának növekedése 1890-től 2014-ig (forrás: <https://ourworldindata.org/livestock-counts>)

2.2.1. táblázat A világ sertés, pulyka, házityúk és szarvasmarha állományának változása 1961 és 2014 között (az állományok nagysága darabszámban és a változás mértéke %-ban) (forrás: <https://ourworldindata.org/livestock-counts>)

Állatfaj	Sertés		Pulyka		Házityúk		Szarvasmarha	
Év	1961	2014	1961	2014	1961	2014	1961	2014
Állomány nagysága (db.)	406,18 millió	958,67 millió	204,24 millió	462,87 millió	3,91 milliárd	21,41 milliárd	942,18 millió	1,47 milliárd
Változás mértéke	136%		127%		448%		56%	

2.4.1. Az egyes állatfajok és különböző tartási rendszerek gázkibocsátásának összehasonlítása

A nagyüzemi haszonállattartásból fakadó káros anyagok kibocsátása több tényezőtől áll össze. Többek között a takarmányok megtermeléséhez szükséges gépi mezőgazdasági munkálatokból és az állatok szállításából fakadó fosszilis üzemanyagok elégetéséből, a telepeken nagymennyiségben felhasznált energia előállításából, az állatok élete során termelt gázok, a keletkezett hulladékok és trágya kibocsátásából stb. Bizonyos tényezők jobban, mások kevésbé befolyásolhatók és csökkenthetők (Nagy, 1990; Rafai, 2003; Rafai és mtsai., 2004).

A legfontosabb üvegházhatású gázok a szén-dioxid (CO_2) és a metán (CH_4). Előbbi az állatok energiatermelő folyamatából (biológiai oxidáció) származik és légzés útján távozik, míg utóbbi főleg a kérődzők bendőfermentációja során termelődik és a bendő-, valamint bélgázokkal távozik a környezetbe, de kisebb mennyiségben a monogasztrikus állatok emésztési folyamatai során is keletkezik, valamint mikroorganizmusok hatására trágya tárolása során is termelődhet. Állat- és humánegészségügyi szempontból kiemelkedő jelentőséggel bíró, az állatok tartása során nagy mennyiségben keletkező színtelen, szúrós szagú gáz az ammónia (NH_3), mely a fehérjék emésztéséből kiválasztódott nitrogénből származik, és kisebb mennyiségben közvetlenül is ürülhet az állatokból. Nagyobb mennyiségben azonban az egyes nitrogéntartalmú metabolitok (karbamid, húgysav) környezetben történő mikrobiális bontásából keletkezik az alomban. Emlős állatok esetén főként karbamid, míg madarak esetén legnagyobb mennyiségben húgysav ürül az emésztett fehérjék végtermékeként (Nagy, 1990; Rafai, 2003; Rafai és mtsai., 2004).

A baromfialomba került nagymennyiségű húgysavat az ott lévő baktériumok javarésze karbamiddá alakítja, majd ezt *Achromobacter*, *Alcaligenes*, *Corynebacterium*, *Cytophaga* és *Micrococcus* fajok ammóniává metabolizálják (Schefferle, 1965) – lásd *A madarak nitrogén-anyagcseréje* c. fejezetben részletesen.

Az egyes állatfajok különböző mennyiségben termelik az említett gázokat, és ezt a tartástechnológia is nagymértékben befolyásolja. Az említett üvegházhatású gázok esetében egy 2007-es tanulmány alapján a teljes Európai Unió kibocsátás 12-17%-a volt a nagyüzemi állattartáshoz köthető, ennek pedig 60%-a a szarvasmarhatartásból eredt (tejelő és húshasznú egyben) (Bellarby és mtsai., 2013). Az európai országok NH_3 kibocsátása mintegy 75%-a származik a nagyüzemi állattartásból. Ezen gáz kibocsátása az alomkezelés és trágyaképződés minden fázisában előfordul: az állattartó épületekből közvetlenül, a trágyatárolás, valamint a trágya földekre való kibocsátása során, továbbá legeltetési állattartás esetén egyaránt (Webb és mtsai., 2005). Mitloehner és mtsai. (2019) tanulmányában az USA-ban az üvegházhatású gázok kibocsátásában az állattenyésztés 4,2% (amelyből a tejelő marha 1,37%, sertés 0,47%, baromfi

0,08%, juh 0,03%, kecske 0,01%, egyéb (lovak is) 0,04%), a szállítás 27%, míg az energiatermelés 31%-os részedéssel szerepel (Mitloehner és mtsai., 2019) **(2.2.2. táblázat)**.

2.2.2. táblázat Az egyes állatfajok NH₃-, CO₂-, CH₄-kibocsátása különböző tartási módok esetén (Kovács és mtsai., 2023 nyomán)

Kibocsátott gáz	Szarvasmarha	Sertés		Házityúk	
	Mélyalom	Mélyalom	Ráncpadozat	Mélyalom (brojlercsirke)	Feljavított ketrec (árutójó tyúk)
NH₃	13,9 kg / állat / év	13,1 g / állat / nap	6,2 g / állat / nap	6,2 g / madár / hizlalási periódus	115,7 mg / madár / nap
CO₂	28,1 kg / állat / nap	1,97 kg / állat / nap	1,74 kg / állat / nap	10,4 kg / madár / hizlalási periódus	86,4 g / madár / nap
CH₄	1,3 kg / állat / nap	16 g / állat / nap	16,3 g / állat / nap	0,8 kg / madár / hizlalási periódus	90,0 mg / madár / nap

2.4.2. Az állattenyésztésben képződő káros gázok humán- és állategészségügyi, valamint állatjóléti vonatkozásai

Az üvegházhatású gázok légköri koncentrációjának megnövekedése által okozott klímaváltozás az elmúlt évtizedek egyik legégetőbb problémaköre, mely globálisan kihat egész bolygónk működésére (WMO, 2024; Mikalai és mtsai., 2024; EEA, 2025). Az említett adatokból látható, hogy a nagyüzemi állattartás is jelentős mértékben hozzájárul ezen gázok megnövekedett kibocsátásához, azonban csökkentésükkel kapcsolatos lehetőségeink korlátozottak, hisz az állatok anyagcserefolyamataik révén adott mennyiségben és formában termelik őket. Az ammónia kibocsátásának nagyobb mennyisége azonban nem közvetlenül az állatokból, hanem a különböző – nem gáz halmazállapotú – végtermékekből (karbamid, húgysav) az alomban, a környezetben lévő átalakulás után történik, így itt az alom megfelelő kezelésével csökkenthető azok képződő mennyisége .

Az ammóniának számos káros hatása van a környezetre, valamint az emberek és állatok egészségére egyaránt. Emelkedett légköri koncentrációja megnövelheti a felhők oxidációs rátáját, így fokozva a savas eső képződését. Hozzájárul az ökoszisztéma nitrogén lerakódásához (Li és mtsai., 2013) az eutrofizációhoz (Angus és mtsai., 2003), a talajban lévő nitrifikáló baktériumok pedig nitrátokká alakítják, amelyek csökkentik a talajvíz pH-ját és növelik az ivóvíz nitrátkoncentrációját (Adams és mtsai., 1994). Hozzájárul az ún. másodlagos szálló por keletkezéséhez, amely mind az emberi, mind az állati egészségre veszélyes, mivel képes az alsó légutakba hatolni és az ott lévő szöveteket károsítani. Megnövekedett légköri koncentrációjának

közvetlen hatása van az emberi légzőrendszerre, köhögést, orr-, valamint torokirritációt okoz. Baromfigondozók, illetve rakodómunkások esetén krónikus légzőszervi problémák, köhögés, mellkasi szorító érzés is nagyobb eséllyel kialakulhat (Naseem és mtsai., 2018). Az ammónia a legnagyobb koncentrációban jelenlévő toxikus gáz a baromfi istállóban, ideális koncentrációja 10 ppm (parts per million) alatt van, de a 25 ppm-es határérték átmeneti elérése rövidtávon még nem okoz problémát. Az ammónia alkalikus hatása miatt irritálja és károsítja a madarak légzőrendszerének nyálkahártyáját és csillóit, ezáltal meggyengítve a légutak védekezési mechanizmusát, teret adva így a légzőszervi kórokozónak (Zuidhof és mtsai., 2014). Szöveti szinten a tüdőben és a légzsákokban gyulladást, a limfoid és goblet sejtek hiperpláziáját, valamint ödémát okozhat (Oyetunde és mtsai., 1978). Tartósan magas légköri koncentrációja szaru- és kötőhártyagyulladást is okoz (Lillie, 1949), valamint a madarak immunválasz készségére is negatívan hat, mivel csökkenti a limfociták proliferációját a perifériás vérben, késlelteti a limfoid szövetek fejlődését és rontja a lizozim aktivitását is (Wei és mtsai., 2015). Brojler és tojótyúk állományoknál a takarmányfogyasztás csökkenését tapasztalták magas ammónia koncentráció esetén (Charles és Payne, 1966). Ezen problémákkal tehát az ammónia mind humán- és állategészségügyi, mind állatjóléti és gazdasági szempontból is nagy károkat képes okozni. Humánegészségügyi szempontból fontos megemlíteni, hogy az intenzív állattartásban, a gazdálkodók körében különösen magas előfordulás jellemzi a légzőszervi betegségeket (Bauer és Coppola, 1993).

2.4.3. A madarak nitrogén anyagcseréje

Az intenzív körülmények között tartott baromfifajok takarmányai nagy mennyiségben tartalmaznak fehérjéket. A brojler takarmányának nyersfehérje tartalma akár 23% is lehet (FAO, 2013). A táplálék felvételét követően a madarak nyálmirigyei mucint kezdenek termelni, egyes madárfajok esetén ez amilázt is tartalmaz (Scanes, 2014). Ez utóbbi azonban nem igaz *Gallus* és *Meleagris* fajokra (Jerrett and Goodge, 1973). A táplálékhoz a nyelőcsőben további mucin keveredik és így halad tovább a begy, majd a mirigyes és zúzógyomor felé (Scanes, 2014). A begyben, amely az oesophagus kiöblösödése, már megfigyelhető kis mértékű fehérjebontás (Rynsbarger, 2009). A gyomorban három fő mechanizmus segíti a további fehérje darabolást:

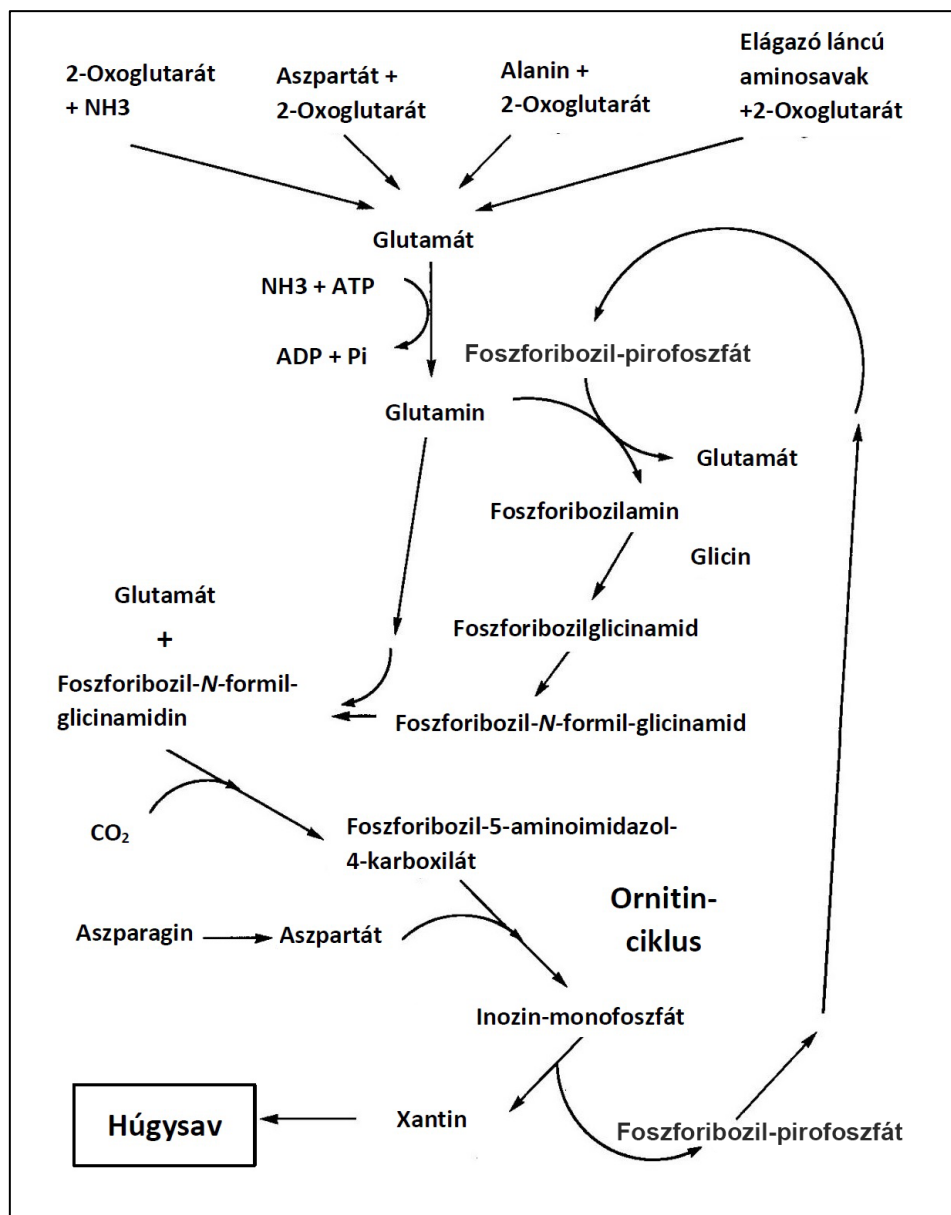
- alacsony pH miatt bekövetkező denaturáció,
- az enzimatis proteolízis és
- a zúzógyomor őrlő mozgása.

A takarmány eljut a proventriculumba (mirigyes gyomor), ahol az oxynticoptic sejtek sósavat (HCl) és pepszinogént termelnek gasztrin hatására. A pepszinogén HCl jelenlétében pepszinné

alakul, amely a proteázok közé tartozó egyik fehérjebontó enzim (Scanes, 2014). A zúzógyomor csak mechanikai funkciót tölt be, szekréció és a táplálék felszívódása ebben a szervben nem történik (Rynsbarger, 2009). A vékonybél a fehérjék emésztésének fő helyszíne. Az itt végbemenő enzimatikus fehérjebontás két meghatározó enzime a tripszin és kimotripszin. Ezen zimogén enzim alakját (tripszinogén és kimotripszinogén) a pancreas termeli, majd a szekréció révén kerülnek a vékonybél lumenébe, ahol aktiválódnak enterokináz enzim segítségével (Scanes, 2014). További enzimek is részt vesznek (elasztáz, karboxipeptidáz A és karboxipeptidáz B) a bontási folyamatban és darabolják a fehérjéket egyre kisebb alegységekre. Végül az aminopeptidáz, dipeptidáz és exopeptidáz enzimek az oligo- és dipeptideket peptidekké és aminosavakká bontják. A proteolízis során képződött molekulák különböző transzport mechanizmusok segítségével felszívódnak a vékonybelek vilusainak falán keresztül (Rynsbarger, 2009). A későbbi bélszakaszok, mint a colon és caecum fehérje-, illetve aminosav bontásban és felszívásban betöltött szerepéről kevés ismeret áll rendelkezésünkre. A fel nem szívódott – nem hasznosult – aminosavak és fehérjék, illetve levált mucosa sejtek a bélsárral együtt távoznak a madár szervezetéből. A felszívódott anyagok közül a felesleg pedig a veséken keresztül kerül kiválasztásra (Scanes, 2014). A takarmány nem megfelelő aminosav-összetétele növeli a nitrogénfelesleg ürülését (Hendriks és mtsai., 2019). A kiválasztás során a fel nem használt nitrogén nagy része húgysav formájában ürül (Scanes, 2014) (**2.2.3. ábra**). A húgysav, karbamid és ammónia (NH₃) becsült relatív megoszlása az ürülékben a következőképpen alakul (Stevens, 1996):

- húgysav – 75%
- karbamid – 5%
- ammónia – 12%

A húgysavtermelés mind a májban, mind pedig a vesében végbemegy, utóbbi az összes húgysav termelés 17%-át adja házi tyúk fajban (Chin és Quebbemann, 1978; Scanes, 2014). A madarakban, ugyanúgy, mint az emlősökben, jelen van a karbamid ciklus, bár az argináz enzim aktivitásuk sokkal kisebb mértékű az emlősökhöz képest (Scanes, 2014; Stevens, 1996).



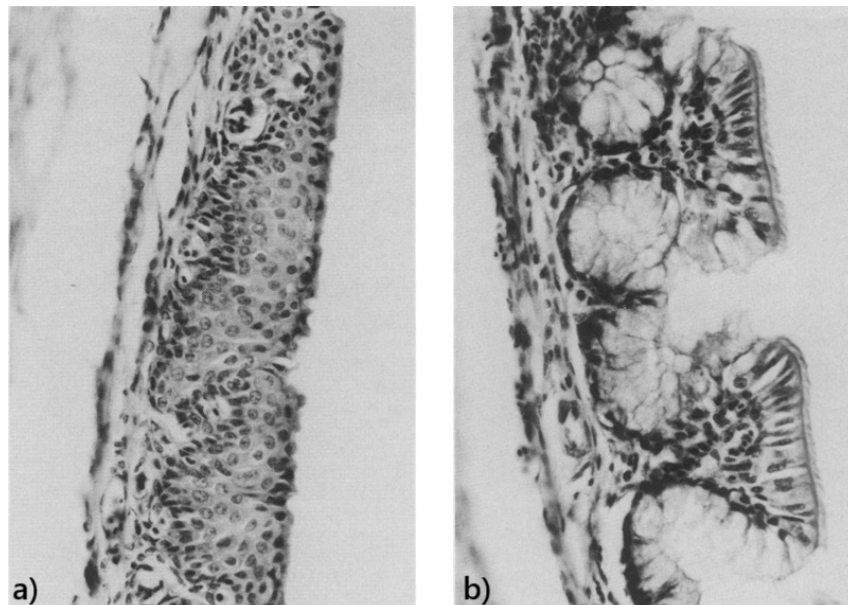
2.2.3. ábra Az aminosavak deaminációja és a húgysav képződése madármájban.
(Lewis Stevens: Avian Biochemistry and Molecular Biology, 2004 nyomán)

2.4.4. Az ammónia élettani hatása a baromfi szervezetére

Az istállók levegőjében gyakran jelen lévő NH_3 az egyik fő levegőszennyező gáznemű anyag a baromfitartó telepeken is (Kristensen and Wathes, 2000). Az ammónia minden típusú baromfi istálló esetében a levegőminőség legkritikusabb tényezője, jelenléte pedig károsan hat az állatok egészségére és teljesítményére (George és Trisha, 2017). Ez a gáz színtelen, szúrós szagú, a nyálkahártyákra, illetve a kötőhártyára nézve erősen irritatív hatású (Muehling, 1970), a sejtek számára rendkívül toxikus (Kwak és mtsai., 2019). A jelenlegi hazai szabályozás szerint a gáz koncentrációja nem haladhatja meg a $9,5 \text{ mg/lég m}^3\text{-t}$ (140/2007. (XI. 28.) FVM rendelet). Ez az érték az Egyesült Királyságban 25 mg/m^3 (Kristensen and Wathes, 2000). Az NH_3 a legtöbb

levegőszennyező gázhoz hasonlóan a bomló trágyából szabadul fel, mértékét pedig részben az egyedsűrűség, az állatok mozgása és a légcseré hatékonysága határozza meg (Kristensen and Wathes, 2000). Az alomból felszabaduló NH_3 mennyiségét befolyásolja még az alom típusa, annak karbantartása – kezelése –, pH-ja, az istálló páratartalma és a hőmérséklet is (Koerkamp, 1994; Madelin and Wathes, 1989; Weaver és Meijerhof, 1991).

Állatjólléti és gazdasági szempontból sem elhanyagolható a magas NH_3 koncentráció hatása a baromfi szervezetére. Az ammónia által okozott egészségkárosodás és teljesítménycsökkenés teszi kiemelt jelentőségűvé ezt a problémakört a baromfiágazat számára. A madarak légzőszervi megbetegedésekkel szembeni ellenálló képessége közvetlen összefüggésben áll az istálló levegőminőségével. Az ammónia roncsolja a madarak légzőszervi védelmi vonalát, így utat nyitva a vírusos és bakteriális kórokozók légzőrendszerbe történő bejutásának. *Galliformes* madarak mérsékelten jól fejlett szaglóhámval rendelkeznek (Scanes, 2014), ennek ellenére a mai napig nem ismert, hogy a baromfik képesek-e az NH_3 érzékelésére. A gáz élő szervezetre gyakorolt káros hatása azonban jól dokumentált (Kristensen and Wathes, 2000). Oyetunde és mtsai. (1978) bizonyították, hogy az ammóniának és a pornak való hosszabb kitettség jelentős változásokat idéz elő a tüdő szövetében: epithelium ciliumának elvesztése (denudatio), gyulladás, limfoid sejt hiperplázia, goblet sejt hiperplázia és légzsákokban fellépő ödéma volt megfigyelhető. Ezek az elváltozások gyakrabban jelentkeztek a mellkasi, mint a hasi légzsákokban (**2.2.4. ábra**).



2.2.4. ábra Ammónia, istállópor és *E. coli* terheltségnek kitett brojlercsirke légcsövének kórszövettani képe. **a)** A trachea epitheliumának fokális laphám metapláziája (H-E festés) **b)** A trachea mucosa mirigyeinek hipertrófiája (H-E festés)
(Oyetunde és mtsai. 1978 nyomán)

A madarak légzőszervi kórokozókkal szembeni elsődleges védelmi vonala a légcső mukociliáris clearance rendszere (George és Trisha, 2017; Marina, 2023). Amikor a madár belélegzi a baktériumokat, vírusokat és egyéb idegen részecskéket – például a tartástérben lévő porszemcséket –, azok csapdába esnek a légcső csillóit borító hámrétegben. A csillók koordinált mozgást végezve, a légcső hámon lévő nyálka réteggel együtt felfelé mozgatják a légcsőhámon megtapadt részecskéket, melyek ezt követően eltávolításra kerülnek vagy az állat lenyeli a légcsőből eltávolított tartalmat. Ennek a részletezett eltávolító – védelmi – mechanizmusnak a működése a légcső nyálkahártyájának épségétől függ. Az állat mukociliáris rendszerét érő hatás miatti bármely károsodás csökkenti a madár azon képességét, hogy a légutakból eltávolítsa a részecskéket és kórokozókat (Oyetunde és mtsai., 1978, George és Trisha, 2017). A mukociliáris rendszer károsodásának leggyakoribb oka az ammónia. Már 25 ppm (az emberi orr számára alig vagy éppen hogy érzékelhető) ammónia koncentrációnál is kialakulhat ciliostasis, azaz a csillók mozgásának leállása vagy bénulása. Ennek következtében bár a légcsőnyálkahártya csapdába ejti a baktériumokat és vírusokat, a megbénult csillók nem képesek eltávolítani azokat, ezáltal ezek a partikulák mélyebbre juthatnak a légzőrendszerben. Magasabb ammóniaszintek az előbb már említett teljes csillóvesztést (denudatio), azaz deciliációt okozhatnak. Ez lehetővé teszi, hogy a vírusok (beleértve a vakcinavírusokat is) és baktériumok könnyedén lejussanak az alsó légutakba. Az apró részecskék – por, baktériumok, vírusok – nem tudnak hatékonyan kiürülni a légzőrendszerből, így a légzsákokba jutva az előbb említett ödémát, illetve légzsákgyulladást idézhetnek elő.

A baromfi fajok fiatal korban, az előnevelési időszakban, továbbá a légzőszervi vakcinák istálló körülmények közötti alkalmazása során a legérzékenyebbek az ammónia okozta nyálkahártya károsodásokra (George és Trisha, 2017; Marina, 2023; Li és mtsai., 2020; Wang és mtsai., 2022; Barbosa és mtsai., 2024;). Az istállóban jelentkező túlzott mértékű pára – nedvességtartalom –, a tömörödött, kergesedett alomrészek nem megfelelő eltávolítása és egyéb nem megfelelő módon végrehajtott alomkezelési technológiák fokozhatják az ammónia képződését, illetőleg felszabadulását az állatok tartásterében. Az alom szakszerű kezelése, alomkondicionáló szerek alkalmazása és a szellőztetés biztosítása – melyek révén az ammóniaszint 25 ppm alatti értéken maradhat – elengedhetetlenek ahhoz, hogy a madarak képesek legyenek megőrizni természetes védekező mechanizmusait a légzőszervi kórokozókkal szemben.

A fentiek túlmenően, a magas NH_3 -koncentrációnak való kitettség keratokonjunktivitist okoz (Lillie, 1970). Ezek a hatások állatjóléti szempontból nemcsak krónikus fájdalom kialakulása miatt aggályosak, hanem azért is, mert a látás csökkenésével a madár nehezebben talál magának táplálékot és ivóvizet (Kristensen and Wathes, 2000). A 25 ppm értéket jóval meghaladó, 70 mg/kg

(70 ppm) NH_3 -koncentráció a baromfi istállóban csökkentette a lizozim aktivitását, a limfociták proliferációját a perifériás vérben, és késleltette a limfoid szövetek fejlődését, megváltoztatva ezzel a madarak immunválasz készségét (Wei és mtsai., 2015). Mind brojler, mind pedig tojótyúk állományban megfigyelték a takarmány fogyasztás csökkenését magas NH_3 koncentráció esetén (Charles és Payne, 1966a, 1966b). Emeash és mtsai. (1997) hasonló eredményre jutottak brojlerekkel kapcsolatban, ahol azonban nem csak a takarmányfogyasztás csökkent, hanem a testtömeggyarapodás és a fajlagos takarmányhasznosítás is. Schiffman és Nagle (1992) megállapítása szerint a takarmányfelvétel abból az okból is csökkenhet, hogy a légköri szennyező anyagok, apró részecskék kölcsönhatásba léphetnek a nyállal, amely megváltoztathatja az állatok ízérzékelését.

2.4.5. Az ammónia-szint szabályozásának jelentősége baromfinevelés során

A frissen ürített baromfi ürülék nitrogéntartalmának körülbelül 50-75%-a húgysav formájában van jelen. A húgysav több lépéses biokémiai folyamat során rövid idő alatt ammóniává alakul. Az ürülék bélsár komponensében lévő fehérjék ammóniává történő átalakulása bakteriális hatásra, lassabb folyamat révén megy végbe. Az alomban ammóniává alakuló nitrogén mennyisége teljes mértékben a takarmányozási receptúrától függ (George és Trisha, 2017). A szükségleteket meghaladó minden 1% nyersfehérje-tartalom kb. 10%-kal növeli az ammóniaképződést (Hegedüs, 1993; Ferguson és mtsai., 1998a, 1998b). Továbbá, minél több takarmányt fogyasztanak az állatok az istállóban, annál több nitrogén halmozódik fel ammónia formájában a tartásterekben az állomány nevelése során. Példaként egy kb. 1 800 m² alapterületű istállóban nevelt kis testtömegű 32 000 1,8 kg élősúllyal rendelkező egyed tartalmazó állomány, 1,8 kg/kg fajlagos takarmányhasznosítási aránnyal (FCR) körülbelül 100 000 kg takarmányt fogyaszt el a teljes tartási időszaka folyamán. Ha ugyanekkora méretű istállóban 21 300 3,6 kg súlyú madarakat tartanak 2,0 kg/kg fajlagos takarmányhasznosítási arány mellett, az állomány teljes takarmányfogyasztása több mint 150 000 kg volna – ez hozzávetőlegesen 50%-os növekedést jelent a kis testtömegű állományhoz képest. A takarmány fehérjetartalmának különbsége ellenére is az ammónia terhelés jelentősen magasabb egy 3,6 kg-os baromfi nevelése után keletkező trágyás alomban, mint egy 1,8 kg-os madár esetében. A nagyobb testtömegű állományok esetén az egy bizonyos időszakra eső nitrogén-képződés is nagyobb, ezért az előnevelési időszakban több ammóniát kell kezelni, mint kisebb testtömegű állományoknál. A standard referenciaértékek szerint egy 7 élethetes brojlercsirke napi átlagos nitrogénürítése 1,97 g, míg egy 9 élethetes madáré 2,61 g (NRC, 2003).

Az ammónia az alomban lévő húgysav bakteriális lebontása révén keletkezik. A húgysav, a víz és az oxigén enzimatis reakciók során ammóniává és szén-dioxiddá (CO_2) alakul. Az

ammónia képződése a trágya mikrobiális lebomlásával aerob és anaerob körülmények között egyaránt folytatódik. Az ammónia nem rendelkezik ionos töltéssel, ezért gáz halmazállapotban viszonylag könnyen szabadul fel. Miután az ammónia gázhalmazállapotba került, az alomból történő ammónia-gáz kibocsátásának sebességét két fő tényező határozza meg: a felületi kitettség és a hőmérséklet. Az állományok közötti, úgynevezett szervizidőszakban végzett intenzív trágyás alommozgatás megnöveli az alom felületi kitettségét, ezzel elősegítve az ammónia párolgását, így gyorsítva annak távozását az alomból. A magasabb hőmérséklet tovább fokozza ezt a folyamatot. Minden, ami felgyorsítja a víz párolgását az alomból, egyben gyorsítja az ammónia légtérbe történő kibocsátását is. Ezért figyelhető meg magas környezeti ammóniaszint azon gazdaságokban, ahol finomszemcsés, poros alom anyagot használnak (Elliott, 1982). Ahogy az alomkezelés többi eleménél is, itt is kulcsfontosságú, hogy az alom nedvességtartalma és egyéb jellemzői optimális – sem túl száraz, sem túl nedves – tartományban maradjanak, hogy az ammóniakibocsátás sebessége csökkenthető legyen (George és Trisha, 2017).

Az ammónia nem illékony ammóniummá (NH_4^+) alakításához savas közeg szükséges. Ezért a leghatékonyabb kémiai alomkezelő készítmények savas kémhatásúak (többségük szulfátalapú), amelyek az illékony ammóniát stabil ammóniumsulfáttá alakítják. Az ammóniatermelés a 7,0 pH értékhez közeledve fokozódik, és 8,0 felett éri el csúcspontját (Elliott, 1982). A frissen ürített baromfitrágya, valamint az alom pH-ja jellemzően 7,5 és 8,5 közötti. Becslések szerint a trágya nitrogéntartalmának 50-80%-a alakul ammóniává (Ritz és mtsai., 2004).

2.2.3. táblázat A különböző légköri ammónia koncentrációk baromfi-egészségügyi hatásai (Anderson és mtsai., 1964; Nagaraja és mtsai., 1983; Kleven és Glisson, 1997 nyomán)

Légköri NH_3 koncentráció	Káros hatások
20-25 ppm (folyamatos kitettség 6 héten keresztül)	tüdődödéma, vérzés, fokozott érzékenység légzőszervi betegségekkel szemben a ciliosztázis következtében
40 ppm	légcső nyálkahártyák csilló pusztulás és csökkent mértékű <i>E. coli</i> clearance a tüdőből és légcsákokból
25-50 ppm	csökkent testtömeg, rosszabb takarmányhasznosítás, fokozott légzsákgyulladás fertőző bronchitis vírusnak történő kitettség (IBV) esetén
50-100 ppm	keratokonjunktivitisz, szaruhártyafekély, vakság

2.5. A baromfitartásban használt alomtípusok és alomkezelési lehetőségek

A hízóbaromfi ágazatban az alomkezelés múltbeli, jelenlegi és jövőbeni gyakorlatai jól tükrözik az iparágat érintő folyamatosan változó kihívásokat, lehetőségeket és új technológiai megoldásokat. Amikor a nagyüzemi baromfitartásban alomkezelésről beszélünk, fontos szót ejteni az alom típusairól, az alomanyag termelés alatti és állományok közötti kezelésére, valamint azokra a feltörekvő kihívásokra, amelyek új technológiák bevezetését tehetik szükségessé a hagyományos alomkezelési rendszerek módosítása érdekében. Fontos továbbá megjegyezni, hogy az eltérő régiós sajátosságok és a baromfiágazat sokszínűsége miatt nem létezik olyan egységes alomkezelési program, amely minden követelménynek maradéktalanul megfelelne. Ugyanakkor minden alomkezelési programban vannak alapvető szempontok, amelyek meghatározóak az állatok egészsége, jólléte és termelési eredményei szempontjából. Ilyen szempontok közé tartozik az alom kora, pH-ja, nedvességtartalma és hőmérséklete közötti kölcsönhatás, különös tekintettel ezek levegőminőségre és patogén-terhelésre gyakorolt hatására, valamint az ammónia felszabadulásának következményeire (George és Trisha, 2017).

A meghatározás szerint a baromfi tartásterében lévő – használatban lévő – alom (angol *litter*) a szerves hulladékok keverékeként értelmezhető, amely alom (angol *bedding*) anyagból, ürülékből, tollakból, kiszóródott takarmányból és vízből (nedvességből) áll (Zeynal és mtsai., 2021). Amikor az ipari baromfitermelés az 1920-as években megjelent, az egyik általános gyakorlat világszerte az volt, hogy minden állomány után teljesen eltávolították az almot, fertőtlenítették az ólat, és új alomanyagot helyeztek be. Az új alomanyag kiválasztása gyakran a helyben könnyen elérhető anyagokra korlátozódott; például tengerparti homok, szalma, kukoricacsutka, fűrészpor stb. Az Egyesült Államokban alomkezelés alapelveinek jobb megértésével, a baromfitartó istállók professzionális szellőztetés-technológiájának megfelelő alkalmazásával és hatékonyabb egészségügyi programok (gyógyszerek, kokcidiosztatikumok, majd végül vakcinák) megjelenésével az amerikai baromfiágazat fokozatosan áttért az évenkénti egyszeri teljes alomeltávolításra (George és Trisha, 2017).

Kutatások igazolták, hogy az újra felhasznált almon nevelt brojlercsirkék egészségi és táplálkozási szempontból előnyöket élvezhettek, feltehetően a korábbi állományokból származó normál bélfloreával és *Eimeria*-oocisztákkal való találkozás révén (Garcés-Gudiño és mtsai., 2018; Bucher és mtsai., 2020; Nouri, 2022; Priscile és mtsai., 2023). Az évi egyszeri teljes alomeltávolítás időszakai közötti ciklusokban az egyes állományok elszállítását követően csak a nedves, összeállt alomréteget távolították el a tartásterekből, de a használt alomanyag nagy része ott maradt. A korszerűen, modern technológiával kialakított istállók, szellőztetési rendszerek és

berendezések (például automata itató és etetőrendszer), valamint a használt alomból felszabaduló ammónia megkötésére, illetve eltávolítására szolgáló hatékonyabb műveletek, illetve beavatkozások lehetővé tették az alom hosszabb távú – állományokon átívelő – újra hasznosítását. Az európai országokban nem alakult ki ez a gyakorlat és manapság sem alkalmazzák az ipari baromfitermelésben, az Egyesült Államokban ma számos hús típusú házityúk (brojlercsirke) tartó gazdaságban évente végeznek teljes alomanyag-eltávolítást (kitrágázást), persze jó pár telepen továbbra is minden állomány után cserélik az alomanyagot, ugyanakkor vannak szélsőséges példák olyan gazdaságokra is, ahol akár több éven keresztül is használják ugyanazt az almot a teljes alomcsere előtt. Az alomkezelés mára, a 21. században tovább fejlődik olyan módon, amely során a telepeken igyekeznek egyensúlyt teremteni az alomanyag költségei, elérhetősége, nem utolsósorban minősége, továbbá az antibiotikum-használat minimalizálására törekvő termelési gyakorlatok, az új istálló- és berendezéstechnológiák, valamint az olyan külső tényezők között, mint például a környezetvédelmi irányelvek, amely jelentős befolyással lehet a gazdaságokban képződő hulladékok képződésére és az ammónia emissziójára (George és Trisha, 2017).

2.5.1. Az alom jellemzői és típusai – nemzetközi trendek

Az alomanyag (angol *bedding*) – mint az alom (angol *litter*) egyik fő komponense – számos alapvető funkciót lát el. Megfelelő területet biztosít a madarak ideális komfortérzete számára a járáshoz és pihenéshez, lehetőséget biztosít a porfürdőzési ösztönös viselkedés gyakorlásához, és hígítja az ürüléket. Az alomanyag elősegíti az itatókból kifröccsenő víz felszívását és a gyors száradást tesz lehetővé – megfelelő légtechnikával kiegészítve –, továbbá hőszigetelést biztosít a fiatal, a thermoregulációs mechanizmusokkal még nem rendelkező napos baromfi fajok számára a tartástér padozatának hűtő hatásával szemben, ezen túlmenően megfelelő közeget teremt az alom belsejében zajló komposztálódási – fermentációs – folyamatokhoz. A trágyaként történő felhasználás esetén az alomanyag növényi tápanyagokat és szerves anyagot szolgáltat, ideális fizikai tulajdonságai pedig javíthatják az alom továbbhasznosítási lehetőségeit különböző hulladékkezelési eljárások során (George és Trisha, 2017; Hutu és Onan, 2019).

A megfelelő alomanyag kiválasztásánál számos fontos, kritikus tényezőt szükséges figyelembe venni. Az anyagösszetétel, szerkezet, forma és méret együttesen kellő nedvszívó képességet kell biztosítson az ürülékből és az itatókból származó nedvesség felszívására, ugyanakkor ellenállónak kell lennie az alom tömörödésével, rátapadásával szemben. Ennél is fontosabb, hogy a felvett nedvességet gyorsan képes legyen leadni a környezeti levegőbe, hogy a szellőztetőrendszer hatékonyan eltávolíthassa azt. Ideális esetben az alomanyag kezdeti nedvességtartalma nem haladhatja meg a 20%-ot, és nem tartalmazhat finom részecskéket,

amelyek poros környezetet eredményezhetnek. Az alomanyag nem tartalmazhat éles vagy szilánkos részecskéket, amelyek felsérthetik a madarak lábát vagy mellét, illetve lenyelés esetén egészségügyi kockázatot jelenthetnek. Nem tartalmazhat olyan kórokozó mikroorganizmusokat vagy szermaradványokat, amelyek veszélyeztethetik az állatok egészségét, vagy élelmiszerlánc-biztonsági kockázatot jelenthetnek. Azon alomtípusok, amelyek méretükben, textúrájukban és színükben hasonlítanak a takarmányhoz – különösen az élénk színű részecskék – ösztönözhetik a nem kívánatos „alom evés” (angol *litter eating*) abnormális viselkedést, ami negatívan befolyásolhatja az állatok egészségét, jólléti körülményeinek biztosítását és teljesítményét. Ez különösen jelentős probléma a pulykatartásban, ugyanis a pulyka faj fokozott hajlamot mutat ezen abnormális viselkedésre (Kaboudi és mtsai, 2015). Az olyan alomanyagok, amelyek kellemes illatúak és világos színűek (például fenyőfa forgács), általában elfogadottabbak, mint a sötét, szennyezett színű és kellemetlen szagú anyagok. Kerülni kell a gyúlékony anyagok használatát, különösen nyílt lánggal működő fűtésrendszerű baromfitartó épületek esetében; vagy ezeknél az típusú alom anyagok esetében megfelelő tűzálló kezelés alkalmazása lehet szükséges. A legpraktikusabb és legszélesebb körben elfogadott alomanyagok rendszerint azok, amelyek könnyen beszerezhetők a szezontól függetlenül, kis tömegűek, jól kezelhetők a szokványos anyagmozgató berendezésekkel, könnyen elteríthetők az állattartó épületekben, és nem utolsó sorban olcsóak. A nemzetközi gyakorlatban egyre inkább szemponttá válik, hogy az alomanyag kiválasztása összhangban legyen az alom későbbi – az istállóból történő eltávolítást követő – hasznosíthatósági módjaival. A környezetvédelmi aggodalmak miatt korlátozódhat az alom mezőgazdasági kijuttatása, és inkább alternatív hasznosítás – például biomasszaként történő energia-előállítás – irányába terelődhet. Ezért is lényeges olyan alomanyagot választani, amely támogatja és illeszkedik a termelés utáni hulladékhasznosítási stratégiához. Végül soron az alomanyag sikeressége azon múlik, mennyire szolgálja a baromfi teljesítményét és egészségét, mennyire elérhető és költséghatékony, valamint egyre inkább azon is, mennyire illeszkedik a hulladékhasznosítási programhoz és a környezetvédelmi követelményekhez. Végül, a megfelelő alomanyag kiválasztása függhet az adott országrésztől, a tartott baromfi típusától, a termelési gyakorlattól, az ól és a technológiai felszereltségtől, valamint a gazdaság irányítási színvonalától (George és Trisha, 2017).

Az baromfitartásban szóba jöhető potenciális alomanyagok esetén négy fő kategóriát lehet említeni: faipari melléktermékek, növényi maradványok, újrahasznosított hulladéktermékek és ásványi/föld alapú anyagok (**2.3.1. táblázat**). Malone (1992) és Grimes és mtsai. (2002) részletes tanulmányt készítettek ezen potenciális alomforrást jelentő anyagokról. Az alábbiakban az említett szerzők összefoglalója és más kutatások alapján kerülnek ismertetésre a baromfitartásban használható, alternatív alomanyag típusok.

Faipari melléktermékek

A faforgács, különösen szárított formában (kb. 12% nedvességtartalom), az egyik legalkalmasabb alomanyag, de a minősége és elérhetősége régióként változhat. Fő hátránya az alomtömörödés, továbbá, hogy viszonylagos költséges lehet a beszerzése. Az európai országokban a szalma, illetve szalmapellet mellett ez az egyik legelterjedtebb alomanyag típus.

A fűrészpor, különösen az amerikai kontinensen népszerű, azonban a magas nedvességtartalom, apró részecskeméret és porosodás miatt előnytelen lehet. Fokozott alomevési kockázattal jár fiatal baromfi fajok, különösen pulykák esetében (Kubena és mtsai., 1964; Malone és mtsai., 1983). A keményfákból származó anyagok gombákat hordozhatnak, így a pneumomycosis kialakulása szempontjából kockázatosak lehetnek (Dyar és mtsai., 1984), és tannintartalmuk antinutritív hatású (George és Trisha, 2017).

A faforgácsok és raklapok újraőrölése, valamint faalapú pelletált rostanyagok alkalmazása javíthatja az istállók levegőminőségét, jó vízmegkötő képessége révén, bár alkalmazásuk költséghatékonysági korlátokba ütközik.

A fenyő- és keményfakéreg, továbbá fenyőtű és lomb alkalmazása megfelelő részecskeméret mellett ígéretes lehet (Garcia és mtsai., 2012; Garcês és mtsai., 2013; Diarra és mtsai., 2021), bár a gombás szennyeződés kockázata fennáll (Randall és mtsai., 1981; Waldrip és mtsai., 1974).

Humphreys (1979) tanulmányában leírta a növényvédőszerrel szennyezett faalapú alomanyagon nevelt baromfik mérgezését. Alapvető követelmény, hogy minden alomanyag olyan forrásból származzon, amely nem jelent állategészségügyi vagy a szermaradványok következtében élelmiszer-biztonsági kockázatot. A frissen feldolgozott fákból származó alomanyagok általában a legkisebb szennyeződési kockázatot jelentik az összes alomtípus közül (George és Trisha, 2017).

Növényi maradványok

A rizshéj a faforgácshoz hasonló tulajdonságokkal bírhat, míg a földimogyoró-, napraforgó- és kakaóbabhéj alkalmazása porosodási és gombás szennyeződési kockázatot rejthet (George és Trisha, 2017), de egyik alomanyag sem elterjedt jelentős mértékben a gyakorlatban.

A szalma, főként aprított – szecskázott – búzaszalma formájában, gyakori alomanyag, de hajlamos az alomtömörödésre, kezelése gépesítést igényel (Nakaue és mtsai., 1995). Egyik kedvező felhasználási formája a szalmapelletként történő alkalmazása, mely kifejezetten kedvező vízmegkötő képességgel rendelkezik.

Az óriás japánfű (*Miscanthus*) célzott termesztése egyre gyakoribb az USA-ban (George és Trisha, 2017), míg a *cukornádpép* alkalmazásával kapcsolatos vegyes eredmények születtek (Teixeira és

mtsai., 2014; Diarra és mtsai., 2021). Más növényi melléktermékekkel – mint kukoricaszár, gyapot, citrusfélék stb. – is zajlanak vizsgálatok (George és Trisha, 2017).

Újrahasznosított hulladéktermékek

A papírdarálék, különösen a szójaalapú festéket tartalmazó újságpapír esetében potenciális alomanyag, ám hajlamos a tömörödése (Villagrá és mtsai., 2011; Somnez és mtsai., 2022; Diarra és mtsai., 2021). Kevert vagy a már tartástérben kiszórt más anyagú alom felületére kijuttatva, fedőréteggént történő alkalmazása előnyös lehet. A feldolgozott papír- és farostanyagok kedvező eredményeket mutattak (Malone és mtsai., 1982; McMullen és mtsai., 2005).

Kutatások azt is vizsgálták, hogy a komposztált kommunális hulladék javíthatja a brojlercsirkék teljesítmény mutatóit (Malone és mtsai., 1983; Zehnder és mtsai., 1998, Olinde és mtsai., 1969). Bár a komposztált tejipari szilárd frakciók alomként történő újrahasznosítása hatékonynak bizonyult tejelő szarvasmarhák alomanyagaként, pulykaelnevelés során alkalmazva ez az anyag csak korlátozott sikerrel járt, részben a túlzott mértékű portartalma miatt, amely előnytelenül befolyásolta az állatok növekedését, nevelését (Frame és mtsai., 2004). Bár a brojlercsirke- és szarvasmarha-kísérletek során a kommunális hulladékból készült komposzt anyag nehézfém tartalma elfogadható határértékeken belül mozog, a komposztkészítéshez felhasznált nyersanyagok szigorú, folyamatos minőségellenőrzése elengedhetetlen, ha azokat élelmiszertermelő állatoknál kívánják újrahasznosítani.

Újrahasznosított gipszkarton alkalmazásával kedvezően befolyásolható az alom pH-ja és az ammónia-emisszió (Wyatt és Goodman, 1992; Grimes és mtsai., 2006; Watts és mtsai., 2020), de főként fedőréteggént ajánlott. A faforgácslap (OSB) hulladék ígéretes lehet pulykatartás esetében (George és Trisha, 2017).

Ásványi és föld alapú anyagok

A homok (különösen durva szemű típusok) brojler neveléshez ígéretes alom alapanyag lehet, ellenben a pulykatartással, ahol nagy eséllyel okozhat begyeltömődést az állatoknál (Shields és mtsai., 2005; Asaniyan és mtsai., 2006; Strasifták és Juhás, 2023). A porosodás és – nem megfelelő szellőzéstechnika mellett – az ammónia-képződéskockázata a homok alomként történő alkalmazása esetében fennáll, gazdaságosan csak helyi forrásból biztosítható.

A tőzeg kiváló nedvszívó, de porosodási hajlama és magas költsége miatt csak kiegészítő alomkomponensként javasolt (George és Trisha, 2017; Kaukonen és mtsai., 2017; Strasifták és Juhás, 2023).

2.3.1. táblázat A baromfitartásban leggyakrabban használt alomanyagok általános jellemzői

Alomanyag típusa	Megjegyzések
Forgács és fűrészpor	Gyakorta alkalmazott alomanyag, különösen a puhafa (pl. fenyő). Egyes keményfafajok penészgomba terheltsége magas lehet. Az üzemi melléktermékek vagy nem megfelelően tárolt anyagok esetében számolni ki a kezdeti magas nedvességtartalommal.
Faapríték és kéreg	Korlátozottan használhatók, de megfelelő szemcseméret és forma – pl. éles daraboktól mentes felhasználás – esetén, bár korlátozottan, de alkalmazzák bizonyos területeken.
Terméshéjak	A rizshéj jó alomanyag, gyakran forgáccsal keverve használják. A földimogyoróhéj elfogadható, de nehezen teríthető és penészedésre hajlamos. A napraforgó- és kakaóbabhéjakat korlátozottan használják. A héjak <10% nedvességtartalom esetén megfelelőek, de finom részecskék esetén porosak lehetnek.
Szalma	A búzaszalma az egyik leggyakrabban használt alomanyag, amelyet vagy szecskázva kell alkalmazni vagy szalmapellet formájában a filcesedés elkerülése érdekében. Speciális gépek szükségesek a feldolgozáshoz és elterítéshez. Gyakran meglévő használt alomra fedőréteggént alkalmazzák.
Aprított papír	A papír hajlamos a filcesedésre, különleges kezelést igényel, és gyakran csak fedőréteggént használják. A pelletált vagy golyósított papír jobb fizikai tulajdonságokkal bír. Fontos a papírforrás minőség-ellenőrzése a maradványanyagok elkerülése érdekében.

Jövőbeli lehetőségek az alomtípusok területén

Az elmúlt kb. 80 évben – az ellátási hiányok és az emelkedő költségek eredményeképp – intenzív kutatások folytak az alternatív alomanyagok terén. Ezek az aggodalmak az utóbbi 10-20 évben tovább fokozódtak, és várhatóan még komolyabb problémává válnak a baromfiipar számára, mivel egyre több iparág versenyez a melléktermékek meglehetősen korlátozott készleteiért. Az alomanyag iránti kereslet exponenciálisan nemzetközi szinten növekszik, ahogy a baromfitermelés egyre inkább áttér az antibiotikum-mentes és ökológiai termelésre, ami kisebb állomány-sűrűséget és hosszabb szerviz (üresen állási) időszakot igényel, amely ezáltal egyes baromfitartó gazdaságokban akár 25%-kal is megnövelheti a szükséges alapterületet (George és Trisha, 2017).

Bár megfelelő alternatívák már most is léteznek, és várhatóan a jövőben is megjelennek a helyi igények kielégítésére, ezek gyakran nem elegendőek az egész iparág szükségleteinek kiszolgálásához. Mivel a szalmapellet, fenyőforgács, továbbá a fapellet és fűrészpor számítanak a leghasznosabb, egyben legkönnyebben hozzáférhető alomanyagoknak az európai országokban, a baromfiágazati szereplőknek feltehetően hosszú távú megállapodásokat kell kötnie olyan beszállítókkal, akik garantálni tudják a megfelelő minőséget – akár dedikált alomgyártó létesítmények kialakításával is. Ahogy az állategészségügyi programok és az alom-menedzsment, illetve istállóitartástechnológia fejlődik, az ilyen prémium minőségű anyagok használatával járó

többletköltségek részben ellensúlyozhatók a jobb termelési mutatókkal és az alomanyagaok esetleges újrahasznosításával a mezőgazdaságban.

2.5.2. Alomkezelési technológiák a baromfitartásban

A baromfiállományok teljesítménye, egészségi állapota és jólléte szoros összefüggésben áll az istállókban alkalmazott alomanyag fizikai és mikroklimatikus tulajdonságaival. Az alom minősége, különösen annak nedvességtartalma, a tartástechnológia kulcseleme, amelynek helyes szabályozása nélkülözhetetlen a produktív és egészséges baromfineveléshez.

Az ideális alom nedvességtartalma kevesebb mint 20%, finom portól mentes, valamint hőkezelt állapotban kerül kihelyezésre, hogy minimalizálja a fertőzési nyomást és javítsa a hőkomfortot (Wilkinson és mtsai., 2011; Tabler és mtsai., 2024). A nedves alom hőelvonó hatása következtében a padlófelület hőmérséklete jelentősen csökkenhet, ami kedvezőtlen hatással van a napos baromfi termoregulációjára, takarmányhasznosítására és immunállapotára (Czarick és Fairchild, 2002). Az előnevelési időszakban kiemelten fontos a megfelelő előfűtés és a relatív páratartalom 50–60% közötti tartása a hatékony alomszárítás érdekében (Aviagen Turkeys, 2022; Hybrid Turkeys, 2022; Aviagen, 2025).

Az alomréteg vastagsága közvetlenül befolyásolja a nedvességmegtartó és -leadó kapacitást, így annak egyenletes kialakítása, valamint legalább 10–15 cm-es mélysége ajánlott a tömörödés megelőzésére. Állathigiéniai, illetve állomány-egészségtani szempontokat figyelembe véve az alomkezelés a nevelési periódus alatt az egyik legfontosabb beavatkozási pont a higiénias állapotok, az ammóniaemisszió és a kórokozó-terhelés szabályozása szempontjából (Liu és mtsai., 2007; George és Trisha, 2017; Pepper és mtsai., 2021; Bist és mtsai., 2022).

A nedvesség, illetve pára lehetséges forrásai között szerepel a légzési és metabolikus vízleadás, a kondenzáció, valamint az itatórendszerek szivárgása – utóbbi az egyik leggyakoribb és legnagyobb hatású tényező, amely az alomtömörödés, felázás kialakulásához vezet. A nedvességtartalom ellenőrzésére a „markoláspróba” egy a gyakorlatban elterjedt, bár szubjektív módszer, amely gyakorlatilag az alom tapintása alapján ad tájékoztatást (Ritz és mtsai., 2005; Dunlop és mtsai., 2016; George és Trisha, 2017; Shepherd és mtsai., 2017).

A relatív páratartalom jelentősége különösen az előnevelés első hetében kritikus: 65% feletti érték tartósan nedves, fertőzőshordozó alomréteg kialakulásához, míg 50% alatti érték légúti irritációhoz és dehidratációhoz vezethet, különösen fiatal állatok esetén (George és Trisha, 2017; Weaver és Meijerhof, 1991). A szellőztetési rendszer fő feladata tehát a páratartalom szabályozása, amihez megfelelő légáramlási irány és intenzitás szükséges, különösen hideg időszakban (Hybrid Turkeys, 2020; Ecim-Djuric és Topisirovic, 2021; Shin és mtsai., 2023).

A takarmányozási és állategészségügyi tényezők is hozzájárulnak az alom nedvességtartalmának alakulásához: különféle bélgyulladások, mikotoxinok, túlzott nátriumbevitel, rosszul emészthető takarmány komponensek vagy a nem megfelelő vízminőség mind híg bélsárürítést – hasmenést – válthatnak ki, ami az alom minőségének felgyorsult romlásához vezethet (Dunlop és mtsai., 2015, 2016a, 2016b).

Összefoglalva, az alom nedvességtartalmának optimális tartományban tartása – a tartástechnológiai, környezeti és biológiai tényezők együttes figyelembevételével – kulcsfontosságú a baromfitartás hatékonysága, állategészségügyi biztonsága és állatjólléte szempontjából.

2.5.3. Az alom szerepe az egészséges bélflóra kialakulásában

Az alom mikrobiális ökoszisztémája alapvető szerepet játszik a baromfi korai bélflórájának kialakításában. Bár a teljes higiéniai ciklus (alomcsere, tisztítás, fertőtlenítés) általánosan elfogadott gyakorlat, egyes nemzetközi kutatások szerint ez kedvezőtlenül befolyásolhatja a bélflóra korai kolonizációját, növelve az elhalásos bélgyulladás (angol *necrotic enteritis*, NE) kockázatát. Az újrahasznosított alom stabilabb mikrobiális közösséget biztosít, amely elősegíti a normál bélflóra gyorsabb kialakulását, ezáltal csökkentve az elhalásos bélgyulladás incidenciáját (Johnson, 2015).

Egyes alomkezelő szerek, például a nátrium-biszulfát és hangyasav-alapú készítmények, szelektíven módosítják az alom mikrobiológiai összetételét, előnyben részesítve a hasznos baktériumokat, mint például a tejsavtermelő fajok. A nátrium-biszulfát alkalmazása bizonyítottan csökkenti az alom teljes baktériumszámát, valamint az *E. coli* és *Clostridium perfringens* koncentrációját (Pope és Cherry, 2000). Laboratóriumi és üzemi kísérletek szerint a kezeléssel elért pH-csökkenés jelentősen gátolja a *Clostridium spp.* szaporodását, és akár kimutathatósági határ alá is szoríthatja jelenlétüket (Mutalib és mtsai., 1997; Terzich, 1997). Többszöri alomkezelés során a gangrénás dermatitisz előfordulása és mortalitása szignifikánsan csökkent. Hasonló eredmények születtek hangyasavas alomsavanyítás esetén is, ahol alacsonyabb *Clostridium perfringens* és *Enterococcus spp.* szinteket mértek a béltartalomban (Novoa és mtsai., 2004).

2.5.4. Alomanyag-kezelési megoldások

Az állattartás során keletkező nagy mennyiségű trágya és egyéb maradék anyagok jelentős környezetszennyezők. Ezeken túl járványtani veszélyt is hordoz magában, a benne található számos patogén mikroorganizmus miatt (Shih, 1993). A madarak alatt lévő alomanyagban felhalmozódott húgysavat az ott előforduló baktériumok nagy része karbamiddá alakítja. A

karbamid→ammónia átalakulást többek között, leginkább a *Corynebacterium*, *Micrococcus*, *Alcaligenes*, *Achrornobacter* és *Cytophaga* fajok végzik (Schefferle, 1965).

Az alomanyag minőségét két fő tényező befolyásolja: az állatok takarmányozása (Francesch és Brufau, 2004), illetve az alomkezelési módszer (McCrary és Hobbs, 2001; Patterson és Adrizal, 2005). Előbbinél fontos szerepet játszik az optimális fehérjebevitel, az elektrolit háztartás, a nem keményítő poliszacharidok és rostok mennyisége és kiegyensúlyozott aránya (Francesch és Brufau, 2004). Az azutóbbiban a különböző savas vagy bázikus vegyületek, enzimek, baktériumok, abszorbensek vagy más alomkezelőanyagok használata (McCrary és Hobbs, 2001; Patterson és Adrizal, 2005).

Természetes anyagokat, mint amilyen a zeolit is, alkalmaznak, ami a madarak növekedésére, teljesítmény mutatóira és a húsminőségére gyakorolt pozitív hatásain túlmenően az alomra is kedvező hatást gyakorol (Banaszak és mtsai., 2021; Christaki és mtsai., 2001; Karamanlis és mtsai., 2008). A zeolit egyrészt képes megkötni az NH_3 -t, így csökkenti a bélmikrobióta által termelt és felszabaduló toxikus NH_4^+ -ionok mennyiségét (Shurson és mtsai., 1984), másrészt pedig késlelteti béltartalom előre haladását (passzázs), ami elősegíti a hatékonyabb tápanyag felhasználást (Mumpton és Fishman, 1977; Olver, 1997). Különböző alomanyagokhoz hozzáadott zeolit, – alomanyagtól függően –, különböző mértékben járult hozzá az NH_3 megkötéséhez (Nimenya és mtsai., 2000).

Az állatok nevelése során fennálló, az alom minőségét károsan befolyásoló hatások megfelelő almozással csökkenthetők (Hetényi és Korbacska-Kutasi, 2019). A száraz, tiszta alomanyag megfelelő mennyiségben történő biztosítása alapvető jelentőségű, de ezen túlmenően számos alomkezelési technika, módszer létezik, melyek alapvetően a következő három csoportba sorolhatók.

Az alomkezelő szerek alkalmazása az elmúlt évtizedben exponenciálisan növekedett a baromfiiparban. Becslések szerint az Egyesült Államokban előállított brojlerállomány közel felét, valamint a növendékállományok jelentős részét ammónia-megkötő alomkezelő szerrel kezelt alomra helyezik ki (George és Trisha, 2017). A pulykatenyésztésben az alomkezelő szerek alkalmazása elsősorban a hizlaló (utónevelő) gazdaságokban elterjedt, bár az előnevelő istállóknban is előfordul. Noha egyes alomkezelő szerek hatékonyan csökkentik az alomban lévő baktériumok számát, és elősegítik a tejsavtermelő baktériumok és más normál bélflóra tagjainak elszaporodását, az alkalmazásuk fő célja az ammónia kontrollálása, ezáltal az állatjólléti és a teljesítménymutatók javulása, nem utolsósorban a jövedelmező baromfitermelés megvalósítása (George és Trisha, 2017).

Fizikai alomkezelési és technológiai módszerek

A modern, nagyüzemi állattartás leggyakrabban zárt vagy félig zárt térben, istállókban történik, melyekben az állatok életműködése és az egyes technológiai folyamatok megváltoztatják a levegő gázösszetételét, annak hőmérsékletét, illetve nedvességtartalmát. A belső, „elhasználódott” levegőt ezért folyamatosan cserélni kell külső, friss levegővel, melyet a szellőztetőrendszerek biztosítanak. Általánosságban elmondható, hogy termoneutrális zónában az állatok fajának, fajtájának és korának megfelelően az optimális légmozgás 0,05-0,3 m/s közötti (Kovács, 1990). Baromfi istállók esetén az alagút- és keresztzellőzés a legelterjedtebb. A megfelelő légtechnika beállítása nagy körütekintést igényel. Nem csupán az alom szárazon tartását kell figyelembe venni, de az állatok komfortérzete és téli időszakban a meghűlés elkerülése is kifejezetten fontos, ezáltal számos állomány-egészségügyi probléma elkerülhető. Az alom megfelelő állapotának, szárazságának fenntartását is nagyban befolyásolja a szellőzés, mely az ammónia termelődését is csökkenti, hisz minél kevésbé nedves az alom, a mikroorganizmusok annál kevesebb ammóniát képesek előállítani. Az alom szellőztetésének, illetve szárazon tartásának egyik lehetséges módszere az alomforgatás, mely során bizonyos időközönként a mélyalmot „megforgatják”, miközben friss alomanyagot kevernek hozzá. Ez megváltoztatja az alom fizikai szerkezetét, hiszen a forgatás hatására kisebb darabokra esik szét az összetapadt alom, így az alomanyag nagyobb felületen tud átszellőzni, és szárazabban tartható (Pepper és mtsai., 2021).

Másik oldalról azonban, ha a forgatást nem kellő rendszerességgel végzik, akkor a megtapadt felületek között rekedt ammónia hirtelen, nagy mennyiségben felszabadulhat (Miles és mtsai., 2008), valamint a nagyobb felület és a levegőztetés fokozza az aerob mikrobiális aktivitást és a hőtermelést, mely egyrészt növeli a vízgőz elpárolgását, másrészt azonban elősegíti az alomban lévő húgysav mikrobiális bontását, ezzel pedig az ammónia termelődését (Cockerill és mtsai., 2020). Az alom rendszeres forgatása megfelelő szellőzéssel és páratartalommal kombinálva hosszútávon csökkentheti az istálló ammónia koncentrációját, azonban további kutatások szükségesek ennek egyértelmű bizonyításához (Kovács, 1990).

Kémiai alomkezelési módszerek

Az Egyesült Államokban leggyakrabban alkalmazott alomkezelő szerek szulfátalapú kémiai készítmények. A kémiai alomanyag-kezeléseket leggyakrabban a madarak kihelyezése előtt alkalmazzák, abból a célból hogy ezek a készítmények már a nevelés kezdetétől megkössék az ammóniát, ezáltal lehetővé téve a minimális szellőztetést az előnevelés során. Mivel a baromfinevelés során, a kihelyezést követő első 2–3 élethét során a relatív páratartalom szabályozása az elsődleges cél, elengedhetetlen, hogy az ammóniaszint 25 ppm alatti értéken

maradjon. Magasabb ammóniaszint esetén nagyobb szellőztetési intenzitásra lenne szükség, ami fokozott energia-felhasználást, továbbá a fiatal madarak komfortérzetének csökkenését, illetőleg teljesítményének elmaradását okozná. Ebből fakadóan ezen készítmények alkalmazása – különösen télen – iparági gyakorlattá vált (George és Trisha, 2017).

A szulfátalapú kémiai alomkezelő szerek két fő kategóriába sorolhatók: higroszkópos és nem higroszkópos szerek. A higroszkópos szerek hidrogéniont tartalmaznak, és az ammóniagázt (NH_3) ammónium-szulfáttá $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]$ alakítják. A nem higroszkópos szerek nem tartalmaznak hidrogéniont, ezért elegendő alomnedvesség szükséges ahhoz, hogy a vízmolekulát hidrogénionra bontva képesek legyenek az ammóniát megkötni. Az ammónium-szulfát az alomban marad, ezáltal növeli annak műtrágyaértékét mezőgazdasági kijuttatáskor, valamint javítja a baromfialom nitrogén-foszfor arányát. Ez az átalakulás nem reverzibilis, így az alomban lévő nitrogén a pH emelkedése esetén sem szabadul fel (Ullman és mtsai., 2004).

Higroszkópos alomkezelő készítmények

A higroszkópos alomkezelő készítmények a levegőből nedvességet szívnak fel, majd feloldódnak saját kémiai komponenseikre. A higroszkópos kezelőszerek savas jellegűek, mivel hidrogéniont tartalmaznak.

Egy másik lehetséges alternatíva a kémiai készítmények közül a nátrium-hidrogén-szulfát (nátrium-biszulfát), a nátriumnak kénsavval alkotott vegyülete. A baromfitermelésben korábban világszerte széles körben használták a baromfi istállóban a levegő ammónia-szintjének szabályozására, az alom savanyítására, továbbá az üzemek HACCP-programjába foglalva a kórokozók számának csökkentésére, illetve számos bakteriális eredetű vagy stresszel összefüggő baromfi megbetegedés megelőzésére. A nátrium-biszulfát az alomban lévő ammóniát ammónium-szulfáttá alakítja, és az alom pH-értékét csökkenti. Telepi kísérletek és vizsgálatok eredményei szerint a nátrium-biszulfátot tartalmazó termékek használata során csökkent az ammóniaszint az istállók légtereiben, szintén csökkent az alom pH-értéke, javult az istállóban lévő állatok teljesítménye. Az előbbieken túlmenően a *Salmonella* és a *Campylobacter* baktériumok számának csökkenése, továbbá az alombogarak számának csökkenése volt tapasztalható (Blake és Hess, 2001).

A nátrium-biszulfát egy száraz, granulált savas só, amelyet a baromfiipar már hosszú évek óta alkalmaz. A nátrium-biszulfát hatékonyságát széles körű vizsgálatok igazolták, mint ammónia-megkötő és baktériumcsökkentő szerként (Johnson és mtsai., 2006). Az SBS-ben található nátrium- és hidrogénionok felelősek az alom bakteriális terhelésének csökkentéséért; a teljes aerob csíraszámot 2–3 loggal csökkentik, és mérséklék a *Salmonella*-pozitív törletminták és vágott testek számát (Pope és Cherry, 2000). Baktériumszám-csökkentő hatása és biztonságos kezelhetősége (mint száraz savas só) miatt gyakran alkalmazzák a madarak jelenlétében is, a

Clostridium-, *Salmonella*-, *Staphylococcus*- és *Pasteurella*-fertőzések előfordulásának csökkentésére, valamint ammónia kontroll céljából.

Az Egyesült Államok délkeleti régiójában végzett, 43,9 millió brojlercsirkét vizsgáló tanulmányban az nátrium-biszulfáton nevelt nagytestű madarak takarmányhasznosítása 0,02, a kisebb testűeké 0,04 értékekkel javult a kontrollcsoportéhoz képest (Blake és Hess, 2001). Terzich (1997) Delaware és Maryland államban 200 brojleristállót vizsgált, amelyek közül 100 épületben nátrium-biszulfátot alkalmazott alomkezelésre, a másik 100 istálló pedig kontrollként szolgált. A kezelés előtt az ammóniaszint átlagosan 127 ppm volt, míg a kezelés után azonnal 0 ppm-re csökkent. A javuló levegőminőség következtében a kezelt ólakban (1 282 256 állat) jelentős teljesítménynövekedést tapasztaltak: alacsonyabb elhullási arány, nagyobb testtömeg, gyorsabb napi gyarapodás és kevesebb légzőszervi elváltozás volt megfigyelhető a vágáskor a kontrollcsoportéhoz (1 219 918 állat) képest. A fűtésre fordított energia-felhasználás a kezelt baromfi tartó épületekben 43%-kal alacsonyabb volt.

A nedvszívó tulajdonsággal rendelkező, Fuller-föld alapú hordozóanyag és kénsav keveréke (savasított agyag) is hatékony. Hidrogénionokat bocsát ki, amelyek az ammóniához kötődve ammóniumot képeznek, amely ezt követően szulfátionokkal reagálva ammónium-szulfáttá alakul (McWard és Taylor, 2000). Jó ammónia-kötő tulajdonsággal rendelkezik (George és Trisha, 2017). McWard és Taylor (2000) kifutókban végzett vizsgálata alapján a savasított agyag alkalmazása szignifikáns javulást eredményezett a brojlercsirkék testtömeg-gyarapodásában és takarmányhasznosításában a kontrollcsoportéhoz képest. Egy másik laboratóriumi vizsgálat során a savasított agyag alkalmazása jelentős mértékben csökkentette a *Salmonella* előfordulását az alomban (Payne és mtsai., 2002).

Nem higroszkópos alomkezelő készítmények

A nem higroszkópos szulfátalapú alomkezelő szerek nem tartalmazzak saját hidrogéniont, ezért – bár gyakran tévesen savként emlegetik őket – kémiaiilag nem sorolhatók a savak közé. Ezeknek a szereknek közvetlen kapcsolatba kell kerülniük az alom nedvességtartalmával ahhoz, hogy vízmolekulát bontva hidrogéniont szabadítsanak fel. Az így keletkező szabad hidrogénion az ammóniával reakcióba lépve ammónium-szulfátot képez. Mivel aktiválásukhoz nedvesség szükséges, száraz alom esetén ezen szerek hatékonysága csökkenhet. A nem higroszkópos szerek további előnye, hogy képesek megkötni az oldható foszfort, ennek mértéke azonban a kijuttatási dózistól és az adott készítmény, termék típusától függ (George és Trisha, 2017).

Az alumínium-só alapú alomkezelő készítmények hatóanyagai különböző alumínium-sók, melyek képesek megkötni az alomban keletkező ammóniumiont (NH_4^+), így csökkentve az NH_3 képződését.

Egyik legelterjedtebb közülük az alumínium-szulfát. 0,25 kg / m² alumínium-szulfát alomhoz való keverése 37 és 42 napos kor közötti brojlercsirkék esetében az ammónia termelést 73,3%-kal képes mérsékelni, az alom pH-ját pedig 1,32-dal csökkenteni a kontroll csoporthoz képest (Madrid és mtsai., 2012). Az alumínium-szulfát alomkezelőként való használatának előnyei között megemlíthető többek között, hogy csökkenti az ammónia képződést azáltal, hogy az alom pH-értékét savas irányba tolja el, javítja az állatok fajlagos energia felhasználását azáltal, hogy ideálisabb környezeti körülményeket teremt számukra. Az előbbieken felül az alumínium-szulfát jelenlétében az oldható foszfor kicspódik, ezáltal csökkenti a foszfor kiszivárgását az alomból, amely a szántóföldökre történő trágya kitermelésénél kifejezetten előnyös tulajdonság. Végül, de nem utolsónak sorban összességében javítja a madarak teljesítményét, hiszen az állat igényeinek mind jobban megfelelő tartási környezetben jobbak a termelési mutatók, illetve erősebb az állatok természetes ellenállóképessége (Kovács, 1990; Rafai, 2003).

Számos tanulmány igazolta az alumínium-szulfát önmagában vagy 7% kénsavval történő alkalmazása során mutatkozó hatékonyságát a foszfor- és ammónia-koncentráció csökkentés területén (Moore és mtsai., 1996; Moore Jr és mtsai., 1999; Armstrong és mtsai., 2003). Line (2002) kísérletében leírta, hogy alumínium-szulfát alapú alomkezelő készítménye alkalmazása mérsékelte a *Campylobacter spp.* jelenlétét.

Alumínium-klorid és kalcium-karbonát keverékének alomhoz való adagolása (40 g AlCl₃ és 60 g CaCO₃ / kg alom) a nevelési fázis első négy hetében, hetente mérve az alábbi százalékok szerint csökkentette az istálló ammónia koncentrációját: 55,3%, 56,4%, 20,1%, 35,8%. Az alom pH-ja 8,23-ról 6,87-re csökkent a kontroll csoportéhoz képest (Dong és mtsai., 2013). Pézsmarécék alomanyagába 10 és 20 g/kg koncentrációban kevert zeolit klinoptilolit (káliumalapú víztartalmú alumíniumszilikát) por szignifikánsan csökkenti az ammónia és szén-dioxid koncentrációkat az istálló levegőjében (Johnsos, 2015).

A vas(III)-szulfát az egyik legújabb alomkezelő szer az Egyesült Államokban. Az alumínium-sókhoz hasonlóan ez sem higroszkópos. Ritz és mtsai (2008) terepvizsgálatukban a napos csibék kihelyezését követő első 10–15 napban az ammóniaszintek hasonlóak voltak a vas(III)-szulfáttal és az alumínium-szulfát készítményekkel kezelt istállók között.

A gipsz az egyetlen általánosan elérhető alomkezelő készítmény, mely ammónia-szint csökkentő hatása mellett jelentős foszformegkötő képességgel is rendelkezik (George és Trisha, 2017). A gipsz alacsony költségű, általánosan használt termék, amely ömlesztett formában is elérhető mezőgazdasági üzletekben (Tasistro és Kissel, 2006).

Biológiai alomkezelési módszerek

Számos biológiai alapú alomkezelő szer érhető el a piacon, azonban egyik sem képes a felhalmozott alom által termelt magas ammóniaszint hatékony kezelésére. Éppen ezért ezen termékek alkalmazásakor különös figyelmet kell fordítani az időben történő alkalmazásra, ugyanis az ammóniaszint kritikus szintjét elérve, nem teremthető meg a megfelelő levegőminőség ezen készítmények alkalmazása révén. Az európai országok többségében, termelési iránytól, illetve tartástechnológiától függetlenül minden állomány után eltávolítják a használt trágyás almot és az istállók szilárd padozattal (beton aljzattal) rendelkeznek. Ezen esetekben a biológiai készítmények általában hatékonyabban működnek. Például a zárt rendszerű, az állattartó épületekben szilárd padozattal rendelkező brojlercsirke tartó gazdaságokban lehetnek hatékonyak, mivel a brojler nevelésben az ammónia szint csúcsa általában 2–4 élethetes kor között jelentkezik. Ugyanakkor például az Egyesült Államokban ezen készítmények használata, illetőleg hozzáférhetősége igen korlátozott. Kivételt jelenthet a pulykatenyésztés, ahol bizonyos biológiai készítményeket az alom – hasznos, a bélflórához hasonló – baktériumkultúrával történő beoltására használnak (George és Trisha., 2017).

A biológiai alomkezelő módszerek közé különböző – toxikus hatással nem rendelkező, illetve az emésztés-élettani folyamatokat, takarmányhasznosulást negatívan nem befolyásoló – gyógynövények, valamint olyan mikroorganizmusok tartoznak, amelyek képesek bizonyos szerves anyagok fermentálására. Egyes biológiai készítmények enzimatis aktivitás útján bontják le az ammóniát, míg mások úgy hatnak, hogy serkentik az ammónia gáz formájában történő felszabadulását az alomból (George és mtsai., 2017.).

A *Yucca shidigera* egy széles körben előforduló növény a sivatagokban, melyet jótékony hatásai miatt széles körben alkalmaznak humán gyógyszeriparban, étrendkiegészítőkben és kozmetikumokban. Számos antioxidáns hatású vegyületet, polifenolokat, szaponinokat tartalmaz. Az ammónia koncentráció csökkentését ureáz-inhibitor hatásán keresztül fejt ki. Árutojó tyúkok takarmányába kevert 100 ppm *Yucca shidigera* por formájú kivonat szignifikánsan csökkenti az ammónia kibocsátást (Chepete és mtsai., 2012).

Nakasaki és mtsai. (1996) egy termofil baktériumot izoláltak, *B. licheniformis* HA1, amely baktérium 10^4 - 10^5 CFU/g szárazanyag átlagos előfordulási sűrűségi érték felett, pH 7 alatti körülmények között bontja leghatékonyabban a szerves anyagot. A szerves anyag anaerob bontása során többek között metán (CH_4) és szén-dioxid (CO_2) szabadul fel. E két gáz keverékét nevezzük biogáznak, így a keletkező gázok energia-forrásként is felhasználhatók. A visszamaradt szilárd fázis takarmányozási célokra is hasznosítható annak magas kalcium-, foszfor- és fehérjetartalma miatt. Bár a biokémiai bontási folyamat további mellékterméke az NH_3 (Shih, 1993), azonban ez csak magas hőmérsékleten (60 °C körül) képződik, ezért istálló körülmények

között nem merül fel az alkalmazásából fakadó ammónia-képződési kockázat. Hoppensack és mtsai. (2003) a folyékony trágyából felszabaduló NH_3 mennyiségét jelentősen tudták csökkenteni 28 tömeg (w/w) százalékkal *B. licheniformis* felhasználásával. Az NH_3 egy részét biomasszává (peptidoglikán, nukleinsav, fehérje és poliaminosav), másik részét poli- γ -D-glutaminsavvá alakítva.

Összességében megállapítható, hogy nincs olyan egyetlen alomkezelési stratégia sem, amely minden igényt kielégítene. A jövő alomkezelési programjainak egyre inkább figyelembe kell venniük a helyi környezeti adottságokat, az istállóból kitermelt trágyás alom végfelhasználási lehetőségeit, továbbá az ökonómiai szempontokat és állategészségügyi célkitűzéseket (George és Trisha., 2017;).

2.6. A nagyüzemben tartott pulykák nem megfelelő tartási körülmények esetén jelentkező rendellenes magatartásformái, illetve immunológiai változásai

2.6.1. A stressz kifejeződése a nagyüzemi baromfitartásban és az abnormális viselkedés megnyilvánulása

A „stressz” kifejezést gyakran használják, de továbbra is gyengén definiált, és a stressznek kitett állatokban számos szervrendszert érinthet (Romero és mtsai., 2015). A stressz következményei a stressz időtartamától függhetnek. A krónikus stresszel ellentétben a rövid távú stressz jótékony hatással lehet az immunválaszokra (Dhabhar, 2019). Az immunrendszer gyengülését okozó legtöbb környezeti tényező menedzsment – tartástechnológiai – problémákhoz kapcsolódik, mint például az itatóvíz- vagy takarmányellátás hiányosságai, magas ammónia szint az istállóban, hő indukálta stressz, szociális interakciók, rendellenes viselkedés az állományon belül stb. (Kaspers és mtsai., 2022).

Már régóta ismert, hogy a szociális stressz súlyosbíthatja a betegségeket (Gross, 1972). Mind a házasított, mind a vadon élő madarak esetében a csipkedés, mint szociális viselkedés fontos szerepet játszik a táplálkozásban, kommunikációban, harcban és a hierarchia kialakításában (Nicol, 2020). A házityúkknál a sérülés okozó – káros – csipkedés (angol *injurious pecking, IP*) gyakran előfordul, és jelentős gazdasági és állatjóléti problémát jelent a nagyüzemi pulykatartásban (**2.4.1. ábra** Bartels és mtsai., 2020; Dalton és mtsai., 2013; Duggan és mtsai., 2014). A pulykaállományokban az IP előfordulási gyakorisága 3,3% és 6,7% között mozog (Leishman és mtsai., 2022). Bizonyos esetekben az IP a mortalitás és selejtezések 58%-áért volt felelős. A hízó pulykaállományokban – különösen a bakpulykák esetében – az egyedek közötti folyamatos fej- és testcsipkedés jelentős termelési veszteségekhez vezethet a megemelkedett elhullás következtében, valamint selejtezési kényszert idézhet elő (Bartels és mtsai., 2020; Dalton és mtsai., 2013; Duggan és mtsai., 2014). Az IP gyakran vezet kannibalizmushoz is, amely gyorsan elterjedhet az állományban, tovább növelve a mortalitást, továbbá a beteg, sérült egyedek miatti egyéb gazdasági veszteségeket a teljesítmény-csökkenés következtében (Duggan és mtsai., 2014).

A tollcsipkedési viselkedés osztályozását korábban Savory (1995) és Dalton és mtsai. (2013) is áttekintette. A tollcsipkedés (FP) és a káros csipkedés (IP) több tényező által meghatározott, összetett oktanú rendellenességként jellemzik őket, ami arra utal, hogy kialakulásuk számos külső és belső tényezőtől függhet (Dalton és mtsai., 2013), melyek külső és belső tényezőkre oszthatók (Van Krimpen és mtsai., 2005).

a)



b)



c)



2.4.1. ábra Az agresszív magatartás megnyilvánulásaként jelentkező sérülést okozó csipkedés a test különféle tájékára irányulhat. a) súlyosabb fokú hátcsipkedés eredménye pulykánál b) enyhébb – kezdeti – mértékű fejcsipkedés eredménye pulykánál c) súlyos fokú sérülést eredményező fejcsipkedés következménye pulykánál
(Forrás: saját fényképek)

Appleby és mtsai. (1992) szerint a tollcsipkedés könnyen replikálódik, ami gyors elterjedéséhez vezethet egy populáción belül és az ún. társas tanulás jelentősen elősegítheti ezt a folyamatot (Zeltner és mtsai., 2000). A tollcsipkedés viselkedésének előfordulását az állatok életkora is jelentősen befolyásolja (McAdie és Keeling, 2002), a pulyka növendékeknél a csipkedés már az első héten jelentkezhet (Moinard és mtsai., 2001), és gyakorisága a következő hetekben fokozódhat (Busayi és mtsai., 2006). Emellett a nem is meghatározó tényező a viselkedés megnyilvánulásában (Martrenchar és mtsai., 2001), mivel a hím pulykák fokozottabb ún. orális tevékenységet mutatnak (Allinson és mtsai., 2013), különösen az ivarérettséget követően (Buchholz, 1997). A tollcsipkedés örökölhetőségi mutatója közepes értéket mutat ($h^2 = 0,15$) (Craig és Muir, 1993; Falker-Gieske és mtsai., 2020; Kjaer és Sørensen, 1997; Rodenburg és mtsai., 2003), míg a kannibalizmus esetében ez az érték magasabb, $0,65 \pm 0,13$ (Craig és Muir, 1993). Emellett a tollcsipkedés komplex genetikai kapcsolatban áll a tollazottság mértékével, a tojástermeléssel (Bennewitz és mtsai., 2014), a félénkséggel (Grams és mtsai., 2015), az alom (föld) csipkedési magatartással (Rodenburg és mtsai., 2004), az általános aktivitással és a felfedező viselkedéssel (Kjaer, 2009). Az a felvetés azonban, miszerint a gyorsabb növekedésű és nagyobb testtömegű egyedek szelekciója – még ha nem is szándékosan – elősegítheti a tollcsipkedés kialakulását (Rodenburg és Turner, 2012), nem nyert egyértelmű bizonyítást (Kjaer és Hocking, 2004). A káros csipkedés csoporton belüli szelekcióval történő csökkentését tojótyúk-állományokban sikerült elérni anélkül, hogy ez negatívan befolyásolta volna a termelési mutatókat (Dalton és mtsai., 2013; Kjaer és mtsai., 2001). A jobb tollazottságú madarak kevesebb csipkedési sérülést szenvednek el (Busayi és mtsai., 2006; Dalton és mtsai., 2013). Ezért a tollminőség javítása hozzájárulhat a tollcsipkedés és a kannibalizmus mérsékléséhez is (Busayi és mtsai., 2006).

A nagyüzemi baromfitartás szabványos tartástechnológiai gyakorlatai általában ingerszegény környezetet eredményeznek. Az ilyen élettér krónikus stresszhatást válthat ki, amely szintén növelheti a tollcsipkedés gyakoriságát (Nicol, 2020). Számos kísérlet vizsgálta az agresszív csipkedés és a megvilágítás közötti kapcsolatot, valamint annak jellemzőit, különféle baromfifajok esetében (Denbow és mtsai., 1990; Gill és Leighton, 1984; Leighton és mtsai., 1989; Lewis és mtsai., 2000, 1998a, 1998b; Rierson, 2011; Sherwin és mtsai., 1999; Van Krimpen és mtsai., 2005; Vermette és mtsai., 2016). Bak (hím ivarú) pulykáknál a világítás intenzitásának emelkedése jelentős növekedést idézett elő a csipkedési viselkedésben és az ebből eredő veszteségekben (Lewis és mtsai., 1998b), ez a jelenség azonban nem volt megfigyelhető a nőivarú pulykáknál (Denbow és mtsai., 1990). A csipkedés mérséklésére hatékonynak bizonyult a hosszan tartó világítási időszak (Vermette és mtsai., 2016), szakaszos világítás (Lewis és mtsai., 1998a), csökkentett fényintenzitás (Dalton és mtsai., 2013), kék vagy zöld fényhullámhossz (Rierson,

2011; Vermette és mtsai., 2016), valamint az ultraibolya (UV) fény kiegészítő használata, amelyek jelentős mértékben csökkentették a sérülést okozó csipkedés előfordulását (Sherwin és mtsai., 1999). Azonban az első két világítási eljárás negatív állategészségügyi hatásokkal is járt (Lewis és mtsai., 1998a; Schwean-Lardner és mtsai., 2013).

Egy másik fontos tényező, az ideálisnál alacsonyabb – azaz az adott hibrid tartástechnológiai előírásaiban meghatározottnál alacsonyabb – hőmérséklet, amely hozzájárulhat a rendellenes viselkedésformák – például a tollcsipkedés – kialakulásához (Dalton és mtsai., 2013). Azok a madarak, amelyeket a termoneutrális zónánál alacsonyabb hőmérsékleten tartottak, gyakrabban mutattak csipkedési viselkedést (Pereira és mtsai., 2007), míg pulykák esetében az alacsonyabb hőmérséklethez társuló magas relatív páratartalom növelte a kannibalizmus, remegés és alomkaparás előfordulását is (Mendes és mtsai., 2020). Hosszan tartó hőstressz hatására megnövekedett a nyugalmi és csipkedési viselkedés gyakorisága, amely a takarmányozó berendezések, a ketrec padlózata, a fajtársak, illetőleg azok tollazata irányába mutatkozott (Li és mtsai., 2015).

A hőstressz különösen negatív hatással van a brojlercsirkékre és a tojótyúkokra. Az immunválaszokon túlmenően a hőstressz a csirkék élettani folyamatait is érinti, csökkenti a takarmányfelvételt, ezáltal a növekedési ütemet és a tojástermelést (Kaspers és mtsai., 2022). A magas hőmérséklet hatással van a szimpatikus-hipofízis-mellékvese tengelyre, következésképpen a hipotalamusz-hipofízis-mellékvese (HPA) tengelyre is, ami a plazma kortikoszteron (CORT) koncentráció emelkedéséhez vezet (Lara és Rostagno, 2013; Nawab és mtsai., 2018). A krónikusan emelkedett CORT-szint csökkentheti a gyulladást csökkentő (proinflammatorikus) válaszokat, elnyomhatja az immunrendszer szerveit és sejtjeit (Shaniko Shini és mtsai., 2010; S. Shini és mtsai., 2010). A hőstressz vizsgálatát korábban több kutatás is leírta, melyek nemcsak a hőmérséklet, de a hőstressz szempontjából jelentősen meghatározó páratartalmat is mérték (Davis és mtsai., 2022; Sake és mtsai., 2024). Napos pulykák esetében hőstresszként a 35 °C melletti 60 %-os relatív páratartalmú környezetet definiálták. Sake és mtsai. (2024) arra hívták fel a figyelmet, hogy az istállóklíma értékeléséhez és az esetleges ellenintézkedések meghatározásához az entalpiaértékeket és a hőmérséklet-páratartalom indexet (THI) a hőmérséklet-szabályozás mellett egyaránt figyelembe kell venni. Vandana és mtsai. (2021) tanulmánya szerint a hőstressz (HS) két kategóriába sorolható a stresszorkiváltó tényező időtartama és intenzitása alapján. Akut hőstresszről beszélünk, ha a hőmérséklet és a páratartalom rövid időn belül hirtelen emelkedik, míg krónikus hőstressz esetén a magas hőmérséklet és páratartalom tartósan fennáll. Baromfifajok esetében a hőstressz 27°C és 38°C közötti hőmérséklettartományban jelentkezhet, amely 1-től 24 óráig (akut), 7 napig (mérsékelt), vagy több mint 7 napig (krónikus) tarthat (Oluwagbenga és Fraley, 2023).

A telepítési sűrűség (SD) egy másik befolyásoló tényező, azonban az eredmények nem következetesek, ugyanis egyes vizsgálatok mind az alacsony, mind a magas SD mellett megnövekedett csipkedési viselkedést mutattak ki (Gunthner és Bessei, 2006; Polley és mtsai., 1974). Továbbá, csökkent agresszív viselkedést figyeltek meg olyan esetekben, amikor a szociális struktúra hiánya miatt a madarak nagyobb távolságot tudtak tartani egymástól (Buchwalder és Huber-Eicher, 2004; Hughes és mtsai., 1997).

A kannibalizmus és a tollcsipkedés takarmányozási eszközökkel történő mérséklésének lehetőségét már az 1940-es és 1950-es évektől vizsgálják (Choct és Hartini, 2003; Bearse és mtsai., 1940; Scott és mtsai., 1954). A takarmány magasabb rosttartalma javította a tollminőséget, és ezáltal csökkentette a tollcsipkedés és a kannibalizmus előfordulását, illetve súlyosságát (Bearse és mtsai., 1940; Hale és mtsai., 1969; Qaisrani és mtsai., 2013). A pelletált (granulált) takarmány alkalmazása a dercés formával szemben szintén csökkentette az FP gyakoriságát az állományon belül (Aerni és mtsai., 2000; Van Krimpen és mtsai., 2005). További jelentős tényező a megfelelő fehérje- és aminosavbevitel (Ambrosen és Petersen, 1997; Choct és Hartini, 2003; Savory és mtsai., 1999). A triptofán bevitel növelése szignifikánsan csökkentette a csipkedésből eredő sérüléseket (van Hierden és mtsai., 2004, 2002). Valószínűsíthető az is, hogy különféle ásványi anyagok és nyomelemek is szerepet játszanak a tollcsipkedés és a kannibalizmus kialakulásában (Van Krimpen és mtsai., 2005). A nátrium (Berger, 2006) és magnézium pótlása (Schaible és mtsai., 1947) mérsékelte a kannibalisztikus viselkedést az állományon belül, míg az alacsony nátriumtartalmú takarmány fokozta azt (Hughes és Whitehead, 1979). Ezzel szemben a nyomelemek és a kalcium nem mutattak hatást sem a kannibalizmusra, sem az FP-re (Hughes és Whitehead, 1979; Schaible és mtsai., 1947; Willimon és Morgan, 1953).

McKeegan és Savory (1999) szerint a toll rendszeres fogyasztása egyfajta prekurzorként szolgálhat, és hajlamossá teheti a madarakat a csipkedésre. Emellett kapcsolatot találtak az alom (talaj) csipkedés, az ún. takarmánykereső viselkedés és a tollcsipkedés között is (Blokhuis, 1986; Dixon és mtsai., 2008; Huber-Eicher és Wechsler, 1997), ezért a megfelelő takarmány anyag biztosítása potenciálisan csökkentheti az FP és az ahhoz kapcsolódó sérülések előfordulását (Huber-Eicher és Wechsler, 1997).

Újabb kutatások szerint a mozgásaktivitás vagy hiperaktivitási zavar (Kjaer, 2009), valamint a bélmikrobiom összetétele is kiválthatja az FP viselkedést (Lutz és mtsai., 2016; Willimon és Morgan, 1953). Összességében a bélmikrobiota, a perifériás szerotonin és az immunrendszer hatással lehetnek a központi szerotonin- és dopaminszintekre, ami ezáltal FP-t válthat ki (De Haas és Van Der Eijk, 2018). Feltételezések szerint ezen gének és jelátviteli útvonalak részt vehetnek az FP kialakulásában is (Falker-Gieske és mtsai., 2020). A jelenség összetettségét

jól példázza a legújabb kutatás, amely szerint a monoamin, a GABAerg és a kolinerg jelátvitel, valamint az immunrendszer és a bélmikrobiom is szerepet játszhat a csipkedési viselkedés kialakulásában (Falker-Gieske és mtsai., 2020).

2.6.2. Az immunszuppresszió és a tartási környezet kapcsolata

Az immunszuppresszió komoly problémát jelent a baromfiágazat számára, azonban nehéz pontos adatokat találni a probléma mértékére vonatkozóan. Az immunszuppresszió az immunválasz átmeneti vagy tartós zavara, amely az immunrendszert ért károsodás következménye, és fokozott fogékonyságot eredményez a betegségekre, gyakran szuboptimális antitestválaszokkal, valamint nem megfelelő maternális és celluláris immun-reakciókkal (Dohms és Saif, 1984; Lütticken, 1997).

Számos tanulmány kimutatta, hogy különböző tényezők – például a tartási körülmények, mint pl. a hőmérséklet, a levegő minősége vagy a világítási rendszer – stresszorként hatnak, és negatív hatással lehetnek az immunrendszer működésére (Dietert és mtsai., 1994; Hofmann és mtsai., 2020; Morgan és Tromborg, 2007).

Ha a tartási környezet nem megfelelő az állatok számára, és a komfortérzetük sérül (hiányállapot), a környezeti stressztényezők következtében immunszuppresszív állapot alakulhat ki. A kórokozókval való fertőzöttség és/vagy a környezeti körülmények – beleértve a menedzsment-problémákból eredeztethető hibákat, így az ideális komfortérzet biztosítása hiányát – immunszuppresszióhoz vezethetnek, és a két hatás kombinációja rendszerint súlyosbítja a problémát (Kaspers és mtsai., 2022).

A brojlersirkék és pulykák esetében az immunszuppresszióknak számos környezeti és fertőző oka lehet, amelyek komplex módon hatnak, és jelentős kihatással lehetnek az állományok teljesítményére, így a gazdasági mutatókra (Hoerr, 2010). A környezeti stresszorok közé tartozhatnak a keltetés késői szakasza, a kelés körülményei, a naposcsibék kezelése, a nem optimális tartási körülmények, valamint a takarmány mikotoxin-szennyezettsége. Bármely fertőzés, amely klinikai tüneteket okoz, immunszuppresszióhoz vezethet, ugyanakkor a szubklinikai formában zajló fertőzések is kiválthatnak patogén-indukálta immunszuppressziót, még klinikai tünetek hiányában is. Az egészséges baromfiállományok fenntartásához elengedhetetlen a fertőző betegségek elleni védekezés, amit általában kiterjedt vakcinázási programokkal, valamint jó menedzsmentgyakorlatokkal – ideértve a járványvédelmi intézkedéseket – valósítanak meg. A vakcinázási programok sikeressége attól függ, hogy a madarak mennyire képesek hatékony immunválaszt adni az oltás után. Az adott madár immunválasz-képességén túl számos külső tényező is befolyásolja a védettség mértékét (Kaspers és mtsai., 2022).

Amint az előbbieken leírásra került, az immunszuppressziót kiváltó legtöbb környezeti tényező a menedzsment problémákhoz köthető, mint például az itatóvíz- vagy takarmányellátás hiányosságai, az ammóniakoncentrációk az istállóban, hőstressz, szociális interakciók, rendellenes viselkedések az állományon belül stb. Ezek közül a stresszorok közül számos faktor fokozza a kortikoszteron termelését. A kortizol és kortikoszteron, amelyek a glükokortikoidok közé sorolhatók, „stresszhormonként” funkcionálnak, és a mellékvesekéregből szabadulnak fel. A vérplazmában mért magas vagy alacsony CORT-szint szerinti szelekció befolyásolhatja a stressz által kiváltott immunrendszeri szuppresszió mértékét (Kaspers és mtsai., 2022). Kiválasztódásuk a hipotalamusz-hipofízis-mellékvese (HPA) tengely aktiválása révén történik, amely kettős negatív visszacsatolási mechanizmuson keresztül szabályozott. Patológias állapotok esetén a CORT-szint a HPA-szabályozás felülírásával is emelkedhet. A CORT mind fiziológias, mind patológias körülmények között multifunkcionális szerepet tölt be: szabályozza a viselkedési mintázatokat, a megküzdési mechanizmusokat és az általános jóllétet (Cheng és Muir, 2005).

A madárfajokban mind kortizol, mind kortikoszteron termelődik (Scanes és Sturkie, 2015). Az utóbbi években a stresszállapot értékelése elsősorban a kortikoszteron mennyiségi meghatározásán alapult, azonban a kortizol is ugyanolyan jelentős és pontos stressz-biomarker pulykák esetében (Damaziak és mtsai., 2017; Guijarro és mtsai., 2020; Kim és mtsai., 2015). A CORT vérmintából történő meghatározása régóta alkalmazott technika, ugyanakkor ezek a molekulák csak rövid ideig maradnak a keringésben. Alternatív módszerként madárfajokban a tollak elemzése is alkalmazható, amely lehetővé teszi a stresszmarkerek hosszabb időszakon keresztül történő vizsgálatát. Ez a megközelítés a CORT tollnövekedés során történő folyamatos beépülésén alapul. Ezáltal lehetőség nyílik arra, hogy rövidebb vagy akár többhetes időtávlatban legyen lehetőség vizsgálni az állatok fiziológiai válaszait a különféle stresszorokra, mélyebb betekintést nyújtva a stressz és a fiziológiai dinamika kölcsönhatásaiba (Bortolotti és mtsai., 2009, 2008).

2.6.3. Az immunsejtek szerepe

Az adaptív immunitás az immunrendszer azon része, amely felismeri az idegen kórokozókat, és képes alkalmazkodni hozzájuk. Ennek következtében az idő előrehaladtával egyre hatékonyabbá válik. Az immunitás ezen típusa két fő ágra osztható: az egyik az extracelluláris, a másik az intracelluláris kórokozók ellen irányul. Mindkét ág speciális fehérvérsejteken, úgynevezett limfocitákon alapul. Két fő limfocita populáció különíthető el: B-sejtek és T-sejtek. Az extracelluláris kórokozók elleni védekezés elsősorban a B-sejtek feladata. Ezek antitestnek nevezett fehérjéket termelnek, amelyek elősegítik a mikroorganizmusok elpusztítását. A B-sejtek által közvetített immunválaszt „humorális immunválasznak” is nevezik, mivel az antitestek a

testnedvekben (latin *humor*) található. Mivel az antitestek sejten belül nem hatnak, az intracelluláris kórokozók elleni immunitást a T-sejtek biztosítják. A T-sejtek képesek elpusztítani a fertőzött vagy rendellenes sejteket, ezért ezt a választ "sejt-közvetített immunválasznak" nevezik. A T-sejteknek három fő típusa van. Az egyik az abnormális sejtek elpusztításáért felelős, ezek a citotoxikus T-sejtek. A másik típus az adaptív immunválasz aktiválásához szükséges jeleket biztosítja, ezért ezeket segítő T-sejteknek nevezik. A harmadik típus az immunválaszokat szabályozza, ezért ezek a regulátor T-sejtek. Az adaptív immunitás hosszú életű memória T- és B-sejt populációkat hoz létre, amelyek biztosítják, hogy az immunválasz tartós legyen – akár az állat egész élettartama alatt (Tizard, 2018).

Az adaptív immunrendszer két fő komponensre való felosztása azon alapul, hogy két egymástól eltérő típusú idegen behatolót kell felismerni. Egyes kórokozók a szervezetbe bejutva az extracelluláris térben szaporodnak. Ezeket az „exogén” (külső) behatolókat az antitestek semmisítik meg. Más kórokozók sejten belül szaporodnak, ahol az antitestek nem tudják őket elérni. Ezeket a T-sejt által közvetített immunválaszok eliminálják. Az adaptív immunválasz csak akkor aktiválódik, ha a kórokozók antigénjei a fő szövetösszeférhetőségi komplex (angol *major histocompatibility complex, MHC*) molekulák jelenlétében kerülnek bemutatásra a T-sejtek számára. Az MHC-t kódoló génrégió erősen polimorf, és emlősökben körülbelül 300 gént foglal magában. Az antigénbemutató szempontjából a legfontosabbak az I. osztályú gének (MHC I.), amelyek az intracelluláris kórokozók antigénjeit mutatják be CD8+ T-sejtek számára, valamint a II. osztályú gének (MHC II.), amelyek az extracelluláris kórokozók antigénjeit mutatják be CD4+ T-sejtek számára). Az MHC I. osztályú fehérjék a legtöbb sejt típuson megtalálhatók, míg az MHC II. osztályú fehérjék főként antigénprezentáló sejteken – például dendritikus sejteken, makrofágokon és B-sejteken – expresszálódnak (Sturkie és mtsai., 2022).

Fontos tisztázni a komplementaritást meghatározó régió (angol *complementary determining, CDR*) fogalmát. Ezek az antitestek és a T-sejt antigénreceptorok változó régióin belül található szakaszok, amelyek az antigénhez kötődnek, és meghatározzák az adott molekula antigénkötő specificitását. Szinonim fogalomként gyakran használják a „hipervariábilis régió” megnevezést is. Minden sejt több ezer különböző fehérjemolekulát expresszál a felszínén, és ezek közül sokat már karakterizáltak. Minden újonnan azonosított molekulát általában egy funkcionális vagy kémiai névvel, valamint egy ún. „CD” (angol *cluster of differentiation*) jelöléssel is ellátnak. A CD nomenklatúrát az olyan jól elfogadott molekulák esetén is használják, mint például a CD4 vagy a CD8. A sejtek felszíni molekulái alapján kifejezett fenotípust áramlási citométerrel (angol *flow cytometer*) határozzák meg (Tizard, 2018).

Bár a limfociták több ezer fehérjét expresszálnak a sejt felszínükön, immunológiai szempontból a legfontosabb struktúrák azok a receptorok, amelyekkel az antigéneket felismerik.

Ezeket T-sejt antigénreceptornak (angol *T-cell antigen receptor*, *TCR*) és B-sejt antigénreceptornak (angol *B-cell antigen receptor* *BCR*) nevezik. A TCR és a BCR is összetett szerkezetű, több különböző fehérjeláncból álló struktúra. E láncok egy része közvetlenül az antigénhez kötődik, míg más részek a jelátvitelhez szükségesek. További komplexitást jelent a limfociták különböző alpopulációinak jelenléte. Az ún. veleszületett (angol *innate*) limfoid sejtek nem rendelkeznek olyan változó antigénreceptorokkal, mint a T- és B-sejtek. Ehelyett csíravonalból kódolt receptorokat hordoznak, amelyek képesek a normál, egészséges sejtek felszínén található molekulákhoz kötődni, de nem ismerik fel a beteg vagy rendellenes sejtek molekuláit. Ha ezek a sejtek normál sejtfelszíni molekulákhoz kötődnek, akkor kikapcsolódnak. Ezzel szemben, ha a célsejt nem expresszál MHC-molekulákat, akkor a természetes sejtek megtámadják és elpusztítják azokat. A TCR-ben található jelátviteli fehérjét összefoglalóan CD3-nak nevezzük. A CD3 tehát minden T-sejt felszínén megtalálható. Egy másik, csak a helper T-sejteken megtalálható fehérje a CD4, amely az antigénprezentáló sejtek MHC II. osztályú molekuláihoz kötődik. A CD8 nevű harmadik molekula ezzel szemben csak a citotoxikus T-sejteken expresszálódik, és az MHC I. osztályú molekulákhoz kötődik. A vér CD4+ és CD8+ sejtek aránya alapján következtetni lehet a limfociták működésére: a magas CD4 arány fokozott limfocita-reaktivitásra, míg a magas CD8 arány csökkent immunválaszra utalhat. Fontos megjegyezni, hogy sem a CD4, sem a CD8 nem található meg a B-sejteken (Tizard, 2018).

Az antitesteket – ellenanyagokat – a B-sejteknek nevezett limfociták termelik. A B-sejtek a nyirokcsomók kérgi részében, a lép peremzónájában, a csontvelőben, a bél teljes hosszában, valamint a Peyer-plakkokban található. Csak kevés B-sejt kering a vérben. A T-sejtekhez hasonlóan a B-sejtek is nagyszámú, azonos antigénkötő receptort expresszálnak a felszínükön. Így minden egyes B-sejt csak egy adott antigént képes felismerni és arra reagálni. Az antigénreceptorok véletlenszerűen keletkeznek a B-sejt fejlődése során. Ha egy B-sejt olyan antigénnel találkozik, amely illeszkedik a felszíni receptoraihoz, és megfelelő kostimuláció is történik, akkor a B-sejt reagál: az antigénreceptorait oldható formában kiválasztja a testnedvekbe, ahol azok már „antitestként” funkcionálnak (Tizard, 2018).

A magas CORT-szintek képesek gátolni a dendritikus sejtek aktivitását, és beavatkozhatnak a T-sejt receptorok jelátviteli folyamataiba, aminek következménye a T-sejt aktiváció csökkenése (Kaspers és mtsai., 2022). Egereken végzett vizsgálatokban kimutatták, hogy a CORT hatással lehet a T-sejt különböző alpopulációira is, azonban még nem ismert, hogy ugyanez igaz-e a csirkék T-sejtjeire is. Trout és Mashaly (Trout és Mashaly, 1994) vizsgálták a hőstressz és az ACTH (angol *adrenocorticotrop hormon*) intramuszkuláris alkalmazásának hatásait. Azt találták, hogy egyik kezelt csoportban sem volt különbség a B-limfociták arányában. Ugyanakkor a CD4+ és CD8+ sejtek aránya szignifikánsan alacsonyabb volt a hőkezelt, illetve ACTH-val kezelt csoportokban.

3. Saját vizsgálatok

3.1. Az üzemi járványvédelem és az állatjólléti indikátorok összefüggésének vizsgálata nagylétszámú pulykatartó gazdaságokban

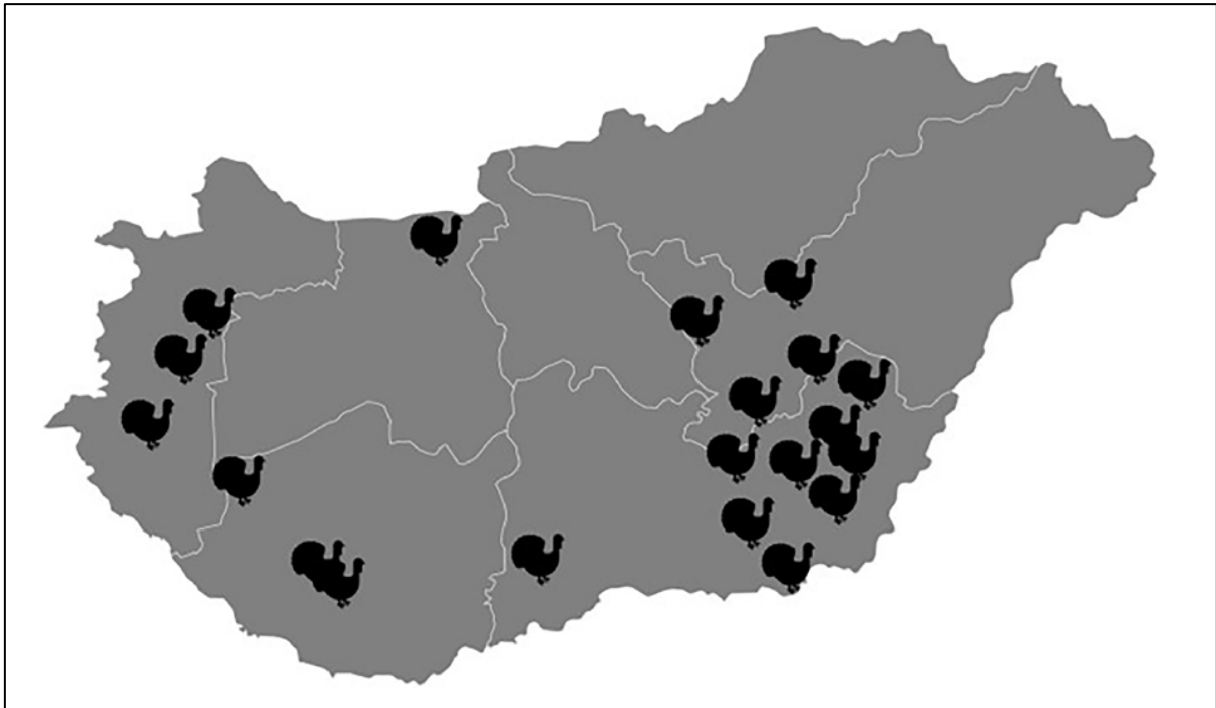
3.1.1. Kutatás célja

A vizsgálat célja a pulykatenyésztés során alkalmazott járványmegelőzési intézkedések és állatjólléti mutatók közötti összefüggés kvantitatív meghatározása volt, a Biocheck.UGent kérdőív és az AWIN állatjólléti értékelési protokoll segítségével, a megfigyelhető indikátorok számszerűsítésével.

3.1.2. Anyag és módszer

Vizsgált telepek és állatok

Magyarországon 24 db hízópulykák tartásával foglalkozó gazdaságot vontunk be a vizsgálatba (**3.1.1. ábra**). Az adatvédelmi előírásoknak megfelelően a gazdaságok neve és pontos földrajzi elhelyezkedése nem kerül publikálásra. A vizsgálatok olyan hímivarú pulykaállományokat tartó gazdaságokra irányultak, amelyek vágás előtti korban voltak, átlagéletkoruk 132 nap volt (98–145 nap közötti tartományban). A felmérések a gazdaságonként átlagosan 8,6 állattartó épületből véletlenszerűen kiválasztott istállók körülbelül felében történtek (átlagosan 3,7 istálló/gazdaság). A kiválasztott istállók átlagos alapterülete 972 m² volt (minimum: 360 m²; maximum: 2000 m²). A gazdaságok állomány-mérete 3000 és több mint 40 000 egyed között változott, az állatokat intenzív, oldalsó légbeejtő ablakokkal ellátott, zárt épületekben tartották (**3.1.2. ábra**). A pulykák ad libitum takarmányozásban és folyamatos itatóvíz-ellátásban részesültek. A gazdaságok alapadatait az **3.1.1. táblázat** tartalmazza.



3.1.1. ábra A vizsgálatba vont pulykatartó gazdaságok elhelyezkedése (az egymáshoz közel lévő telepek egy szimbólum alatt szerepelnek)



3.1.2. ábra A vizsgálatba vont állományokban végzett metszet-metódus (transect method) felépítése. A számok az istállóban a bejárás (séta) sorrendjére utalnak. A séta során az állomány vizsgálatát az istállóban a számozás szerinti növekvő sorrendben kell elvégezni.

3.1.1. táblázat A vizsgálatban részt vevő gazdaságok adatai (KJ: külső járványvédelem; BJ: belső járványvédelem; ÁJI: állatjólléti index)

Telep	Istállók száma	Telep kapacitása (db egyed)	Sűrűség (egyed/m ²)	Állomány nagysága látogatáskor (db egyed)	Állomány életkora látogatáskor (nap)	Járványvédelmi pontszám (%)	KJ (%)	BJ (%)	ÁJI
1	8	29 000	4,0	7 250	134	77	74	83	4,5
2	6	23 760	4,0	7 920	145	68	66	73	5,9
3	14	51 100	3,7	7 300	120	66	64	70	8,5
4	6	31 800	3,5	14 914	98	62	58	70	2,6
5	15	57 000	4,4	26 819	119	54	51	62	5,0
6	12	30 000	2,4	13 183	145	74	72	79	3,7
7	10	39 500	4,0	18 802	139	64	62	70	2,1
8	6	27 960	4,7	13 393	137	65	63	70	3,0
9	11	29 700	3,2	13 825	142	39	36	47	14,0
10	6	21 960	3,6	10 343	125	51	51	52	9,4
11	6	25 980	4,4	12 353	131	52	52	51	4,3
12	7	18 970	3,3	8 812	128	40	38	44	9,7
13	15	18 990	3,5	8 897	128	40	36	50	6,0
14	6	21 000	3,6	9 881	132	43	41	49	6,8
15	10	21 000	5,2	9 923	138	46	45	48	5,9
16	10	53 000	5,0	13 400	140	51	52	47	5,9
17	8	40 000	4,8	10 600	140	51	52	48	7,6
18	10	21 000	5,1	9 713	140	41	39	46	7,4
19	10	55 000	5,8	25 080	135	48	47	50	8,2
20	4	28 000	4,0	13 286	126	46	46	46	7,8
21	8	23 000	3,1	7 608	131	61	60	63	5,1
22	3	10 000	3,7	4 725	127	46	46	47	11,0
23	3	10 000	4,5	4 705	137	45	46	42	14,2
24	1	6 000	3,0	2 883	131	49	47	54	5,9

Járványvédelmi vizsgálat

A biológiai biztonság, azaz a telepi járványvédelmi szint értékeléséhez a Biocheck.UGent hízópulyka-állományokra kifejlesztett kérdőívét alkalmaztuk (Biocheck.UGent, 2024; Amalraj és mtsai., 2024; <https://biocheckgent.com/en/questionnaires/turkeys>). A kérdőív – check lista – feleletválasztós kérdések megválaszolását követően generál járványvédelmi pontszámokat. A kérdőív tartalmazza az alapvető telepi jellemzőket, valamint hét külső és három belső járványvédelmi alegységet (alfejezetet). A külső biológiai biztonság az infrastruktúra, a gazdaság működtetésének szervezettsége, a telephez történő hozzáférés kontrollja, az állatok beszerzése, az épületek leürítése (állomány-elszállítás), a takarmány- és vízellátás, valamint a hulladékkezelés aspektusaira terjed ki. A belső járványvédelem a betegségkezelésre, a különálló tartásterek közötti járványmegelőző intézkedésekre, valamint a tisztítási-fertőtlenítési protokollokra vonatkozó kérdéseket tartalmaz (**3.1.2. táblázat**). A kérdőíveket a helyszíni látogatások során a gazdaság képviselőivel közösen töltöttük ki. A válaszokat a Biocheck.UGent online szoftverébe rögzítettük, amely 0-tól (nincs intézkedés) 100-ig (minden szükséges intézkedés alkalmazásra került) terjedő skálán értékeli a biológiai biztonság szintjét (Gelaude és mtsai., 2014; Van Limbergen és mtsai., 2018; Tanquilut és mtsai., 2020; Amalraj és mtsai., 2024). A magasabb pontszám (százalékos érték) az adott gazdaság jobb járványvédelmi állapotát jelzi.

3.1.2. táblázat A biológiai biztonsági intézkedések és azok definíciói a Biocheck.UGent értékelési protokollja szerint (Biocheck.UGent, 2024)

Intézkedés megnevezése	Definíció	Kérdések száma
Külső járványvédelem	Az állattartó telepre bejutó vagy onnan kilépő kórokozók elleni megelőző intézkedések összessége.	—
Infrastruktúra	Az infrastruktúra, az elhelyezkedés és az épületek olyan strukturális elemek (eszközök), amelyek szükségesek a biobiztonságos állattartáshoz és a gazdaság működtetéséhez.	16
Szervezettség	A telep szervezettsége és a működéséhez szükséges anyagok biztosítása.	10
Látogatók és dolgozók	A dolgozók és látogatók belépésekor és kilépésekor alkalmazott ellenőrzési és higiéniai intézkedések.	12
Állatok beszerzése	Élőállatok beszerzésének, valamint az istállók állatokkal való benépesítésének gyakorlata.	7
Kiürítés	Az istállók kiürítésének protokollja (pl. vágóhídra vagy más baromfitartó telepre történő szállítás).	7
Takarmány- és vízellátás	Takarmány- és vízellátás biztosítása az istállókban.	9
Eltávolítás	Trágya és elhullott állatok eltávolítása a telep istállóiból.	13
Belső járványvédelem	A telepen belüli kórokozóterjedés megakadályozására irányuló összes intézkedés.	—
Betegségmegelőzés	A betegségek megelőzésére és ellenőrzésére irányuló intézkedések a telepen.	10
Kompartmentumok	Az egyes állattartó épületek között megvalósuló intézkedések.	11
Higiéniai program	A telepen végzett tisztítási és fertőtlenítési gyakorlatok.	11

Állatjólléti indikátorok vizsgálata

Az AWIN pulykákra vonatkozó protokollját használtuk az állatjólléti állapot felmérésére, amely állatalapú indikátorokat alkalmaz (AWIN, 2015). A protokoll négy állatjólléti alapelvet definiál: megfelelő tartási körülmények, megfelelő takarmányozás, jó egészségi állapot és megfelelő viselkedés. Ezen elvek mentén tizenkét egymást kiegészítő, de elkülönülő kritériumot különített el (AWIN, 2015). A vizsgálatokat olyan módon végeztük, hogy a kérdőívet a gazdaság vezetőjével közösen töltöttük ki, majd véletlenszerűen kiválasztott istállóban átmetszeti sétákat (transect method) hajtottunk végre. Az értékelési pontszámaik jó egyezést mutattak a képzés során. Az istállók szélességét 2–3 méteres sávokra osztottuk, épületenként átlagosan öt istálló – hosszanti átmetszeti – sétát (transect walk) végeztük (**3.1.2. ábra**; Marchewka és mtsai., 2015; Hrženjak és mtsai., 2021). A pulykák esetében a fej, hát és faroktájéki sérülések, mozdulatlanság, sántaság, testméret, tollhiány, szennyezettség, betegség és elhullás, valamint a viselkedés kerültek értékelésre az AWIN protokoll szerint (3.2.3. táblázat). Az adott kritériumok szerint kóros tünetet mutató állatokat összeszámoltuk, és az istállóban lévő összes állat számához viszonyítva százalékos arányban fejeztük ki. Az egyes gazdaságokra vonatkozó összesített jólléti indexet BenSassi és mtsai. (2019) és Averós és mtsai. (2022) módszerének módosított változatával számítottuk ki, ahol az azonos típusú állatjólléti problémákat mutató indikátorok százalékos értékeit összeadtuk. Az AWIN protokoll súlyozását megtartottuk, mivel egyes indikátorok több alapelvhez vagy kritériumhoz is tartozhatnak. Például a sántaság aránya egyszerre jelenik meg a „betegség hiánya” és a „fájdalom hiánya” kritériumokban, míg a tollhiány a „hőkomfort” és a „szociális viselkedés kifejezése” kritériumokhoz is kapcsolódik (**3.1.3. táblázat**). Minden indikátort annyiszor vettünk figyelembe az összesített indexben, ahányszor az AWIN protokoll előírja, hogy objektív eredményt kapjunk. Mivel az állatjólléti index a mért paraméterek százalékos értékeinek összege, az alacsonyabb pontszám jobb állatjólléti állapotra utal.

3.1.3. táblázat Az átmetszeti séták (transect method) során mért jólléti indexek (AWIN, 2015)

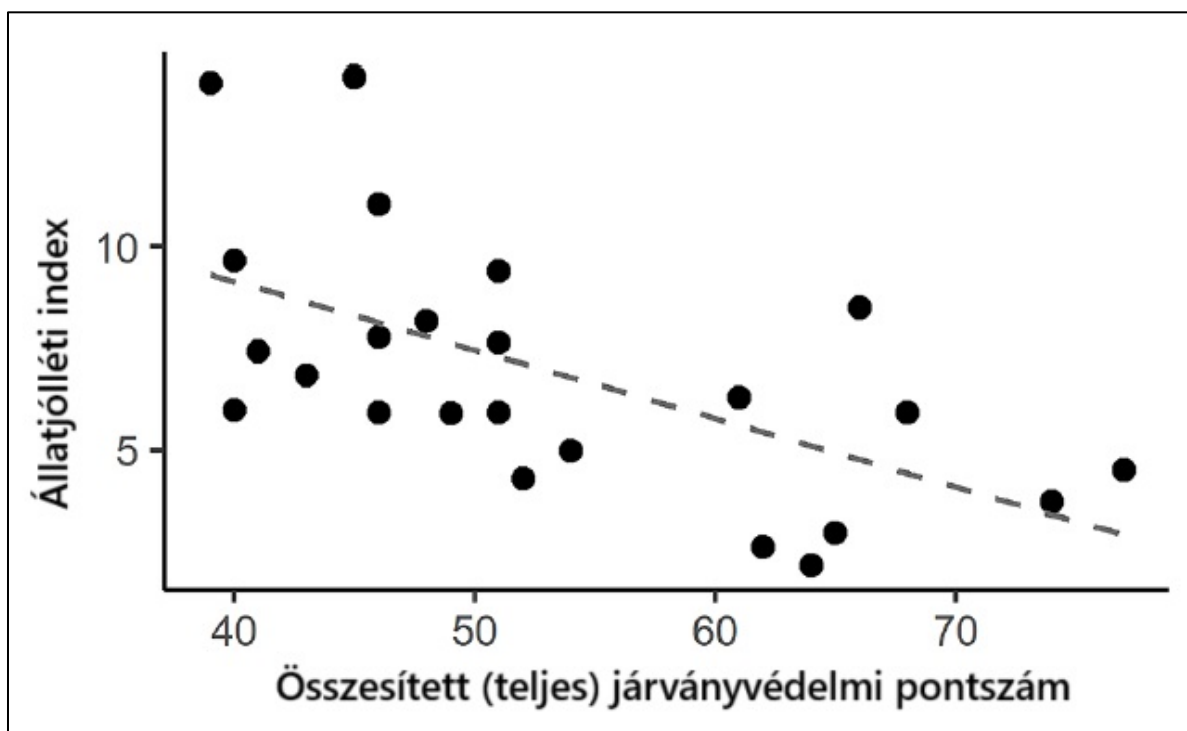
Jólléti alapelv	Jólléti kritérium	Értékelt indikátor	Vizuális jel
Jó egészségi állapot	Betegségek hiánya	Mozdulatlanság	Nem mozog, ha megközelítik vagy mozgásra ösztönzik
		Sántaság	Néhány lépés után megáll, pihen, miután az értékelő megközelíti
		Beteg	Egyértelmű egészségkárosodás jelei, pihenő testhelyzet, testrészek hiánya
		Agonizáló	A talajon mozdulatlan, gyenge légzés, félig lehunyt szem
		Elhullott	Nincs légzés, mozdulatlan
	Sérülés hiánya; társas viselkedés kifejezése	Fejsérülés	Sérülés a fejen, csőrön, bőrlebenyen vagy nyakon
		Hátsérülés	Sérülés a nyak és a farok kezdete közötti területen
		Faroksérülés	Sérülés a farok területén
Megfelelő tartási körülmények	Hőkomfort; társas viselkedés kifejezése; pihenési komfort	Tollhiány	Kiterjedt testtájékokon tollhiány
		Szennyeződés	Tollazat legalább 50%-án sötét szennyeződés
Megfelelő takarmányozás	Hosszan tartó éhezés hiánya; hosszan tartó szomjazás hiánya; betegség hiánya	Kis testméret	Láthatóan kisebb, mint az állomány átlaga
Megfelelő viselkedés	Társas viselkedés kifejezése	Agresszió társ irányába	Üldözés, csipkedés, repülés és heves csapkodás
		Párosodási viselkedés	Egymásra ülésre tett kísérletek

Statisztikai elemzés

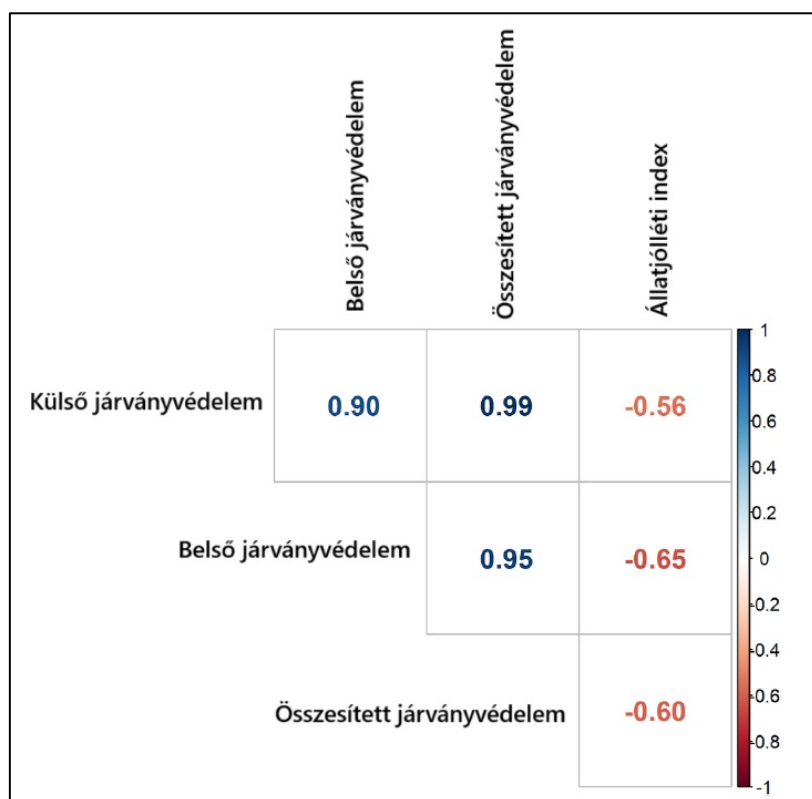
A jólléti indexet, valamint a külső, belső és teljes (összesített) járványvédelmi pontszámokat minden gazdaság esetében kiszámítottuk és rögzítettük. A külső és belső járványvédelmi alegységekre vonatkozó részpontszámokat is feljegyeztünk. Az állatjólléti index és a teljes, külső és belső biológiai biztonsági pontszámok, valamint az egyes részegységek közötti összefüggéseket grafikus módszerekkel vizsgáltuk. Mivel az adatok lineáris összefüggést mutattak, a Pearson-féle korrelációs együtthatót használtunk az összefüggések kvantitatív mérésére. A korrelációs együttható értéke +1 (erős pozitív kapcsolat) és -1 (erős negatív kapcsolat) között mozog. Az alkalmazhatóság feltételeit és az együtthatók értelmezését Schober és mtsai. (2018) ajánlásai szerint végezték. A szignifikanciaszintet $p < 0,05$ -ben határoztuk meg. A korrelációs együtthatók jó tájékoztatást adnak az állatjólléti index és a többi számszerű mérőszám közötti gyenge, közepes vagy erős kapcsolatról (Schober és mtsai., 2018), de nem sok információt szolgáltatnak e számszerű mérőszámok prediktív értékéről. Továbbá a jólléti index és az egyes járványvédelmi részek különféle intézkedései közötti páronkénti korrelációk nem adnak információt az esetleges kollinearitásról. E statisztikai problémák kiküszöbölésére és a biológiai biztonsági tényezők jólléti indexre gyakorolt hatásának pontosabb megértéséhez a random forest osztályozási és regressziós algoritmust alkalmaztuk. Ez az algoritmus több döntési fát illeszt az adatok egy részhalmazára, majd az a döntési fák prediktív hatékonyságát az adathalmaz fennmaradó részén értékeli. A döntési fa egy folyamatábra-szerű modell, amely prediktorváltozók alapján azonosít küszöbértékeket, és ezek segítségével homogénebb csoportokat hoz létre az eredményváltozó szempontjából. A random forest algoritmus számos ilyen fát kombinál, amelyek mindegyike véletlenszerűen kiválasztott prediktorváltozókkal dolgozik. Az algoritmus képes kezelni a kis elemszámú, sokváltozós adatokat, valamint a prediktorváltozók közötti interakciókat és kollinearitást, miközben azonosítja azokat a tényezőket, amelyek a legnagyobb hatással vannak az eredményváltozóra (azaz a jólléti indexre). A prediktor változók „fontosságát” Breiman (2001) permutációs módszerével határoztuk meg, amely az előrejelzési pontosságot hasonlítja össze az adott prediktor változó értékeinek felcserélése előtt és után. Az előrejelzési pontosságot a becült és megfigyelt értékek különbségének négyzetes átlaga fejezi ki. Ha ez a pontosság romlik, az adott prediktor változónak jelentős szerepe van az eredmény előrejelzésében. A pontosságcsökkenés mértéke alapján a prediktor változókat fontosság szerint rangsoroltuk. Az eredményeket vizuális módon is megjelenítettük. Az összes statisztikai elemzést az R (R Core Team, 2024) szoftver *base*, *corrupt* és *party* csomagjaival végeztük.

3.1.3. Eredmények

A jelen vizsgálatba bevont gazdaságokban mért átlagos állatjólléti index 6,9 volt (minimum: 2,1; maximum: 14,2), míg az átlagos teljes, külső és belső járványvédelmi pontszám rendre 53,3 (min.: 39; max.: 77), 51,9 (min.: 36; max.: 74), illetve 56,5 (min.: 42; max.: 83) volt. A feltáró jellegű analízis fordított arányosságot mutatott ki az állatjólléti index és a teljes járványvédelmi pontszám között (**3.1.3. ábra**). Ezt az összefüggést további korrelációs vizsgálatokkal elemeztük, melyek kiterjedtek az állatjólléti index és a külső, valamint belső járványvédelmi részpontszámok közötti korrelációkra is (**3.1.4. ábra**). A teljes járványvédelmi pontszám és a hozzá tartozó részpontszámok között az elvárt módon erős pozitív korrelációt találtak (0,95–0,99). Ezzel szemben a jólléti index és a gazdaságok teljes járványvédelmi pontszáma között szignifikáns, közepes erősségű negatív korreláció mutatkozott ($r = -0,597$; 95% CI: -0,256 – -0,806; $p = 0,0021$).

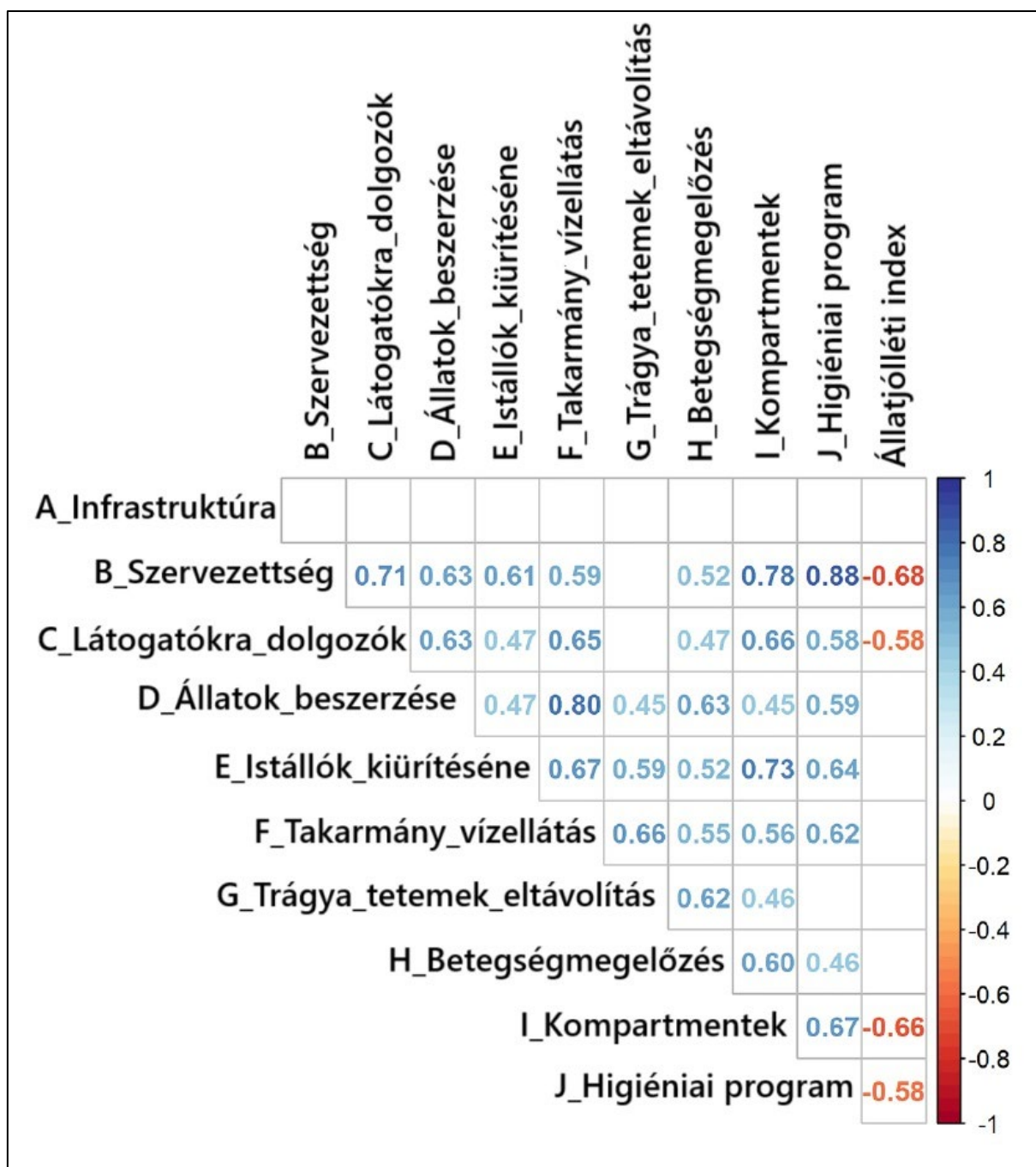


3.1.3. ábra A vizsgálatba vont gazdaságokban mért állatjólléti index és az összesített járványvédelmi pontértékek közötti korreláció pontbecslései. A szaggatott egyenes vonal kizárólag a tendenciát jelölésére szolgál.



3.1.4. ábra Az állatjólléti index és a járványvédelmi elemek (külső, illetve belső járványvédelem) közötti korrelációs együtthatók pontbecslései.

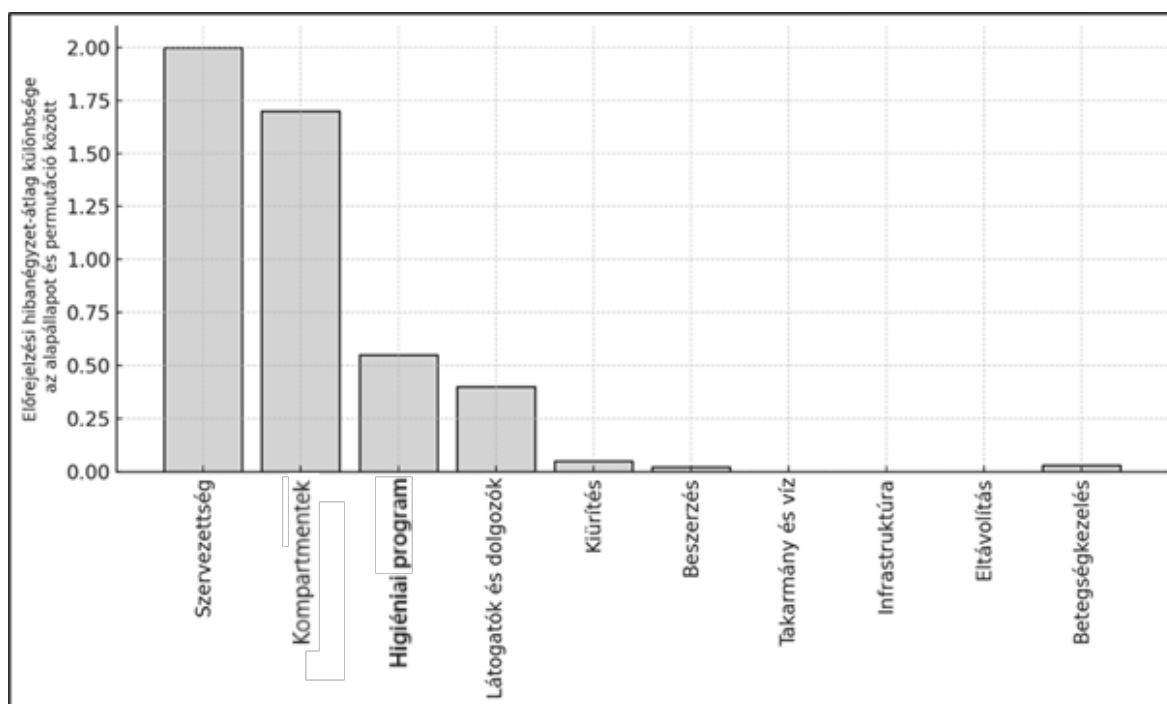
A **3.1.5. ábra** külön-külön szemlélteti a járványvédelmi részpontoszámok közötti, valamint ezek és az állatjólléti index közötti korrelációt. Schober és mtsai. (2018) által javasolt korrelációs együttható értelmezési küszöbök alapján statisztikailag szignifikáns, közepes erősségű korrelációt (0,4–0,69 közötti tartományban) mutattunk ki az állatjólléti index és a következő részpontoszámok között: a gazdaság szervezettsége, a látogatókra és dolgozókra vonatkozó higiéniai intézkedések, az állattartó épületek közötti intézkedések, valamint a telepi takarítási és fertőtlenítési eljárások.



3.1.5. ábra Az állatjólléti index és az egyes járványvédelmi kategóriák részpontszámok közötti statisztikailag szignifikáns ($p > 0,05$) Pearson-féle korrelációs együtthatók pontbecslései.

A **3.1.6. ábra** a random forest algoritmusban alkalmazott permutációs módszer alapján meghatározott változók fontossági sorrendjét mutatja. A random forest algoritmus eredményei alapján a legnagyobb prediktív értékkel bíró tényezők a következők voltak: a gazdaság menedzsmentjének szervezeti szintje, az állattartó épületek közötti higiéniai intézkedések járványvédelmi szintje, a telepi higiéniai program (tisztítási és fertőtlenítési eljárások), valamint a

dolgozókra és látogatókra alkalmazott higiéniai intézkedések. Ezek a tényezők szolgáltatták a legtöbb információt az állatjólléti index nagyságának előrejelzéséhez.



3.1.6. ábra Az állatjólléti index előrejelzésében szerepet játszó változók fontossági sorrendje a random forest algoritmus alapján. Az oszlopok magassága arányos azzal a hibamegnövekedéssel (veszteségfüggvény értékével), amelyet az adott prediktor változó értékeinek permutációja idézett elő az állatjólléti index előrejelzésének pontosságában.

3.1.4. Megbeszélés és következtetések

Vizsgálatunk szignifikáns összefüggést tárt fel a telepi járványvédelmi értékek és az állatjóllét értékek között a hízópulyka tartó gazdaságokban, ami arra utal, hogy a magasabb járványvédelmi szint jobb állatjólléti mutatókkal társul. Ez az eredmény összhangban áll a korábbi kutatásokkal, amelyek kiemelik a megfelelő járványvédelmi intézkedések szerepét az állatok egészségének és jóllétének javításában (Scott és mtsai., 2018; Siekkinen és mtsai., 2012). Különösen olyan gyakorlatok, mint a szigorú fertőtlenítési protokollok, az istállókhöz való hozzáférés kontrollja, valamint a hatékony betegségmegelőzési, illetve felügyeleti rendszerek segíthetnek a fertőzések kockázatának csökkentésében, így javítva az állomány általános egészségi és jólléti állapotát (Dewulf és Van Immerseel, 2018).

A külső és belső járványvédelmi intézkedések külön vizsgálata további információkat szolgáltatott. A külső járványvédelem – amely a kórokozók telepre való bejutásának megelőzésére irányul – szignifikáns összefüggést mutatott az állatjólléti indexekkel. Ez az eredmény megegyezik a szakirodalmi adatokkal, amelyek szerint a külső biológiai biztonság kiemelt fontosságú a fertőző ágensek állattartó gazdaságba történő bejutásának megakadályozásában (Guinat és mtsai., 2020; Hald és mtsai., 2000). Az olyan hatékony külső járványmegelőzési intézkedések, mint az új állatok karanténozása vagy a külsős látogatók belépésének korlátozása, alapvető fontosságúak a patogén kórokozóktól mentes környezet fenntartásában, közvetlenül befolyásolva az állatjóllétet. A belső járványvédelem – amely a telepen belüli kórokozók terjedésének megelőzésére irányul – szintén szignifikáns kapcsolatban állt az állatjólléti eredményekkel. A rendszeres takarítási és fertőtlenítési eljárások, az almos trágya, illetve elhullott állatok megfelelő módon történő eltávolítása és a jó szellőzéstechnika kulcsfontosságúak a betegségek terjedésének megakadályozásában és az állatok stresszének csökkentésében (Tanquilut és mtsai., 2020). Az állattartó gazdaságok mind külső, mind belső járványvédelem jelentősége rávilágít arra, hogy átfogó járványmegelőzési intézkedési tervek szükségesek, amelyek minden potenciális fertőzés-átviteli útvonalat számításba vesznek (Butucel és mtsai., 2022). A külső és belső járványvédelmi pontszámok közötti erős korreláció – ahogy azt a **3.1.4. ábra** is mutatja – más kutatások eredményeivel is összhangban van (Caekebeke és mtsai., 2020; Tilli és mtsai., 2022; Mallioris és mtsai., 2023).

A random forest algoritmus több olyan kulcsfontosságú járványmegelőzési intézkedést azonosított, amelyek jelentősen befolyásolják az állatjólléti indexet. A „Szervezettség”, a „Kompartmentek”, a „Higiéniai program” és a „Látogatók és dolgozók felügyelete” szerepeltek a legfontosabb változók között. A „Szervezettség” és a „Látogatók és dolgozók” a külső, míg a „Kompartmentek” és a „Higiéniai program” a belső járványvédelem meghatározó elemei (Dewulf és Van Immerseel, 2019). Ez alátámasztja a szervezett, jól strukturált járványvédelmi protokollok

jelentőségét. A szervezettség lényegi eleme például az írásos járványvédelmi intézkedési terv, amely tartalmazza a betegségmegelőzési szabályokat, így elősegítve a kórokozók bejutásának és terjedésének megelőzését a telepen belül (Tilli és mtsai., 2022; Delpont és mtsai., 2023). A baromfitartó gazdaságon belül jól elkülönített egyes részegységek – állattartó épületek – és az azok közötti jól felügyelt mozgás csökkenti a keresztfertőzések esélyét (Chantziaras és mtsai., 2014). A rendszeres és alapos tisztítás és fertőtlenítés alapvető fontosságú a környezetben lévő kórokozóterhelés csökkentésében, ami közvetlen hatással van az állatok egészségére és jóllétére (Ssematimba és mtsai., 2013). Egy állattartó telep járványvédelmi tervezésének kiemelt módszere a koncepcionális, strukturális és operatív komponensek integrált elemzése (Martin, 2017).

Egy korábbi vizsgálat 259 baromfitelepen értékelte a biológiai biztonsági előírások betartását Északkelet-Olaszországban, és általánosságban magas járványvédelmi szintet állapított meg, különösen a pulykatelepeken. Ugyanakkor hiányosságokat is azonosítottak, például brojlertartó gazdaságok esetén a higiénia terén, illetve a halomba szedett trágyás alom nem megfelelő módon történő letakarását pulyka és brojler tartó gazdaságokban egyaránt (Tilli és mtsai., 2022). Ezek az eredmények rávilágítanak a szigorú nemzeti szabályozások és az iparági integráció jelentőségére a magas szintű járványvédelem biztosítása érdekében. Operatív tényezők, mint például a dolgozók képzése vagy az állattartó gazdaság lakóövezetekhez való közelsége, szintén befolyásolják a biológiai biztonságot, hangsúlyozva az oktatás és az infrastrukturális fejlesztések szükségességét a különböző földrajzi régiókban (Tsegaye és mtsai., 2023). Azok a telepek, ahol átfogó biobiztonsági és jólléti intézkedéseket vezettek be, egészségesebb állományt és alacsonyabb mortalitási arányt mutattak, ami arra utal, hogy az állatjólléti szempontokat a telepi járványvédelmi tervezés szerves részévé volna szükséges tenni. Az integrált megközelítés – amely egyszerre kezeli a járványvédelmi és az állatjólléti szempontokat – vezetett a legkedvezőbb egészségügyi állapothoz Butucel és mtsai. (2022) vizsgálatában. Egy másik tanulmány szerint azok a gazdaságok, amelyekben magasabb állatjólléti normák érvényesültek, jellemzően jobb járványvédelmi gyakorlatokat is alkalmaztak (da Costa és Diana, 2022). Ez a pozitív kapcsolat arra utal, hogy az állatjóllét javítása kedvezően hathat a telepi járványvédelmi eredményekre is, ami kedvező visszacsatolást jelent az állategészségügy és a gazdaságok termelékenységére szempontjából. Mindez alátámasztja, hogy a leghatékonyabb eredményeket holisztikus telepírási szemlélettel lehet elérni, amelyben az állat-egészségügy és az állatjóllét egyaránt prioritást élvez.

A vizsgálatunkban tapasztalt szignifikáns korrelációk a járványvédelmi pontszámok és az állatjólléti indexek között arra utalnak, hogy a telepi járványmegelőzési intézkedések fejlesztése jobb állatjólléti állapotokat eredményezhet. Ez különösen fontos a nagy létszámú pulykatelepek

esetében, ahol a magas állománysűrűség fokozhatja a betegségek terjedését és az állatjólléti problémák kialakulását (Erasmus, 2018; Hafez és Shehata, 2021). A szigorú járványvédelmi intézkedések csökkenthetik a betegségek előfordulását, mérsékelhetik az antimikrobiális készítmények használatának szükségességét, és javíthatják az állatjóllétet (Dhaka és mtsai., 2023). Természetesen a korreláció nem jelent feltétlenül ok-okozati összefüggést; a járványvédelmi elemeken kívül más tényezők, például az ember-állat kapcsolat is hatással lehetnek az állatjóllétre (Mota-Rojas és mtsai., 2020). Az AWIN pulykákra vonatkozó protokollja nem tartalmazza az ember-állat viszony értékelését, így jelen kutatásunkban nem tudtuk vizsgálni a dolgozók viselkedésének hatását az állatjóllétre.

Eredményeink megerősítik, illetve hangsúlyozzák a telepi járványvédelmi és jólléti szempontok integrálásának fontosságát a gyakorlatban a telepi menedzsmentbe. A Biocheck.Ugent kérdőív és az AWIN protokoll egyaránt értékes keretet biztosítanak a biobiztonság és az állatjóllét értékeléséhez és fejlesztéséhez (Gelaude és mtsai., 2014; AWIN, 2015). Ezek használatával a gazdálkodók azonosíthatják a fejlesztendő területeket, és célzott intézkedéseket hozhatnak a járványvédelem és az állatjóllét javítása érdekében. Az olyan kihívások, mint az adatgyűjtés következtetlensége vagy a standardizált gyakorlatok hiánya, jobb adatmegosztással és egységes értékelési módszerekkel leküzdhetők (Delpont és mtsai., 2023).

A tanulmány továbbá hangsúlyozza, hogy a mindinkább intenzívebbé váló baromfitartási rendszerekben elengedhetetlen a járványvédelmi, illetve az állatjólléti kritériumok együttes kezelése. A fokozott járványvédelmi intézkedések jobb állatjólléti állapotokkal társulnak, ami hangsúlyozza az átfogó és szakszerűen végrehajtott telepi betegség megelőzési protokollok szükségességét. A jövőbeni kutatásoknak tovább kell vizsgálniuk e kapcsolatrendszer, különösen a járványvédelmi fejlesztések hosszú távú hatásait az állatjóllétre és termelékenységére. A járványvédelmi és állatjólléti szempontokat egyaránt figyelembe vevő holisztikus megközelítés fenntartható és etikusan is elfogadható baromfitartási rendszerekhez vezethet a jövőben. Jelen kontextusban a holisztikus megközelítés a baromfitartásban olyan komplex szemléletet jelent, amely nem csupán egyes részterületekre – például termelési mutatókra vagy járványvédelemre – fókuszál, hanem egészében, rendszerszinten vizsgálja az állattartás minden aspektusát, és azok összefüggéseit. A cél az, hogy az állategészségügyi, állatjólléti, környezetvédelmi és gazdasági tényezők egyensúlyban és összehangoltan érvényesüljenek.

3.2. *Bacillus licheniformis* tartalmú mikrobiális alomkezelő készítmény hatásának vizsgálata módosított tartási körülmények között nevelt pulykaállományokban

3.2.1. Célkitűzések

Jelen kísérletünk célja egy alomkezelő készítmény (AlomPur®, Biovéd 2005 Kft., Pinkamindszent, hatóanyag: $5,2 \times 10^8$ CFU/g *B. licheniformis*, zeolit *vivőanyagban elkeverve*) hatásának vizsgálata volt az intenzív körülmények között nevelt végtermék pulyka állomány istálló-mikroklímájának és istálló-levegőminőségének állapotára és termelési teljesítményére.

A vizsgálat kiinduló hipotézise, hogy az alomkezelő anyag a levegőminőséget javító (léghőköri ammónia-koncentrációt csökkentő) hatása révén kedvezően hat a pulykaállományok egészségi állapotára és termelési mutatóira azáltal, hogy a *B. licheniformis* cellulózbontó baktérium az NH_3 termelő baktériumok kompetitoraként viselkedik, mivel anyagcseréjéhez felhasználja az állati vizeletben és ürülékben található nitrogéntartalmú vegyületek jelentős részét, aminek következtében az ammóniaképző baktériumoknak így nem marad tápanyag.

3.2.2. Anyag és módszer

A kísérlet helyszínéül az Állatorvostudományi Egyetem Üllői Tangazdaságának (Dóramajor) kísérleti baromfinevelő épülete szolgált. A kísérlet teljes időtartama 18 hét volt, az állatok előnevelést követően, 6. élethetes korban kerültek a kísérleti termekbe, ahol 24. élethetes korukig tartottuk őket. A kísérlet lefolytatása során a nemzeti, illetve nemzetközi jogszabályok figyelembevételével zajlott, a Pest Vármegyei Kormányhivatal Élelmiszerlánc-biztonsági, Földhivatali, Növény- és Talajvédelmi, Erdészeti Főosztály, valamint az Állategészségügyi Osztály engedélye mellett (Engedély szám: PE/EA/1278-6/2021., jóváhagyás dátuma: 2021.12.27.).

A négy hónapig tartó kísérletbe *Hybrid Converter*® bakpulyka hibridek (*Hendrix Genetics Company, Hybrid Turkey*) kerültek beállításra. Az állatokat hat élethetes korukban szállítottuk a kísérleti telepre, a kísérleti tervben lefektetett paraméterek szerint előkészített istállóba, majd 24. élethetes korukban vágóhídon levágtuk őket. A teljes tartási időintervallum ennek megfelelően 18 élethét volt. A kísérleti épületben, a madarak tartására szolgáló, egyenként 15,6 m² alapterületű kísérleti teremben (**3.2.1. ábra**). Alomanyagként szecs-kázatlan szalmát helyeztünk le, egyenletes rétegvastagságban (kb. 6 cm) elterítve. A kísérlet teljes időtartama alatt, két hetente, vékony (nagyjából 0,5 cm-es) rétegben szecs-kázatlan alomszalmát szórtunk ki a megfelelő alomminőség fenntartása érdekében.



3.2.1. ábra A vizsgálatban használt bakpulykák és az elhelyezésükre szolgáló kísérleti terem.
(Forrás: saját fénykép)

Az 1. és 2. számú termekbe az intenzív állattartási, telepi gyakorlatban leginkább elterjedt állománysűrűség szerinti $2,5$ egyed/ m^2 ($50-56$ kg/ m^2) telepítési sűrűséggel $39-39$ pulykát, a 3.- és 4. sz. termekbe pedig 40% -kal megnövelt ($3,5$ egyed/ m^2 , azaz ($70-77$ kg/ m^2) telepítési sűrűséggel $55-55$ pulykát telepítettünk be **(3.2.1. táblázat)**. Összesen tehát 188 pulykát vontunk a kísérletbe. A két-két kísérleti terem így, egy párhuzamos, egy időben futó kísérletet tett lehetővé. Az alomkezelő anyagot az 1-es számú (normál telepítési sűrűség melletti kísérleti (NKIS) és a 3-as számú (magas telepítési sűrűség melletti kísérleti (MKIS) termekben az első alkalommal, az alomszalma szétterítése előtt juttattuk ki egyenletesen a száraz felületű, egybefüggő, sima beton anyagú padozaton, majd az alomanyag kijuttatását és elterítését követően, az alomszalmával részben összekevertük. Kijuttatási koncentráció: 20 kg/ 1000 m^2 volt (2%). A kísérlet későbbi szakaszában, a teljes, négy hónapig tartó kísérleti időszak felénél, $15.$ élethetes korban újabb adag alomanyag kezelő készítményt terítettünk szét a kísérleti csoportok elhelyezésére szolgáló termekbe. A kijuttatási koncentráció megegyezett a korábbival (20 kg/ 1000 m^2). Az NKIS csoport kontrollja a 2-es számú teremben elhelyezett pulykák voltak (NKON), az MKIS csoporté pedig a 4-es számú terem volt (MKON). A kontroll termekben nem történt alomszalma kezelés. Mind a négy terem külön bejárattal, önálló légbeejtő ablakkal, illetve elszívó ventillátorral rendelkezett, egymástól teljesen független szellőzőtechnikával. A tartástechnológiai ajánlások alapján a

légsebesség 2 m/s célértékre volt beállítva a termekben. A hőmérséklet és páratartalom értékek a *Hendrix Genetics Company (Boxmeer, The Netherlands)* az ajánlásoknak megfelelően lettek beállítva (<https://www.hybridturkeys.com/en/resources/commercial-management/>). A termék relatív páratartalmát 40-60% közötti tartományban, a hőmérsékletet pedig az első két héten (7. és 8. élethét) 20°C, a 9. élethéten 19°C, a 10. élethéten 18°C, a 11. élethéten 17°C, a 12. élethéten 16°C, a 13. és 14. életheteken 15°C, a 14. élethetet betöltve, azt követő időszakokban pedig 14°C volt.

3.2.1. táblázat A kísérleti csoportok kialakítása és az állománysűrűségi adatok. NKIS – normál telepítési sűrűség, alomanyaggal kezelt csoport; NKON – normál telepítési sűrűség, nem kezelt csoport; MKIS – megemelt telepítési sűrűség, alomanyaggal kezelt csoport; MKON – megemelt telepítési sűrűség, nem kezelt csoport.

Termék száma és csoportok megnevezése	Állomány-sűrűség	Alomanyag-kezelés
1. kezelt csoport (NKIS)	2,5 egyed / m ²	<i>B. licheniformis</i> +zeolit tartalmú készítmény
2. nem kezelt (kontroll) csoport (NKON)	2,5 egyed / m ²	---
3. kezelt csoport (MKIS)	3,5 egyed / m ²	<i>B. licheniformis</i> +zeolit tartalmú készítmény
4. nem kezelt (kontroll) csoport (MKON)	3,5 egyed / m ²	---

A termék mindegyike automatikus, számítógép által vezérelt szellőzéstechnikával működött. A szellőzés az életkornak megfelelően beállított hőmérsékleti célérték alapján üzemelt, figyelembe véve a 2 m/s légsebességet, illetve a 4-6 m³/élőtömeg kg óránként kicserélendő levegőmennyiséget. A megvilágítás LED típusú fényforrással, szintén technológiai ajánlás alapján beállított 80 lux fényintenzitáson történt. A napi megvilágított órák száma 16, a sötét (alvási) periódus 8 óra volt. A világítás minden teremben 21:00 órakor kapcsolt ki, és másnap, 5:00 órakor kapcsolt be. Termenként 2 db önetető és 2 db önitató biztosította a folyamatos itatóvíz-ellátást és *ad libitum* takarmányozást. A takarmány a kísérletben felhasznált hibridnek megfelelő, a *Hybrid Turkey® (Hendrix Genetics Company, Boxmeer, The Netherlands)* ajánlásának (<https://www.hybridturkeys.com/en/resources/commercial-management/feed-and-water/nutrient-guidelines/>) megfelelően gyártották (**3.2.2. táblázat**).

3.2.2. táblázat A kísérlet során alkalmazott Hendrix Genetics Company (Boxmeer, The Netherlands) ajánlásának megfelelő takarmányozási program.

	Nevelő 1	Nevelő 2	Befejező 1	Befejező 2
Élethét	6-9.	9-12.	12-16.	>16.
AMEn (MJ/kg)	12,8	13,1	13,4	13,6
Nyersfehérje (%)	24	21	18	17
Lizin (%)	1,39	1,22	0,99	0,82
Arginin (%)	1,40	1,23	1,00	0,83
Metionin (%)	0,56	0,49	0,42	0,35
Metionin+cisztein (%)	0,90	0,79	0,68	0,61
Treonin (%)	0,83	0,73	0,59	0,52
Triptofán (%)	0,22	0,20	0,15	0,12
Valin (%)	0,97	0,85	0,70	0,62
Izoleucin (%)	0,86	0,76	0,61	0,51

A termekben az aktuális CO₂ és NH₃-koncentrációt Dräger® X-am 7000 és Dräger® X-am 8000 típusú készülékkel (Drägerwerk AG Co. KGaA, Lübeck, Németország), hetente két alkalommal rögzítettük és a számításokhoz alkalmanként három mérés átlagát használtuk. Rögzítésre került továbbá termenként a víz- és takarmányfogyasztás, az elhullási mutatók, a heti súlygyarapodás.

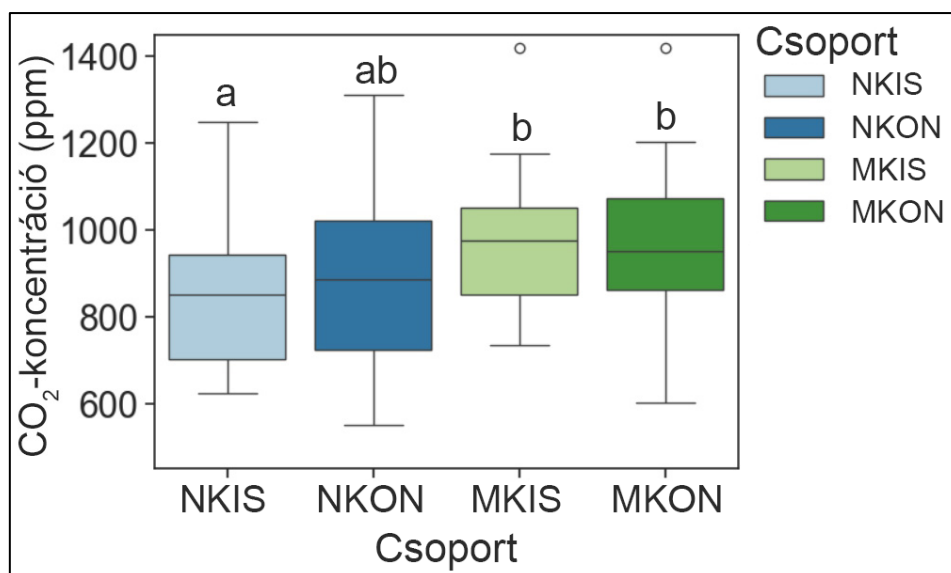
A fajlagos takarmányhasznosítást az egy kilogramm élősúlyra vetített takarmányfogyasztás alapján számoltuk ki – az állatok testtömeg mérését hetente, csoportonként 10 állatnál végeztük és a rögzített súlyadatokról számolt átlag képezte az adott csoport adott heti átlagsúlyát. A minél pontosabb eredmények érdekében az elhullott állatok által elfogyasztott takarmányt levontuk az adott csoport takarmány-fogyasztásából, illetve az elhullott állatok átlagsúlyának hozzáadásával korrigáltuk a fajlagos takarmányhasznosítást a korrekció nélküli számításokon felül. Tehát az egyik esetben az elhullott állatok által az elhullás időpontjáig elfogyasztott takarmánymennyiség került levonásra az összes állat által elfogyasztott takarmányból, míg a másik esetben az elhullott állatoknak az elhullás hetében lévő súlya – a hetente lemért állatokból számított átlagos testtömeggel kalkulálva – került hozzáadásra az összes állat testsúlyához a fajlagos takarmányhasznosítás számításánál.

Az NH_3 - és CO_2 koncentrációk statisztikai elemzését két utas ANOVA-próbával végeztük Python 3.11 (*Python Software Foundation, Delaware, USA*) és a hozzátartó megfelelő statisztikai könyvtárak felhasználásával. A kategorikus változók a kezelés (kezelt, nem kezelt), illetve az állománysűrűségek (normál, emelt) voltak, míg a függő változók a mért NH_3 - és CO_2 koncentrációk voltak. Az egyes csoportokat ezután *post hoc* teszt (*Tukey's Honest Significant Difference test*) segítségével páronként összehasonlítottuk. A testtömegek összehasonlító elemzését szintén több utas ANOVA-próbával végeztük. Statisztikailag szignifikánsnak akkor tekintettünk egy kapott értéket, ha $p < 0,05$ értéket vett fel.

3.2.3. Eredmények

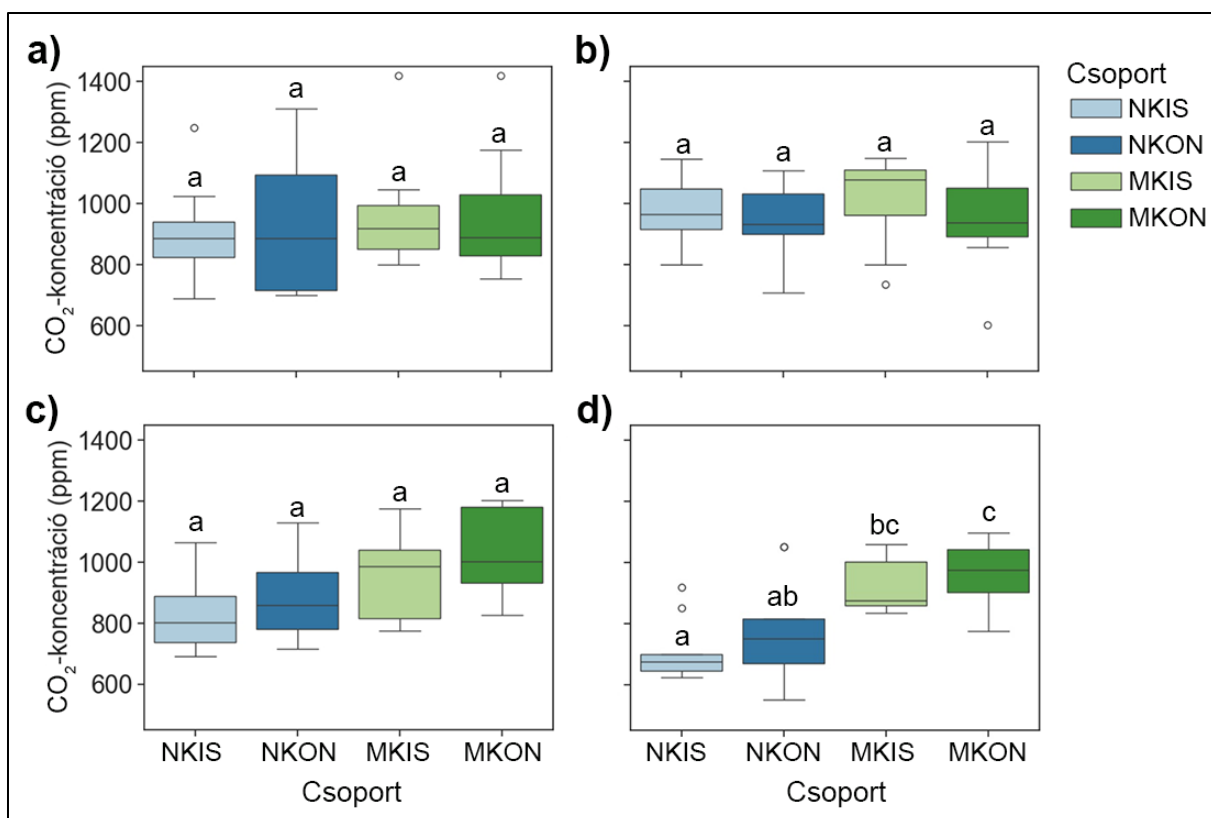
CO_2 koncentráció alakulása

A CO_2 koncentráció változását a telepítési sűrűség és az alomkezelés függvényében elemeztük (3.2.2. és 3.2.3. ábra). A vizsgálat során mért légköri CO_2 -koncentráció változása csak a telepítési sűrűség függvényében volt statisztikailag szignifikáns ($p = 0,0005$). Élethét periódus bontásban megvizsgálva a mért gáz koncentrációkat az tapasztaltuk, hogy csak 20-24. élethét periódus esetén mutatkozott meg szignifikáns hatás a telepítési sűrűség és CO_2 koncentrációk között ($p < 0,0001$). Ezen időszak esetén az egyes csoportokat összehasonlítva szignifikáns eltérés a széndioxid-koncentrációban az NKIS és MKIS ($p = 0,0060$), valamint a NKON és MKON termék között ($p = 0,0227$) tapasztaltunk. Az AlomPur® készítménnyel kezelt és nem kezelt termék esetében nem találtunk különbséget.



3.2.2. ábra A szén-dioxid koncentrációk átlagának alakulása a különböző kísérleti csoportokban a kísérlet teljes időtartamára vonatkozóan. NKIS – normál telepítési sűrűség, alomanyaggal kezelt csoport; NKON – normál telepítési sűrűség, nem kezelt csoport; MKIS – megemelt telepítési sűrűség, alomanyaggal kezelt csoport; MKON – megemelt telepítési sűrűség, nem kezelt csoport.

^{a,b} Az ábrán az azonos betűvel jelölt értékek között nem volt szignifikáns ($p < 0,05$) különbség.

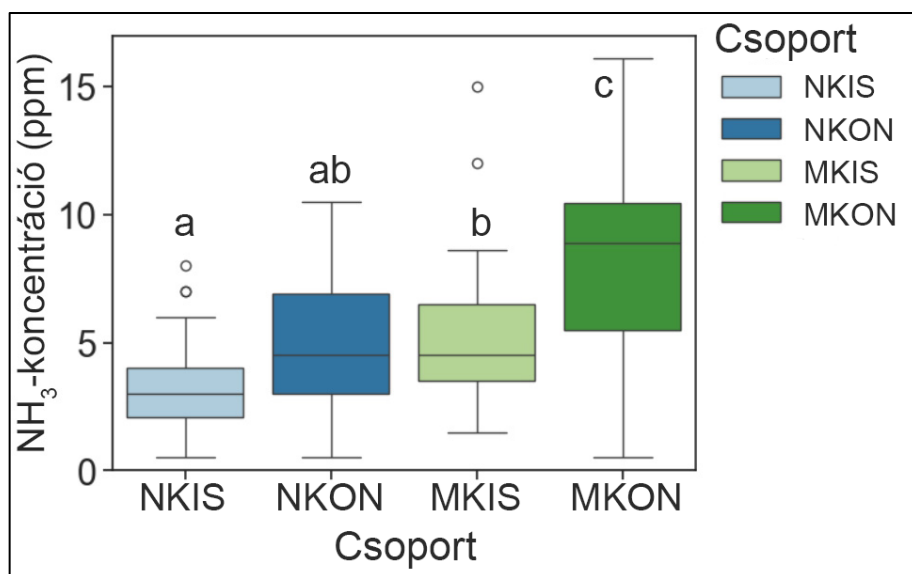


3.2.3. ábra A szén-dioxid koncentrációk *boxplot* ábrái a különböző kísérleti csoportokban, **a)** 6-10. élethét **b)** 11-15. élethét **c)** 16-19. élethét **d)** 20-24. élethét között, a különböző időperiódusokban. NKIS – normál telepítési sűrűség, alomanyaggal kezelt csoport; NKON – normál telepítési sűrűség, nem kezelt csoport; MKIS – megemelt telepítési sűrűség, alomanyaggal kezelt csoport; MKON – megemelt telepítési sűrűség, nem kezelt csoport.
^{a,b,c}Az ábrán az azonos betűvel jelölt értékek között nem volt szignifikáns ($p < 0,05$) különbség.

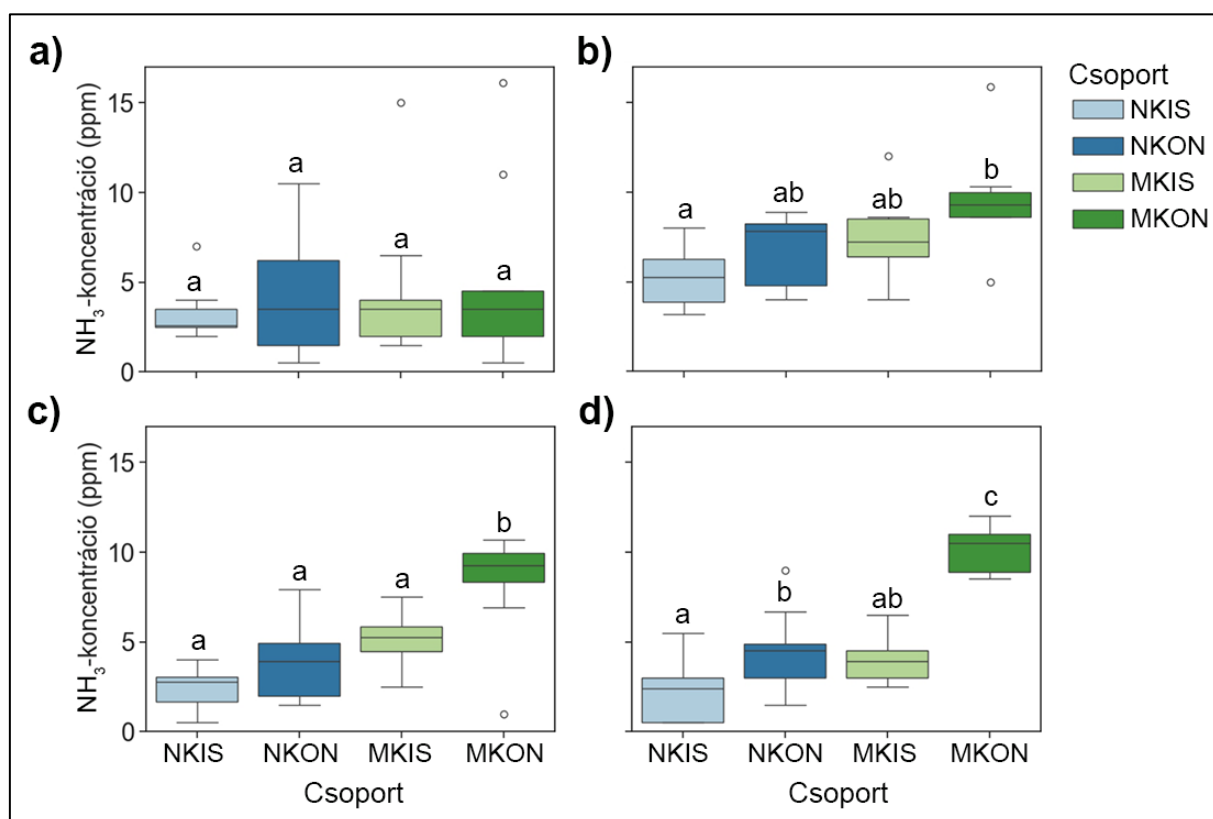
NH₃ koncentráció alakulása

A légköri NH₃ koncentráció változását az **3.2.4.** és **3.2.5. ábra** szemlélteti. A gáz koncentrációjára mind a telepítési sűrűség, mind pedig az alomkezelés jelentős szignifikáns hatással volt ($p < 0,0001$; $p < 0,0001$). A kezelt és nem kezelt csoportok páronkénti összehasonlítása során számos csoport között mutatkozott szignifikáns különbség a teljes időperiódust figyelembe véve. Ebben az esetben is az NKIS és MKIS ($p = 0,0220$) között mutatkozott szignifikáns eltérés. Ezenkívül a NKON és MKON ($p = 0,0001$) és a MKIS és MKON csoportok ($p = 0,0002$) között volt még megfigyelhető szignifikáns különbség.

Egyes időperiódusokat tovább vizsgálva több különböző időszakban is szignifikáns eltéréseket találtunk a kísérleti csoportok között. A 11-15. élethétig tartó időszakban az NKON és MKON ($p = 0,0016$) és MKIS és MKON csoportok között ($p = 0,0331$) volt megfigyelhető szignifikáns különbség. Végül a kísérlet utolsó negyedében (20-24. élethét) mért adatok különböztek a legtöbb csoport esetén egymástól: NKIS és NKON ($p = 0,0314$), NKON és MKON ($p < 0,0001$), illetve MKIS és MKON csoportok ($p < 0,0001$).



3.2.4. ábra Ammónia koncentrációk *boxplot* ábrája a különböző kísérleti csoportokban a kísérlet teljes időtartamára vonatkozóan. NKIS – normál telepítési sűrűség, alomanyaggal kezelt csoport; NKON – normál telepítési sűrűség, nem kezelt csoport; MKIS – megemelt telepítési sűrűség, alomanyaggal kezelt csoport; MKON – megemelt telepítési sűrűség, nem kezelt csoport.
^{a,b,c} Az ábrán az azonos betűvel jelölt értékek között nem volt szignifikáns ($p < 0,05$) különbség.



3.2.5. ábra Az ammónia koncentrációk *boxplot* ábrái a különböző kísérleti csoportokban, **a)** 6-10. élethét **b)** 11-15. élethét **c)** 16-19. élethét **d)** 20-24. élethét között, a különböző időperiódusokban. NKIS – normál telepítési sűrűség, alomanyaggal kezelt csoport; NKON – normál telepítési sűrűség, nem kezelt csoport; MKIS – megemelt telepítési sűrűség, alomanyaggal kezelt csoport; MKON – megemelt telepítési sűrűség, nem kezelt csoport.
^{a,b,c} Az ábrán az azonos betűvel jelölt értékek között nem volt szignifikáns ($p < 0,05$) különbség.

Testtömeg mérések eredményei

A testtömeg átlagok összehasonlítása kapcsán számos szignifikáns különbséget tapasztaltunk a különböző csoportok között már a 15. élethétől egészen a kísérlet végéig (**3.2.3. táblázat**). NKIS-NKON csoportok 21. élethétén, NKIS-MKIS 18., 19., 21. élethétén, MKIS-MKON csoportok a 23., 24. élethétén, végül az NKON-MKNO csoportok a 20., 22., 23., 24. élethétén különböztek szignifikánsan egymástól.

3.2.3. táblázat A különböző csoportok élethetenkénti átlagos testtömegeinek (kg) összehasonlítása. NKIS – normál telepítési sűrűség, alomanyaggal kezelt csoport; NKON – normál telepítési sűrűség, nem kezelt csoport; MKIS – megemelt telepítési sűrűség, alomanyaggal kezelt csoport; MKON – megemelt telepítési sűrűség, nem kezelt csoport. Az két utas ANOVA próbák szignifikancia értékei a további oszlopokban láthatók.

^{a,b}A táblázatban az azonos betűvel jelölt értékek között nem volt szignifikáns ($p < 0,05$) különbség.

Élethét	NKIS	NKON	MKIS	MKON	Alomkezelés (P-érték)	Telepítési sűrűség (P-érték)	Alomkezelés X Telepítési sűrűség (P-érték)
15.	14,5 ^a	14 ^{ab}	14,2 ^{ab}	13,9 ^b	0,0050	0,0815	0,5058
16.	15,9 ^a	15,5 ^{ab}	15,5 ^{ab}	15,1 ^b	0,0066	0,0092	0,7672
17.	17,4 ^a	16,9 ^{ab}	16,7 ^{ab}	16,4 ^b	0,0447	0,0029	0,5465
18.	18,8 ^a	18,1 ^{ab}	17,9 ^b	17,6 ^b	0,0262	0,0016	0,5230
19.	20 ^a	19,4 ^{ab}	19,1 ^b	18,7 ^b	0,0105	0,0006	0,6967
20.	21,1 ^a	20,6 ^a	20,3 ^{ab}	19,8 ^b	0,0099	0,0004	0,9203
21.	22,1 ^a	21,4 ^b	21,4 ^b	20,8 ^b	0,0007	0,0005	0,8703
22.	23,1 ^a	22,5 ^a	22,4 ^{ab}	21,8 ^b	0,0019	0,0009	0,8133
23.	23,9 ^a	23,3 ^a	23,3 ^a	22,5 ^b	0,0008	0,0008	0,7663
24.	24,6 ^a	23,9 ^a	23,9 ^a	23,2 ^b	0,0008	0,0006	0,8574

Fajlagos takarmányhasznosítási mutató eredményei

A fajlagos takarmányhasznosítás számításánál a korrekció nélküli fajlagos takarmányhasznosításon túlmenően, pontosabb, az elhullott állatok testtömegének hozzáadásával (végsúlyhozzáadással korrigált fajlagos takarmányértékesítés), továbbá az elhullott állatok által elfogyasztott takarmány csoportonkénti összesített takarmányfogyasztásából történt levonásával korrigált fajlagos takarmányhasznosítás számítása is megtörtént. Tehát az egyik esetben az elhullott állatok által az elhullás időpontjáig elfogyasztott takarmánymennyiség került levonásra az összes állat által elfogyasztott takarmányból, míg a másik esetben az elhullott állatoknak az elhullás hetében lévő súlya – a hetente mért átlagos testtömeggel kalkulálva – került hozzáadásra az összes állat testsúlyához a fajlagos

takarmányhasznosítás számításánál. Fontos megjegyezni, hogy az FCR értékek statisztikai módon történő összehasonlításához egyedi takarmányfogyasztási adatokra és súlymérésekre van szükség, amely jelen kutatásnál azért nem jöhetett szóba, mivel állat-állat interakció vizsgálat történt, tehát a csoportos tartás elengedhetetlen volt. Ugyanakkor a gyakorlatban – telepi körülmények között – az FCR számítás tartásterenkénti átlagos takarmányfogyasztásból és átlagos súly adatokból számítják, így fontosnak tartjuk ezen adatok közlését a gyakorlat számára. Fontos megjegyezni, hogy a *Hybrid Converter*[®] típusú hibridet 20, maximum 22 hetes koráig gazdaságos tartani. 22 hetes kortól a fajlagos takarmányhasznosítás jelentősen romlik, ugyanis a nagymértékű takarmányfelvételt nem követi a testtömeg intenzív gyarapodása. Tekintettel arra azonban, hogy az alomkezelő készítmény hatását a nagy élősúlyú, vágásérett állatok esetében is tesztelni kívántuk, elsősorban a levegőminőség (NH₃-tartalom) ellenőrzése céljából, így a 21-22. élethetes, vágóhídi feldolgozásra ideális életkort követően, még 2 hétig túltartottuk az állatokat.

A 2,5 és 3,5 madár/m² állomány-sűrűség mellett, a kísérlet utolsó négy hétében (20-24. élethét), a különböző csoportok fajlagos takarmányhasznosítás értékei a **3.2.4. táblázat** láthatók. Kedvezőbb érték született az NKIS csoportban, mindhárom vizsgálat életkorban (rendre: 2,84 kg/kg, 3,07 kg/kg, illetve 3,49 kg/kg fajlagos takarmányértékesítési mutatókat számítottunk) az NKON csoporttal szemben (2,98, 3,30, illetve 3,68 kg/kg fajlagos takarmányhasznosítási értékek). Ugyanez volt megfigyelhető a nagyobb állománysűrűségű csoportok esetében, az MKIS csoportban jobb értékeket számítottunk (2,94, 3,27, illetve 3,58 kg/kg) az MKON csoporttal szemben (2,98, 3,26 és 3,64 kg/kg). A takarmány levonással vagy végsúlyhozzáadással korrigált fajlagos takarmányhasznosítási mutatók esetében is a kísérleti – azaz a kezelt – csoportokban születtek kedvezőbb értékek (lásd táblázat).

Az ivóvízfogyasztásban nem észleltünk különbséget az egyes csoportok között. Az alacsony mintaelemszámok miatt az elhullások tekintetében nem lehetett jelentős különbségeket megállapítani. Valamennyi csoportban a gyakorlati tapasztalatok alapján normális mértékűnek jellemezhető elhullási arányt tapasztaltunk (NKIS, NKON, MKIS, MKON csoportokban rendre: 2,2,3,1).

3.2.4. táblázat A négy csoportban, három életkorban (20., 22. és 24. élethét) számított fajlagos takarmányhasznosítási értékek összefoglalása. NKIS – normál telepítési sűrűség, alomanyaggal kezelt csoport; NKON – normál telepítési sűrűség, nem kezelt csoport; MKIS – megemelt telepítési sűrűség, alomanyaggal kezelt csoport; MKON – megemelt telepítési sűrűség, nem kezelt csoport.

		NKIS	NKON	MKIS	MKON
		alomkezelt	kontroll	alomkezelt	kontroll
		2,5 egyed /m ²	2,5 egyed /m ²	3,5 egyed /m ²	3,5 egyed /m ²
20. élethét	Korrekció nélküli fajlagos takarmányhasznosítás	2,84	2,98	2,94	2,98
	Takarmány levonással korrigált fajlagos takarmányhasznosítás*	2,75	2,96	2,83	2,95
	Végsúlyhozzáadással korrigált fajlagos takarmányhasznosítás**	2,73	2,95	2,81	2,94
22. élethét	Korrekció nélküli fajlagos takarmányhasznosítás	3,07	3,30	3,27	3,26
	Takarmány levonással korrigált fajlagos takarmányhasznosítás*	2,99	3,28	3,18	3,24
	Végsúlyhozzáadással korrigált fajlagos takarmányhasznosítás**	2,96	3,26	3,15	3,23
24. élethét	Korrekció nélküli fajlagos takarmányhasznosítás	3,49	3,68	3,58	3,64
	Takarmány levonással korrigált fajlagos takarmányhasznosítás*	3,42	3,66	3,50	3,61
	Végsúlyhozzáadással korrigált fajlagos takarmányhasznosítás**	3,38	3,64	3,46	3,60
*Az elhullott állatok által az elhullás időpontjáig elfogyasztott takarmánymennyiség került levonásra az összes állat által elfogyasztott takarmányból. **Az elhullott állatoknak az elhullás napján lévő súlya került hozzáadásra az összes állat testsúlyához a fajlagos takarmányhasznosítás számításánál.					

3.2.4. Megbeszélés és következtetések

Az intenzív brojlertenyésztés során nagy mennyiségű trágya képződik, amely jelentős környezeti terhelést jelent (Karamanlis és mtsai., 2008). Ezért az alternatív alomkezelési megoldások kiemelt jelentőségűek.

Eredményeink alapján, a mért CO₂-koncentrációkra az alomkezelés nem volt hatással. Korábbi kísérletek kapcsán, ugyanakkor leírták hogy baromfi trágyához adott 12% zeolit kiegészítés jelentősen tudta csökkenteni annak CO₂ kibocsátását (Wang és mtsai., 2012). *B. licheniformis* baktériumot tartalmazó biológiai adalékanyag 0,4 kg/m³ koncentrációban pedig szintén képes volt nagy mértékben csökkenteni a sertés hígtrágyából felszabaduló CO₂ mennyiségét (El Bied és mtsai., 2023). Az általunk elvégzett kutatásban 2 %-nyi zeolit tartalmú alomkezelő készítményt juttattunk ki egységes területre, így feltételezhető, hogy ezen ok következtében nem tapasztaltunk a CO₂-koncentrációban jelentős mértékű csökkenést a többi tanulmányban lévő eredményekhez képest, ahol 12 %, ill. 40 %-nyi mennyiségben alkalmazták a zeolitot (Kardaya és Ulupi, 2006; Wang és mtsai., 2012; Bintaş és mtsai., 2014).

Az NKIS csoportban, az MKIS csoporthoz, valamint az NKON csoportban az MKON csoporthoz képest mért szignifikánsan alacsonyabbak CO₂ gázkoncentrációk valószínűleg csak a telepítési sűrűségnek volt köszönhető, hiszen a több madár, ugyanakkora légtérben lényegesen nagyobb mértékű gázcserét folytatott és az így a levegőbe kerülő CO₂ mennyiségére az alomkezelés természetesen nem gyakorolt hatást.

A mért légköri NH₃-koncentrációk esetén a NKIS csoport értékei szintén szignifikánsan alacsonyabbnak bizonyultak mindkét emelt állománysűrűségű csoportok értékeitől, azonban a NKON csoport csak a kísérlet utolsó negyedében (20-24. élethét) különbözött szignifikánsan. Ezzel szemben az MKIS csoport esetén mért NH₃-koncentrációk már a kísérlet második felétől egészen annak végig szignifikánsan alacsonyabbak voltak az MKON csoportban mért értékekhez képest (**3.2.5. ábra**). Hasonló eredményekre jutottak Karamanlis és mtsai. (2008), ugyanis kísérletükben az alomkezelt csoporthoz képest csak abban a csoportban volt alacsonyabb NH₃-koncentráció, amelynél a kezelés mellett a takarmányba is zeolitot keverték 2%-os arányban. Ez utóbbi jótékony hatás más kutatásokban nem jelentkezett (Amon és mtsai. 1997). Kísérletes körülmények között baromfi trágyához adott 1% zeolit is jelentősen csökkentette az NH₃ felszabadulást (Wlazło és mtsai., 2016).

A testsúly tekintetében, a kontroll és a kísérleti csoportok madarai között több mérési időpontban is különbség mutatkozott. A normál és megemelt telepítési állománysűrűség esetén, ezen szignifikáns különbség már a 15. élethéten jelentkezett és a kísérlet végéig fenn állt. A NKIS és NKON csoportok között csak a 21. élethéten mutatkozott szignifikáns eltérés. Hasonló eredményt már korábban leírtak, ahol alomanyagba, az általunk végzett kísérlethez képest

nagyobb koncentrációban (2 kg/m^2), természetes zeolitot keverve szignifikánsan nagyobb testtömeget értek el madarak a kontroll csoporthoz képest (Karamanlis és mtsai, 2008). Míg más publikációban az alomanyagba 6 kg/m^2 koncentrációban kevert zeolit mellett nem tapasztaltak különbséget a kezelt és a kontroll csoportok között (Kaya és mtsai., 2023). Eleroglu és Yalcin (2005) ellenben még magas (75:25) zeolit-alomanyag arány mellett is pozitív hatást figyeltek meg testtömeggyarapodásban. Érdemes megemlíteni, hogy csak az alomanyagba keverték zeoliton nevelt, illetve zeolittal is etetett madarak között nem mutatkozott különbség a növekedés tekintetében (Karamanlis és mtsai, 2008).

Bár a fajlagos takarmányhasznosítási mutató (FCR) megfelelő számításához egyedi takarmányfogyasztási adatok, továbbá súlymérések szükségesek, a gyakorlati – telepi – gyakorlatnak megfelelően kiszámított FCR értéket megvizsgálva, a csoportok között nem, vagy csak minimális számbeli különbséget tapasztaltunk. Említésre méltó azonban, hogy ezen csekély különbség is az NKIS és NKON csoportok esetében már gyakorlati gazdasági szempontból jelentős mértékűnek tekinthető nagy létszámú pulyka-állományok esetén. Zeolittal történő alomkezelést vizsgáló kutatásokban egyesek szintén jobb fajlagos takarmány hasznosítást találtak (Eleroglu és Yalçin, 2005; Ezenwosu és mtsai., 2022), míg mások, ezt nem tapasztalták (Karamanlis és mtsai, 2008; Kaya és mtsai., 2023).

A takarmány fogyasztást azonban a zeolitos alomkezelés nem befolyásolta (Eleroglu és Yalçin, 2005; Karamanlis és mtsai., 2008; Kaya és mtsai., 2023).

A szakirodalomban nem leltünk fel adatot a zeolit és a *B. licheniformis* baktérium kombinációjának alomkezelőként történő alkalmazásáról, így tudomásunk szerint ez az első leírása ezen kombinációnak. Korábban a *B. licheniformis* baktériumot probiotikumként használták, amely így a bélflórára gyakorolt kedvező hatásának köszönhetően javította az alomminőséget, illetve a különböző teljesítmény mutatókat (Biswas és mtsai., 2023).

A *B. licheniformis* baktériumot tartalmazó zeolit vivőanyagú alomkezelő készítmény, 20 kg/1000 m^2 dózisban az alomra kijuttatva, az NH_3 -képződés csökkentése révén kedvezően befolyásolta a baromfi istállók levegőminőségét, továbbá növelte az állatok átlagos testtömegét.

3.3. Módosított tartási tényezők hatása a pulykák stresszállapotára, állatjólléti indikátoraira és immunitására

3.3.1. Célkitűzések

A nem megfelelő tartási körülmények által kiváltott krónikus stresszállapot specifikus hatásai – különösen azok stresszhormonszintekkel való összefüggése, valamint a limfociták kinetikájára gyakorolt hatása – jelenleg még nem teljeskörűen tisztázottak. A témában rendelkezésre álló kutatások túlnyomó többsége a házityúk fajra fókuszál, így a tartási körülmények, a stressz és az immunrendszer közötti kapcsolat pulykák esetében jelenleg kevésbé ismert.

A vizsgálat célja annak feltárása, hogy a különbözőképpen módosított tartási körülmények miként befolyásolják

- 1) a viselkedést egy meghatározott pontozási rendszer alapján,
- 2) a stresszállapotot az állatjólléti indikátorokkal, valamint a vérben és tollban mért kortizolszinttel összefüggésben, továbbá
- 3) az immunrendszer működését a limfocita-összetétel változásain keresztül.

3.3.2. Anyag és módszer

Állatok és kísérleti elrendezés

A kutatásba összesen 172 hat hetes hímivarú Hybrid Converter pulyka egyed (Hendrix Genetics, Boxmeer, Hollandia) került bevonásra, melyek egy nagylétszámú pulykanevelő gazdaságból származtak. Az állatok négy csoportban, négy elkülönített helyiségben (15,6 m²-es kísérleti termekben) kerültek elhelyezésre az Állatorvostudományi Egyetem tangazdaságának kísérleti telephelyén (Üllő, Dóra Major). A kísérlet lefolytatása során a nemzeti, illetve nemzetközi jogszabályok figyelembevételével zajlott, a Pest Vármegyei Kormányhivatal Élelmiszerlánc-biztonsági, Földhivatali, Növény- és Talajvédelmi, Erdészeti Főosztály, valamint az Állategészségügyi Osztály engedélye mellett (Engedély szám: PE/EA/1278-6/2021., jóváhagyás dátuma: 2021.12.27.).

A kontroll csoportban (C csoport) tartott pulykák (n=39) elhelyezése, nevelése és tartási körülményei – melyek standard, azaz normál tartási körülményeknek tekintőek – megfeleltek a vonatkozó magyar állattartással foglalkozó jogszabályoknak (1998. évi XXVIII. törvény és a 2011. évi CLVII. törvény), továbbá a tenyésztő cég (Hendrix Genetics) ajánlásainak (Hendrix Genetics BV, 2020). A kontroll csoport egyedeit mélyalmos rendszerben (szalmaalom), folyamatos (ad libitum) takarmány- (tálcsás etetőrendszer), valamint ivóvíz (harang vagy kúpos itatórendszer) ellátás mellett voltak tartva. A felnevelés során négy takarmányozási fázist alkalmaztunk (Nevelő 1, Nevelő 2, Befejező 1, Befejező 2), melyekhez a tápokot egy takarmánygyártó vállalat biztosította,

és amelyek megfeleltek a hústípusú végtermék pulykák takarmányozási igényeinek. A világítási program a 6. élethétől a kísérlet végéig napi 16 órás megvilágításra és 8 órás sötétség periódusra került felosztásra, 60 lux fényerősséggel (a madarak magasságában mérve) (**3.3.1. táblázat**). A helyiség hőmérsékletét 14–20 °C közötti értéken mozgott a kísérlet során, az állománysűrűség pedig 2,5 madár/m² volt.

A másik három csoportban egy-egy környezeti paraméter került módosításra az előbbieken részletezett standard – azaz alap – tartási körülményekhez képest: a megvilágítás intenzitását (LI csoport; LI = light intensity; 39 egyed), a helyiség hőmérsékletét (RT csoport; RT = room temperature; 39 egyed) vagy az állománysűrűséget (SD csoport; SD = stocking density). Az LI csoportban a fényerősséget a vizsgálat teljes időtartamára több mint 100 luxra került növelésre (66%-kal erősebb fényintenzitás a normál nevelési értékhez képest). Az RT csoportban a tartástér hőmérséklete 20%-kal került növelésre a Hendrix Genetics végtermék pulykákra vonatkozó tartástechnológiai kézikönyvében szereplő értékekhez képest (Hendrix Genetics BV, 2025) (**3.3.1. táblázat**). Az SD csoportban az állománysűrűségben történt változás, ugyanakkora alapterületű helyiségben nagyobb számú madár (n=55) került elhelyezésre, ami 3,5 madár/m²-es állatsűrűséget jelentett (40%-kal kevesebb tartáshely állategyedenként). Az előbbieken részletezett információkat az **3.3.1. táblázat** tartalmazza.

A kísérlet 18 héten át tartott, a pulykák 6. élethetes korától a 24. élethetes korukig. A kísérleti termék hőmérsékleti, illetve relatív páratartalom-értékei naponta kerültek ellenőrzésre és rögzítésre annak érdekében, hogy minden csoport számára biztosítsák az ideális – korábbiak szerint egyébként nem módosított – környezeti feltételeket. A testtömeg, testtömeg-gyarapodás, takarmányfogyasztás, fajlagos takarmányhasznosítási mutató (FCR), valamint a vízfogyasztás mérésére heti rendszerességgel került sor – kísérleti csoportonként 10-10 állat testsúlyát mértük és azon adatok átlagai képezték az adott csoport heti átlagos testtömegét. Emellett az állatjóléti paraméterek és az elhullási adatok is rögzítésre kerültek.

3.3.1. táblázat A kísérleti csoportok tartási paramétereinek áttekintése, az adott terem hőmérsékletére, fényintenzitásra, illetve állománysűrűségére vonatkozó információkkal.

Kísérleti csoportok	Hőmérséklet (°C)	Fényintenzitás (lux)	Állománysűrűség (madár / m ²)
C¹ csoport (kontroll)	2–3. hét: 20 °C 4. hét: 19 °C 5. hét: 18 °C 6. hét: 17 °C 7. hét: 16 °C 8–9. hét: 15 °C 10. héttől: 14 °C	60	2,5
LI csoport (fényintenzitás)	a C csoport szerint	100	a C csoport szerint
RT csoport (hőmérséklet)	20%-kal magasabb, mint a C csoport megegyező életkorhoz tartozó hőmérsékleti értékei 7–8. hét ² : 24 °C 9. hét: 23 °C 10. hét: 22 °C 11. hét: 20,5 °C 12. hét: 19 °C 13-14. hét: 18 °C 15. héttől: 17 °C	a C csoport szerint	a C csoport szerint
SD csoport (állománysűrűség)	a C csoport szerint	a C csoport szerint	3,5

¹A végtermék pulykatartásra vonatkozó standard tartási körülmények a Hendrix Genetics® irányelvei szerint (Hendrix Genetics BV, 2025).

²A pulykák élethete.

Állatjólléti vizsgálatok

A pulykák állatjólléti, viselkedési vizsgálata az AWIN állatjólléti értékelési rendszer (*Animal welfare indicator*) segítségével (Ferrante, 2015), két, egymástól független, szakképzett személy közreműködésével történt, a kísérlet 3. hetétől kezdődően hetente, egészen a 18. hétig. Az állatjólléti vizsgálati rendszer középpontjában a fájdalom azonosítása és becslése állt. Az értékelők az úgynevezett metszet-módszert (transect method; Marchewka és mtsai., 2015) alkalmazták az állatjólléti felméréshez. Ezen módszer során minden kísérleti helyiség hosszanti irányban két egyenlő részre (transect) került felosztásra. A termék bejárás gyorsaságát

(sétatempót) úgy állították be, hogy másodpercenként egy lépést tettek annak érdekében, hogy a madarak lehető legkisebb mértékű megzavarásával történjen az adatok rögzítése. Az értékelés során a megfigyelők az egy méteren belül elhelyezkedő, látómezőbe eső pulyka egyedet vizsgálták, az előre meghatározott indikátorok alapján. Az úgynevezett metszet-metódussal végzett terembejárások során az értékelők minden egyes megfigyelt állatjólléti indikátort manuálisan rögzítettek papíralapú jegyzőkönyvben.

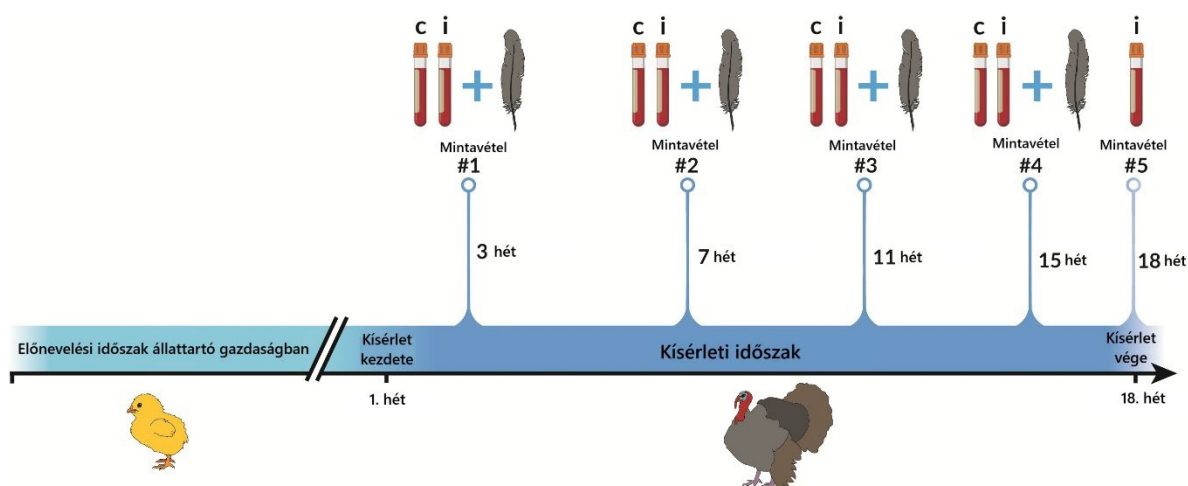
Az alábbi indikátorok keresése volt a cél az állatok megfigyelésekor: mozdulatlanság, sántaság, fejsérülés, hátsérülés, sebzett fartő, kis testméret, tollhiány, szennyezettség, betegség, végstádiumú (agonizáló) állapot, elhullás, társegged irányába megnyilvánuló agresszivitás, párosodási viselkedés, emberrel történő interakció. Az egyes indikátorok definícióit és értékelési kritériumait az **3.3.1. kiegészítő táblázat** tartalmazza.

A későbbiekben két tényezőt (úgynevezett faktort – F1 és F2) hoztunk létre, melyben az első faktort (F1) „szociális viselkedési faktor”-nak neveztük el, ide az egyedek társas viselkedésével és az agresszivitás miatti sérülésekkel kapcsolatos indikátorok kerültek besorolásra (társegged irányába megnyilvánuló agresszivitás, hátsérülés, emberrel való interakció, szennyezett állat, fejsérülés, sántaság, párosodási viselkedés, sebzett fartő). A második faktort (F2) „betegség faktor”-nak neveztük el, amely kizárólag a beteg és elhullott egyedekre vonatkozó indikátorokat tartalmazta (**3.3.2. kiegészítő táblázat**). Ezen faktorok kialakításának részleteit a **Statisztikai elemzés** fejezet tartalmazza.

Mintavétel

Minden csoportból 10 azonos korú pulykától gyűjtöttünk toll- és vérmintákat a kísérlet 3., 7., 11. és 15. hetében (**3.3.1. ábra**). A kísérlet 18. hetében csak vérmintavétel történt. A vérmintákat (egyenként 2 × 5 mL-es) heparint tartalmazó csövekbe (VACUETTE®; Greiner Bio-One International GmbH, Bad Haller Straße 32 A-4550 Kremsmünster Ausztria Cikkszám: 454030) vettük a szárnyvénából (v. *brachialis*), az állat rögzítését (megfogását) követő 2 percen belül. A vérmintákat 3000 fordulat/perc sebességgel centrifugáltuk, hogy a plazmát (vérsavót) kinyerjük. A plazmamintákat –80 °C-on tároltuk további feldolgozásig.

A tollmintavétel a vérvételt követően, ugyanazon állattól történt, a stresszhatás minimalizálása érdekében. Ehhez gyors mozdulattal 2–3 másodlagos szárnytollat távolítottunk el. A felcímkézett tollakat sötétben, szobahőmérsékleten tároltuk a további vizsgálatokig.



3.3.1. ábra A kísérlet folyamán történt mintavételek bemutatása idővonalon. A nevelési periódus 6 hétig tartott. A mintavételek során kortizol-meghatározásra (c), valamint immunológiai vizsgálatokra (leukociták fenotípusos meghatározása) (i) került sor. A toll szimbólumok a kortizolmeghatározáshoz szükséges tollminták gyűjtését, a vérrel telt cső szimbólumok pedig az immunsejtek vizsgálatához és kortizol-vizsgálathoz gyűjtött vérmintákat jelölik.

Kortizolszint meghatározása

A vérplazma és a toll kortizol-koncentrációját kereskedelmi forgalomban kapható ELISA kitékkel mértük (MyBioSource, Vancouver, Kanada). A tollból származó kortizolszint meghatározása a Bortolotti és mtsai (2008) által leírt módszeren alapult.

A fagyasztott plazmamintákat szobahőmérsékleten felengedtük, majd a gyártó utasítása szerint tízszeres hígítást végeztünk foszfátpufferes sóoldattal (PBS). A 96 lyukú mikrotiter lemez egyes rekeszeibe 50 µl-nyi mintát adagoltunk, a standard és a vak kontroll mellé. A vak kontroll minden reagenst tartalmazott, kivéve a mintát. Ezután minden rekeszbe 50 µl A reagenst (HRP-konjugált antigén) adtak. Enyhe keverés után a lemezt lefedtük, és 37 °C-on egy órán át inkubáltuk. Az inkubációt mosási lépés követte, amelyhez rekeszenként 350 µl mosófolyadékot használtunk az ELISA kitnél. Egy perc után a lemezt megfordítottuk, az oldatot itatós papírral eltávolítottuk. Ezt a mosást háromszor ismételtük meg. Ezt követően minden rekeszbe 100 µl B reagenst (TMB szubsztrát) adtunk, majd a lemezt lefedve 37 °C-on 30 percig inkubáltuk. Az inkubálás után az előzőleg ismertetett mosási lépést ötször ismételtük meg. Ezután 90 µl szubsztrát oldatot adagoltunk minden rekeszbe, a lemezt ismét lefedtük, majd 15 percig 37 °C-on inkubáltuk. Végül 50 µl stop reagenst adtunk minden rekeszbe, és a lemezt 450 nm hullámhosszon vizsgáltuk Multiskan GO 3.2 leolvasóval (Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA).

A tollminták kortizolszintjének vizsgálatához minden egyed egy tollából egy-egy mintát választottunk ki. Tollanként egy centiméteres darabot vágunk le az üreges részből (*calamus*) ollóval. A mintadarabokat apróra vágjuk, majd mozsárban 1–2 percig őröltük, ezt követően 1 mL

etanollal kevertük. A mozsár tartalmát a tolldarabokkal együtt mikroműanyag csövekbe (Nest Biotechnology Co., Ltd., Jiangsu, Kína) pipettáztuk, majd vortex keverővel (SBS-LAB-116, Steinberg Systems GmbH, Berlin, Németország) homogenizálták. A mintákat ezután lemértük, és egy folyamatosan mozgó platformra helyeztük (SW22 vízfürdőes rázó, Julabo GmbH, Seelbach, Németország), majd 16 órán át 50 °C-os vízfürdőben inkubáltuk. Ezt követően a mintákat 3000 g-n centrifugálták 5 percig (SBS-LAB-114, Steinberg Systems GmbH, Berlin, Németország), majd 300 µl-t új mikrotubusba helyeztük, és 40 °C-os blokktermosztátban (Bio TDB-100, Biosan, Lettország) bepárologtattuk a maradék metanolt. Végül 300 µl PBS-t adtunk hozzá, majd a mintákat ismét vortex-szel homogenizálták. A további lépések a tollminták kortizolkoncentrációjának mérésében megegyeztek a plazmaminták feldolgozásával.

Limfociták fenotípusos vizsgálata

Mononukleáris sejtek izolálása

A heparinnal antikoagulált vérmintákat legfeljebb 3 órán át jégen tároltuk a további feldolgozásig. A perifériás vér mononukleáris sejtjeinek (PBMC) izolálását egy korábbi kutatásban (Mitra és mtsai., 2017) leírtak szerint végeztük. Röviden: a vérmintákat egyenlő térfogatú, hideg PBS+2% magzati borjúsérum (FCS) oldattal kevertük, majd sűrűség-gradiens centrifugálást (density gradient centrifugation) alkalmaztunk a mintára, kétszeres térfogatú Histopaque®-1077 (Sigma-Aldrich) réteggel. A fázishatárból kinyert sejteket mostuk, majd hideg PBS+2% FCS oldatban reszuszpendáltuk.

Festési protokoll áramlási citometriához

A PBMC-k életképességét trypankékkel mikroszkóp alatt vizsgáltuk, és Neubauer-féle hemocitóméterrel (Sigma-Aldrich, Bécs, Ausztria) számoltuk meg. A sejteket 2×10^7 sejt/ml koncentrációra állítottuk be PBS+2% FCS oldatban a festés előtt. Az immunfenotípus-meghatározáshoz különböző monoklonális antitest (mAb) kombinációkat alkalmaztunk. Az alkalmazott antitestek részletes adatait az **3.3.2. táblázat** tartalmazza. Az antitestek végső koncentrációját titrálással határoztuk meg, és izotípus-kontrollokat is alkalmaztunk.

3.3.2. táblázat A PBMC-k (perifériás vér mononukleáris sejtjeinek) áramlási citométeres fenotípusos meghatározásához használt ellenanyagok és ellenanyag-kombinációk listája

Panel	Antigén	Klón	Izotípus	Fluorkróm	Jelölési stratégia	Primer mAb forrása
1	CD3ε	CD3-12	Patkány IgG1	AlexaFluor 647	Direkt konjugált	AbD Serotec
	MHC-II	2G11	Egér IgG1	BV421	Szekunder antitest ^a	LMU München ^c
2	CD4	CT4	Egér IgG1	BV421	Biotin–streptavidin ^b	Southern-Biotech
	CD8α	3-298	Egér IgG2b	R-PE	Direkt konjugált	Southern-Biotech
	CD3ε	CD3-12	Patkány IgG1	AlexaFluor 647	Direkt konjugált	AbD Serotec

^aPatkány anti-egér IgG1 Brilliant Violet 421™, RMG1-1 klón, BioLegend.Brilliant

^bViolet 421™ Streptavidin, BioLegend.

^cProf. Dr. Thomas Göbel jóvoltából biztosítva; Institute of Animal Physiology, Ludwig-Maximilian University, München, Németország

A vérből izolált mononukleáris sejtek festéséhez 20 µl előkészített sejtszuszpenziót adtunk 96 lyukú mikrotiterlemez (Sarstedt, Nümbrecht, Németország) egyes rekeszeibe a primer antitestek paneljével együtt – kivéve az anti-humán CD3ε mAb CD3-12 antitestet –, majd 30 percig 4 °C-on inkubáltuk. Az inkubációt követően a mintákat 4 °C-on, 250 g-n 4 percig centrifugáltuk, majd a sejtpelletet kétszer mostuk hideg PBS+2% FCS oldattal. A biotinilált antitestekhez másodlagos reagenst, Brilliant Violet 421™ Streptavidint (BioLegend, San Diego, CA, USA) használtunk. Ezt újabb 30 perces inkubálás követte 4 °C-on, majd ismételt mosás történt. A sejteket ezután BD fixáló pufferrel (BD Biosciences, San Jose, CA, USA) rögzítettük a gyártó protokollja szerint. Az anti-humán CD3ε mAb CD3-12 antitesttel történő intracelluláris festést poszt-fixálás és permeabilizálás előzte meg a BD Cytotfix/Cytoperm® kit segítségével (BD Biosciences), a gyártói utasítások szerint. A CD3ε mAb CD3-12 antitesttel végzett 30 perces inkubációt két mosási lépés követte. Végül a sejtpelletet 200 µl hideg PBS+2% FCS oldatban szuszpendáltuk, és 4 °C-on tároltuk az áramlási citometriás (FCM) analízisig.

Áramlási citometria analízis

A festett sejtek áramlási citometriás vizsgálatát FACSCanto II készüléken (BD Biosciences, San Jose, CA) végeztük, amely három lézerrel (405, 488 és 633 nm) és nagy áteresztőképességű mintakezelő egységgel (HTS) van felszerelve. Mintánként minimum 40 000 limfocitát analizáltunk. A nyers FCM adatokat a FACSDiva szoftver 6.1.3-as verziójával (BD Biosciences) elemeztük.

Statisztikai elemzés

A statisztikai elemzéseket a KNIME Analytic Platform (KNIME AG, Zürich) és a Python 3.10 (Python Software Foundation, Delaware, USA) segítségével végeztük. Welch-féle t-próbát alkalmaztunk az egyes kísérleti csoportok és a kontrollcsoport takarmányfogyasztása, és testtömeg adatai közötti különbségek értékelésére a teljes kísérleti periódus során. Az állatjólléti pontszámok összehasonlító elemzéséhez és vizualizációjához normalizált értékeket (z-score) használtunk.

Az állatjólléti indikátorokat kétféle megközelítéssel vizsgáltuk: az első esetben az egyes indikátorokat vektorként kezeltük, így a különböző kategóriák (csoport, kísérleti hét) esetei vektorkomponensként szerepeltek. Ezután a 10 dimenziós vektorteret a t-SNE (t-eloszlású sztochasztikus szomszédbeágyazás) algoritmus segítségével redukáltuk 2, illetve 3 dimenzióra. A t-SNE egy sztochasztikus, nemlineáris dimenziócsökkentő eljárás, amely hatékonyan megőrzi az adatok lokális szerkezetét és kapcsolatát, így a vizualizáció során a két dimenzióra vetített eredmények jól tükrözik az adatok közötti összefüggéseket. A második megközelítés során az állatjólléti indikátorok főkomponens-analízisét (PCA = principal component analysis) végeztük el. A scree-teszt alapján két főkomponenst (F1 és F2) határoztunk meg, és minden indikátor értékét normalizáltuk (**3.3.2. kiegészítő táblázat** és **3.3.1. kiegészítő ábra**). A 14 állatjólléti változóból 10-et megtartottunk, míg a „mozgásképtelenség”, „kis testméret”, „tollhiány” és „végstádiumú (agonizáló) állapot” indikátorokat kizártuk, mivel értékük minden esetben nulla volt (egyetlen esetben sem fordultak elő), és nem mutattak korrelációt a többi változóval. A főkomponensekhez rendelt értékeket t-próba segítségével hasonlítottuk össze a kontroll- és a kísérleti csoportok között.

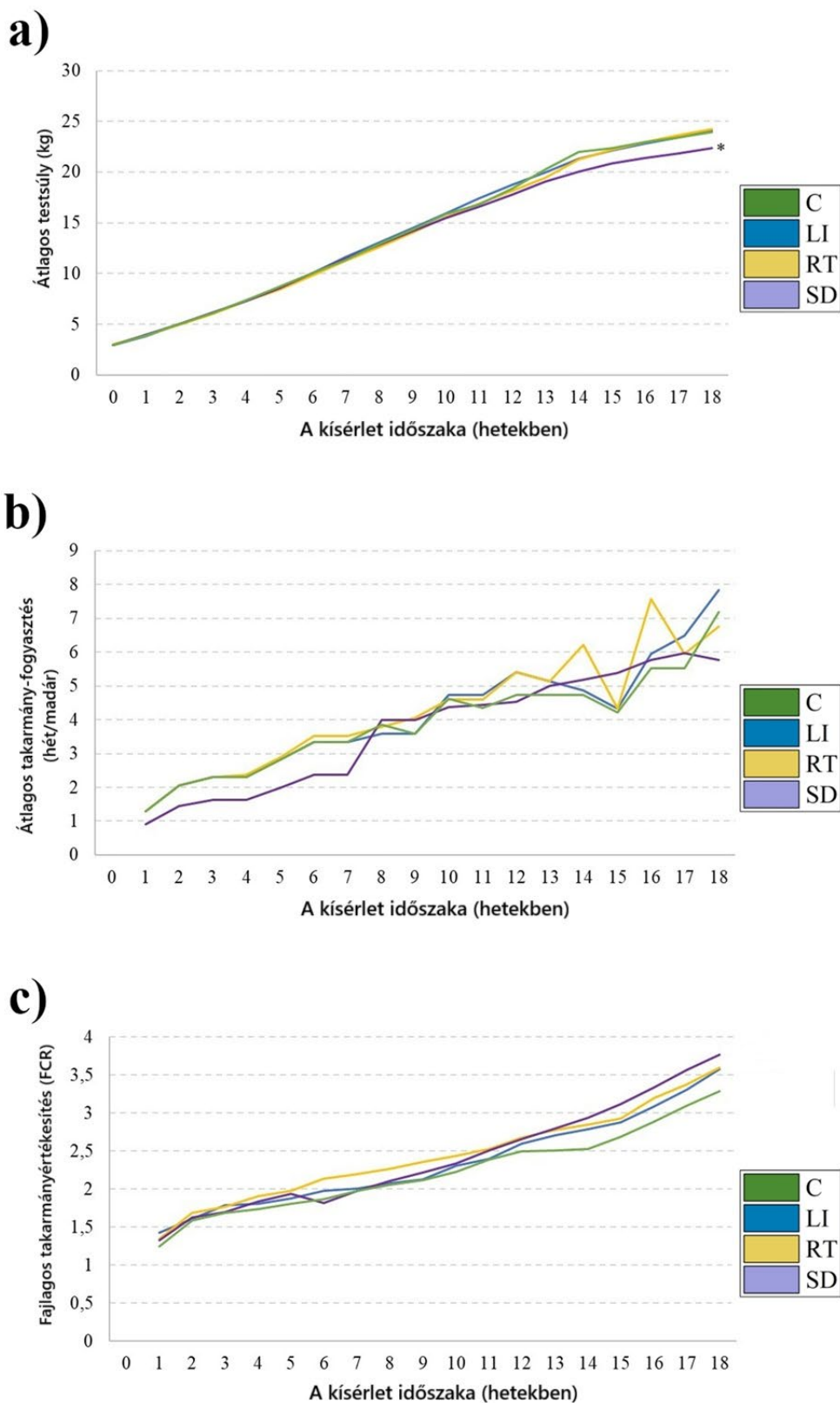
A toll- és plazma kortizolszintek összehasonlítására egyutas ANOVA-t és t-próbát alkalmaztunk. A limfocita-populációk kvantitatív értékeinek nem normális eloszlása és szórásuk inhomogenitása miatt a Kruskal–Wallis H-tesztet és Dunn-féle tesztet használtuk az egyes kísérleti csoportok és a kontroll összevetésére. Az eredményeket akkor tekintettük statisztikailag szignifikánsnak, ha $p < 0,05$ volt.

3.3.3. Eredmények

Testtömeg, takarmányfogyasztás és takarmányértékesítési hányados (FCR) alakulása

A teljes kísérleti időszak alatt szignifikáns különbséget észleltünk az SD csoport és a kontrollcsoport (C csoport) között az átlagos testtömeg tekintetében ($p = 0,017$) (**3.3.2a. ábra**), ami azt jelzi, hogy a megnövelt állománysűrűség negatív hatással volt az állatok tömegére. A takarmányfogyasztás viszont nem mutatott szignifikáns eltérést a csoportok között a vizsgálat során (**3.3.2b. ábra**). Az FCR értékek azonban mindhárom kísérleti csoportban nagyobbak, azaz gyengébbek voltak a kontrollhoz képest (**3.3.2c. ábra**). Fontos megjegyezni, hogy az FCR értékek statisztikai módon történő összehasonlításához egyedi takarmányfogyasztási adatokra és súlymérésekre van szükség, amely jelen kutatásnál azért nem jöhetett szóba, mivel állat-állat interakció vizsgálat történt, tehát a csoportos tartás elengedhetetlen volt. Ugyanakkor a gyakorlatban – telepi körülmények között – az FCR számítást tartásterenkénti átlagos takarmányfogyasztásból és átlagos súly adatokból számítják, így fontosnak tartjuk ezen adatok közlését a gyakorlat számára.

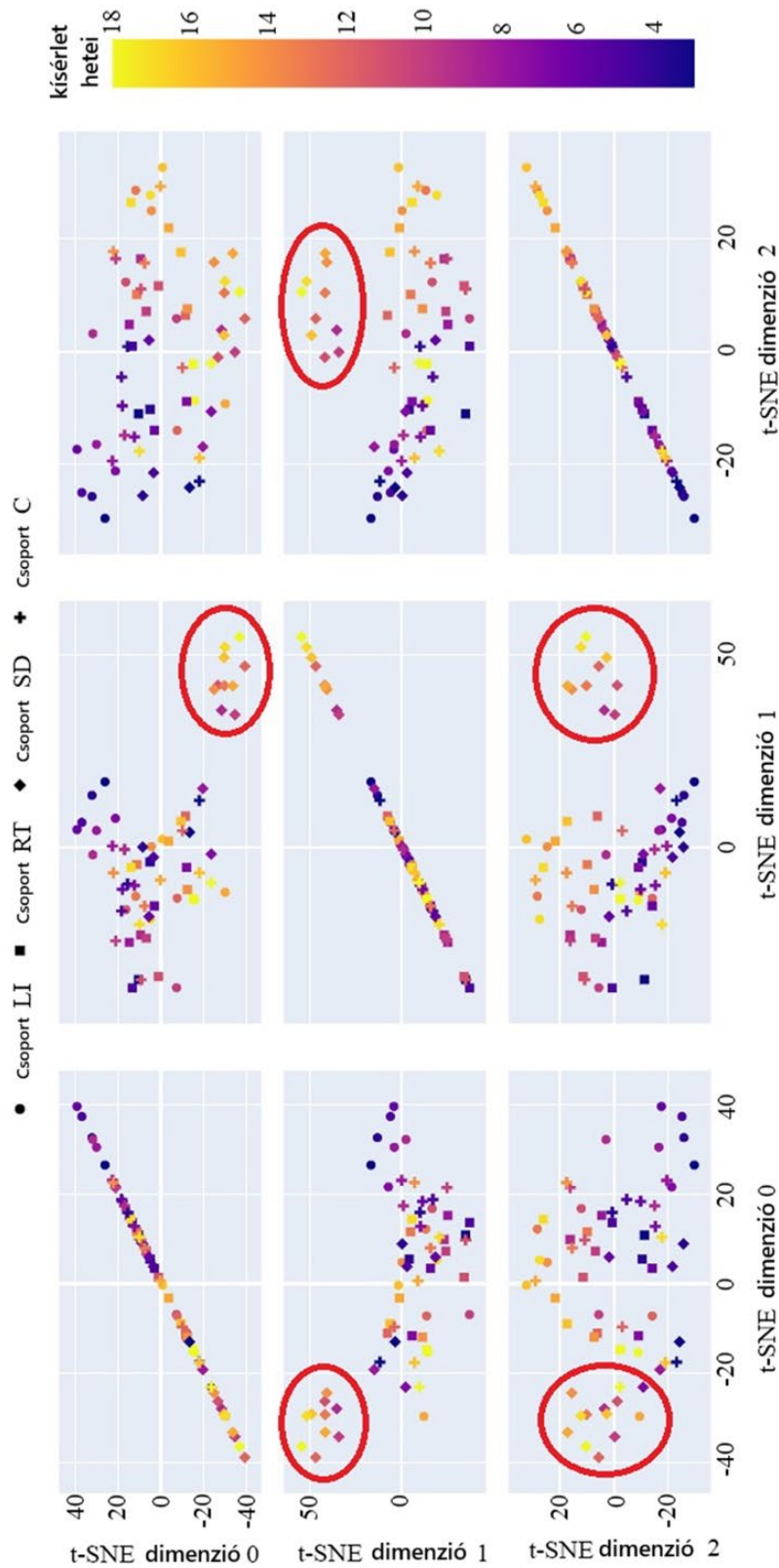
Az ivóvízfogyasztásban nem észleltünk különbséget az egyes csoportok között. Az alacsony mintaelemszámok miatt az elhullások tekintetében nem lehetett jelentős különbségeket megállapítani. Valamennyi csoportban a gyakorlati tapasztalatok alapján normális mértékűnek jellemezhető elhullási arányt tapasztaltunk a kísérlet teljes időszaka alatt (C, LI, RT, SD csoportokban rendre: 1,1,1,2).



3.3.2. ábra Az **a)** átlagos testtömeg, **b)** az átlagos takarmányfogyasztás és **c)** a fajlagos takarmányértékesítési hányados alakulásának grafikus ábrázolása az egyes kísérleti csoportokban. LI csoport (emelt fényintenzitású csoport), RT csoport (emelt teremhőmérsékletű csoport), SD csoport (magnövelt állománysűrűségű csoport), C csoport (kontroll). A statisztikailag szignifikáns eltéréseket * $p < 0,05$ esetén jelöltük.

Állatjóllétre gyakorolt hatás

Az AWIN jólléti értékek alapján a t-SNE algoritmus hatékonyan elkülönítette az SD csoportot, amely vizuálisan is jól megkülönböztethető volt szín és karakter alapján. Az SD csoport értékei (pirossal karikázva, **3.3.3. ábra** – lásd következő oldalon) már a 10. héttől kezdve hasonló mintázatot mutattak, jól elkülönülő klasztert alkotva a vizsgálat végéig.



3.3.3. ábra A vizsgált állatjóléti indikátorok értékeinek változása a kísérlet 3. és 18. hete között kétdimenziós (2D) síkban ábrázolva. Minden pont egy-egy egyedi mérést jelöl. A különböző színek a kísérlet eltérő heteit jelzik, lehetővé téve az időbeli összehasonlítást. A csoportokat eltérő szimbólumok különböztetik meg: kör (LI csoport; emelt fényintenzitás), négyzet (RT csoport; emelt teremhőmérséklet), rombusz (SD csoport; megnövelt állománysűrűség), kereszt (C csoport; kontroll). Az SD csoport értékeinek jól elkülönülő clusterre a 10–18. hét közötti időszakban piros körrel került kiemelésre (2. cluster).

A korábban említettek szerint két fő faktort (F1 és F2) alakítottunk ki az állatjólléti indikátorok értékelésére. Az **F1 faktor** („szociális viselkedési faktor”) esetében szignifikánsan magasabb értékeket mértünk az SD csoportban, mint a kontrollcsoportban ($p = 0,005$), amely az állatok viselkedéséhez, illetőleg az agresszív magatartásformákból eredő vagy azokhoz köthető sérüléseket foglalja magában. A 10. héttől kezdve az SD csoportban az F1 értékek fokozatos, csaknem folyamatos emelkedést mutattak, legmagasabb szinten a kísérlet utolsó heteiben voltak mérhetőek. A többi kísérleti csoport (LI, RT) egyikében sem észleltünk szignifikáns eltérést a kontrollhoz képest. Ugyancsak szignifikánsan magasabb F1 értékeket mértünk az SD csoportban az LI ($p = 0,005$) és RT ($p = 0,002$) csoporthoz képest is (**3.3.4a. ábra** – 95. oldalon, **3.3.3. táblázat**).

3.3.3. táblázat Különbségek a kísérleti csoportok között az F1 faktor esetében (amely az állatok viselkedésével és az agresszióból eredő sérülésekkel kapcsolatos különböző indikátorokból áll). LI – emelt fényintenzitás; RT – emelt helyiség hőmérséklet; SD – növelt állománysűrűség; C – kontrollcsoport, $**p < 0,01$, NS – nem szignifikáns.

Kísérleti csoportok összevetése		p-érték	szignifikancia
LI	SD	$p=0,005$	**
LI	C	$p=1$	NS
RT	SD	$p=0,002$	**
RT	C	$p=1$	NS
SD	C	$p=0,005$	**

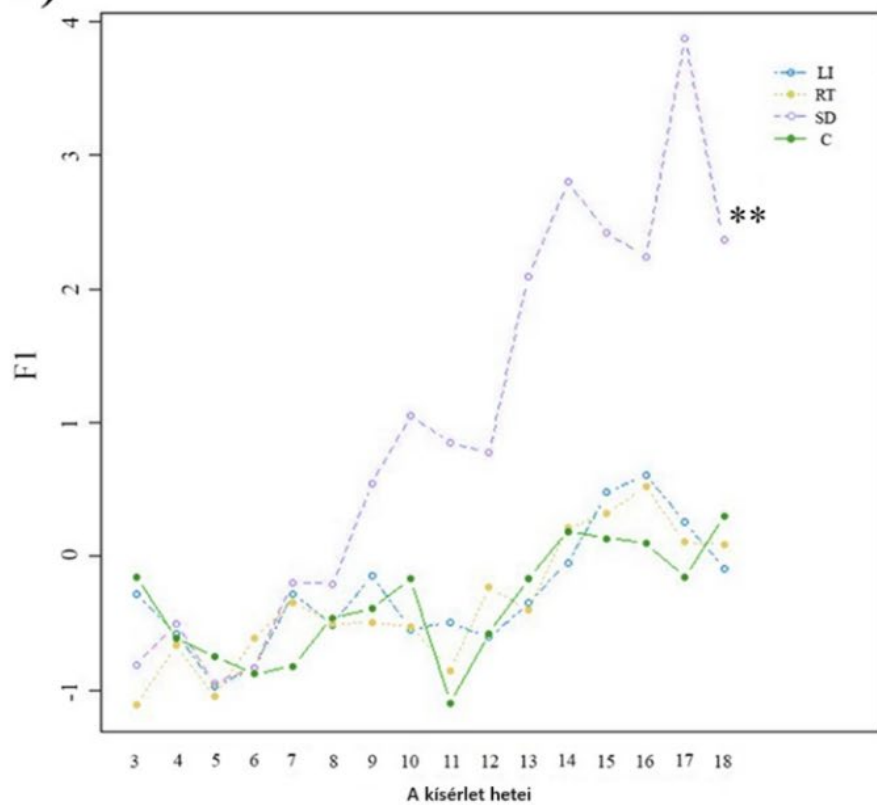
A **második faktor (F2)** – „betegség faktor” – a beteg és elhullott állatok számát jellemző indikátorokat tartalmazta. Az SD csoportban szintén szignifikánsan magasabb F2 értékek voltak a kontrollhoz képest ($p < 0,007$). Hasonlóan az F1-hez, egyik másik csoport sem mutatott szignifikáns eltérést a kontrollhoz képest. Ugyanakkor az SD csoport szignifikánsan magasabb értékeket mutatott az LI csoporthoz viszonyítva is (**3.3.4b. ábra** – 95. oldal, **3.3.4. táblázat** – következő oldal). Azonban az SD csoport F2 értékei nem mutattak olyan következetes növekedést, mint az F1 faktor esetében.

3.3.4. táblázat Különbségek a kísérleti csoportok között az F2 faktor esetében (amely a beteg és elhullott állatokra vonatkozó indikátorokat tartalmazza). LI – emelt fényintenzitás; RT – emelt helyiség hőmérséklet; SD – növelt állománysűrűség; C – kontrollcsoport, **p < 0,01, NS – nem szignifikáns.

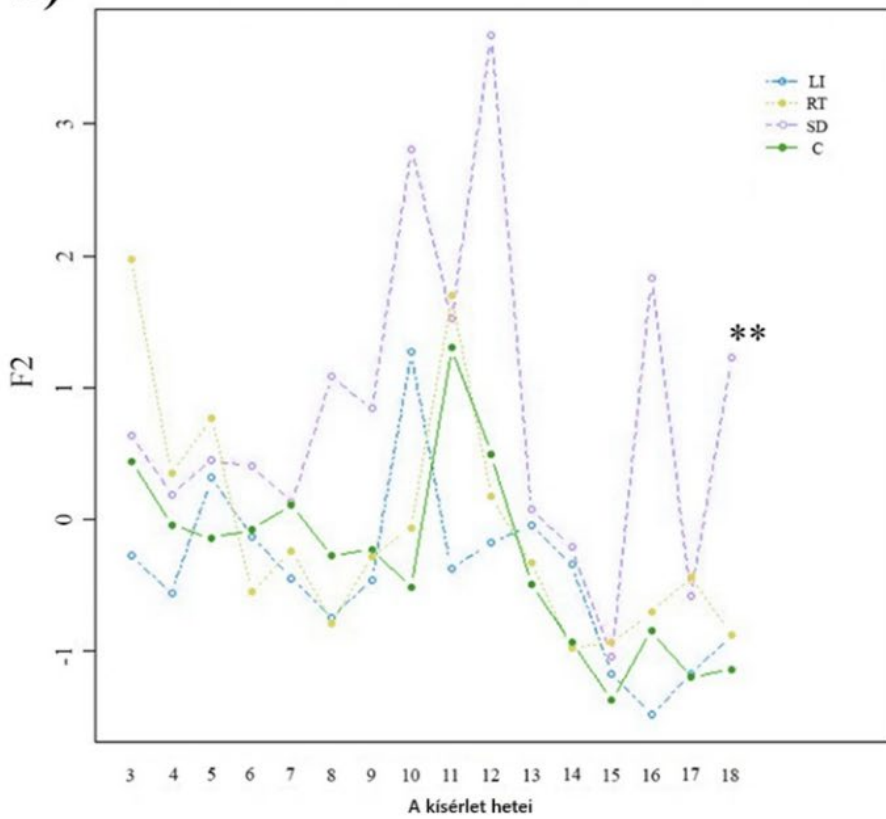
Kísérleti csoportok összevetése		p-érték	szignifikancia
LI	SD	p=0,003	**
LI	C	p=1	NS
RT	SD	p=0,109	NS
RT	C	p=0,660	NS
SD	C	p=0,007	**

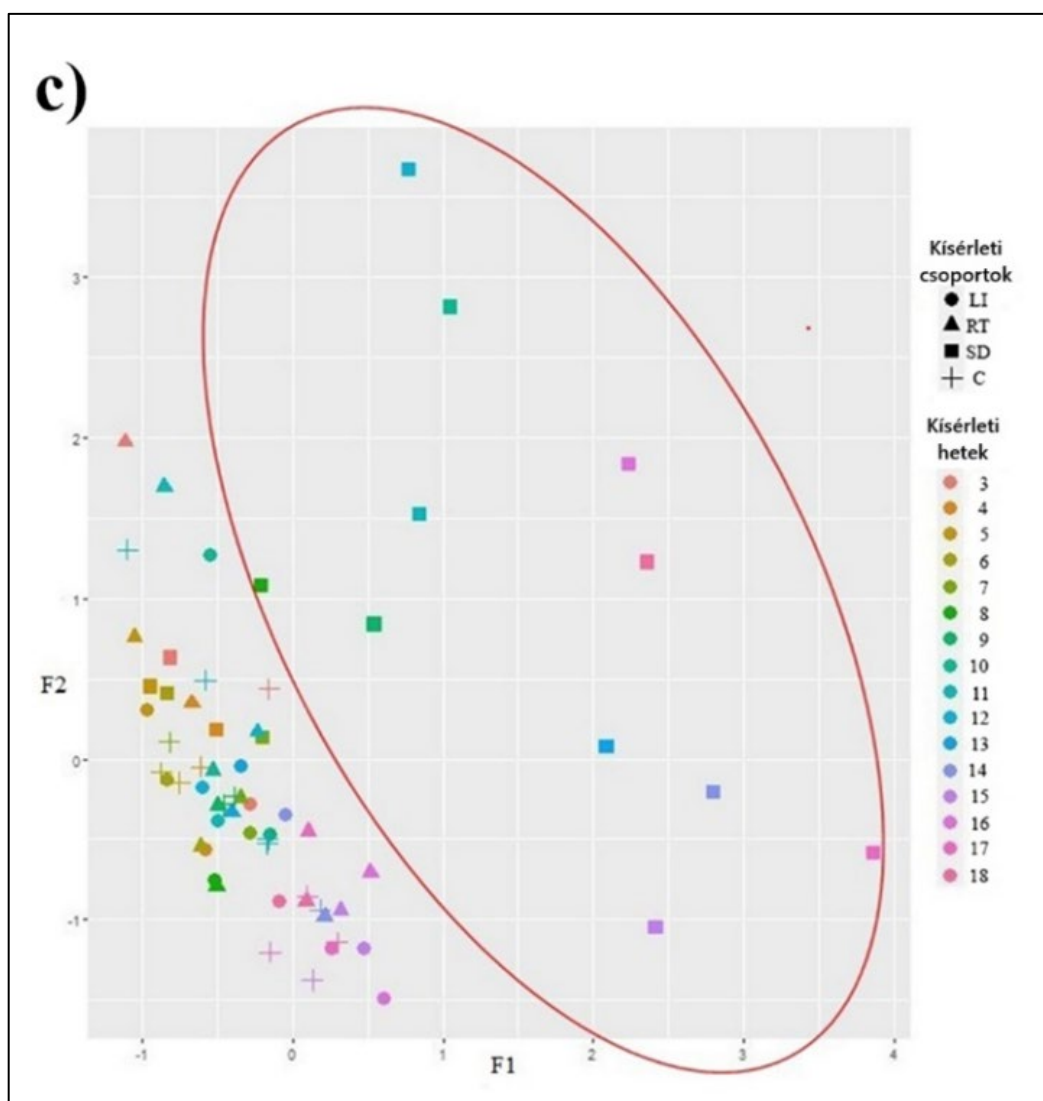
Az F1 és F2 faktor kombinált eredményeit az **3.3.4c. ábra** mutatja be (lásd 96. oldalon). Az SD csoport (piros körrel jelölve) értékei a 8. héttől kezdve folyamatosan elkülönültek a kontrollcsoporttól a 18. hétig. Az LI és RT csoportokban nem volt megfigyelhető ilyen eltérés (**3.3.4c. ábra**).

a)



b)



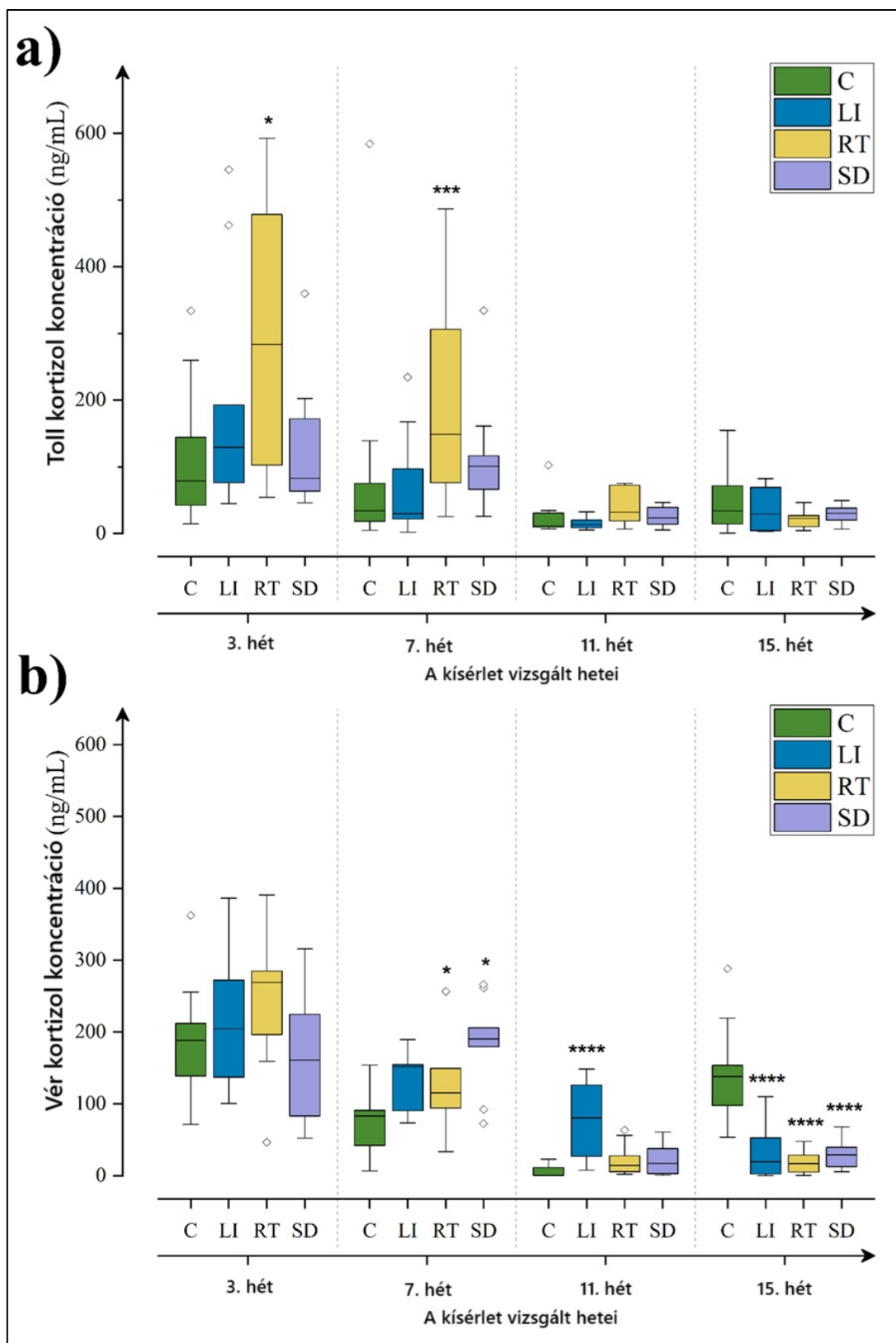


3.3.4. ábra Az állatjóléti indikátorok vizsgálata során kapott eredmények összefoglaló ábrája. **a)** az F1 faktor pontszámai a négy kísérleti csoportban a vizsgálat során. Ez a változó (F1) az állatok viselkedésével és az agresszióból eredő sérülésekkel kapcsolatos különböző indikátorokból tevődik össze. **b)** az F2 faktor értékei a négy kísérleti csoportban a kísérlet időtartama alatt. Ez a változó (F2) a beteg és elhullott állatok indikátorait tartalmazza. **c)** az F1 (szociális viselkedési faktor) és F2 (betegség faktor) értékek ábrázolása a mintavételi hetek mentén, kísérleti csoportok szerint. A csoportokat eltérő szimbólumok jelölik: kör (LI csoport; emelt fényintenzitás), háromszög (RT csoport; emelt teremhőmérséklet), négyzet (SD csoport; megnövelt állománysűrűség), kereszt (C csoport; kontroll). A piros körrel jelölt értékek az SD csoporthoz tartoznak a 8–18. hét közötti időszakból, és elkülönülnek a kontrolltól. A pozitív értékek azt jelzik, hogy az eredeti változók magasabb értékeket mutattak, több sérüléssel és több agresszív viselkedésmegnyilvánulással állatokkal. A negatív értékek azt jelzik, hogy az eredeti változók alacsonyabb értékeket mutattak, kevesebb sérüléssel és kevésbé agresszív állatokkal. $p < 0,01$.

Kortizolszint változása

A plazma kortizolkoncentrációk vizsgálata szignifikáns különbségeket mutatott a kísérleti és a kontrollcsoport között. A 11. héten az LI csoportban szignifikánsan magasabb kortizolszintet mértünk ($p < 0,0001$). A 7. héten az RT ($p < 0,0341$) és az SD ($p < 0,0421$) csoport is szignifikánsan eltért a kontrollcsoporttól. A 15. héten – az utolsó mintavételi időpontban – minden kísérleti csoport (LI, RT, SD) szignifikánsan alacsonyabb kortizolszintet mutatott, mint a kontrollcsoport (LI: $p < 0,0001$; RT: $p < 0,0001$; SD: $p < 0,0001$) **(3.3.5b. ábra)**.

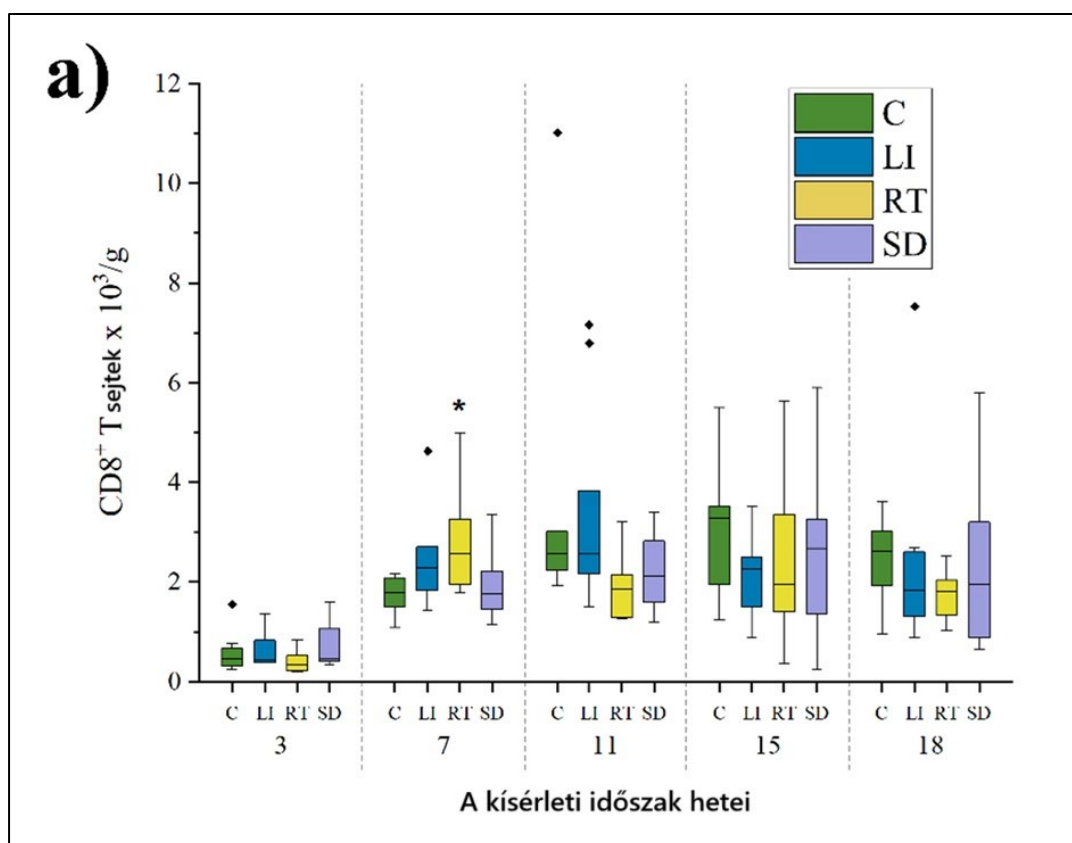
A tollból származó kortizolszintek esetében az RT csoport madarainál az első és második mintavételkor is szignifikánsan magasabb értékeket mértünk, mint a kontrollcsoportban ($p < 0,0017$ és $p < 0,0146$) **(3.3.5a. ábra)**. Az LI és SD csoportok nem mutattak szignifikáns különbséget a kontrollhoz képest.

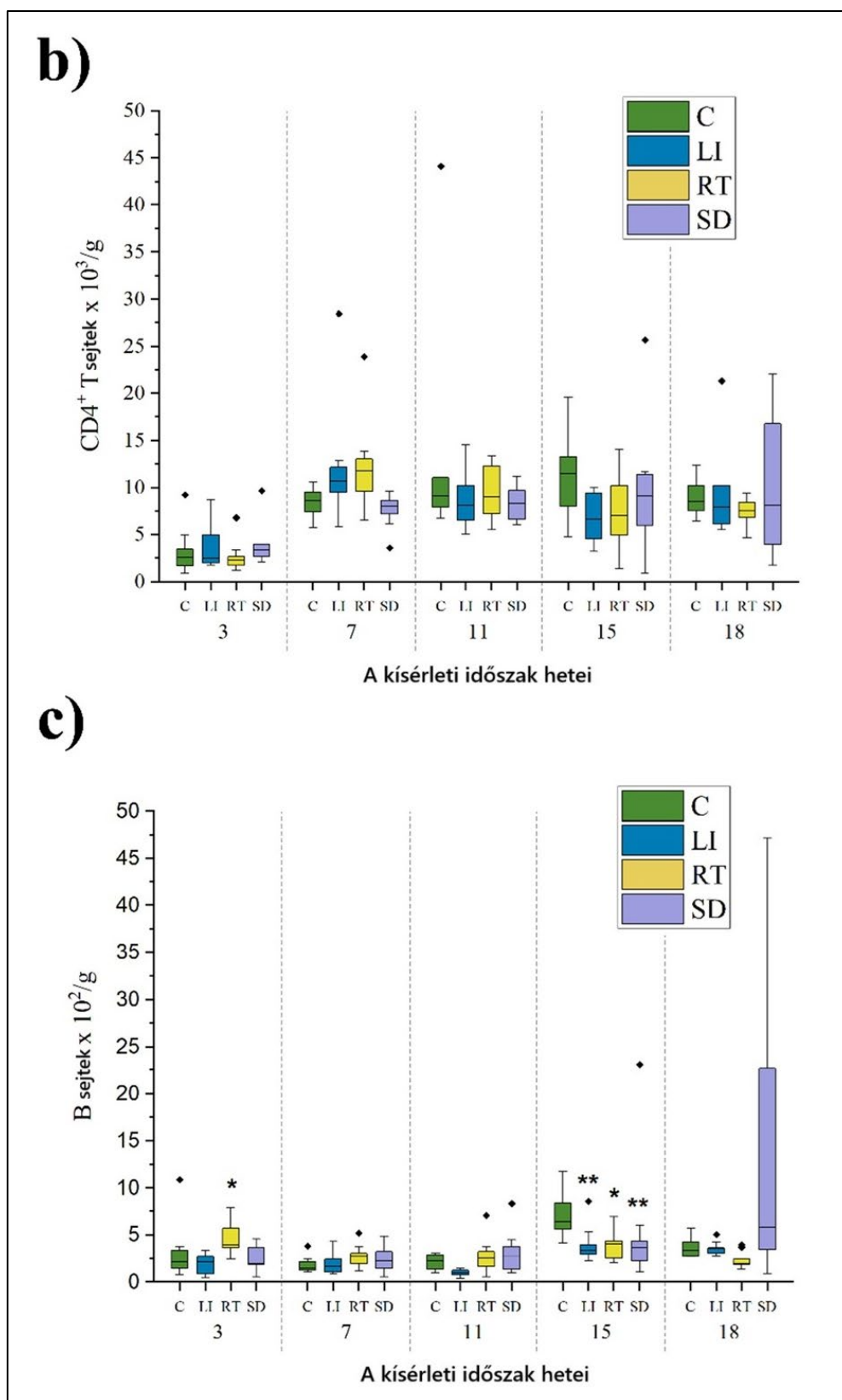


3.3.5. ábra A tollban és vérplazma mért kortizol-értékeinek összefoglaló ábrája. **a)** a tollmintákból mért kortizolkoncentrációk négy mintavételi időpontban, különböző csoportokban, boxplot diagramon ábrázolva, **b)** a vérmintákból mért kortizolkoncentrációk négy mintavételi időpontban, boxplot diagramon ábrázolva. C – kontroll csoport (zöld), LI – emelt fényintenzitású csoport (kék), RT – emelt teremhőmérsékletű csoport (sárga), SD – növelt állománysűrűségű csoport (lila). (*p < 0,05; ***p < 0,001; ****p < 0,0001)

A vérben keringő limfociták fenotípusos vizsgálatának eredményei

A CD8⁺ T-sejtek esetében csak a megemelt helyiséghőmérséklet mutatott szignifikáns hatást a kontrollcsoporthoz képest a kísérlet 7. hetében (**3.3.6a. ábra**). A CD4⁺ T-sejtek arányában nem találtunk szignifikáns különbséget a különböző csoportok között (**3.3.6b. ábra**). A B-sejtek relatív arányában több szignifikáns eltérés is megfigyelhető volt: az első mintavételi időpontban az RT csoport magasabb értékeket mutatott a kontrollhoz képest, míg a 15. héten minden kísérleti csoport szignifikánsan alacsonyabb B-sejt arányt mutatott, mint a kontrollcsoport (**3.3.6c. ábra**).





3.3.6. ábra Boxplot diagramok az egyes kísérleti csoportokban mért **a)** CD8⁺ T-sejt értékekről, **b)** CD4⁺ T-sejt értékekről, **c)** B-sejt értékekről. C – kontrollcsoport (zöld), LI – emelt fényintenzitású csoport (kék), RT – emelt teremhőmérsékletű csoport (sárga), SD – növelt állománysűrűségű csoport (lila) (*p < 0,05; **p < 0,01).

3.3.4. Megbeszélés és következtetések

Nem megfelelő tartási környezetben a baromfi fokozott stresszhatásoknak lehet kitéve, emiatt kóros viselkedésformák fejlődhetnek ki, amelyek közül az agresszív magatartás a legjelentősebb viselkedészavar, mind tyúk, mind pulyka faj esetében (Gunthner és Bessei, 2006; Mendes és mtsai., 2020; Nicol, 2020; Pereira és mtsai., 2007). Az ilyen nemkívánatos viselkedésformák a nagyüzemi – nagylétszámú – baromfitartásban az egyik legnagyobb gazdasági kárt okozó tényezőt jelenthetik (Bartels és mtsai., 2020; Hoerr, 2010b).

A jelen vizsgálatban az SD csoport átlagos testtömege szignifikánsan eltért a kontrolltól, míg az LI és RT csoportok esetében ilyen eltérés nem volt kimutatható. Bár a fajlagos takarmányhasznosítási mutató (FCR) megfelelő számításához egyedi takarmányfogyasztási adatok, továbbá súlymérések szükségesek, a gyakorlati – telepi – gyakorlat szerint kiszámított FCR érték minden kísérleti csoportban nagyobb volt a kontrollcsoporthoz viszonyítva, a legrosszabb értékek az SD csoportban mutatkoztak. Érdekes, hogy a takarmányfogyasztásban nem mutatkozott szignifikáns különbség. Összességében az SD csoport madarai mutatták a legkisebb testtömeget és a legnagyobb FCR értéket, ami arra utal, hogy a korlátozott férőhely, illetve a túlszűfoltosság jelentős negatív hatással lehet az állatokra, illetve azok teljesítményére. A stressz testsúlyra és FCR-re gyakorolt hatásával összhangban brojlercsirkék esetében kimutatták, hogy a kortikoszteron injekció csökkenti a testtömeget és a takarmányfogyasztást, miközben növeli az FCR értékét (Scanes, 2016; Virden és mtsai., 2007). Ezzel ellentétes megállapításra jutottak Mohamed és mtsai. (2016), akik szerint az erősebb megvilágítás (fényintenzitás) hátrányosan befolyásolja a termelési mutatókat.

Az alkalmazott állatjólléti indikátorok alapján az SD csoport szignifikánsan rosszabb állatjólléti pontszámokat mutatott. Ezek az értékek társas viselkedéssel, agresszióval, betegséggel és elhullással összefüggő sérülésekkel voltak kapcsolatban, tovább erősítve a nagyobb állománysűrűség által okozott negatív hatások jelentőségét. A t-SNE algoritmus segítségével az SD csoport értékei jól elkülönültek a többi csoporttól a kísérleti időszak 10. hetétől egészen a vizsgálat végéig. Az állatjólléti vizsgálatunk eredményei szerint mind az F1 faktor (viselkedés, illetve agresszivitás okozta sérülések indikátorai), mind az F2 faktor (betegség és elhullás indikátorai) esetében az SD csoport mutatta a legrosszabb jólléti állapotot. Az F1 és F2 faktor együttes eredményei alapján az SD csoport és a kontrollcsoport közötti különválás a 10. és 18. hét között tovább erősíti a magas állománysűrűség állatokra vonatkozó, hosszan tartó negatív hatásait és a tartós zsúfoltság kumulatív következményeit (Lewis mtsai., 1998; Mendes mtsai., 2020; Pereira mtsai., 2007). Az LI és RT csoportban nem észleltünk hasonló eltéréseket, bár egyes tanulmányok szerint az erősebb megvilágítás növelheti a tollcsipkedés előfordulását és az agresszív viselkedést is (Mohammed és mtsai., 2016).

A kísérletünk 10. hetétől kezdve valamennyi csoportban általános, szinte folyamatos emelkedés volt megfigyelhető az F1 értékekben, a legmagasabb szintek a vizsgálat utolsó heteiben mutatkoztak. Ezzel szemben az F2 faktor nem mutatott ennyire egyértelmű tendenciát. Az F1 értékek emelkedésének egyik magyarázata lehet, hogy az életkor előrehaladtával az agresszív viselkedés megnyilvánulások és az ezzel összefüggő sérülések gyakorisága is növekszik (Leishman és mtsai., 2022). Ezt a folyamatot tovább erősíthetik az agresszió tartós fennállásából eredő kumulatív hatások, illetve a tanult, nemkívánatos viselkedések kialakulása (Leishman és mtsai., 2022; Zeltner és mtsai., 2000).

A toll- és vérplazma kortizol szintjei közötti eltérések kiemelik annak jelentőségét, hogy a stressz akut és krónikus formáinak értékeléséhez több biomarker együttes vizsgálata szükséges. A jelen vizsgálatban – amelyben a fényerősséget, férőhelyet és hőmérsékletet módosítottuk a különböző kísérleti termekben – különösen fontos ezeknek a stressz-élettani paramétereknek az értékelése. A vérplazmában mérhető kortizol az állat akut stresszválaszát tükrözi, amely percekben belül kialakul, és célja a gyors alkalmazkodás hirtelen környezeti változásokhoz, például kezeléshez, zajhoz vagy hőmérsékletváltozáshoz stb. A kiváltó tényező megszűnésével a kortizolszint viszonylag gyorsan visszatér az alapszintre (Scanes és mtsai., 2024). Ezzel szemben a tollba beépülő kortizol a HPA-tengely hosszú távú aktivitását tükrözi, mivel a toll növekedése során rögzül. A toll kortizol-szintje tehát krónikus, elhúzódó stressz jelenlétére utal (Ataallahi és mtsai., 2020). Így a vérplazma- és toll kortizol-együttes vizsgálata lehetővé teszi annak megítélését, hogy az állat jelenleg stressz alatt áll-e, illetve korábban ki volt-e téve tartós stresszhatásoknak – mint például fényerősség, férőhely vagy hőmérséklet –, amelyek a tanulmányban szisztematikusan módosításra kerültek a különböző kísérleti csoportokban. Ez a kettős biomarker-megközelítés átfogó képet ad a környezeti tényezők által kiváltott akut és kumulatív hatásokról az állatjóllét szempontjából.

A plazmakortizol-koncentrációk alapján a különböző környezeti stresszorok hatására a pulykákban komplex és dinamikus stresszválasz alakult ki. A fényintenzitás növelése, a magasabb hőmérséklet és az állománysűrűség emelése mind eltérő kortizol választ eredményeztek. Ezek az eredmények összhangban vannak korábbi, pulykákban és csirkéken végzett vizsgálatokkal. Scanes és mtsai. (2020, 2024) kimutatták, hogy a fizikai stresszorok, például az ACTH injekció vagy a kezelések jelentősen megemelik a plazma kortikoszteron szintjét vágóhídra szállítás előtti életkorban lévő hímvárú pulykákban, jelezve, hogy a HPA-tengely aktiválódik ezekre az ingerekre. Csirkék esetében hasonlóan nőtt a kortikoszteron szint különféle környezeti stresszorokra (Beuving és Vonder, 1978; Kannan és Mench, 1997).

A jelen eredmények megerősítik, hogy az akut környezeti stresszorok – különösen a fényintenzitás és hőmérséklet növekedése – aktiválják a HPA-tengelyt, amit a plazma kortizolszint

emelkedése igazol. Mohammed és mtsai. (2016) is megfigyelték, hogy a fokozott fényintenzitás magasabb kortizolszinttel jár pulykákban. Vizsgálatunkban a fényintenzitás-növekedés hatása a harmadik mintavételi időpontban jelentkezett, míg a teremhőmérséklet- és állománysűrűség változtatások hatása már a második időpontban kimutatható volt. Ezek az időbeli eltérések azt jelezhetik, hogy az egyes környezeti ingerek különböző szenzoros és fiziológiai útvonalakon keresztül érvényesülhetnek.

Megfigyeltük, hogy a kísérlet végére a plazma kortizolszintek az LI, RT és SD csoportokban a kontroll csoportban mért értékek alá csökkentek, ami habituációra (adaptív vagy habituációs válasz) vagy allosztatikus túlterhelésre utalhat – amint azt Rich és Romero (2005), illetve Brooke és mtsai. (2018) is megfigyelték. Ennek során a madarak élettani szabályozó rendszerei idővel módosítják a kortizol-termelést a krónikus stressz hatásainak enyhítése érdekében. A stresszorokkal való tartós érintkezés a HPA-tengely érzékenységének – aktivitásának – csökkenését, a glükokortikoid-szekréció elnyomását idézheti elő, ami a tengely deszenzitizációját vagy kimerülését jelenti. Az ilyen, kezdetben emelkedett, majd később csökkenő kortizolmintázatokat más vizsgálatok is dokumentálták, és azt jelezhetik, hogy az akut stresszválaszt egyfajta allosztatikus túlterhelés vagy kimerülés követi – HPAI-aktivitás csökkenés kísérletében (Mormède és mtsai., 2007). Ez több madárfajnál megfigyelt jelenség. Például kimutatták, hogy hosszan tartó stressz esetén a mellékvese ACTH-érzékenysége csökken, így a kortikoszteron-termelés visszaesik (Rich és Romero, 2005; Scanes, 2016). Eredményeink megerősítik Henriksen és mtsai. (2011) vizsgálatait is, melyek szerint a tojótyúkok megemelkedett kortikoszteron szintje élettani és szaporodási eltérésekkel jár. Jelen kutatásunk hímivarú pulykákban zajlott, így a szaporodást nem vizsgáltuk, de az endokrin válaszmintázat hasonló szabályozási mechanizmusokat feltételez.

Érdekesség, hogy Brooke és mtsai. (2018) tanulmányában a menedzsmenttel kapcsolatos stresszorok – például takarmány- és vízelvonás vagy extrém magas környezeti hőmérséklet – jelentős kortikoszteron-emelkedést és teljesítménycsökkenést eredményeztek pulyka tojó típusban. Bár vizsgálatunk nem fókuszált termelési mutatókra, a plazmakortizol korai emelkedése és későbbi csökkenése egy kezdeti stresszreakciót, majd fiziológiai alkalmazkodást tükrözhet – valószínűsíthetően hosszú távon mérhető állatjólléti és termelési költségek árán.

Szintén fontos megemlíteni, hogy Davis és Siopes (1987), valamint Scanes és mtsai. (1980) vizsgálataiban a plazma kortikoszteron ACTH-ra adott válasza pulykákban markáns és jól mérhető volt, ami alátámasztja e faj mellékvese-tengelyének érzékenységét. A mi vizsgálatunkban a végső kortizolszint-csökkenés nem a válaszképesség hiányára, hanem a HPA-tengely modulációjára vagy szuppressziójára utalhat, ami összhangban áll Henriksen és mtsai. (2011) megfigyeléseivel a krónikus stressz madarakra gyakorolt hatásairól.

A plazmakortizol-analízis a stresszválasz dinamikusabb mintázatát tárta fel a különböző kísérleti csoportok között. A harmadik mintavételi időpontban az LI csoport madarainak plazmakortizolszintje szignifikánsan magasabb volt a kontrollcsoportéhoz képest. Emellett a második mintavételkor az RT és SD csoport egyedeinél is szignifikánsan emelkedett plazma kortizol-koncentrációt mértünk a kontrollhoz viszonyítva. Rich és Romero (2005) szerint a krónikus stressz hatására a hipotalamusz szabályozza az arginin-vazotocin felszabadulását, ami csökkenti az adrenokortikotrop hormon (ACTH) termelését, és ennek következményeként a kortikoszteron-szint is visszaesik.

Mivel a C – azaz kontroll – csoport nem volt kitéve tartós stressznek, feltételezhető, hogy az ebbe a csoportba tartozó madarak egy akut stresszhatásra reagálva mutattak magasabb kortizoltermelést, mint azok a csoportok, amelyek folyamatosan stressznek voltak kitéve a megváltozott környezeti feltételek miatt (**3.3.5b. ábra**).

A toll kortizol-koncentrációk elemzése alapján az RT csoport madarainál szignifikánsan magasabb kortizol-szintet mértünk a kontrollcsoportéhoz képest. Ez arra utal, hogy ezek a madarak tartós vagy krónikus stressznek voltak kitéve, amely valószínűleg az emelt hőmérsékleti viszonyokkal, esetleg a menedzsmenthez – állatok napi ellátásához – kapcsolódó környezeti tényezőkkel függött össze. Ezzel szemben az LI és SD csoportok esetében nem volt szignifikáns különbség a toll kortizol-szintekben a kontrollhoz viszonyítva.

A jelen vizsgálat eredményei azt mutatják, hogy az emelkedett környezeti hőmérséklet (RT csoport) jelentős mértékben megnövelte a toll kortizol-koncentrációját, ami krónikus stresszreakciót jelez. Ez az eredmény összhangban van korábbi kutatásokkal, amelyek igazolták, hogy a tollban mért kortikoszteron – a madaraknál a kortizol megfelelője – megbízható biomarkere a tartós stressznek csirkékben és pulykákban egyaránt. Bortolotti és mtsai (2008), valamint Häffelin és mtsai. (2020) hangsúlyozták, hogy a toll kortikoszteron a HPA-tengely tartós aktivációját tükrözi, és a stressz kumulatív hatásait integrálja – rögzíti – a toll növekedése során.

Kísérletünkben az emelt fényintenzitásnak (LI csoport) kitett és a megemelt állománysűrűség (SD csoport) mellett tartott madarak toll kortizol-szintjeiben nem észleltünk szignifikáns változást. Ez részben eltér Häffelin és mtsai. (2020) megfigyeléseitől, akik tojótyúkokban jelentős egyedek közötti és egyeden belüli variabilitást mutattak ki a toll kortikoszteron-szintekben, amely elfedheti az enyhébb kezelési hatásokat, különösen, ha a mintavétel és az elemzési módszerek nem eléggé standardizáltak. Emellett az, hogy az állománysűrűség növelése nem okozott szignifikáns kortizol-szintbeli változást a tollban, eltér bizonyos pulykavonalak esetében tapasztalt eredményektől, ahol a társas és környezeti stresszorok emelt toll kortikoszteron-szinteket eredményeztek (Leishman és mtsai., 2020).

Az a megfigyelés, hogy csak a hőmérséklet-emelkedés okozott mérhető toll kortizol-növekedést, összhangban van Oke és mtsai. (2024), Hernández-Sánchez és mtsai. (2024) és Bortolotti és mtsai. (2008) megállapításaival is, akik szerint a környezeti feltételek – különösen a hőstressz – jelentősebb és konzisztensebb hatást gyakorolnak a tollkortikoszteron-beépülésre, mint más, tartástechnológiához kapcsolódó tényezők.

Ezek az eredmények hangsúlyozzák a hőterhelés, azaz hőstressz, mint krónikus stresszor élettani jelentőségét, amely közvetlenül hat a baromfi fajok hőszabályozására és metabolikus homeosztázisára.

Továbbá a jelen tanulmány megerősíti a toll mintavétel hasznosságát – mint nem invazív és időben integrálható módszer – a krónikus stressz felmérésére, feltéve, amennyiben a toll típusa, a minta feldolgozási eljárása és az egyedi variabilitás megfelelően kontrollált – ahogyan azt korábbi módszertani validálások is hangsúlyozták (Berk és mtsai., 2016; Faust és Walzem, 2025). Összességében az eredmények alátámasztják azt a hipotézist, hogy az emelkedett környezeti hőmérséklet erőteljes kiváltó tényezője lehet a krónikus stressznek baromfiban, míg más, általánosan alkalmazott tartástechnológiai tényezők – mint a fényintenzitás és az állománysűrűség – kevésbé mérhető hatást gyakorolnak a hosszú távú stressz élettanra, legalábbis a jelen vizsgálati körülmények között.

Az eredmények rámutatnak az endokrin válaszok időbeli elemzésének jelentőségére, amikor a baromfi fajok környezeti változásokra adott reakcióit értékeljük. A vérplazma kortizol-szintjének rövid távú megemelkedése jó indikátora lehet az akut stressznek, ugyanakkor a későbbi csökkenést óvatosan kell értelmezni, mert az élettani diszregulációt, nem pedig a stresszhatások csökkenését – így a környezeti tényezők javulását – jelezheti.

Ezen megfigyeléseink tovább erősítik a többszörös mintavételi időpontok és biomarkerek – például a tollkortizol és a viselkedéses megfigyelések – kombinált alkalmazásának létjogosultságát az állatjóllét komplex értékeléséhez, ahogyan azt több szerző is kiemelte már korábban (Fahey és Cheng, 2001, 2008; Scanes és mtsai., 2020a, 2020b).

Összefoglalva, vizsgálatunk összhangban áll a korábbi irodalmi adatokkal, illetőleg tovább bővíti azokat, amelyek szerint a környezeti tényezők – mint a fényintenzitás, hőmérséklet és állománysűrűség – jelentős hatással lehetnek a pulykák HPA-tengelyének működésére.

A plazma kortizol-szintek kezdeti emelkedése, majd későbbi csökkenése felhívja a figyelmet a stresszélettani folyamatok folyamatos monitorozásának szükségességére annak érdekében, hogy meg lehessen különböztetni az akut válaszokat a krónikus adaptációtól vagy gátlástól.

A korábbi kutatásokban (Beuving és Vonder, 1978; Gross és Siegel, 1983; Maxwell, 1993; Scanes, 2016) a stresszreakciók értékelése leggyakrabban a heterofil granulocita és limfocita arány (H/L

arány) alapján történt, és lényegesen kevesebb figyelem irányult a limfocita-szubpopulációk változásaira. Shini és mtsai. (2010) kimutatták, hogy a brojlercsirkék hosszan tartó kortikoszteron-kezelése szignifikánsan csökkentette a limfocitaszámot, amit egy másik tanulmány (Shini és Kaiser, 2009) is alátámasztott, mely a keringő limfociták csökkenését és a magasabb limfocita mennyiséghez társuló alacsonyabb kortizol-koncentrációt írta le.

Ugyanebben a kontextusban Compton és mtsai (1990) rámutattak, hogy a glükokortikoidok limfocita apoptózist is indukálhatnak, továbbá Mehaisen és mtsai. (2017) szerint a kortikoszteron kezelés jelentősen csökkentette a T- és B-sejtek stimulációs indexét csirkékben.

Saját vizsgálatunkban a limfocita-szubpopulációk kvantitatív meghatározása is megtörtént, és csak a B-sejtek esetében volt szignifikáns csökkenés mérhető a 3. és a 15. héten. A kísérlet végén (18. hét) minden kísérleti csoport szignifikánsan eltért a kontrollcsoporttól. Fahey és Cheng (2008) vizsgálatában stressznek kitett tojótyúkokban a CD8⁺ sejtek relatív aránya szignifikánsan emelkedett, valamint a CD4⁺ sejtek aránya is növekedett ismétlődő stressz hatására. Ugyanakkor ezek a változások nem voltak konzisztensen jelen különböző csirkefajtákban.

Vizsgálatunkban a CD4⁺ és CD8⁺ sejtek esetében hasonló trendeket figyeltünk meg, de nem észleltünk szignifikáns eltéréseket a kontrollcsoporthoz képest. Egyedül az LI csoport esetében, a kísérletünk 7. hetében mértünk szignifikáns emelkedést a CD8⁺ sejtek számában.

Jelenleg nincs közvetlen tudományos bizonyíték arra, hogy a fényintenzitás hatással lenne a CD4⁺ és CD8⁺ T-sejt populációkra csirkékben vagy pulykáknál. Bár a fotoperiódus hatását több tanulmány is vizsgálta (Kliger és mtsai., 2000), a fényintenzitás specifikus hatása továbbra is tisztázásra vár. Ezzel szemben Xu és mtsai. (2018) hőstressz alatt szignifikáns leukocita- és kortizol-szint emelkedést észleltek csirkékben, ugyanakkor a CD3⁺ és CD8⁺ sejtek száma szignifikánsan csökkent. Hasonlóan, Hirakawa és mtsai. (2020) jelentős csökkenést írtak le a CD4⁺ és CD8⁺ sejtszámokban brojlerekben hőstressz hatására.

A jelen vizsgálatban pulykák esetében az RT csoportban nem volt kimutatható ilyen csökkenés, ehelyett az SD csoport volt az egyetlen, amely átmeneti CD8⁺ sejtszám-emelkedést mutatott a kísérleti időszak 15. hetén. A CD4⁺ és CD8⁺ sejtek csökkenését egyetlen kísérleti csoportban sem figyeltük meg. Ezek az eltérések fajspecifikus immunválaszokra utalhatnak, vagy arra, hogy a jelen vizsgálatban nem alakult ki kellően erős hőstressz, így nem következett be a limfoid szövetek sorvadása vagy immunszuppresszió – ellentétben más tanulmányokban tapasztaltakkal. A hőmérséklet értékekkel társított megemelt környezeti relatív páratartalom szint melletti tanulmányok a jövő vizsgálatainak tárgyát képezhetik.

Következtetések

A megnövelt állománysűrűség negatívan befolyásolta a termelési mutatókat és a pulykák jólléti paramétereit, fokozott agresszív viselkedéshez, ebből fakadó magasabb sérülési (sebzési) arányhoz és rosszabb jólléti pontszámokhoz vezetett. A plazma- és tollkortizolszintek emelkedése a magasabb állománysűrűség, emelt hőmérséklet és nagyobb fényintenzitás mellett fokozott stresszállapotra utal. Ezek a körülmények alacsonyabb testtömeget, rosszabb fajlagos takarmányértékesítést és megváltozott immunválasz reakciókat, például a B-sejtszám csökkenését eredményezték.

A megfelelő tartási körülmények és hatékony menedzsmentgyakorlatok kulcsfontosságúak a stresszhatások mérséklésében és az állatjóllét javításában a baromfitermelésben.

4. Az elvégzett kutatások tudományos és gyakorlati jelentősége

Napjainkban, a globális népességszám-növekedés miatt kardinális jelentőségű a nagyüzemi állattartási gyakorlat megfelelő működtetése. A gazdaságos, élelmiszerlánc-biztonsági szempontból is kifogástalan termelés csak a gazdaságok járványvédelmének megfelelő működése mellett lehet hatékony. Napjainkban a nagyüzemi baromfitermelési rendszerek – így az ipari pulykatermelés is – folyamatosan fertőző betegségek általi nyomásnak vannak kitéve, melyek közül talán legfontosabb, említésre méltó megbetegedés a madárinfluenza, amely jelentős közegészségügyi relevanciája sem elhanyagolható. A fertőző betegségek elleni védekezésben a legalapvetőbb, ún. nem specifikus védekezési eszköz a telepi járványvédelem. Az egyes – gazdasági szempontból is jelentős – fertőző eredetű megbetegedések kialakulásában szerepet játszó vírusok és baktériumok esetében a fertőzési, ill. betegség-terjedési csatornák ismerete, a különféle környezeti körülmények közötti túlélési idők számbavétele kardinális jelentőségű a hatékony járványvédelmi rendszer kialakításában a baromfitartó gazdaságok esetében.

A megfelelő tartási környezet biztosítása elengedhetetlen az állatok számára a különféle stresszhatások elkerülése érdekében. A stresszorok jelentős immunszuppresszív tényezőként fokozhatják az állatok – így a pulykák – fertőző betegségekkel szembeni érzékenységét a csökkent ellenálló képesség előidézésével. Amennyiben az állattartó gazdaságban nem megfelelő szinten működik a járványvédelem, úgy megnő a kockázata a fertőző eredetű megbetegedések állományba történő bekerülésének. Továbbá, minél rosszabb állatjólléti körülmények között növekednek az állatok, annál rosszabb immunológiai állapotban vannak. A kettő együttes hatása jelentős mértékben rontja az egyedek állategészségügyi állapotát, amely veszélyezteti gazdaságos termelés megvalósulását, növeli a gyógyszerfelhasználást és az antibiotikumok használatának következtében az antimikrobiális rezisztencia veszélyét.

A jövő az olyan nagyüzemi baromfitelepek üzemeltetése, ahol a járvány megelőzési gyakorlatok és a jó telepmenedzselési gyakorlatok implementálásán keresztül az állatok megfelelő állatjólléti körülmények között a genetikailag meghatározott teljesítményeiknek megfelelő mértékben tudnak növekedni, termelni. Emellett az állomány immunállapotának folyamatos monitorozása is elengedhetetlen, mivel az immunszuppresszió fokozza a madarak fogékonyságát a különféle betegségekkel szemben. Ezért a telepi járványvédelem szigorú betartása, így az állathigiéniai és telephigiéniai feltételek biztosítása kiemelt fontosságú a nagyüzemi baromfitartásban.

A kutatásunkban komplex elemzéssel, vizsgálatok sorozatával sikerült igazolni az összefüggést a különféle, módosított környezeti tényezők pulykák stresszállapotára, illetve immunológiai mutatóira gyakorolt hatását, amely jelentősen befolyásolta az állatok termelékenységét. Ezen túlmenően, másik kutatásunkban egy hatékony, környezetbarát, könnyen

használható, *B. licheniformis*- és zeolit-tartalmú alomkezelő készítmény alkalmazásával sikerült szignifikáns csökkenést elérni a tartásterekben mérhető ammónia-koncentráció tekintetében. Mindemellett, magyarországi pulyka telepeken elvégzett felmérő vizsgálatunkkal sikerült szignifikáns összefüggést találni az állatjólléti mutatók és a pulykatartó gazdaságok járványvédelmi szintje között.

Mivel a hatékony termelés alapja a megfelelő állathigiéniai körülmények biztosítása, amelyek az ipari baromfitermelésben elengedhetetlen jelentőségűek, jelen kutatások nagymértékben hozzájárulhatnak a jövő nagyüzemi állattartása jó menedzselési gyakorlatainak (angol *good management practices*) kialakításához, így a mind gazdaságosabb, biztonságosabb és fenntarthatóbb, ún. „Egy egészség” koncepciónak megfelelő élelmiszer-termeléshez.

5. Új tudományos eredmények

Korábban nem készült még olyan átfogó, országos felmérés nagylétszámú pulykatelepeken, amelyben együttesen vizsgálták volna az állatjólléti paraméterek és az állattartó gazdaság járványvédelmi szintjét, illetve a közöttük lévő összefüggéseket. Mi ezt egy reprezentatív felméréssel, 24 pulykatartó gazdaságban elsőként végeztük el Magyarországon.

Korábban még nem végeztek mikrobiális alomkezelő készítményre vonatkozó vizsgálatot *B. licheniformis* baktérium és zeolit kombinációjával, amelyben az említett baktérium ammónia-koncentrációra, teljesítmény-mutatókra és állatjólléti paraméterekre vonatkozó kedvező hatását mérték. Mi ezt elsőként végeztük el Magyarországon.

Eddig nem végeztek olyan vizsgálatot pulykaállományokban, ahol a toll- és vérmintákból származó kortizol- és a vérből végzett immunsejt-vizsgálatokat egyszerre valósítják meg olyan módon, hogy az állatokra leginkább ható környezeti paramétereket módosítják beállított kísérletben. A disszertációban részletezett vizsgálattal ezt elsőként végeztük el Magyarországon.

Az új tudományos eredmények felsorolása:

1. A pulykatartó gazdaságok külső járványvédelmi elemeiként a telep szervezettségével és a telep személyforgalmával összefüggő, magasabb szintű járvány megelőző intézkedések jobb állatjólléti állapotot eredményeznek.
2. A pulykatartó gazdaságok belső járványvédelmi elemeiként a telepen megvalósuló kompartmentalizáció, illetve az állományok alatt és állományok közötti higiéniai intézkedések magas színvonala jobb állatjólléti állapotot eredményez.
3. A *B. licheniformis* és zeolitot tartalmazó alomkezelő készítmény kedvezően befolyásolja a pulyka istállók levegőminőségét az ammónia-koncentrációk csökkentése révén, ami együtt jár a teljesítménymutatók és az állatjóllét javulásával.
4. A hőstresszor fellépését követő 3-7 héttel vizsgálva a bak hízópulykák toll kortizol-koncentrációja szignifikáns emelkedést mutat, majd a 11-15 héten vizsgálva visszatér a kiindulási szintre, amely élettani jelenség mögött az alkalmazkodás sikere állhat.
5. Kimutattuk, hogy hízó pulyka állományokban egyes összetett állatjólléti indikátorok – mint „szociális viselkedés faktor” továbbá a „betegség faktor” – szignifikáns összefüggést mutat az állománysűrűséggel. A 3,5 madár/m² állománysűrűség rosszabb „szociális viselkedés faktor” továbbá a „betegség faktor” mutatókat eredményez a 2,5 madár/m² állománysűrűséghez viszonyítva.

6. Irodalom

1. George M, Trisha M J (2017) Litter Management for the 21st Century in Robert L O (2017) A Practical Guide for Managing Risk in Poultry Production (2nd ed.) American Association of Avian Pathologists, Eds.; 2nd edition.; AAAP, Inc: Jacksonville, Florida, 2017; ISBN 978-0-9789163-8-1.
2. Kovács L, Bánáti L, Könyves L (2023) Alomkezelési módszerek a nagyüzemi állattartási gyakorlatban: Irodalmi összefoglaló. Magyar Állatorvosok Lapja 145:47–54.
<https://doi.org/10.56385/magyallorv.2023.01.47-54>
3. Roser Max, Lucas Rodés-Guirao (2013) „Future Population Growth”. Our World in Data,
<https://ourworldindata.org/future-population-growth>.
4. Oltenacu Pascal, Donald Broom (2010) „The impact of genetic selection for increased milk yield on the welfare of dairy cows”. Animal Welfare, Volume 19: 39-49 (11)
5. Zuidhof M J, Schneider B L, Carney V L, Korver D R, Robinson F E (2014) „Growth, Efficiency, and Yield of Commercial Broilers from 1957, 1978, and 2005 Poultry Science 93, 12. 2970–82.
<https://doi.org/10.3382/ps.2014-04291>.
6. Nagy G (1990) A rekonstrukció szükségessége a húshibrid baromfi tartásában. Magyar Állatorvosok Lapja, 410-415.
7. Rafai P (2003) Állathigiénia és állomány-egészségtan. Agroinform Kiadó, Budapest
8. Rafai P, Baltay M, Zádori L, Slezák G (2004) A sertéshústermelés fejlesztésének biológiai és ökológiai szempontjai. Magyar Állatorvosok Lapja, 126 732-740.
9. Stevens L (1996) Avian Biochemistry and Molecular Biology. Cambridge University Press, Cambridge
10. Schefferle HE (1965) The Decomposition of Uric Acid in Built Up Poultry Litter. Journal of Applied Bacteriology 28:412–420 .
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.1965.tb02171.x>
11. Bellarby, Jessica, Reyes Tirado, Adrian Leip, Franz Weiss, Jan Peter Lesschen, és Pete Smith (2013) „Livestock Greenhouse Gas Emissions and Mitigation Potential in Europe”. JRC Publications Repository,
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2012.02786.x>.
12. Webb J, H Menzi, B F Pain, T H Misselbrook, U Dämmgen, H Hendriks, H Döhler (2005) Managing Ammonia Emissions from Livestock Production in Europe. Environmental Pollution, The National Atmospheric Deposition Program (25th Anniversary) and Ammonia Workshop, 135, sz. 3: 399–406.
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2004.11.013>.
13. Frank Mitloehner: Livestock and Climate Change: Facts and Fiction. In: Engle T., Klingborg D.J és Rollin B.E. (2019) The Welfare of Cattle. CRC Press, Taylor and Francis Group LCC. p. XIV.
14. Alberdi, Oier, Haritz Arriaga, Salvador Calvet, Fernando Estellés, Pilar Merino (2016) „Ammonia and Greenhouse Gas Emissions from an Enriched Cage Laying Hen Facility”. Biosystems Engineering 144: 1–12.
<https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2016.01.009>.
15. Broucek, Jan, Čermák B. (2015) „Emission of Harmful Gases from Poultry Farms and Possibilities of Their Reduction”. Ekologia 34 <https://doi.org/10.1515/eko-2015-0010>.
16. Knižatová, M., J. Brouček, Š Mihina (2010) „Seasonal Differences in Levels of Carbon Dioxide and Ammonia in Broiler Housing”. Slovak Journal of Animal Science 43, sz. 2: 105–12.
17. Mosquera, J., J. M. G. Hol, és G. J. Monteny (2006) „Gaseous Emissions from a Deep Litter Farming System for Dairy Cattle”. International Congress Series, Greenhouse Gases and Animal Agriculture: An Update. Proceedings of the 2nd International Conference on Greenhouse Gases and Animal Agriculture, held in Zurich, Switzerland 20-24 September 2005, 1293: 291–94. <https://doi.org/10.1016/j.ics.2006.02.041>.
18. Leytem, April B., Robert S. Dungan, David L. Bjorneberg, és Anita C. Koehn (2011) „Emissions of Ammonia, Methane, Carbon Dioxide, and Nitrous Oxide from Dairy Cattle Housing and Manure Management Systems”. Journal of Environmental Quality 40, sz. 5: 1383–94. <https://doi.org/10.2134/jeq2009.0515>.
19. Li, Hong, Chongyang Lin, Stephen Collier, William Brown, Susan White-Hansen (2013) „Assessment of frequent litter amendment application on ammonia emission from broilers operations”. Journal of the Air & Waste Management Association 63, sz. 4: 442–52. <https://doi.org/10.1080/10962247.2012.762814>.
20. A J Angus, I D Hodge, S McNally M A Suttonc (2003) The setting of standards for agricultural nitrogen emissions: a case study of the Delphi technique. Journal of Environmental Management, 69, 4: 323-337
21. Adams P L, T C Daniel, D J Nichols, D H Pote, H D Scott, D R Edwards (1994) „Poultry Litter and Manure Contributions to Nitrate Leaching through the Vadose Zone”. Soil Science Society of America Journal 58, sz. 4: 1206–11. <https://doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800040029x>.
22. Naseem Sadia, Annie J. King (2018) „Ammonia Production in Poultry Houses Can Affect Health of Humans, Birds, and the Environment—Techniques for Its Reduction during Poultry Production”. Environmental Science and Pollution Research 25, sz. 16: 15269–93. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2018-y>.
23. Oyetunde OO, Thomson RG, Carlson HC (1978) Aerosol exposure of ammonia, dust and Escherichia coli in broiler chickens. Can Vet J 19:187–193

24. Lillie RJ (1949) Air Pollutants Affecting the Performance of Domestic Animals: A Literature Review. U.S. Department of Agriculture
25. Wei FX, Hu XF, Xu B, Zhang MH, Li SY, Sun QY, Lin P (2015) Ammonia concentration and relative humidity in poultry houses affect the immune response of broilers. *Genet Mol Res* 14:3160–3169 .
<https://doi.org/10.4238/2015.April.10.27>
26. Charles D R, Payne C G (1966) The influence of graded levels of atmospheric ammonia on chickens. *British Poultry Science* 7:177–187 . <https://doi.org/10.1080/00071668608415622>
27. Bauer, M A, Coppolo, D P (1993) Agricultural lung disease: Prevention. *Seminars in Respiratory Medicine*, 14(1), 83–89.
28. Hetényi N, Korbacska-Kutasi O (2019) Az alomanyag és a takarmány hatása a lovak asztmás megbetegedéseire. *Magyar Állatorvosok Lapja* 141., 515-521.
29. Kovács F (1990) Állathigiénia. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest
30. Leeson, S., Summers, J. D. (2000) *Nutrition of the Chicken*. University Books, Guelph, Ontario.
31. Pepper Claire-Marie, Mark W Dunlop (2021) „Review of Litter Turning during a Grow-out as a Litter Management Practice to Achieve Dry and Friable Litter in Poultry Production”. *Poultry Science* 100, sz. 6: 101071. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101071>.
32. Miles D M, P R Owens, P A Moore, D E Rowe (2008) „Instrumentation for Evaluating Differences in Ammonia Volatilization from Broiler Litter and Cake1”. *Journal of Applied Poultry Research* 17, sz. 3: 340–47.
<https://doi.org/10.3382/japr.2007-00112>
33. Oluwagbenga E M, Fraley G S (2023) Heat stress and poultry production: a comprehensive review. *Poultry Science* Volume 102, Issue 12, 103141
<https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.103141>
34. Vandana G D, Sejian V, Lees A M, Pragna P, Silpa M V, Maloney S K (2021) Heat stress and poultry production: impact and amelioration *Int. J. Biometeorol.*, 65, 163-179
<https://doi.org/10.1007/s00484-020-02023-7>
35. Cockerill S A, P F Gerber, S W Walkden-Brown, M W Dunlop, S A Cockerill, P F Gerber, S W Walkden-Brown, M W Dunlop (2020) „Suitability of Litter Amendments for the Australian Chicken Meat Industry”. *Animal Production Science* 60, sz. 12: 1469–81. <https://doi.org/10.1071/AN19587>.
36. Madrid J, M J López, J Orengo, S Martínez, M Valverde, M D Megías, F Hernández (2012) „Effect of Aluminum Sulfate on Litter Composition and Ammonia Emission in a Single Flock of Broilers up to 42 Days of Age”. *Animal* 6, sz. 8: 1322–29. <https://doi.org/10.1017/S1751731112000158>.
37. Lee Gee Dong, Sam Churl Kim, In Hag Choi (2013) „Using Anhydrous Aluminum Chloride with Calcium Carbonate to Reduce Ammonia Volatilization and Increase Nitrogen Content from Poultry Litter”. *The Journal of Poultry Science* 50, sz. 2: 172–76. <https://doi.org/10.2141/jpsa.0120139>.
38. Mohammed Asmaa N, Mohamed A ElBably (2020) „Mitigation of Air Gas Emission, and Litter Microbial Quality in Muscovy Duck Pens: The Effectiveness of Adding Clinoptilolite Zeolite as a Litter Amendment”. *Journal of Advanced Veterinary Research* 10, sz. 4: 219–25.
39. Blake J P., Hess J B (2001) *Litter Treatments for Poultry*. Alabama Cooperative Extension System
40. Chepete, H J, H Xin, L B Mendes, H Li, T B Bailey (2012) „Ammonia Emission and Performance of Laying Hens as Affected by Different Dosages of Yucca Schidigera in the Diet”. *Journal of Applied Poultry Research* 21, sz. 3: 522–30. <https://doi.org/10.3382/japr.2011-00420>.
41. Nakasaki K, Uehara N, Kataoka M, Kubota H (1996) The Use of Bacillus Licheniformis HA1 To Accelerate Composting of Organic Wastes. *Compost Science & Utilization* 4:47–51 .
<https://doi.org/10.1080/1065657X.1996.10701852>
42. Hoppensack A, Oppermann-Sanio FB, Steinbüchel A (2003) Conversion of the nitrogen content in liquid manure into biomass and polyglutamic acid by a newly isolated strain of Bacillus licheniformis. *FEMS Microbiology Letters* 218:39–45 . <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.2003.tb11495.x>
43. European Environment Agency (2025) Atmospheric greenhouse gas concentrations
<https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/atmospheric-greenhouse-gas-concentrations>
44. World Meteorological Organization (2024) Greenhouse gas concentrations surge again to new record in 2023
<https://wmo.int/news/media-centre/greenhouse-gas-concentrations-surge-again-new-record-2023>
45. Mikalai F, Michael P P, Lifeng Z, Volha H, Yi H (2024) Greenhouse gases emissions and global climate change: Examining the influence of CO₂, CH₄, and N₂O *Science of The Total Environment* Volume 935, 173359
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.173359>
46. Zeynal T, Amanda M, Sanjay K, Manpreet S, Michelle D (2021) *Preharvest food safety Foodborne Infections and Intoxications* (5th Ed.) Pages 495-521
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819519-2.00014-1>

47. Priscila de O M, Paula G da S P, Vilmar B F, André L F L, Liris K, Diogo T, André F, Glauber W (2023) Intestinal health of broilers challenged with *Eimeria* spp. using functional oil blends in two physical forms with or without anticoccidials. *Sci Rep* 13, 14612
<https://doi.org/10.1038/s41598-023-41743-9>
48. Nouri, A. (2022) Anticoccidial and immunogenic effectivity of encapsulated organic acids and anticoccidial drugs in broilers infected with *Eimeria* spp.. *Sci Rep* 12, 17060
<https://doi.org/10.1038/s41598-022-20990-2>
49. Garcés-Gudiño J., Merino-Guzmán R, Cevallos-Gordón A L (2018) Litter reuse reduces *Eimeria* spp oocyst counts and improves the performance in broiler chickens reared in a tropical zone in Ecuador *European Poultry Science* Volume 82, Pages 1-9
<https://doi.org/10.1399/eps.2018.220>
50. Bucher M G, Zwirzitz B, Oladeinde A, Cook K, Plymel C, Zock G, Lakin S, Aggrey S E, Ritz C, Looft T, Lipp E, Agga G E, Abdo Z, Sistani K R (2020) Reused poultry litter microbiomewith competitive exclusion potential against *Salmonella* Heidelberg. *J. Environ. Qual.* 2020;49:869–881.
<https://doi.org/10.1002/jeq2.20081>
51. Hutu I, Onan G (2019) Environmental control and structure management Alternative Swine Management Systems 2019, Pages 23-52
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818967-2.00003-4>
52. Kaboudi K, Umar S, Bouchrit H (2015) Outbreak of litter impaction of the gastrointestinal tract in commercial turkey poult: case report *JAven Res*; 1(2):15-16
53. Malone, G W (1992). Evaluation of litter materials other than wood shavings. 1992. Proceedings of the National Poultry Waste Management Symposium. Auburn, AL. 274-284.
54. Grimes J L, Smith J, Williams C M (2002). Some alternative litter materials used for growing broilers and turkeys. *World Poultry Sci. J.* 58:515-526.
55. Kubena, L.F., J.W. Denton, J.D. May and F.N. Reece. (1964) A dietary method to correct a gizzard abnormality of broilers. *Poultry Sci.* 53:407-409.
56. Malone G W, Chaloupka G W, Saylor W W (1983) Influence of litter type and size on broiler performance. 1. Factors affecting litter consumption. *Poultry Sci.* 62:1741-1746.
57. Dyar P M, Fletcher O J, Page R K (1984) Aspergillosis in turkeys associated with use of contaminated litter. *Avian Dis.* 28:250-255.
58. Humphreys, J D (1979) Poisoning in poultry. *World Poultry Sci. J.* 35:161-177.
59. Randall C J, Owen D M, Kirtpatrick K S (1981) Encephalitis in broiler chickens caused by a hyphomycete resembling *Dactylaria Gallopava*. *Avian Path.* 10:31-41.
60. Waldrip D W, Padhye A A, Ajello A, Ajello M (1974) Isolation of *Dactylaria gallopava* from broiler-house litter. *Avian Dis.* 18:445-451.
61. Garcia R G, Almeida P I C L, Caldara F R, Nääs I A, Bueno L G F, Freitas L W, Graciano J D, Sim S (2012) Litter Materials and the Incidence of Carcass Lesions in Broilers Chickens *Brazilian Journal of Poultry Science* ISSN 1516-635X v.14 n.1 27-32
<https://doi.org/10.1590/S1516-635X2012000100005>
62. Diarra S, Lameta S, Amosa F and Anand S (2021) Alternative Bedding Materials for Poultry: Availability, Efficacy, and Major Constraints. *Front. Vet. Sci.* 8:669504.
doi: 10.3389/fvets.2021.669504
63. Garcês A, Afonso S M S, Chilundo A, Jairoce C T S (2013) Evaluation of different litter materials for broiler production in a hot and humid environment: 1. Litter characteristics and quality 3 *J. Appl. Poult. Res.* 22 :168–176
<http://dx.doi.org/10.3382/japr.2012-00547>
64. Somnez S, Gong R, KotkarP, Pekarovicova A, Fleming P D (2022) A Survey on the Effects of Environmentally Friendly Soy Protein Inks on Flexography Print Parameters in the Packaging Industry *Cellulose Chem. Technol.*, 56 (5-6), 637-645
65. Villagrà A, Olivas I, Benitez V, Lainez M (2011) Evaluation of sludge from paper recycling as bedding material for broilers *Poultry Science* 90 :953–957
<https://doi.org/10.3382/ps.2010-00935>
66. Nakaue H S, Hermes J, Dodrill S (1995) Chopped grass straw: An alternative bedding litter for broiler production (VTP 024). Oregon State University Agricultural Extension Service publication VTP 024. Corvallis, OR.
67. Malone G W, Chaloupka G W, Eckroade R J (1983) Composted municipal garbage for broiler litter. *Poultry Sci.* 62:414-418.
68. Olinde A J, Davenport R P, Towers B A (1969) A new litter material. *Louisiana State University Poultry News.* pp2-3.

69. Zehnder C M, DiCostanzo A, Thate K, Gilland R, Murphy M J, Halbach T R (1998) Utilization of municipal solid waste compost as bedding material for cattle feedlots. <https://conservancy.umn.edu/items/9282723d-0bbb-4487-9f7e-f8c310fb34dd>
70. Frame D D, Kelly E J, Fields N, Bagley L G (2004) Dairy compost as a source of turkey brooder bedding. *J. Appl. Poult. Res.* 13:614-618.
71. Teixeira A S, Oliveira M C, Menezes J F, Gouvea B M, Teixeira S R, Gomes A R (2014) Poultry litter of wood shavings and/or sugarcane bagasse: animal performance and bed quality *Rev Colomb Cienc Pecu* 2015; 28:238-246
doi:10.17533/udea.rccp.v28n3a4
72. Watts D B, Runion G B, Purswell J L, Torbert H A, Davis J D (2020) FGD gypsum litter effects on gaseous losses from a broiler house. *Int. J. Poult. Sci.*, 19: 42-50.
DOI: [10.3923/ijps.2020.42.50](https://doi.org/10.3923/ijps.2020.42.50)
73. Grimes J L, Carter T A, Godwin J L (2006) Use of a Litter Material Made From Cotton Waste, Gypsum, and Old Newsprint for Rearing Broiler Chickens *Poultry Science* 85:563–568
<https://doi.org/10.1093/ps/85.3.563>
74. Wyatt C L, Goodman T N (1992) Research Note: The Utilization of Recycled Sheetrock (Refined Gypsum) as a Litter Material for Broiler Houses *Poultry Science* 71:1572-1576
<https://doi.org/10.3382/ps.0711572>
75. Malone G W, Allen P H, Chaloupka G W, Fitter W F (1982) Recycled Paper Products as Broiler Litter *Poultry Science* 61:2161-2165
<https://doi.org/10.3382/ps.0612161>
76. McMullen J, Fasina O O, Wood C W, Feng Y (2005) Storage and handling characteristics of pellets from poultry litter *Applied Engineering in Agriculture* 21(4):645-651
DOI:10.13031/2013.18553
77. Lien R J, Conner D E, Bilgili S (1992) The Use of Recycled Paper Chips as Litter Material for Rearing Broiler Chickens *Poultry Science* 71:81-87
<https://doi.org/10.3382/ps.0710081>
78. Strasiťák J, Juhás P (2023) The effect of a bedding materials on performance, welfare and behavior of broiler chickens: A review *Journal of Central European Agriculture*, 24(2), p.311-321
<https://doi.org/10.5513/JCEA01/24.2.3780>
79. Asaniyan E K, Agbede J O, Laseinde E A O (2006) Comparative Influence of Sand and Wood Shavings Litter Replacement Frequency on the Performance of Broiler Chickens *J. Anim. Vet. Adv.*, 5 (12): 1080-1087
80. Shields S J, Garner J P, Mench J A (2005) Effect of Sand and Wood-Shavings Bedding on the Behavior of Broiler Chickens *Poultry Science* 84:1816–1824
<https://doi.org/10.1093/ps/84.12.1816>
81. Kaukonen, E, Norring, M, Valros, A (2017) Evaluating the effects of bedding materials and elevated platforms on contact dermatitis and plumage cleanliness of commercial broilers and on litter condition in broiler houses. *British poultry science*, 58 (5), 480-489.
<https://doi.org/10.1080/00071668.2017.1340588>
82. Tabler T, Hawkins S, Liang Y, Thornton T, Moon J (2024) Poultry litter management (inside and outside the house) *Programs in agriculture and natural resources* D 247
83. Wilkinson K G, Tee E, Tomkins R B, Hepworth G, Premier R (2011) Effect of heating and aging of poultry litter on the persistence of enteric bacteria *Poultry Science* 90:10–18
<https://doi.org/10.3382/ps.2010-01023>
84. Czarick M, Fairchild B (2006) Fresh Bedding Cool Chicks. *University of Georgia Poultry Housing Tips*. Vol. 18, No. 4.
<http://www.poultryventilation.com/>
85. Hybrid Turkeys (Hendrix Genetics): Commercial Management (2022)
<https://www.hybridturkeys.com/en/resources/commercial-management/>
86. Aviagen Turkeys: Management Guidelines for Commercial Turkeys (2022)
87. Aviagen: Ross 308 Broiler Handbook (2025)
88. Liu Z , Wang L, Beasley D, Oviedo E (2007) Effect of moisture content on ammonia emissions from broiler litter: A laboratory study *J Atmos Chem* 58:41–53
DOI:10.1007/s10874-007-9076-8
89. Bist R B, Subedi S, Chai L, Yang X (2022) Ammonia emissions, impacts, and mitigation strategies for poultry production: A critical review *Journal of Environmental Management*, V. 328, 116919, ISSN 0301-4797,
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116919>
90. Pepper C-M, Dunlop M W (2021) Review of litter turning during a grow-out as a litter management practice to achieve dry and friable litter in poultry production *Poultry Science* 100:101071
<https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101071>

91. Ritz C W, Fairchild B D, Lacy M P (2005) Litter Quality and Broiler Performance
https://www.thepoultrysite.com/articles/litter-quality-and-broiler-performance?utm_source=chatgpt.com
92. Dunlop M W, McAuley J, Blackall P J, Stuetz R M (2016) Water activity of poultry litter: Relationship to moisture content during a grow-out Journal of Environmental Management Volume 172, Pages 201-206
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.02.036>
93. Shepherd E M, Fairchild B D, Ritz C W (2017) Alternative bedding materials and litter depth impact litter moisture and footpad dermatitis Journal of Applied Poultry Research Volume 26, Issue 4, Pages 518-528
<https://doi.org/10.3382/japr/pfx024>
94. Weaver W D. Jr., Meijerhof R (1991) The Effect of Different Levels of Relative Humidity and Air Movement on Litter Conditions, Ammonia Levels, Growth, and Carcass Quality for Broiler Chickens Poultry Science Volume 70, Issue 4, Pages 746-755
<https://doi.org/10.3382/ps.0700746>
95. Ecim-Djuric O, Topisirovic G (2010) Energy efficiency optimization of combined ventilation systems in livestock buildings Energy and Buildings Volume 42, Issue 8, Pages 1165-1171
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.10.035>
96. Shin H, Kwak Y, Jo S-K, Kim S-H, Huh J-H (2023) Development of an optimal mechanical ventilation system control strategy based on weather forecasting data for outdoor air cooling in livestock housing Energy Volume 268, 126649
<https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.126649>
97. Hybrid Turkeys (Hendrix Genetics) (2020) Poultry house ventilation for cold weather
<https://www.hybridturkeys.com/en/news/poultry-house-ventilation-cold-weather/>
98. Dunlop M W, Moss A F, Groves P J, Wilkinson S J, Stuetz R M, Selle P H (2016) The multidimensional causal factors of 'wet litter' in chicken-meat production Science of The Total Environment Volume 562, Pages 766-776
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.03.147>
99. Dunlop M W, Blackall P J, Stuetz R M (2015) Water addition, evaporation and water holding capacity of poultry litter Science of The Total Environment Volume 538, Pages 979-985
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.092>
100. Amon, M., Dobeic, M., Sneath, R.W., Phillips, V.R., Misselbrook, T.H., Pain, B.F., 1997. A farm-scale study on the use of clinoptilolite zeolite and De-Odorase® for reducing odour and ammonia emissions from broiler houses. Bioresource Technology 61, 229–237. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(97\)00005-9](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(97)00005-9)
101. Banaszak, M., Biesek, J., Adamski, M., 2021. Wheat litter and feed with aluminosilicates for improved growth and meat quality in broiler chickens. PeerJ 9, e11918. <https://doi.org/10.7717/peerj.11918>
102. Biswas, S., Kim, M.H., Baek, D.H., Kim, I.H., 2023. Probiotic mixture (Bacillus subtilis and Bacillus licheniformis) a potential in-feed additive to improve broiler production efficiency, nutrient digestibility, caecal microflora, meat quality and to diminish hazardous odour emission. Animal Physiology Nutrition 107, 1065–1072. <https://doi.org/10.1111/jpn.13784>
103. Charles, D.R., Payne, C.G., 1966a. The influence of graded levels of atmospheric ammonia on chickens. British Poultry Science 7, 177–187. <https://doi.org/10.1080/00071668608415622>
104. Charles, D.R., Payne, C.G., 1966b. The influence of graded levels of atmospheric ammonia on chickens. British Poultry Science 7, 189–198. <https://doi.org/10.1080/00071668608415623>
105. Chin, T.Y., Quebbemann, A.J., 1978. Quantitation of renal uric acid synthesis in the chicken. Am J Physiol 234, F446-451. <https://doi.org/10.1152/ajprenal.1978.234.5.F446>
106. Christaki, E., Florou-Paneri, P., Tserveni-Gousi, A., Yannakopoulos, A., Fortomaris, P., 2001. Effects of dietary inclusion of natural zeolite on broiler performance and carcass characteristics, in: Studies in Surface Science and Catalysis. Elsevier, p. 373. [https://doi.org/10.1016/S0167-2991\(01\)81880-2](https://doi.org/10.1016/S0167-2991(01)81880-2)
107. El Bied, O., Turbí, M.A.T., García-Valero, A., Cano, Á.F., Acosta, J.A., 2023. Mitigating Ammonia, Methane, and Carbon Dioxide Emissions from Stored Pig Slurry Using Chemical and Biological Additives. Water 15, 4185. <https://doi.org/10.3390/w15234185>
108. Eleroğlu, H., Yalçın, H., 2005. Use of natural zeolite-supplemented litter increased broiler production. South African Journal of Animal Science 35, 90–97.
109. Ezenwosu, C., Udeh, V.C., Onyimonyi, A.E., 2022. Litter Treatment Using Zeolite as a Management Protocol to Enhance Broiler Performance and Control Ammonia Emission in Broiler Production in the Humid Tropics of Nigeria. Asian Journal of Research and Review in Agriculture 4, 58–72.
110. FAO, 2013. Poultry development review. <https://www.fao.org/4/i3531e/i3531e00.htm>
111. Francesch, M., Brufau, J., 2004. Nutritional factors affecting excreta/litter moisture and quality. World's Poultry Science Journal 60, 64–75. <https://doi.org/10.1079/WPS20035>
112. Hendriks, W.H., Verstegen, M.W.A., Babinszky, L. (Eds.), 2019. Poultry and pig nutrition: Challenges of the 21st century. Brill, Wageningen Academic. <https://doi.org/10.3920/978-90-8686-884-1>

113. H.H., Emeash, M.M., Ali, M.A., El Bably, 1997. Effect of some pollutants as stressors on some behavioural patterns and performance of broiler chickens. *J. Vet. Med.* 45, 307-314.
114. Hoppensack, A., Oppermann-Sanio, F.B., Steinbüchel, A., 2003. Conversion of the nitrogen content in liquid manure into biomass and polyglutamic acid by a newly isolated strain of *Bacillus licheniformis*. *FEMS Microbiology Letters* 218, 39-45. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.2003.tb11495.x>
115. Jerrett, S.A., Goodge, W.R., 1973. Evidence for amylase in avian salivary glands. *Journal of Morphology* 139, 27-45. <https://doi.org/10.1002/jmor.1051390103>
116. Karamanlis, X., Fortomaris, P., Arsenos, G., Dosis, I., Papaioannou, D., Batzios, C., Kamarianos, A., 2008. The Effect of a Natural Zeolite (Clinoptilolite) on the Performance of Broiler Chickens and the Quality of Their Litter. *Asian Australas. J. Anim. Sci* 21, 1642-1650. <https://doi.org/10.5713/ajas.2008.70652>
117. Kaya, M., Karaarslan, S., Toplu, D.O., FiDan, E.D., Türkyilmaz, M.K., Nazligül, A., 2023. Growth performance, carcass, and meat quality traits in broiler chickens reared on plastic-grid flooring, wood shavings, and zeolite-supplemented wood shavings (preprint). In Review. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3397988/v1>
118. Koerkamp, P.W.G.G., 1994. Review on Emissions of Ammonia from Housing Systems for Laying Hens in Relation to Sources, Processes, Building Design and Manure Handling. *Journal of Agricultural Engineering Research* 59, 73-87. <https://doi.org/10.1006/jaer.1994.1065>
119. Kovács, L., Bánáti, L., Könyves, L., 2023. Alomkezelési módszerek a nagyüzemi állattartási gyakorlatban : Irodalmi összefoglaló. *Magyar Állatorvosok Lapja* 145, 47-54. <https://doi.org/10.56385/magyallorv.2023.01.47-54>
120. Kristensen, H.H., Wathes, C.M., 2000. Ammonia and poultry welfare: a review. *World's Poultry Science Journal* 56, 235-245. <https://doi.org/10.1079/WPS20000018>
121. Kwak, D., Lei, Y., Maric, R., 2019. Ammonia gas sensors: A comprehensive review. *Talanta* 204, 713-730. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2019.06.034>
122. Lillie, R.J., 1970. Air pollutants affecting the performance of domestic animals: a literature review. United States.
123. Madelin, T.M., Wathes, C.M., 1989. Air hygiene in a broiler house: Comparison of deep litter with raised netting floors. *British Poultry Science* 30, 23-37. <https://doi.org/10.1080/00071668908417122>
124. McCrory, D.F., Hobbs, P.J., 2001. Additives to Reduce Ammonia and Odor Emissions from Livestock Wastes: A Review. *J of Env Quality* 30, 345-355. <https://doi.org/10.2134/jeq2001.302345x>
125. Muehling, A.J., 1970. Gases and Odors from Stored Swine Wastes. *Journal of Animal Science* 30, 526-531. <https://doi.org/10.2527/jas1970.304526x>
126. Mumpton, F.A., Fishman, P.H., 1977. The Application of Natural Zeolites in Animal Science and Aquaculture. *Journal of Animal Science* 45, 1188-1203. <https://doi.org/10.2527/jas1977.4551188x>
127. Nakasaki, K., Uehara, N., Kataoka, M., Kubota, H., 1996. The Use of *Bacillus Licheniformis* HA1 To Accelerate Composting of Organic Wastes. *Compost Science & Utilization* 4, 47-51. <https://doi.org/10.1080/1065657X.1996.10701852>
128. Nimenya, H., Delaunois, A., Bloden, S., La Duong, D., Canart, B., Gustin, P., Nicks, B., Ansay, M., 2000. Ionic adsorption of ammonium and nitrate on some animal litters and their role in ammoniavolatilization. Laboratory results. *Ann. Zootech.* 49, 129-140. <https://doi.org/10.1051/animres:2000113>
129. Olver, M.D., 1997. Effect of feeding clinoptilolite (zeolite) on the performance of three strains of laying hens. *British Poultry Science* 38, 220-222. <https://doi.org/10.1080/00071669708417973>
130. Oyetunde, O.O., Thomson, R.G., Carlson, H.C., 1978. Aerosol exposure of ammonia, dust and *Escherichia coli* in broiler chickens. *Can Vet J* 19, 187-193.
131. Patterson, P.H., Adrizal, 2005. Management Strategies to Reduce Air Emissions: Emphasis—Dust and Ammonia. *Journal of Applied Poultry Research* 14, 638-650. <https://doi.org/10.1093/japr/14.3.638>
132. Rynsburger, J.M., 2009. Physiological and nutritional factors affecting protein digestion in broiler chickens (Doctoral dissertation).
133. Scanes, C.G., 2014. *Sturkie's Avian Physiology*. Elsevier.
134. Schefferle, H.E., 1965. The Decomposition of Uric Acid in Built Up Poultry Litter. *Journal of Applied Bacteriology* 28, 412-420. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.1965.tb02171.x>
135. Schiffman, S.S., Nagle, H.T., 1992. Effect of Environmental Pollutants on Taste and Smell. *Otolaryngol Head Neck Surg* 106, 693-700. <https://doi.org/10.1177/019459989210600613>
136. Shih, J.C.H., 1993. Recent Development in Poultry Waste Digestion and Feather Utilization—A Review 1,2. *Poultry Science* 72, 1617-1620. <https://doi.org/10.3382/ps.0721617>

137. Shurson, G.C., Ku, P.K., Miller, E.R., Yokoyama, M.T., 1984. Effects of Zeolite a or Clinoptilolite in Diets of Growing Swine. *Journal of Animal Science* 59, 1536–1545. <https://doi.org/10.2527/jas1984.5961536x>
138. Stevens, L., 1996. *Avian Biochemistry and Molecular Biology*. Cambridge University Press, Cambridge. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511525773>
139. Wang, J.Z., Hu, Z.Y., Zhou, X.Q., An, Z.Z., Gao, J.F., Liu, X.N., Jiang, L.L., Lu, J., Kang, X.M., Li, M., Hao, Y.B., Kardol, P., 2012. Effects of Reed Straw, Zeolite, and Superphosphate Amendments on Ammonia and Greenhouse Gas Emissions from Stored Duck Manure. *J. Environ. Qual.* 41, 1221–1227. <https://doi.org/10.2134/jeq2011.0373>
140. Weaver, W.D., Meijerhof, R., 1991. The Effect of Different Levels of Relative Humidity and Air Movement on Litter Conditions, Ammonia Levels, Growth, and Carcass Quality for Broiler Chickens. *Poultry Science* 70, 746–755. <https://doi.org/10.3382/ps.0700746>
141. Wei, F.X., Hu, X.F., Xu, B., Zhang, M.H., Li, S.Y., Sun, Q.Y., Lin, P., 2015. Ammonia concentration and relative humidity in poultry houses affect the immune response of broilers. *Genet Mol Res* 14, 3160–3169. <https://doi.org/10.4238/2015.April.10.27>
142. Wlazło, Ł., Nowakowicz-Dębek, B., Kapica, J., Kwiecień, M., Pawlak, H., 2016. Removal of ammonia from poultry manure by aluminosilicates. *Journal of Environmental Management* 183, 722–725. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.09.028>
143. Hegedüs M (1993) The role of feed protein quality in reducing environmental pollution by lowering nitrogen excretion. I. Survey of principles in protein evaluation for monogastrics: A review. *Acta Vet Hung.* 41:265-281.
144. Ferguson N S, Gates R S, Taraba J L, Cantor A H, Pescatore A J, Ford M J, Burnham D J (1998) The effect of dietary crude protein on growth, ammonia concentration, and litter composition in broilers. *Poultry Sci.* 77:1481-1487.
145. Ferguson, N.S., R.S. Gates, J.L. Taraba, A.H. Cantor, A.J. Pescatore, M.L. Straw, M.J. Ford, Burnham D J (1998) The effect of dietary protein and phosphorus on ammonia concentration and litter composition in broilers. *Poultry Sci.* 77:1085–1093. <https://doi.org/10.1093/ps/77.8.1085>
146. National Research Council (2003). *Air emissions from animal feeding operations: Current knowledge, future needs.* pp 210-213.
147. Elliott, H.A. and N.E. Collins (1982). Factors affecting ammonia release in broiler houses. *Trans. ASAE.* 25:413-418.
148. Ritz, C W, Fairchild B D, Lacy M P (2004) Implications of ammonia production and emissions from commercial poultry facilities: A Review. *J. Appl. Poult. Res.* 13:684-692.
149. Maina J N (2023) A critical assessment of the cellular defences of the avian respiratory system: are birds in general and poultry in particular relatively more susceptible to pulmonary infections/afflictions? *Biol. Rev.* 98, pp. 2152–2187. <https://doi.org/10.1111/brv.13000>
150. Barbosa L V S, Lima N D d S.; Barros J d S G, de Moura D J, Estellés F, Ramón-Moragues A, Calvet-Sanz S, García A.V. (2024) Predicting Risk of Ammonia Exposure in Broiler Housing: Correlation with Incidence of Health Issues. *Animals* 14, 615. <https://doi.org/10.3390/ani14040615>
151. Li D, Tong Q, Shi Z, Li H, Wang Y, Li B, Yan G, Chen H, Zheng W (2020) Effects of chronic heat stress and ammonia concentration on blood parameters of laying hens *Poultry Science* 99:3784–3792 <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.03.060>
152. Wang G, Liu Q, Zhou Y, Feng J, Zhang M (2022) Effects of Different Ammonia Concentrations on Pulmonary Microbial Flora, Lung Tissue Mucosal Morphology, Inflammatory Cytokines, and Neurotransmitters of Broilers. *Animals* 12, 261. <https://doi.org/10.3390/ani12030261>
153. Johnson, T M (2015) The Role of Litter Acidification & Water Acidification with Sodium Bisulfate on Managing the Clinical Expression of Clostridial Disease. *Proc. 1st International Conference on Necrotic Enteritis in Poultry*, page 16.
154. Pope, M. J., and T. E. Cherry. (2000). An evaluation of the presence of pathogens on broilers raised on Poultry Litter Treatment treated litter. *Poult. Sci.* 79:1351–1355.
155. Mutalib et al (1997). Effects of Sodium Bisulfate on Bacterial Microflora in Poultry Litter. *Proc. 46th Western Poultry Disease Conference*, page 8.
156. Terzich M. (1997). Effects of Sodium bisulfate on poultry house ammonia, litter pH, litter pathogens, and insects, and bird performance. *Proc. 46th West. Poult. Dis. Conf., Sacramento, Ca.* pp 71-74.
157. Novoa G M, Skjervheim M, Oppegaard H, Sørum H (2004) Acidified Litter Benefits the Intestinal Flora Balance of Broiler chickens. *Applied and Environmental Microbiology*, p.5208-5213.

158. Nagaraja K V, Emercy D A, Jordan K A, Sivanandan V, Newman J A, Pomeroy B S (1983) Scanning electron microscopic studies of adverse effects of ammonia on tracheal tissues of turkeys. *Am. J. Vet. Res.* 44:1530-1536.
159. Kleven S H, Glisson J R (1997) Multicausal respiratory Disease, in *Diseases of Poultry* (10th ed), pg. 1009.
160. Anderson D P, Beard C W, Hanson R P (1964) The adverse effects of ammonia on chickens including resistance to infection with Newcastle Disease Virus. *Avian Dis.* 10:177-188.
161. Ullman J L, Mukhtar S, Lacey R E, Carey J B (2004) A review of literature concerning odors, ammonia, and dust from broiler production facilities: 4. Remedial management practices. *J. Appl. Poult. Res.* 13: 521-31.
162. Johnson T M, Murphy B, Chick R, Fairchild B, Ritz C W (2006). The use of sodium bisulfate as a best management practice for reducing ammonia and VOC emissions from poultry and dairy manures. *Proc. International Workshop on Ag. Air Quality*. Potomac, MD. 786-794.
163. Blake J P, Hess J B (2001) Sodium bisulfate (PLT) as a litter treatment. *Ala. Coop. Ext. Serv. ANR-1208*.
164. McWard G W, Taylor D R (2000). Acidified Clay Litter Amendment. *J. Appl. Poultry Res.* 9:518-529.
165. Payne J B, Kroger E C, Watkins S E (2002) Evaluation of litter treatments on salmonella recovery from poultry litter. *J. Appl. Poultry Res.* 11:239-243.
166. Moore P A, Daniel T C, Edwards D R, Miller D M (1996) Evaluation of chemical amendments to reduce ammonia volatilization from poultry litter. *Poult. Sci.* 73:315–320.
167. Moore P. A. JR, Daniel T C, Edwards D R (1999) Reducing phosphorus runoff and improving poultry production with alum. *Poultry Sci.* 78:692–698.
168. Armstrong K A, Burns R T, Walker F R, Wilhelm L R, Raman D R. 2003. Ammonia concentrations in poultry broiler production units treated with liquid alum Pp. 116-122 in *Air Pollution from Agricultural Operations III*, ASAE Publication Number 701P1403, ed. H. Keener.
169. Line J E (2002) *Campylobacter* and *Salmonella* populations associated with chickens raised on acidified litter. *Poult. Sci.* 81:1473–1477.
170. Davis M; Stevenson R; Ford E; Erasmus M; Zuelly S M S (2022) Heat Stress and an Immune Challenge Influence Turkey Meat Quality, but Conspecific-Directed Pecking Behavior Does Not. *Foods*, 11, 2203. <https://doi.org/10.3390/foods11152203>
171. Sake B; Volkmann N; Kemper N; Schulz J (2024) Heat Stress Trends in Regions of Intensive Turkey Production in Germany—A Challenge in Times of Climate Change. *Animals*, 14, 72. <https://doi.org/10.3390/ani14010072>
172. Ritz C W, Harper L A, Fairchild B D, Johnson V (2008) Ferric sulfate as a litter amendment for ammonia reduction in broiler houses. *Poult. Sci.* 86:593, Suppl. 1.
173. Tasistro A S, Kissel D (2006). Composition of aqueous extracts of broiler litter treated with aluminum sulfate, ferrous sulfate, ferric chloride and gypsum. *J. of Environ. Sci. and Health.* 41:989–1000.
174. Ataallahi, M., Nejad, J.G., Song, J.-I., Kim, J.-S., Park, K.-H., 2020. Effects of feather processing methods on quantity of extracted corticosterone in broiler chickens. *J Anim Sci Technol* 62, 884–892. <https://doi.org/10.5187/jast.2020.62.6.884>
175. Bartels, T., Stuhmann, R.A., Krause, E.T., Schrader, L., 2020. Research Note: Injurious pecking in fattening turkeys (*Meleagris gallopavo* f. dom.)—video analyses of triggering factors and behavioral sequences in small flocks of male turkeys. *Poultry Science* 99, 6326–6331. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.09.016>
176. Bartz, B.M., McIntyre, D.R., Grimes, J.L., 2018. Effects of management related practices on turkey hen performance supplemented with either original XPCTM or AviCareTM. *Front Vet Sci* 5, 185. <https://doi.org/10.3389/fvets.2018.00185>
177. Berk, S.A., McGettrick, J.R., Hansen, W.K., Breuner, C.W., 2016. Methodological considerations for measuring glucocorticoid metabolites in feathers. *Conserv Physiol* 4, cow020. <https://doi.org/10.1093/conphys/cow020>
178. Beuving, G., Vonder, G.M.A., 1978. Effect of stressing factors on corticosterone levels in the plasma of laying hens. *General and Comparative Endocrinology* 35, 153–159. [https://doi.org/10.1016/0016-6480\(78\)90157-0](https://doi.org/10.1016/0016-6480(78)90157-0)
179. Bortolotti, G.R., Marchant, T.A., Blas, J., German, T., 2008. Corticosterone in feathers is a long-term, integrated measure of avian stress physiology. *Functional Ecology* 22, 494–500. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2008.01387.x>
180. Buchwalder, T., Huber-Eicher, B., 2004. Effect of increased floor space on aggressive behaviour in male turkeys (*Meleagris gallopavo*). *Applied Animal Behaviour Science* 89, 207–214. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2004.07.001>
181. Cheng, H., Muir, W.M., 2005. The effects of genetic selection for survivability and productivity on chicken physiological homeostasis. *Worlds Poult Sci J* 61, 383–397.
182. Compton, M.M., Gibbs, P.S., Johnson, L.R., 1990. Glucocorticoid activation of deoxyribonucleic acid degradation in bursal lymphocytes. *Poultry Science* 69, 1292–1298. <https://doi.org/10.3382/ps.0691292>

183. Dalton, H.A., Wood, B.J., Torrey, S., 2013. Injurious pecking in domestic turkeys: development, causes, and potential solutions. *World's Poultry Science Journal* 69, 865–876.
<https://doi.org/10.1017/S004393391300086X>
184. Damaziak, K., Michalczuk, M., Zdanowska-Sąsiadek, Ż., Jóźwik, A., Gozdowski, D., Siennicka, A., Niemiec, J., 2017. Effects of genotype on hematological and serum biochemical responses of turkey hens to stress. *Arch. Anim. Breed.* 60, 9–17. <https://doi.org/10.5194/aab-60-9-2017>
185. Davis, G.S., Siopes, T.D., 1987. Plasma corticosterone response of turkeys to adrenocorticotrophic hormone: age, dose, and route of administration effects. *Poultry Science* 66, 1727–1732.
<https://doi.org/10.3382/ps.0661727>
186. Dhabhar, F.S., 2019. The power of positive stress – a complementary commentary. *Stress* 22, 526–529.
<https://doi.org/10.1080/10253890.2019.1634049>
187. Dietert, R.R., Golemboski, K.A., Austic, R.E., 1994. Environment-immune interactions. *Poultry Science* 73, 1062–1076.
<https://doi.org/10.3382/ps.0731062>
188. Duggan, G., Widowski, T., Quinton, M., Torrey, S., 2014. The development of injurious pecking in a commercial turkey facility. *Journal of Applied Poultry Research* 23, 280–290.
<https://doi.org/10.3382/japr.2013-00860>
189. Fahey, A.G., Cheng, H.-W., 2008. Effects of social disruption on physical parameters, corticosterone concentrations, and immune system in two genetic lines of white leghorn layers. *Poultry Science* 87, 1947–1954.
<https://doi.org/10.3382/ps.2007-00477>
190. Faust, N.R., Walzem, R.L., 2025. Applied research note: Optimized corticosterone extraction following feather dissolution by keratinase. *Journal of Applied Poultry Research* 34, 100505.
<https://doi.org/10.1016/j.japr.2024.100505>
191. Ferrante, V., 2015. AWIN Welfare assessment protocol for turkeys.
https://doi.org/10.13130/AWIN_TURKEYS_2015
192. Gill, D.J., Leighton, A.T., 1984. Effects of light environment and population density on growth performance of male turkeys. *Poultry Science* 63, 1314–1321. <https://doi.org/10.3382/ps.0631314>
193. Gross, W.B., Siegel, H.S., 1983. Evaluation of the heterophil/lymphocyte ratio as a measure of stress in chickens. *Avian Diseases* 27, 972. <https://doi.org/10.2307/1590198>
194. Guijarro, A., Mauri, S., Aviles, C., Peña, F., 2020. Effects of two CO2 stunning methods on the efficacy of stunning and blood stress indicators of turkeys under commercial processing conditions. *Journal of Applied Animal Welfare Science* 23, 231–243. <https://doi.org/10.1080/10888705.2019.1654384>
195. Gunthner, P., Bessei, W., 2006. Behavioural reactions of growing turkeys to different stocking densities. Presented at the Proc 12th European Poult Conf World's Poult Sci Assoc, Verona, Italy.
196. Häffelin, K.E., Kaufmann, F., Lindenwald, R., Döhring, S., Spindler, B., Preisinger, R., Rautenschlein, S., Kemper, N., Andersson, R., 2021. Corticosterone in feathers: Inter- and intraindividual variation in pullets and the importance of the feather type. *Vet Anim Sci* 11, 100155. <https://doi.org/10.1016/j.vas.2020.100155>
197. Hendrix Genetics BV, 2025. Commercial management guide.
198. Henriksen, R., Groothuis, T.G., Rettenbacher, S., 2011a. Elevated plasma corticosterone decreases yolk testosterone and progesterone in chickens: linking maternal stress and hormone-mediated maternal effects. *PLoS ONE* 6, e23824. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0023824>
199. Henriksen, R., Rettenbacher, S., Groothuis, T.G.G., 2011b. Prenatal stress in birds: Pathways, effects, function and perspectives. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews* 35, 1484–1501.
<https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2011.04.010>
200. Hernández-Sánchez, R.C., Martínez-Castañeda, F.E., Domínguez-Olvera, D.A., Trujillo-Ortega, M.E., Díaz-Sánchez, V.M., Sánchez-Ramírez, E., Posadas-Hernández, E., Mejía-Flores, I., Hernandez, E., 2024. Systematic review and meta-analysis of thermal stress assessment in poultry using infrared thermography in specific body areas. *Animals* 14, 3171. <https://doi.org/10.3390/ani14223171>
201. Hirakawa, R., Nurjanah, S., Furukawa, K., Murai, A., Kikusato, M., Nochi, T., Toyomizu, M., 2020. Heat stress causes immune abnormalities via massive damage to effect proliferation and differentiation of lymphocytes in broiler chickens. *Front Vet Sci* 7, 46. <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.00046>
202. Hoerr, F.J., 2010a. Clinical Aspects of Immunosuppression in Poultry. *Avian Diseases* 54, 2–15.
<https://doi.org/10.1637/8909-043009-Review.1>
203. Hoerr, F.J., 2010b. Clinical aspects of immunosuppression in poultry. *Avian Diseases* 54, 2–15.
<https://doi.org/10.1637/8909-043009-Review.1>
204. Hofmann, T., Schmucker, S.S., Bessei, W., Grashorn, M., Stefanski, V., 2020. Impact of housing environment on the immune system in chickens: A review. *Animals* 10, 1138.
<https://doi.org/10.3390/ani10071138>

205. Kannan, G., Mench, J.A., 1997. Prior handling does not significantly reduce the stress response to pre-slaughter handling in broiler chickens. *Applied Animal Behaviour Science* 51, 87–99.
[https://doi.org/10.1016/S0168-1591\(96\)01076-3](https://doi.org/10.1016/S0168-1591(96)01076-3)
206. Kaspers, B., Schat, K.A., Göbel, T.W., Vervelde, L. (Eds.), 2022. *Avian immunology*, Third edition. ed. Academic Press, London San Diego, CA.
207. Kim, D.W., Mushtaq, M.M.H., Parvin, R., Kang, H.K., Kim, J.H., Na, J.C., Hwangbo, J., Kim, J.D., Yang, C.B., Park, B.J., Choi, H.C., 2015. Various levels and forms of dietary α -lipoic acid in broiler chickens: Impact on blood biochemistry, stress response, liver enzymes, and antibody titers. *Poultry Science* 94, 226–231.
<https://doi.org/10.3382/ps/peu056>
208. Kliger, C.A., Gehad, A.E., Hulet, R.M., Roush, W.B., Lillehoj, H.S., Mashaly, M.M., 2000. Effects of photoperiod and melatonin on lymphocyte activities in male broiler chickens. *Poultry Science* 79, 18–25.
<https://doi.org/10.1093/ps/79.1.18>
209. Kovács, L., Klaucke, C.R., Farkas, M., Bakony, M., Jurkovich, V., Könyves, L., 2025. The correlation between on-farm biosecurity and animal welfare indices in large-scale turkey production. *Poultry Science* 104, 104598.
<https://doi.org/10.1016/j.psj.2024.104598>
210. Kovács, L., Konc, G., Kutasi, P., Könyves, L., 2020. A nagyüzemben tartott pulykák rendellenes magatartásformái: Irodalmi összefoglaló. *Magyar Állatorvosok Lapja* 142, 195–205.
211. NRC (1994) *Nutrient Requirements of Poultry*. 9th Revised Edition. National Academies Press.
212. Leishman, E.M., Freeman, N.E., Newman, A.E.M., van Staaveren, N., Wood, B.J., Harlander-Matauschek, A., Baes, C.F., 2020. Research Note: Quantifying corticosterone in turkey (*Meleagris gallopavo*) feathers using ELISA. *Poult Sci* 99, 5261–5264. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.06.075>
213. Leishman, E.M., Van Staaveren, N., Osborne, V.R., Wood, B.J., Baes, C.F., Harlander-Matauschek, A., 2022. The prevalence of integument injuries and associated risk factors among canadian turkeys. *Front. Vet. Sci.* 8, 757776. <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.757776>
214. Lewis, P.D., Perry, G.C., Sherwin, C.M., 1998. Effect of photoperiod and light intensity on the performance of intact male turkeys. *Anim. Sci.* 66, 759–767. <https://doi.org/10.1017/S135772980009358>
215. Lin, H.-Y., Song, G., Lei, F., Li, D., Qu, Y., 2021. Avian corticosteroid-binding globulin: biological function and regulatory mechanisms in physiological stress responses. *Front Zool* 18, 22.
<https://doi.org/10.1186/s12983-021-00409-w>
216. Marchewka, J., Estevez, I., Vezzoli, G., Ferrante, V., Makagon, M.M., 2015. The transect method: a novel approach to on-farm welfare assessment of commercial turkeys. *Poultry Science* 94, 7–16.
<https://doi.org/10.3382/ps/peu026>
217. Maxwell, M.H., 1993. Avian blood leucocyte responses to stress. *World's Poultry Science Journal* 49, 34–43.
<https://doi.org/10.1079/WPS19930004>
218. Mehaisen, G.M.K., Eshak, M.G., Elkaity, A.M., Atta, A.-R.M.M., Mashaly, M.M., Abass, A.O., 2017. Comprehensive growth performance, immune function, plasma biochemistry, gene expressions and cell death morphology responses to a daily corticosterone injection course in broiler chickens. *PLoS ONE* 12, e0172684. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0172684>
219. Mendes, A.S., De Moura, D.J., Nunes, I.B., Dos Santos, I.L., De Souza, C., Morello, G.M., Takahashi, S.E., 2020. Behavioral responses of turkeys subjected to different climatic conditions. *Trop Anim Health Prod* 52, 2855–2862.
<https://doi.org/10.1007/s11250-019-02106-7>
220. Mitra, T., Gerner, W., Kidane, F.A., Wernsdorf, P., Hess, M., Saalmüller, A., Liebhart, D., 2017. Vaccination against histomonosis limits pronounced changes of B cells and T-cell subsets in turkeys and chickens. *Vaccine* 35, 4184–4196. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2017.06.035>
221. Mohammed, H., Ibrahim, M., Saleem, A., 2016. Effect of different light intensities on performance, welfare and behavior of turkey poults. *J Adv Vet Anim Res* 3, 18. <https://doi.org/10.5455/javar.2016.c126>
222. Mormède, P., Andanson, S., Aupérin, B., Beerda, B., Guémené, D., Malmkvist, J., Manteca, X., Manteuffel, G., Prunet, P., Van Reenen, C.G., Richard, S., Veissier, I., 2007. Exploration of the hypothalamic–pituitary–adrenal function as a tool to evaluate animal welfare. *Physiology & Behavior* 92, 317–339.
<https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2006.12.003>
223. Nicol, C., 2020. *Understanding the behaviour and improving the welfare of chickens*, Burleigh Dodds Series in Agricultural Science. Burleigh Dodds Science Publishing Limited, Milton.
224. Oke, O.E., Akosile, O.A., Oni, A.I., Opowoye, I.O., Ishola, C.A., Adebisi, J.O., Odeyemi, A.J., Adjei-Mensah, B., Uyanga, V.A., Abioja, M.O., 2024. Oxidative stress in poultry production. *Poultry Science* 103, 104003.
<https://doi.org/10.1016/j.psj.2024.104003>

225. Pereira, D., Nääs, I., Romanini, C., Salgado, D., Pereira, G., 2007. Broiler breeder behavior and egg production as function of environmental temperature. *Rev. Bras. Cienc. Avic.* 9, 9–16.
<https://doi.org/10.1590/S1516-635X2007000100002>
226. Rich, E.L., Romero, L.M., 2005. Exposure to chronic stress downregulates corticosterone responses to acute stressors. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 288, R1628–R1636.
<https://doi.org/10.1152/ajpregu.00484.2004>
227. Rierison, R.D., 2011. Broiler preference for light color and feed form, and the effect of light on growth and performance of broiler chicks. Kansas State University.
228. Romero, L.M., Platts, S.H., Schoech, S.J., Wada, H., Crespi, E., Martin, L.B., Buck, C.L., 2015. Understanding stress in the healthy animal – potential paths for progress. *Stress* 18, 491–497.
<https://doi.org/10.3109/10253890.2015.1073255>
229. Scanes, C.G., 2016. Biology of stress in poultry with emphasis on glucocorticoids and the heterophil to lymphocyte ratio. *Poultry Science* 95, 2208–2215. <https://doi.org/10.3382/ps/pew137>
230. Scanes, C.G., Hurst, K., Thaxton, Y., Archer, G.S., Johnson, A., 2020a. Effects of putative stressors and adrenocorticotrophic hormone on plasma concentrations of corticosterone in market-weight male turkeys. *Poultry Science* 99, 1156–1162. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2019.11.010>
231. Scanes, C.G., Hurst, K., Thaxton, Y., Archer, G.S., Johnson, A., 2020b. Effect of transportation and shackling on plasma concentrations of corticosterone and heterophil to lymphocyte ratios in market weight male turkeys in a commercial operation. *Poultry Science* 99, 546–554. <https://doi.org/10.3382/ps/pez485>
232. Scanes, C.G., Merrill, G.F., Ford, R., Mauser, P., Horowitz, C., 1980. Effects of stress (hypoglycaemia, endotoxin, and ether) on the peripheral circulating concentration of corticosterone in the domestic fowl (*Gallus domesticus*). *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Comparative Pharmacology* 66, 183–186.
[https://doi.org/10.1016/0306-4492\(80\)90123-9](https://doi.org/10.1016/0306-4492(80)90123-9)
233. Scanes, C.G., Pierzchała-Koziec, K., Gajewska, A., 2024. Effects of restraint stress on circulating corticosterone and met-enkephalin in chickens: induction of shifts in insulin secretion and carbohydrate metabolism. *Animals* 14, 752. <https://doi.org/10.3390/ani14050752>
234. Shini, S., Huff, G.R., Shini, A., Kaiser, P., 2010. Understanding stress-induced immunosuppression: Exploration of cytokine and chemokine gene profiles in chicken peripheral leukocytes. *Poultry Science* 89, 841–851.
<https://doi.org/10.3382/ps.2009-00483>
235. Shini, S., Kaiser, P., 2009. Effects of stress, mimicked by administration of corticosterone in drinking water, on the expression of chicken cytokine and chemokine genes in lymphocytes. *Stress* 12, 388–399.
<https://doi.org/10.1080/10253890802526894>
236. Trout, J.M., Mashaly, M.M., 1994. The effects of adrenocorticotrophic hormone and heat stress on the distribution of lymphocyte populations in immature male chickens. *Poultry Science* 73, 1694–1698.
<https://doi.org/10.3382/ps.0731694>
237. Vermette, C., Schwan-Lardner, K., Gomis, S., Grahn, B.H., Crowe, T.G., Classen, H.L., 2016. The impact of graded levels of day length on turkey health and behavior to 18 weeks of age. *Poultry Science* 95, 1223–1237.
<https://doi.org/10.3382/ps/pew078>
238. Virden, W.S., Thaxton, J.P., Corzo, A., Dozier, W.A., Kidd, M.T., 2007. Evaluation of models Using corticosterone and adrenocorticotropin to induce Conditions mimicking physiological stress in commercial broilers. *Poultry Science* 86, 2485–2491. <https://doi.org/10.3382/ps.2006-00215>
239. Xu, Y., Lai, X., Li, Z., Zhang, X., Luo, Q., 2018. Effect of chronic heat stress on some physiological and immunological parameters in different breed of broilers. *Poultry Science* 97, 4073–4082.
<https://doi.org/10.3382/ps/pey256>
240. Yahav, S., Hurwitz, S., Rozenboim, I., 2000. The effect of light intensity on growth and development of turkey toms. *Br Poult Sci* 41, 101–106. <https://doi.org/10.1080/000716600086484>
241. Zeltner, E., Klein, T., Huber-Eicher, B., 2000. Is there social transmission of feather pecking in groups of laying hen chicks? *Anim Behav* 60, 211–216. <https://doi.org/10.1006/anbe.2000.1453>
242. Alarcón, L. V., A. Allepuz, and E. Mateu. 2021. Biosecurity in pig farms: a review. *Porc. Health Manag.* 7:5.
<https://doi.org/10.1186/s40813-020-00181-z>
243. Al-Baidhani, A. M., and H. K. Al-Qutaifi. 2021. Nutritional and industrial value of turkey meat “Meleagris gallopavo”: Review. *QJAS* 11:114–125. <https://doi.org/10.33794/qjas.2021.132315.1016>
244. Amalraj, A., H. Van Meirhaeghe, N. Caekebeke, R. Creve, A. C. Dufay-Lefort, N. Rousset, A. Spaans, A. Devesa, G. Tilli, A. Piccirillo, A. Żbikowski, L. Kovács, I. Chantziaras, and J. Dewulf. 2024. Development and use of Biocheck.UGent™ scoring system to quantify biosecurity in conventional indoor (turkey, duck, breeder) and free-range (layer and broiler) poultry farms. *Prev. Vet. Med.* 230: 106288.
<https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2024.106288>

245. Averós, X., F. N. Nazar, and I. Estevez. 2022. Animal welfare assessment: Quantifying differences among commercial medium and fast growth broiler flocks. *Front. Anim. Sci.* 3:868851. <https://doi.org/10.3389/fanim.2022.868851>
246. AWIN, 2015. AWIN welfare assessment protocol for turkeys. DOI:10.13130/AWIN_TURKEYS_2015
247. BenSassi, N., J. Vas, G. Vasdal, X. Averós, I. Estévez, and R. C. Newberry. 2019. On-farm broiler chicken welfare assessment using transect sampling reflects environmental inputs and production outcomes. *PLoS ONE* 14:e0214070. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0214070>
248. Biocheck.UGent. 2024. Turkeys survey. Biocheck.UGent. Accessed May 2024 <https://biocheckgent.com/en/questionnaires/turkeys>
249. Breiman, L. 2001. Random forests. *Mach. Learn.*, 45:5–32. <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>
250. Broom, D. M. 1986. Indicators of poor welfare. *Brit. Vet. J.* 142:524–526. [https://doi.org/10.1016/0007-1935\(86\)90109-0](https://doi.org/10.1016/0007-1935(86)90109-0)
251. Broom, D. M. 1991. Animal welfare: concepts and measurement. *J. Anim. Sci.* 69:4167–4175. <https://doi.org/10.2527/1991.69104167x>
252. Butcher, G. D., and R. D. Miles. 2019. Disease prevention in commercial poultry. IFAS extension. Accessed May 2024 <https://edis.ifas.ufl.edu/publication/VM011>.
253. Butucel, E., I. Balta, D. McCleery, F. Morariu, I. Pet, C. A. Popescu, L. Stef, and N. Corcionivoschi. 2022. Farm biosecurity measures and interventions with an impact on bacterial biofilms. *Agriculture* 12:1251. <https://doi.org/10.3390/agriculture12081251>
254. Caekebeke, N., F. J. Jonquiere, M. Ringenier, T. J. Tobias, M. Postma, A. van den Hoogen, M. A. M. Houben, F. C. Velkers, N. Sleenckx, J. A. Stegeman, and J. Dewulf. 2020. Comparing farm biosecurity and antimicrobial use in high-antimicrobial-consuming broiler and pig farms in the Belgian–Dutch border region. *Front. Vet. Sci.* 7:558455. doi:10.3389/fvets.2020.558455
255. Chantziaras, I., F. Boyen, B. Callens, and J. Dewulf. 2014. Correlation between veterinary antimicrobial use and antimicrobial resistance in food-producing animals: a report on seven countries. *J. Antimicrobial. Chemother.* 69:827–834. <https://doi.org/10.1093/jac/dkt443>
256. da Costa, M. R. and A. Diana. 2022. A systematic review on the link between animal welfare and antimicrobial use in captive animals. *Animals* 12:1025. <https://doi.org/10.3390/ani12081025>
257. Dawkins, M. S. 2008. The science of animal suffering. *Ethology* 114:937–945. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0310.2008.01557.x>
258. Delpont, M., L. G. Salazar, J. Dewulf, A. Zbikowski, P. Szeleszczuk, A. C. Dufay-Lefort, N. Rousset, A. Spaans, A. Amalraj, G. Tilli, A. Piccirillo, A. Devesa, S. Sevilla-Navarro, H. van Meirhaege, L. Kovács, Á. B. Jóźwiak, J. L. Guérin, and M. C. Paul. 2023. Monitoring biosecurity in poultry production: an overview of databases reporting biosecurity compliance from seven European countries. *Front. Vet. Sci.* 10:1231377. <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1231377>
259. Dewulf, J., and F. van Immerseel. 2019. General principles of biosecurity in animal production and veterinary medicine. Pages 63-76. in *Biosecurity in animal production and veterinary medicine: from principles to practice*. Dewulf, J., and van Immersel, F. (eds). Acco, Leuven Den Haag, The Netherlands
260. Dewulf, J., M. Postma, F. van Immerseel, B. Vanbeselaere, and K. Luyckx. 2019. How to measure biosecurity and the hygiene status of farms. Pages 115-132. in *Biosecurity in animal production and veterinary medicine: from principles to practice*. Dewulf, J., and van Immersel, F. (eds). Acco, Leuven Den Haag, The Netherlands
261. Dhaka, P., I. Chantziaras, D. Vijay, J. S. Bedi, I. Makovska, E. Biebaut, and J. Dewulf. 2023. Can improved farm biosecurity reduce the need for antimicrobials in food animals? A Scoping Review. *Antibiotics* 12:893. <https://doi.org/10.3390/antibiotics12050893>
262. EFSA Panel on Animal Health and Welfare (AHAW) 2012. Statement on the use of animal-based measures to assess the welfare of animals. *EFSA J.* 10:2767. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2012.2767>
263. EMA Committee for Medicinal Products for Veterinary Use (CVMP) and EFSA Panel on Biological Hazards (BIOHAZ). 2017. EMA and EFSA Joint Scientific Opinion on measures to reduce the need to use antimicrobial agents in animal husbandry in the European Union, and the resulting impacts on food safety (RONAFA). *EFSA J.* 15:e04666. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2017.4666>
264. Erasmus, M. A. 2018. Welfare issues in turkey production. Pages 263-291 in *Advances in Poultry Welfare*. Mench, J. A. ed. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, Woodhead Publishing, Sawston, UK. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100915-4.00013-0>
265. FAO. 2007. Biosecurity principles and components Part 1. Pages 1-20. in *FAO biosecurity toolkit*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.

266. Gelaude, P., M. Schlepers, M. Verlinden, M. Laanen, and J. Dewulf. 2014. Biocheck.UGent: A quantitative tool to measure biosecurity at broiler farms and the relationship with technical performances and antimicrobial use. *Poult. Sci.* 93:2740–2751. <https://doi.org/10.3382/ps.2014-04002>
267. Guinat, C., A. Comin, G. Kratzer, B. Durand, L. Delesalle, M. Delpont, J. Guérin, and M. C. Paul. 2020. Biosecurity risk factors for highly pathogenic avian influenza (H5N8) virus infection in duck farms, France. *Transbound. Emerg. Dis.* 67:2961–2970. <https://doi.org/10.1111/tbed.13672>
268. Hafez, H. M., and A. A. Shehata. 2021. Turkey production and health: current challenges. *Ger. J. Vet. Res.* 1:3-14. <https://doi.org/10.51585/gjvr.2021.0002>
269. Hafez, H. M., Attia, Y. A. (2021). Challenges to the poultry industry: Current perspectives and strategic future after the COVID-19 outbreak. *Frontiers in Veterinary Science*, 8, 660066.
270. Havenstein, G. B., Ferket, P. R., Scheideler, S. E., & Larson, B. T. (2007). Growth, livability, and feed conversion of 1957 vs 2001 turkeys. *Poultry Science*, 86(2), 232-240.
271. Hald, B., A. Wedderkopp, and M. Madsen. 2000. Thermophilic *Campylobacter* spp. in Danish broiler production: A cross-sectional survey and a retrospective analysis of risk factors for occurrence in broiler flocks. *Avian Pathol.* 29:123–131. <https://doi.org/10.1080/03079450094153>
272. Hofmann, T., S. S. Schmucker, W. Bessei, M. Grashorn, and V. Stefanski. 2020. Impact of housing environment on the immune system in chickens: A review. *Animals.* 10:1138. <https://doi.org/10.3390/ani10071138>
273. Hrženjak, N. M., H. Hristov, A. Dovč, J. B. Martinjak, M. Z. Šemrov, Z. Žlabravec, J. Račnik, U. Krapež, B. Slavec, and O. Z. Rojs. 2021. Evaluation of welfare in commercial turkey flocks of both sexes using the transect walk method. *Animals* 11:3253. <https://doi.org/10.3390/ani11113253>
274. Huber, N., M. Andraud, E. L. Sassu, C. Prigge, V. Zoche-Golob, A. Käsbohrer, D. D'Angelantonio, A. Viltrop, J. Żmudzki, H. Jones, R. P. Smith, T. Tobias, and E. Burow. 2022. What is a biosecurity measure? A definition proposal for animal production and linked processing operations. *One Health* 15:100433. <https://doi.org/10.1016/j.onehlt.2022.100433>
275. Jilo, S. A., and L. A. Hasan. 2022. The importance of poultry meat in medicine: A review. *J. World. Poultry Res.* 12:258-262. <http://dx.doi.org/10.36380/jwpr.2022.28>
276. Kálmán, Á., and L. Szöllösi. 2023. Global tendencies in turkey meat production, trade and consumption. *Acta. Agr. Debrecen.* 2023-2:83-89. doi:10.34101/ACTAAGRAR/2/12594
277. Kovács, L., G. Konc, P. Kutasi, and L. Könyves. 2020. Abnormal behaviour of turkey in industrial animal husbandry. *Magy. Állatorv. Lapja.* 142:195-205. (in Hungarian)
278. Martin, M. 2017. Biosecurity and Disease Control – the Problems Defined. in *A practical guide for managing risk poultry production*. R. L. Owen (ed). AAAP, Inc. Jacksonville, Florida
279. Mallioris, P., G. Teunis, G. Lagerweij, P. Joosten, J. Dewulf, J. A. Wagenaar, A. Stegeman, L. Mughini-Gras, and the EFFORT consortium. 2023. Biosecurity and antimicrobial use in broiler farms across nine European countries: toward identifying farm-specific options for reducing antimicrobial usage. *Epidemiol. Infect.* 151:e13. <https://doi.org/10.1017/s0950268822001960>
280. Marchewka, J., I. Estevez, G. Vezzoli, V. Ferrante, and M. M. Makagon. 2015. The transect method: a novel approach to on-farm welfare assessment of commercial turkeys. *Poult. Sci.* 94:7–16. <https://doi.org/10.3382/ps/peu026>
281. Mota-Rojas, D., D. M. Broom, A. Orihuela, A. Velarde, F. Napolitano, and A. Alonso-Spilsbury. 2020. Effects of human-animal relationship on animal productivity and welfare. *J Anim Behav Biometeorol.* 8:196–205. <https://doi.org/10.31893/jabb.20026>
282. Osawe, O. W., D. Läpple, and J. F. Mee. 2022. Economic analysis of biosecurity adoption in dairy farming: evidence from Ireland. *J. Anim. Sci.* <https://doi.org/10.1093/jas/skac218>
283. Owen, R. L. (Ed). 2017. *A practical guide for managing risk in poultry production*. 2nd edition. AAAP, Inc., Jacksonville, Florida.
284. R Core Team. 2024. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Accessed Febr 2024 <https://www.R-project.org/>
285. Ribbens, R., J. Dewulf, F. Koenen, K. Mintiens, L. De Sadeleer, A. de Kruif, and D. Maes. 2008. A survey on biosecurity and management practices in Belgian pig herds. *Prev. Vet. Med.* 83:228–241. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2007.07.009>
286. Schober, P., C. Boer, and L. A. Schwarte. 2018. Correlation coefficients: Appropriate use and interpretation. *Anesth. Analg.* 126:1763–1768. <https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000002864>

287. Scott, A. B., M. Singh, P. Groves, M. Hernandez-Jover, B. Barnes, K. Glass, B. Moloney, A. Black, and J. A. Toribio. 2018. Biosecurity practices on Australian commercial layer and meat chicken farms: Performance and perceptions of farmers. *PLoS ONE* 13:e0195582. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0195582>
288. Kardaya D, Ulupi N (2006) Effect Of Zeolites Spreading On Litters To Broiler Performances Reared Under Different Floor Spaces. *Journal of Indonesian Zeolites* Vol 5 No.1. 14-21.
289. Bintaş E, Küçükyılmaz K, Bozkurt M, Çatlı A U, Çınar M, Topbaş S, Koçer B, Ege G (2014) The Effects of Natural Zeolit Supplemented into Litter on Growth Performance and Welfare of Broilers *Journal of Poultry Research*, 11(1), 10-15.
290. Siekkinen, K. M., J. Heikkilä, N. Tammiranta, and H. Rosengren. 2012. Measuring the costs of biosecurity on poultry farms: a case study in broiler production in Finland. *Acta Vet. Scand.* 54:12. <https://doi.org/10.1186/1751-0147-54-12>
291. FAO (2010). Turkey genetic resources in the world. FAO Animal Genetic Resources.
292. Ssematimba, A., T. J. Hagenaars, J. J. de Wit, F. Ruiterkamp, T. H. Fabri, J. A. Stegeman, and M. C. M. de Jong. 2013. Avian influenza transmission risks: Analysis of biosecurity measures and contact structure in Dutch poultry farming. *Prev. Vet. Med.* 109:106–115. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2012.09.001>
293. Schorger, A. W. (1966). *The Wild Turkey: Its History and Domestication*. University of Oklahoma Press.
294. Tanquilut, N. C., M. V. O. Espaldon, D. F. Eslava, R. C. Ancog, C. D. R. Medina, M. G. V. Paraso, R. D. Domingo, and J. Dewulf. 2020. Quantitative assessment of biosecurity in broiler farms using Biocheck.UGent in Central Luzon, Philippines. *Poult. Sci.* 99:3047–3059. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.02.004>
295. Tilli, G., A. Laconi, F. Galuppo, L. Mughini-Gras, and A. Piccirillo. 2022. Assessing biosecurity compliance in poultry farms: A survey in a densely populated poultry area in North East Italy. *Animals*. 12:1409. <https://doi.org/10.3390/ani12111409>
296. Tsegaye, D., B. Tamir, and G. Gebru. 2023. Assessment of biosecurity practices and its status in small- and medium-scale commercial poultry farms in Arsi and East Showa Zones, Oromia, Ethiopia. *Poultry*. 2:334–348. <https://doi.org/10.3390/poultry2020025>
297. Van Boeckel, T. P., S. Gandra, A. Ashok, Q. Caudron, B. T. Grenfell, S. A. Levin, and R. Laxminarayan. 2014. Global antibiotic consumption 2000 to 2010: an analysis of national pharmaceutical sales data. *Lancet Infect. Dis.* 14:742–750. [https://doi.org/10.1016/s1473-3099\(14\)70780-7](https://doi.org/10.1016/s1473-3099(14)70780-7)
298. Van Limbergen, T., J. Dewulf, M. Klinkenberg, R. Ducatelle, P. Gelaude, J. Méndez, K. Heinola, S. Papasolomontos, P. Szeleszczuk, and D. Maes. 2018. Scoring biosecurity in European conventional broiler production. *Poult. Sci.* 97:74–83. <https://doi.org/10.3382/ps/pex296>
299. Webster, J. (Ed). 2005. *Animal Welfare: Limping Towards Eden: A Practical Approach to Redressing the Problem of Our Dominion Over the Animals*. 1st ed. Wiley.
300. Webster, J. 2022. *Animal welfare: understanding sentient minds and why it matters*. Wiley Blackwell, Hoboken, NJ.
301. Vigors, B., D. A. Ewing, and A. B. Lawrence. 2021. The importance of farm animal health and natural behaviors to livestock farmers: Findings from a factorial survey using vignettes. *Front. Anim. Sci.* 2:638782. doi:10.3389/fanim.2021.638782
302. Yadav, S., and R. Jha. 2019. Strategies to modulate the intestinal microbiota and their effects on nutrient utilization, performance, and health of poultry. *J. Anim. Sci. Biotechnol* 10:2. <https://doi.org/10.1186/s40104-018-0310-9>
303. Sütő Z. (1997) A polyka. A Gazda Kiadó

7. A doktori értekezés témájában született eredmények közlései

7.1. Tudományos publikációkban megjelent eredmények

Kovács L, Konc G, Kutasi P, Könyves L (2020) A nagyüzemben tartott pulykák rendellenes magatartásformái. Irodalmi összefoglaló. Magyar Állatorvosok Lapja, 142:95-205

https://univet.hu/wp-content/uploads/2020/12/2020.142.195-205_Kov%C3%A1cs-et-al.pdf

Kovács L, Hejel P, Farkas M, László L, Könyves L (2024) *Bacillus licheniformis* baktériumot és zeolitot tartalmazó alomkezelő készítmény hatásának vizsgálata bak hízópulyka-állományban.

Magyar Állatorvosok Lapja 146:291-305

<https://doi.org/10.56385/magyallorv.2024.05.291-305>

Kovács L, Bánáti L, Könyves L (2023) Alomkezelési módszerek a nagyüzemi állattartási gyakorlatban. Irodalmi összefoglaló. Magyar Állatorvosok Lapja 145:47-54.

<https://doi.org/10.56385/magyallorv.2023.01.47-54>

Kovács L, Klaucke C R, Farkas M, Bakony M, Jurkovich V, Könyves L (2025) The correlation between on-farm biosecurity and animal welfare indices in large-scale turkey production. Poultry Science 104:104598

<https://doi.org/10.1016/j.psj.2024.104598>

Kovács L, Domaföldi G, Bertram P-C, Farkas M, Könyves, L P (2025) Biosecurity Implications, Transmission Routes and Modes of Economically Important Diseases in Domestic Fowl and Turkey. Vet. Sci, 12, 391.

<https://doi.org/10.3390/vetsci12040391>

7.2. A disszertáció témájában tartott előadások

Kovács L, Farkas M, Jurkovich V, Christopher K, Könyves L (2024) A telepi járványvédelem és az állatjólléti mutatók kapcsolatának vizsgálata a nagyüzemi pulykatartásban. Akadémiai Beszámoló, Budapest, Magyarország

7.3. A disszertáció témájában történt TDK témavezetések

László Laura (2022) A kakas ivarú végtermék pulykák agresszív magatartásformáinak megjelenése során bekövetkező sejtes immunválaszok vizsgálata az állatjólléti paraméterek változásaival összefüggésben. TDK dolgozat, Témavezető: Kovács L, Budapest

Farkas Máté (2022) Az állatjólléti indikátorok és kortizolszint változások vizsgálata kakas ivarú végtermék pulykák agresszív magatartásformáinak megjelenésével összefüggésben. TDK dolgozat, Témavezető: Kovács L, Budapest

René Klaucke, Christopher (2023) A telepi járványvédelem és az állatjólléti indikátorok közötti kapcsolat a nagyüzemi pulykatartásban. TDK dolgozat, Témavezető: Kovács L, Jurkovich L, Farkas M

8. Nem a doktori értekezés témájához kapcsolódó tudományos publikációk

Kovács L, Bondor A, Juhász A, Majoros G, Mándoki M (2019) Pulyka- és csirkekokcidiózis. Irodalmi összefoglaló. Magyar Állatorvosok Lapja 141:707-722.

Buni D, Udvari L, Földi D, Belec N, Yvon C, Bradbury J, Catania S, Lysnyansky I, Kovács L, Gyuranecz M, Kreizinger Zs (2022) In vitro susceptibility of Mycoplasma iowae isolates to antimicrobial agents. Avian Pathology Vol. 51, No. 4, 374–380

<https://doi.org/10.1080/03079457.2022.2072271>

Sebők C, Walmsley S, Tráj P, Mackei M, Vörösházi J, Petrilla J, Kovács L, Kemény Á, Neogrady Zs, Mátis M (2022) Immunomodulatory effects of chicken cathelicidin2 on a primary hepatic cell co-culture model. PLoS ONE 17(10): e0275847.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0275847>

Kovács L, Nagy D, Könyves L, Jerzsele Á, Kerek Á (2023) Gyógynövényekből kivont illóolajok antimikrobiális spektruma – állategészségügyi vonatkozások. Magyar Állatorvosok Lapja 145: 497-510.

<https://doi.org/10.56385/magyallorv.2023.08.497-510>

Kerek Á, Csanády P, Tuska-Szalay B, Kovács L, Jerzsele, Á. (2023) In Vitro Efficacy of Hungarian Propolis against Bacteria, Yeast, and Trichomonas gallinae Isolated from Pigeons—A Possible Antibiotic Alternative? Resources, 12, 101.

<https://doi.org/10.3390/resources12090101>

Delpont M, Salazar L G, Dewulf J, Zbikowski A, Szeleszczuk P, Dufay-Lefort A-C, Rousset N, Spaans A, Amalraj A, Tilli G, Piccirillo A, Devesa A, Sevilla-Navarro S, van Meirhaege H, Kovács L, Jóźwiak Á B, Guérin J-L and Paul M C (2023) Monitoring biosecurity in poultry production: an overview of databases reporting biosecurity compliance from seven European countries. Front. Vet. Sci. 10:1231377.

<https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1231377>

Kovács D, Szmolka A, Kovács L, Körösi L, Eszterbauer E (2023) A semi-nested PCR method with increased sensitivity for the specific, direct detection of Salmonella enterica strains in poultry ectoparasites Acta Veterinaria Hungarica 71 3–4, 137–141

<https://doi.org/10.1556/004.2023.01011>

Souillard R, Allain V, Dufay-Lefort A C, Rousset N, Amalraj A, Spaans A, Zbikowski A, Piccirillo A, Sevilla-Navarro S, Kovács L, Le Bouquin S (2024) Biosecurity implementation on large-scale poultry farms in Europe: A qualitative interview study with farmers. Preventive Veterinary Medicine 224 10611

<https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2024.106119>

Barnácz F, Kerek Á, Csirmaz B, Román I L, Gál Cs, Horváth Á, Hajduk E, Szabó Á, Jerzsele Á, Kovács L (2024) Antimikrobiális rezisztencia hazai nagylétszámú háziúj-állományokban, hasznosítási irányok alapján 2022-2023 között. Magyar Állatorvosok Lapja 146:339-356.

<https://doi.org/10.56385/magyallorv.2024.06.339-356>

Amalraj, A., Van Meirhaeghe, H., Lefort, A.-C., Rousset, N., Grillet, J., Spaans, A., Devesa, A., Sevilla-Navarro, S., Tilli, G., Piccirillo, A., Zbikowski A, Kovács L, Kovács-Weber M, Chantziaras I, Jeroen Dewulf (2024) Factors Affecting Poultry Producers' Attitudes towards Biosecurity. Animals 14, 1603.

<https://doi.org/10.3390/ani14111603>

Amalraj A, Van Meirhaeghe H, Caekebeke N, Creve R, Dufay-Lefort A C, Rousset N, Spaans A, Devesa A, Tilli G, Piccirillo A, Zbikowski A, Kovács L, Chantziaras I, Dewulf J (2024) Development and use of Biocheck.UGent™ scoring system to quantify biosecurity in conventional indoor (turkey, duck, breeder) and free-range (layer and broiler) poultry farms. Preventive Veterinary Medicine 230 106288

<https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2024.106288>

Kerek Á, Szabó Á, Bányai K, Kaszab E, Bali K, Papp M, Kovács L, Jerzsele Á (2024) Resistome analysis of Escherichia coli isolates from layers in Hungary. Acta Veterinaria Hungarica 72 1, 1–10

<https://doi.org/10.1556/004.2024.00988>

Tráj, P, Sebők C, Mackei M, Kemény Á, Farkas O, Kákonyi Á, Kovács L, Neogrády Z, Jerzsele Á, Mátis G. (2023) Luteolin: A Phytochemical to Mitigate S. Typhimurium Flagellin-Induced Inflammation in a Chicken In Vitro Hepatic Model. Animals 13, 1410.

<https://doi.org/10.3390/ani13081410>

Farkas M, Könyves L, Csorba Sz, Farkas Zs, Józsiák Á, Süth M, Kovács L (2024) Magyarország nagylétszámú baromfitelepeinek járványvédelmi helyzete a Nébih Országos Járványvédelmi Központ és a Baromfi Termék Tanács Járványvédelmi Auditáló Rendszer adatai alapján a 2021–2022-es időszakban. Magyar Állatorvosok Lapja 146:723-742.

<https://doi.org/10.56385/magyallorv.2024.12.723-742>

Szabó Á., Jerzsele Á, Kovács L, Kerek Á (2025) Antimicrobial Susceptibility Profiles of Commensal Staphylococcus spp. Isolates from Chickens in Hungarian Poultry Farms Between 2022 and 2023. Antibiotics, 14, 103.

<https://doi.org/10.3390/antibiotics14010103>

Jerzsele Á, Kerek Á, Barnácz F, Csirmaz B, Szabó Á, Kovács L (2025) Antimicrobial Susceptibility Profiles of Commensal Escherichia coli Isolates from Turkeys in Hungarian Poultry Farms Between 2022 and 2023. Antibiotics 14, 305.

<https://doi.org/10.3390/antibiotics14030305>

Jerzsele Á, Szabó Á, Barnácz F, Csirmaz B, Kovács L, Kerek Á (2025) Antimicrobial Susceptibility Profiles of Escherichia coli Isolates from Clinical Cases of Chickens in Hungary Between 2022 and 2023. Antibiotics 14, 176.

<https://doi.org/10.3390/antibiotics14020176>

Kovács L, Szabó Á, Barnácz F, Csirmaz B, Jerzsele Á, Kerek Á (2025) Antimicrobial Susceptibility Profiles of Commensal Staphylococcus spp. Isolates from Turkeys in Hungarian Poultry Farms Between 2022 and 2023. Antibiotics 14, 200.

<https://doi.org/10.3390/antibiotics14020200>

Jerzsele Á, Szabó Á, Barnácz F, Csirmaz B, Kovács L, Kerek Á (2025) Antimicrobial Susceptibility Profiles of Escherichia coli Isolates from Clinical Cases of Turkeys in Hungary (2022–2023). Antibiotics 14, 338.

<https://doi.org/10.3390/antibiotics14040338>

Kerek Á, Szabó Á, Barnácz F, Csirmaz B, Kovács L, Jerzsele Á (2025) Antimicrobial Susceptibility Profiles of Commensal Enterococcus spp. Isolates from Turkeys in Hungarian Poultry Farms Between 2022 and 2023. Antibiotics 14, 331.

<https://doi.org/10.3390/antibiotics14040331>

Kovács L, Farkas, M, Dobra, P F, Lennon G; Könyves L P; Rusvai M (2025) Avian Influenza Clade 2.3.4.4b: Global Impact and Summary Analysis of Vaccine Trials. Vaccines, 13, 453.

<https://doi.org/10.3390/vaccines13050453>

Souillard R, Allain V, Dufay-Lefort A C, Rousset N, Amalraj A, Spaans A, Zbikowski A, Piccirillo A, Sevilla-Navarro S, Kovács L, Le Bouquin S (2025) Advisers' perception of biosecurity implementation on large-scale poultry farms in Europe. Preventive Veterinary Medicine 106552

<https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2025.106552>

9. Köszönetnyilvánítás

Köszönettel tartozom témavezetőmnek, Dr. Könyves László tanszékvezető úrnak, akitől az elmúlt években nem csupán maximális szakmai háttérbiztosítást kaptam, de segített a nehéz, holtpontra jutott időszakaimon tapasztalatával, bölcsességével és emberségével. Kapcsolatunk már nemcsak szakmai, de baráti alapokon is nyugszik. Külön köszönöm egykori tanszékvezetőnk, Prof. Dr. Brydl Endre tanár úrnak a lelki támogatást, a sok-sok beszélgetést, mely rengeteg erőt adott a munkám során. Köszönöm Dr. Hejel Péter munkatársam, barátom által megosztott számos szakmai tapasztalatot, melyeket fel tudtam használni, mind a kutatómunkám során, mind a doktori értekezésem írása során.

Köszönöm minden tanszéki munkatársamnak azt a közvetlen vagy közvetett segítséget, mellyel megkönnyítették a sűrű időszakaimban a kutatómunkám teljes időszaka alatt a munkavégzésemet. Köszönöm nekik továbbá a lelki biztatást is.

Köszönöm barátomnak, Dr. Kiss Gerdának, akinek a segítségével nélkül nem tudott volna létrejönni a kapcsolat Könyves tanár úrral és – könnyen lehet, hogy – most nem dolgozhatnék a ezen a kiváló tanszéken.

Nagy köszönettel tartozom Dr. László Laurának és Dr. Farkas Máténak, akikkel még hallgatókorukban ismerkedtem meg és az ő telepi jelenlétük, kitartó és szorgalmas mintavételezéseik, laboratóriumi munkájuk és alapos szakirodalom kutatásuk nélkül eme dolgozat nem, vagy csak évtizedek múlva készült volna el. Országgh Erikának, Csorba Szilveszternek és Dr. Farkas Máté adatelemző munkatársaknak nagy köszönettel tartozom a kimagasló színvonalon, maximális alapossággal elvégzett statisztikai analíziseket és azt, hogy bármikor, bármilyen új ötletem vagy gondolatom támadt, bármit is meg tudtak valósítani. Köszönöm továbbá Dr. Józwiák Ákos tanszékvezető Úrnak és Dr. Süth Miklós intézetigazgató úrnak, hogy általuk meg tudott valósulni az a magas színvonalú szakmai együttműködés, mely reményeim szerint évtizedeken keresztül ki fog még tartani tanszékeink között.

Köszönöm Dr. Harmat Leventének, a Dóra majori tangazdaságunk állatorvosának, aki egyben egyik legjobb barátom is, hogy a kísérleti épületek technikai előkészítésén át a pulykák szállításán keresztül a takarmány szállításig és napi problémák gyors reagálással történő megoldásáig, hatékonyan tartotta kézben a kísérleti időszak alatt a kutatáshoz elengedhetetlenül szükséges háttérmunkákat. Köszönöm továbbá, hogy barátomként lelkiekben is támogatott a kezdetektől a doktori értekezés utolsó karakterének leütése pillanatáig. Köszönöm az állatgondozó munkatársak segítségét a teljes kísérleti időszak alatt.

Köszönettel tartozom Prof. Dr. Mándoki Míra tanszékvezető asszonynak, aki Dr. Dobra Péter kollégámmal együtt rendelkezésre álltak a későbbi vizsgálatokra szánt szervek legnagyobb szakmai színvonalon történő boncolása és tárolása kapcsán.

Egyik legnagyobb köszönettel tartozom Dr. Dieter Liebhartnak a bécsi Állatorvostudományi Egyetem egyetemi docensének, egyben ECPVS rezidens képzésem témavezetőjének az immunológiai vizsgálatok megtervezésében és a vizsgálati eredmények kiértékelésében. Köszönettel tartozom továbbá Dr. Taniya Mitrának, az Altos Labs (San Diego, California, USA) biológusának, aki a laboratóriumi vizsgálatok időszakában a bécsi egyetemen a laboratóriumi munkálatok koordinálását végezte, majd az eredmények kiértékelésében is meghatározó szerepet játszott. Nem utolsó sorban köszönettel tartozom Prof. Dr. Michael Hessnek, aki megteremtette annak lehetőségét, hogy a bécsi Állatorvostudományi Egyetem nemzetközi színvonalú Baromfi-egészségügyi Klinikáján volt lehetőségem elvégezni az immunológiai vizsgálatokat. Bízva a jövőbeni, két egyetem közötti sikeres együttműködésben, kívánom, hogy szakmai kapcsolatunk sokáig tartson.

Köszönöm Bozsó Szilárd, az Agro-csibe '2000 Kft. akkori ügyvezető igazgatójának, hogy biztosította a tangazdaságban végzett kísérletünkhöz a pulykákat és az ellátásukhoz szükséges takarmányt. Köszönöm továbbá Enikő és Levente, állatgondozó munkatásaimnak, akik jóvoltából egészséges állomány alapanyagból tudtuk megvalósítani kísérletünket. Köszönöm továbbá az ország mindahány pulykatartó gazdaságán dolgozó kollégának, akik lehetővé tették az országos felméréseink kapcsán a gazdaságokba történő bejutást, a vizsgálatok, felmérések elvégzését. Köszönöm Dr. Bakony Mikolt és Dr. Jurkovich Viktor munkatársaim alapos és magas színvonalú munkáját a statisztikai vizsgálatokban és a publikáció írásában. Mikolt statisztikusi szakértelme és Viktor magasfokú állatjóléti szakértői képességei nélkül nem születhetett volna olyan kézirat, melyre most nagyon büszkék lehetünk. Köszönöm Christopher René Klaucke állatorvostan hallgatónak, hogy rendkívüli időpontokban is velem tartott a teleplátogatásokra és egy megfelelő minőségű TDK munkát letéve az asztalra, szintén megalapozta jelen munka létrejöttét.

Köszönöm Dr. Mátis Gábor osztályvezető úrnak és Dr. Mackei Máténak a kortizol vizsgálatokban történő komoly segítségnyújtást és a laboratóriumi háttérrel.

Köszönöm Czinege Lászlónak, a Nagisz Csoport ágazati igazgatójának szakmai és baráti támogatását. Köszönöm egyik legjobb barátomnak, Détár Leventének, hogy szakmai pályafutásom kezdetétől gyakorlati tapasztalataival segített, illetve a mai napig hozzájárul meglátásaival ahhoz, hogy meg tudjam határozni a valóban releváns, a gyakorló kollégák számára is hasznos kutatási vonalakat. Köszönöm továbbá, hogy nehéz időszakaimon átsegítve, elkísért az utamon.

Köszönöm Prof. Dr. Fébel Hedvig kutató asszony alapos szakmai munkáját, amelyet az egyik kutatási anyagunk kéziratának bírálata során nyújtott.

Köszönöm Dr. Csorbai Attilának, a Baromfi Termék Tanács elnök-igazgatójának azt, hogy a Baromfi Termék Tanács és tanszékünk együttműködése által felbecsülhetetlen szakmai kapcsolatokat tudtam szerezni és Egyetemünk baromfi tartó gazdaságokkal történő kapcsolati rendszere hihetetlen módon kibővült.

Köszönöm Dr. Paljak Jánosnak, a Gallicoop Zrt. egykori főállatorvosának, hogy megszerettette velem a nagyüzemi pulykatartást és lehetőséget teremtett a szakmai ismereteim bővítéséhez a pulykatelep látogatások révén.

Köszönöm még Polyák Józsefnek és unokájának, Póka Viktornak, a tiszalparti pulyka hízlaló telep tulajdonosainak, ugyanis az ő telepükön fogalmazódtak meg azon kutatási terv első gondolatai, melyek végül ezen disszertációban öltöttek testet.

Köszönöm legjobb barátaimnak, többek közt Dr. Csász Györgynek, Dr. Kanizsai Krisztiánnak, Dr. Koczás Máténak, Dr. Viczena Bettinának, Dr. Somogyi Zoltánnak, Dr. Baranyi Katának, hogy elviselték, mikor hatodjára is lemondtam a baráti összejöveteleinket. Rengeteg megértést, továbbá erőt és bátorítást kaptam tőlük az elmúlt években.

Köszönöm Dr. Horváth-Papp Imre és Dudás Viktor barátaimnak azt, hogy hallgatókoromban felkaroltak és hála nekik, magas szintű baromfi-egészségügyi ismereteket szerezhettem már a pályám kezdetén. A Viktorral töltött rendszeres teleplátogatásoknak nagy szerepe volt abban, hogy a baromfi-egészségügy szerelmese lettem.

Végül, de nem utolsó sorban legnagyobb köszönettel szüleimnek és feleségemnek tartozom. Szüleim több mint 30 évvel ezelőtt elkezdődött támogatása nélkül nemhogy a kutatás eredményei sem születhettek volna meg, de folyamatos segítségük, iránymutatásuk nélkül most nem végezhetném azt a csodálatos tevékenységet, melyre elsősorban nem munkaként, hanem hivatásként tekintünk, az állatok orvoslását. Köszönöm Viviennek, kedves feleségemnek, hogy olyan lelki támogatást nyújtott fáradt, feszültséggel telt, nehéz időszakaimban, amely segítséget, amíg élek, nem felejttem el és örökké hálás leszek neki.

Hálát adok Istennek, amiért a legnagyobb megpróbáltatásokkal, feladatokkal terhelt időszakaimban is erőt adva segített tovább haladnom a megkezdett utamon...

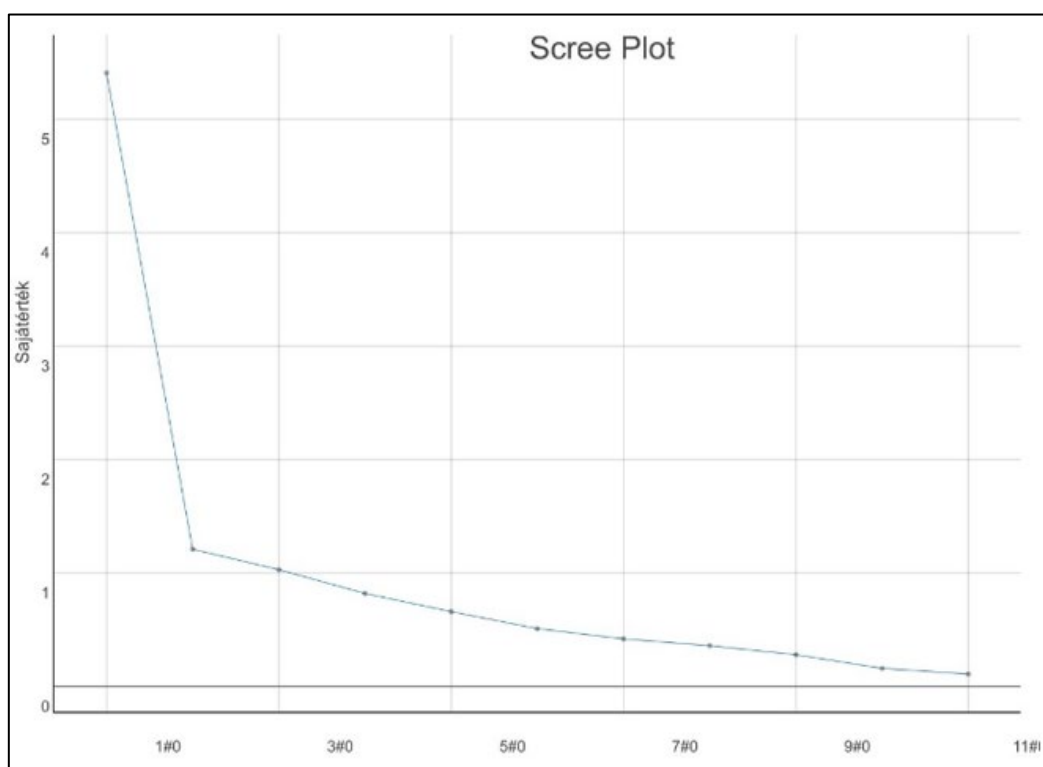
10. Mellékletek

3.3.1. kiegészítő táblázat A istálló bejárás (*transect-metódus*) során mért jóléti mutatók részletes leírása. A mutatók az AWIN jóléti protokollból származnak.

Értékelt indikátor	Vizuális jel	Állatálléti kritériumok
Mozdulatlanság	Nem mozog, ha megközelítik vagy mozgásra ösztönzik	Betegség hiánya
Sántítás	Elmozdul az értékelő elől, majd néhány lépés után megáll pihenni	Betegség hiánya
Fejsérülések	Sérülés a fejen, csőrön, nyakon	Sérülések hiánya, Szociális viselkedés kifejeződése
Hátsérülések	Sérülés a nyak és a farok közötti területen	Sérülések hiánya, Szociális viselkedés kifejeződése
Faroksérülések	Sérülés a farok területén	Sérülések hiánya, Szociális viselkedés kifejeződése
Kis testméret	Láthatóan kisebb a csapat átlagánál	Hosszan tartó éhezés és szomjazás hiánya, Betegség hiánya
Tollhiány	Tollhiány kiterjedt testfelületeken	Hőkomfort, Szociális viselkedés kifejeződése
Szennyezettség	A tollazat sötét szennyeződése legalább a testfelület 50%-án	Pihenési komfort
Betegség jelei	Egyértelműen károsodott egészségi állapot, pihenő testtartás, hiányzó testrészek	Betegség hiánya
Végstádiumban lévő egyed	Mozdulatlan a földön, gyenge légzés, félig lehunytt szemek	Betegség hiánya
Elhullott egyed	Nem lélegzik és mozdulatlan	Betegség hiánya
Agresszió pár felé	Kergetés, csipkedés, repkedés, heves szárnycsapkodás	Szociális viselkedés kifejeződése
Párosodási viselkedés	Egymásra ülésre irányuló próbálkozás	Szociális viselkedés kifejeződése
Emberrel való interakció	Az értékelő üldözése, csipkedése	Szociális viselkedés kifejeződése

3.3.2. kiegészítő táblázat Az 1. faktor (F1) és a 2. faktor (F2) és a hozzájuk tartozó mutatók a főkomponens-elemzésben szereplő súlyaikkal együtt jelennek meg.

Indikátor	F1 súly	F2 súly	Kommunalitás
Agresszió másik egyeddel szemben	0,85	0,30	0,813
Hátsérülések	0,80	0,40	0,805
Interakció emberrel	0,79	0,20	0,661
Szennyezett egyed	0,77	0,45	0,796
Fejsérülések	0,77	-0,32	0,694
Sántító egyed	0,76	0,24	0,631
Párosodási viselkedés	0,64	0,06	0,409
Faroksérülések	0,62	0,39	0,539
Beteg egyed	0,15	0,75	0,594
Elhullott egyed	0,11	0,71	0,513



3.3.1. kiegészítő ábra A főkomponens-analízis Scree plotja. Az első komponens magyarázza a legnagyobb varianciát, és minden további komponens egyre kevesebbet tesz hozzá. Az első pont utáni éles csökkenés (az úgynevezett „könyök”) arra utal, hogy egy vagy két komponens elegendő lehet az adatok főbb mintázatainak összefoglalásához.