



Tojáshéjszín, mint monitoring eszköz

TORMA TÍMEA ÁGNES^{1*}, NAGY TAMÁS², KOVÁCSNÉ GAÁL KATALIN³

¹Intervet Hungária Kft., MSD Animal Health, Budapest

ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0007-6549-7002>

Email: tormatimeaagnes@gmail.com

²Gyermelyi Kft., Gyermely

ORCID iD: <https://orcid.org/0009-0000-5564-9796>

³Széchenyi István Egyetem, Albert Kázmér Mosonmagyaróvári Kar

Állattudományi Tanszék, Mosonmagyaróvár

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-4448-7597>

*Corresponding author/Levelező szerző

Received/Érkezett: 2025.04.03.

Revised/Átdolgozva: 2025.05.18.

Accepted/Elfogadva: 2025.06.12.

Published/Megjelent: 2025.06.27.

ÖSSZEFOGLALÁS

A tojás, mint létfontosságú állati eredetű fehérjeforrás, nagy jelentőséggel bír az emberi táplálkozásban. A tojás minősége (összetétele, alakja, színe, héjminősége stb.) döntő szerepet játszik az élelmiszerként történő felhasználása mellett például a feldolgozhatóságában, tárolhatóságában, keltethetőségében, vagy a vakcina előállításban. Ezeket a tulajdonságokat a tojás alkotórészei együttesen, de külön-külön is befolyásolják. A fogyasztói igények eltérnek a tojáshéj színének tekintetében, vannak fehér és vannak barna héjú tojást preferáló vásárlók, de az árutojás színe mellett hangsúlyosabb lehet a szín tojáshéj minőséget befolyásoló szerepe. A protoporfirin és a biliverdin a madártojás színének óriási változatosságát eredményezi. A különböző tenyésztési irányok eltérő tojáshéjszín eredményeztek a hibrideknél. A barna héjú tojások pigmentációjának változása hangsúlyosabb a brojler típusú szülőpárok tojásaiban, mint barna tojás típusú tojóállományokban, ugyanakkor a hibridre jellemző tojáshéjszíntől való eltérés jelzésül szolgálhat az madarak egészségi állapotára, takarmányozására és a termeléssel kapcsolatos paraméterekre. A tojáshéjszín adatainak gyűjtésével a különböző tojáshéjszín változások tendenciája időben felismerhető, és az esetleges hibáknak megfelelő helyesbítő lépések megakadályozhatják az olyan szintű romlást, ami már a törékenyebb tojások megjelenéséhez vezethetnek. A gépi látást már alkalmazzák a tojások minőségi osztályozása során, ugyanakkor a tojáshéjszín elemzése még nem része a folyamatnak. A gépi látás használatával sokkal pontosabban érzékelhetőek a színeltérések, ezért az azonos állományoktól származó tojásoknál a színek varianciájában is meg lehet határozni egy tűréshatárt, hogy a tényleges, állományszintű eltéréseket detektáljuk. Ebben az irodalmi összefoglalásban a tojáshéj színének befolyásoló szerepét tanulmányoztuk azzal a céllal, hogy bemutassuk, hogy tojáshéjszín változásának hatása van egyéb tojáshéj minőségi mutatókra, melyek befolyásolhatják a héjszilárdságot, és ezen keresztül az árutojás minőséget, vagy a tenyésztojások keltethetőségét. Ezért a számítógépes képelemzési technikával és a gépi tanulás bevezetésével ez egy gyakorlatias monitoring eszköz lehet az ágazat számára.

Kulcsszavak: tojáshéj, héjszín, héjszín mérés, befolyásoló tényezők, gépi látás



1. HAZAI ÉS KÜLFÖLDI IRODALOM BEMUTATÁSA ÉS ÉRTÉKELÉSE

A szakirodalmi áttekintés a tojáshéj színének változásait befolyásoló tényezőket veszi számba és felméri a lehetőségét egy non-invazív, gépi látáson alapuló monitoring rendszer kidolgozásának.

1.1 A tojáshéj színe

A protoporfirin és a biliverdin jelenlétét már a késő krétai, madárszerű Maniraptora dinoszauruszok tojáshéjában is kimutatták (Wiemann et al., 2017).

Mind a meszes héj, mind a tojáshéj színének kialakítását befolyásoló és meghatározó héjpigment (protoporfirin) az uterusban képződik. Az uterusban a széteső vörösvérsejtekből a hemoglobin hematinná alakul át és abból képezik a madárméh sejtjei a pigmentet, de szintetizálódhatnak a pigmentek a héjmirigyben is (Hargitai et al., 2017; Sütő, 2013). Ennek a folyamatnak genetikai befolyásolása is ismert. Először is: a *CPOX* (koproporfirinogén III-oxidáz) magas szintű expressziója több protoporfirinogént és barna tojáshéj színt eredményez. Ezzel szemben a *FECH* (ferrochelataz) magas expressziója valószínűleg több protoporfirinogént alakított hemmé, csökkentette a protoporfirinogén szintjét a tojáshéjon belül, és világos színt eredményezett. Másodszor: a hem transzporterek a tojáshéj színét is befolyásolták (Zheng et al., 2022; Conder et al., 1991; Li et al., 2013). Ugyanakkor, bizonyos fajták vagy keresztezések, mint például az araucana, az olive egger, az easter egger olyan genetikai változatot hordoznak, ami a protoporfirin helyett a biliverdin lerakódását eredményezi, ez kék és zöld tojáshéjat jelent (Simmons, 2017).

Valójában a madarak tojásai kevésbé változatos színűek, mint a tollaik. Ezt dokumentálják Stoddard és Prum (2011) szín összehasonlító vizsgálataikban, valamint egy másik közlésükben Stoddard és Stevens (2011) leírták, hogy a kakukk képes a tojáshéj színében alkalmazkodni a gazdamadár fészkében található tojások színéhez.

A héjképződés a leghosszabb folyamat a tojásképződés alatt. A héjképződés előrehaladásával, a nem fehér színű tojást tojó tyúkok vertikális tojáshéj rétegében, a héjmirigy felszínét borító hámsejtek elkezdik szintetizálni és felhalmozni a pigmenteket. A három fő pigment a biliverdin-IX, annak cinkkelátja és a protoporfirin-IX. A protoporfirint a tojótyúkok tojásában található fő tojáshéjpigmentként azonosították más pigmentek, például a biliverdin mellett (Miksik et al., 1996; Mertens et al., 2010). Korábbi kutatások szerint a protoporfirin nagy része a kutikulában található (Miksik et al., 2007; Nys és Guyot, 2011). Samiullah és Roberts (2013) eltérést tapasztaltak a héjban mért protoporfirin mennyiségében azokhoz a héjakhoz képest, ahol eltávolították a kutikulát. Ez lehetővé tette a protoporfirin relatív mennyiségének kiszámítását a meszes tojáshéjban és a tojáshéj kutikula rétegében. A protoporfirin pigment nagy része a tojáshéj meszes részében (80-87 %), kisebb része a kutikulában (13-20 %) található. Ezek az eredmények arra utalnak, hogy a barna héjú tojások héjszínének megőrzésére összpontosító vizsgálatoknak figyelembe kell venniük a tojásképződés azon szakaszát, amelyben a pigmentlerakódás csökkenése következhet be. Az ép kutikulával fedett tojások a*(piros) színe arra utal, hogy a 33 és 50 élethetes tojásokban több volt a kutikula, mint a 67 hetes tojásoknál (*ld. 1. egyenlet*).

Tehát a héj színe nem a képződött pigment mennyiségétől, hanem annak lerakódásától, beépülésétől függ. A fehér tojást tojó tyúkok nem képesek pigmenteket lerakni a tojáshéjban, ami a fehér szín megjelenését eredményezi. Ezzel szemben a barna tojást tojók olyan génekkel rendelkeznek, amelyek lehetővé teszik számukra, hogy különböző mennyiségű porfirint rakjanak le a tojáshéjba. A két genotípus keresztezéséből keletkeznek a színezett, de világos tojásokat tojó madarak (tint).



Az ovipozíció ideje is befolyásolja a barna héjú tojások színének árnyalatát. Samiullah et al. (2016b) vizsgálataikban öt időintervallumot határoztak meg. A megvilágítás az állományban 04:00-20:00 óráig tartott és a tojást fél óránként gyűjtötték. A megvilágítás kezdetétől számítva 0,5-2, 2-3,5, 3,5-5 óra, és így további, összesen öt időperiódust dolgoztak fel a tojás minőségi tulajdonságait, köztük a héjszínt illetően. A legtöbb tojást a madarak 0-3,5 óra között tojták (51 %), és megfigyelték, hogy a színmérésnél az azt követő időszakban magasabb L^* értéket mértek (1. egyenlet), ami a világosabb tojásszínt detektálta. Tehát a kora reggeli órákban lerakott tojások sötétebb színárnyalatúak, mint a későbbi időpontban lerakottak.

A tojánhéjszín komplex tényező. Az abszolút héjszínt befolyásolja a genetika, a takarmányozás, az egészségi állapot, a stressz és ezek együttes hatása. A relatív színt befolyásolja a kutikula színe, vastagsága és fényessége (gloss) (Li et al., 2020). A kutikula a tojánhéj kalcikristályos felszínére rakódik kb. 10 μm vastagságban. A fényesség attól függ, hogy mennyire sima a kutikula felülete (Bogenfürst, 2020).

A héj színe kizárólag kereskedelmi jellegű tulajdonság, a tojás belső minőségével nincs összefüggésben, de ha betegség, vagy takarmányozási hiba miatt alakul ki a tojánhéj színének megváltozása (mikotoxinok), az már a belső összetételt is befolyásolhatja (Bogenfürst, 2020).

Hazánkban a fogyasztók, hagyomány szerint, túlnyomórészt a barna színű tojásokat kedvelik. A vásárlói preferencián felül a tojások színe összefüggésbe hozható azok minőségi paramétereivel is, mint például héjerősséggel, fehérje magassággal és zsírtartalommal (Jones et al., 2010), valamint a barna héjú tojások színét adó pigmentnek a Gram-pozitív baktériumokkal szemben tanúsított antimikrobiális hatása is bebizonyosodott (Ishikawa et al., 2010).

Az étkezési tojásnál fontos szempont a tojás vizuális megjelenése, akárcsak a szín homogenitása és fényessége.

Bármilyen hasznosítási iránynál azonban lényeges, hogy a kutikula és a tojánhéj, mint természetes „csomagolóanyag” és védelmi funkció elsődleges, mind a mechanikai hatások, mind a fertőző ágensek ellen. Ökológiai szerepe (vadon élő madarak rejtőzködő tojásai) mellett, szerepet játszik a hőszabályozásban (Bakken, 1978) és egyes szerzők szerint hozzájárul a tojánhéj mechanikai megerősítéséhez (Gosler et al., 2011).

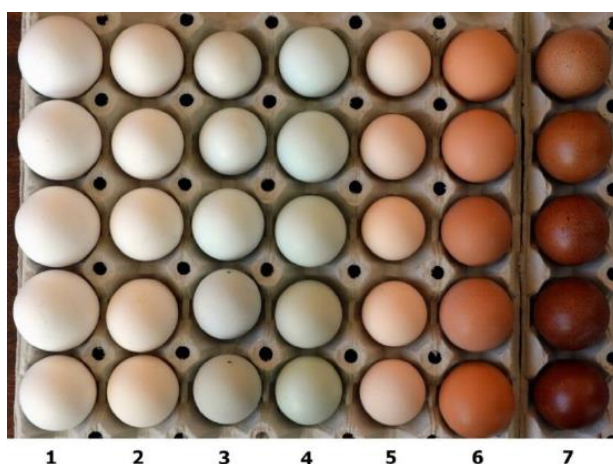
Baylan et al. (2017) a Ross-308 brojler szülőpártól származó tojásokon azt vizsgálták, hogy a héj színe befolyásolja-e a tojássárgája antitest tartalmát, illetve a kikelt csibék növekedési erélyét. Összesen 1350 tojás héjszínét koloriméter segítségével három csoportba sorolták: sötét ($E < 64$), közepes ($E = 64-67$) és világos ($E > 67$) színű tojások. A színcsoportok közötti különbség a tojás tömege, az alakindex, a héj tömege és a *Haugh-egység* tekintetében nem volt jelentős. A tojássárgája antitest-tartalma viszont (IgY) 6,658 mg/ml volt a sötét színű csoportban, 5,130 mg/ml a közepes színű és 5,242 mg/ml a világos színű csoportban. Az inkubációs jellemzők közül a termékenységi ráta sorrendben 94,66 %, 92,14 % és 87,92 % a sötét, közepes és világos héjszínű tojásokban, a keltethetőség 87,00 %, 84,28 %, 80,57 %, ugyanebben a sorrendben. A héjszín nem volt hatással a csibék növekedési teljesítményre.

Şekeroglu és Duman (2009) brojler szülőpárok tojásainál végzett vizsgálatukban szintén szín szerint csoportosították a tojásokat és azt állapították meg, hogy a tojánhéj színe ($E > 83,50$) szignifikáns összefüggést mutatott a héjvastagsággal, a termékenységgel, a keltethetőséggel, és az előző vizsgálattal ellentétben a naposcsibék testtömeg gyarapodásával a nevelés alatt.

1.2 A tojánhéjszín mérése

A tojánhéj színei vizuálisan, vagy koloriméter segítségével az L^* (világosság), a^* (pirosság) és b^* (sárgaság) színekoordináták mérésével és az abból számított krómaértékkel (C^*) jellemezhetők (1. egyenlet). Alternatív megoldásként speciális eszközök, például nagy teljesítményű folyadék-kromatográfia képes közvetlenül kimutatni a tojánhéj pigmenteket (van de Braak, 2023).

A hagyományos tudományos módszer a tojánhéj színintenzitásának mérésére a fény visszatükröződését (reflektivitást) mérő eszközt használja. A héj reflektivitása, amelyet százalékban fejeznek ki, azt mutatja meg, hogy mennyi fény verődik vissza a tojásfelületről. Ez a héj színének világosságát jelzi — minél magasabb az érték, annál világosabb a héj és fordítva. A reflektométer az abszolút sötét és fehér között (0,0-80,3 %) több mint 800 árnyalat megkülönböztetésére alkalmas (Sütő, 2013).



1. kép: Színárnyalatok a tojánhéjban

Forrás: Lukanov et al., 2015

A reflektivitás mérése gyors módszer, de nem olyan pontos, mint más színmérésre alkalmazott technikák, mivel csak egy kis területet (1 cm-es kör) mér. A leggyakrabban használt módszer a tojánhéj színének meghatározására a spektrofotometria. Az egyik legújabb spektrofotométer, a *Konica Minolta kézi spektrofotométer* (CM-2600d), az $L^*a^*b^*$ színrendszeren alapul. A műszer belső lámpával diffúz módon megvilágított területről merőlegesen visszavert fénynyaláb intenzitásának spektrális eloszlását méri a látható hullámhossz tartományban 400-700 nm-ig (Konrád, 2008). Ebben a rendszerben az L^* érték maximuma 100 (fehér) és minimuma 0 (fekete), és ez az egyik legfontosabb elem a héj színének mérésében. Az a^* érték esetében a zöld a negatív irányban, míg a piros a pozitív irányban található. A b^* esetén a kék a negatív irány, a sárga pedig a pozitív irány felé mutat. A tojánhéj E színértéket az 1. egyenlettel számítjuk ki (Commission International de L'Eclairage (CIE); Zeng et al., 2022).

$$E = \sqrt{L^2 + a^2 + b^2} \quad (1)$$

Ahol:

L = világosság, a = vörösség, b = sárgaság.



Lukanov et al. (2015) a vizsgálatokat 48 hetes korú, különböző genotípusú fehér, tint, kékeszöld és barna tojást tojó tyúkokkal végezték. A CIE $L^*a^*b^*$ színrendszer. L^* , a^* és b^* értékek alapján C^* (Chroma) értékkel minősítették a tojások színét. Az L^* értékek statisztikailag szignifikánsan csökkentek ($P < 0,001$) a fehér héjú tojáshéjánál 92,7-ről 40,2-re a sötétbarna tojáshoz képest. A barna tojás a^* értéke 1,9-ről (krémszín) 22,5-re nőtt a sötétbarna héjánál. A kékeszöld és színezett tojásokban az L^* és a b^* értékek hasonlóak voltak. A tojások színében azonban nem csak a csoportokon belül volt jelentős eltérés, hanem a fajtán belül is. A shell color index (SCI) megbízható színazonosításra alkalmas a barna és a nem pigmentált tojásoknál. A 70-nél alacsonyabb SCI-értékek ajánlhatók referenciaértékként a barna, pigmentált héj, míg a 85 feletti SCI-értékek a fehér héjú tojásoknál.

A Hunter laboratóriumi kalorimétert ($L^*a^*b^*$ rendszeren működve, 1. egyenlet) is használták a tojáshéj színének mérésére, de az értékek kevésbé szabványosak a Minolta színmérőkhöz képest (Wei és Bitgood, 1990). Egy alternatíva a Konica Minolta spektrofotométerhez a *Color Computer Vision gép*, amely nagyobb felületet mér és képes szennyeződések is detektálni (Mertens et al., 2005). Ez a gép szintén $L^*a^*b^*$ színrendszert használ (Odabasi et al., 2007).

A képelemzés egy másik hatékony eszköz a tojáshéj színének meghatározásában. Ebben a módszerben a héj egy téglalap alakú területét, a mérés tartományát (region of interest, ROI) választják ki, és a gép kiszámítja a piros, a zöld és a kék színcsatornák pixelintenzitásának átlagos értékeit (Sezer és Tekelioglu, 2009).

1.3 A tojáshéjszint befolyásoló tényezők

1.3.1 Az állomány életkora

A kereskedelmi típusú fehér és barna tojást tojó tyúkoknak a tojásai az életkor előre haladásával növekszenek (Fletcher et al., 1981; Sell et al., 1987). A kereskedelmi forgalomban lévő Hy-Line barna tyúkok például körülbelül 45 g tömegű tojással kezdik a tojástermelést. Ezt követően a tojás tömege és mérete meredeken növekszik a tojástermelés kezdete utáni első 8 héten belül. Bár a tojás tömegének/méretének növekedési üteme lelassul, a tojások további 20 hétig egyre nehezebbek és nagyobbak lesznek. Ettől kezdve a Hy-Line Brown tojástömege átlagosan körülbelül 66-67 grammra kiegyenlítődik (Hy-Line International, 2018). A barna tojáshéj pigmentjei így nagyobb tojásfelületen rakódnak le, ahogy a tyúk öregszik és a tojásméret nő. Ugyanakkor semmilyen bizonyíték nem utal a termelt pigment mennyiségének tojásméret szerinti eltérésére (Solomon, 1997). Ennek eredményeként az adott állományból származó tojásokon a héjak színe az állomány életkorával halványabbá válik (Lang és Wells, 1987; Solomon, 1997).

Ezt a megfigyelést támasztja alá Butcher és Miles (2018) miszerint, ahogy a tyúk idősödik, nő a tojás mérete, a tojás kúpos vége kevesebb pigmentet tartalmaz, mint a tompa vége, de szerintük ennek oka lehet a tojás nagysága mellett a pigmentszintézis csökkenése.

Odabasi et al. (2007) eredményei szerint a tojások világosabb színűek lettek, ahogy a Hy-Line Brown állomány idősödött, ezt főként az L^* értékek növekedése mutatta (1. egyenlet). A pigmentáció csökkenése a pirosság (a^*) csökkenésével járt. Amikor az L^* és a^* értékeket a tojás súlyához viszonyították, a változás mértéke csökkent, jelezve, hogy a tojás mérete fontos tényező a héj színének kialakításában. A kutatás megállapította, hogy az idősebb tyúkok világosabb tojásokat tojnak, mivel a tojás méretének növekedése nem járt arányos pigment mennyiség-növekedéssel a héjon. Véleményünk szerint ez felhívja a figyelmet a csúcstermelés utáni testtömeg kordában tartására is, mivel ezek alapján a nagyobb tojástömeg nem csak a héj vékonyodásával, de annak halványodásával is járhat.



Li Q et al. (2020) kísérleteikben megvizsgálták a fajta és az életkor hatását a tojáshéj fényére. Megállapították, hogy a különböző fajták tekintetében nagyon különbözőek voltak a kutikula fényességi (GU) értékei, az életkorral csökkent a színeképet befolyásoló a^* , b^* érték (1. egyenlet) és a kutikulával fedettség szintén csökkenést mutatott. A tojáshéj fénye (GU), amit a kutikula egyenletes, sima felszíne ad, nagy változatosságot mutatott az életkor előrehaladásával.

Kérdés az, hogy ez vajon a kor előrehaladásával magyarázható-e, mert még korábban, Grover et al. (1980) ugyan megállapítottak egy kis ($r = 0,175$), de erősen szignifikáns ($P < 0,01$) korrelációs együtthatót a héj színe és fajsúlya között a 15 hetes tojástermelési időszak alatt, de az idő múlásával megfigyelt erősebb korreláció ezen tulajdonságok között inkább a madarak életkorával volt összefüggésben.

Az eddigi irodalmi adatok azt mutatják, hogy a színnel kapcsolatos adatgyűjtés során a tojások egyedi tömegmérésére is gondot kell fordítani és a tojáshéjszínnel együtt analizálni kell, ugyanis mind az étkezési, mind pedig a keltető tojás minőségét befolyásoló tényezőről van szó, ami a héj szilárdságában mutatkozik meg, ha a világosabb héjszín a nagyobb tömegű tojáson jelentkezik ugyanazon állományban.

1.3.2 Takarmányozás

A tenyésztójas-előállítókat már régóta foglalkoztatta, hogy van-e összefüggés a tojáshéjszín és a tojáshéj egyéb minőségi paraméterei között. Joseph et al. (1999) kísérletükben 4 különböző genetikai vonaltól származó tenyésztójasokat vizsgáltak, 3 különböző takarmányozási program mellett. A tojásokat négy genotípustól (Avian 24K, Cobb 500, Hubbard Hi-Y és Shaver Starbro) gyűjtötték be, három etetési programot alkalmaztak (*ad libitum*, gyors és lassú adagolás). A héj színe és a héj minősége közötti lehetséges összefüggés az *ad libitum* etetésnél jelent meg. Minél sötétebb barna a tojáshéj, annál nagyobb a fajsúly, és így annál jobb a héj minősége. Bár ez a korreláció gyenge volt, szignifikánsnak bizonyult. Ebben a kísérletben már számítógépes képelemzést alkalmaztak. A tojásokról egyedileg készített, fekete-fehér színskálában digitalizált képet a *Northern Exposure* nevű szoftverrel analizálták. A szoftver kiszámított egy átlagot minden tojás héjszínének intenzitására (ebben az esetben átlagos szürkeértékére), azonban a szerzők ezt a módszert nem találták alkalmasnak a további vizsgálatokhoz.

Drabik et al. (2021) vizsgálatainak célja az volt, hogy a különböző héjszínű tojásokat értékeljék abban a tekintetben, hogy azok befolyásolják-e a tojás minőségét. A minta 180 tojásból állt (60/csoport), aracuana, marasi barna és fehér leghorn tyúkok tojásai képezték a vizsgálat tárgyát. A tojáshéj színét $CIE L^*a^*b^*$ rendszerrel mérték (1. egyenlet). A minőségértékelés az egész tojás (tömeg, fajsúly, ásványi elemek aránya, alakindex), sárgája (tömeg, szín, index, pH), fehérje (tömeg, magasság, pH) és héj (szín, szilárdság, tömeg, vastagság, sűrűség) jellemzőit tartalmazta. Elemezték a tojáshéj ásványi összetételét. A vizsgált színek tojásmínőségi jellemzőkre gyakorolt hatása azonban eltérő volt, és az egész tojás és az albumin tulajdonságok esetében a fehér szín ($P \leq 0,05$), míg a héj vastagsága tekintetében a sötétbarna szín ($P \leq 0,05$) volt a legkedvezőbb. A tojáshéj színe befolyásolta az ásványi anyag összetétel változásait ($P < 0,001$), kivéve a kálium- és nátriumtartalmat, míg az egyes ásványi elemek héjban való aránya korrelált az $L^*a^*b^*$ színtér koordinátákkal ($P \leq 0,05$). Amint arra Solomon (1997) rámutatott, a vas, a cink vagy a mangán nagyobb mennyiségben van jelen a sötétebb héjban, mert részt vesznek annak színezésében. A cink tekintetében azonban Drabik et al. (2021) vizsgálatai nem erősítik meg ezeket a megfigyeléseket, mivel a cink legmagasabb koncentrációját az aracuana tojáshéjban regisztrálták. Ezek a



megfigyelések összefüggésbe hozhatók Kennedy és Vevers (1976) korábbi elemzéseivel, amelyek a biliverdint és a cink-kelátot az araucana egyik fő héjpigmentjeként azonosítják.

Az eddigi irodalmakból világossá válik, hogy a tojás színének ugyanazon állományon belüli változása (világosodása) függ a tojáshéj minőségétől, illetve a tojás nagyságtól, az pedig összefüggésben van a takarmányozással, a meszes héj kialakulásának ásványi anyag ellátottságával.

1.3.3 Tartásmód, stressz, management hibák

A baromfik viselkedése számos külső és belső tényező egymásra hatásától függ, és meghatározza a madarak komfort érzetét, esetenként számukra kellemetlen hatásokat kifejtve komoly termelési kieséseket, betegségeket okozhat. A tartási rendszerek, az etetési, itatási technológiák, a klimatizáció és a világítási programok külön-külön is és kölcsönhatásaikban is jelentős hatótényezők a tojástermelésben. Például a telepítési sűrűség optimumának átlépése, ami zsúfoltsággal, élettér csökkenéssel jár, ha volierekben, vagy mélyalmos tartástechnológiában, iparszerűen tartják a tojótyúkokat, stressz tényezőként hatnak, fokozva a szociális rangsor által kiváltott egyéb tényezőket (csipkedés, agresszivitás). A tojásképződést és a tojásrakást befolyásoló tényezőkről van szó, ugyanis ezek a tényezők a stressz hormonok, különösen az adrenalin felszabadulását eredményezhetik. Ez a hormon a vérbe kerülve felelős a tojásrakás késleltetéséért és a héjmirigy kutikula képződésének leállításáért. Ezek a tényezők világosabb tojáshéjak keletkezését okozhatják, ami gyakran annak a következménye, hogy amorf kalcium-karbonát rakódik le egy már meglévő, teljesen kialakult kutikulára, vagy egy hiányos kutikula alakul ki, amelyet a kutikulaképződés idő előtti leállása okoz (Butcher és Miles, 2018), és Samiullah és Roberts (2013) szerint pedig a kutikulában található a héj pigment 13-20 %-a.

Zsédely et al. (2023) tojásmintákat vizsgáltak 30, 60, 72 hetes életkorban, eltérő tartástechnológiájú (mélyalmos kifutózott, illetve mélyalmos), de azonos genotípusú tyúkoknál a tojás tápanyag tartalmát, illetve a tojáshéj színét illetően. A héjszín mérésére a *Konica Minolta Chroma Meter C-R 400* típusú színmérőt használták. A nevelési rendszer nem befolyásolta a héj szilárdságát, az albumin magasságát és a *Haugh egységeket*, de a héj színét szignifikánsan világosabbnak (nagyobb L^* és alacsonyabb a^* és b^*) mérték a kifutózott mélyalmos, mint a zárt mélyalmos csoportban. Minelli et al. (2007) közlése szerint a tartási rendszernek (ketrec vs. szabadtartás) jelentős hatása van a héj színére (L^* , a^* , b^*), *Haugh* egységre. Sokołowicz et al. (2018) ugyanezekről a következtetésekről számolt be a héj színével kapcsolatban.

Valójában a stressz és a világosabb színű tojások közötti kapcsolat a kutatások szerint olyan erős, hogy a kutatók azt javasolták, hogy a héj pigmentvesztése alapot jelenthet a tyúkokat érő stresszhatások felmérésére szolgáló non-invazív módszer kidolgozásához (Hughes et al., 1986; Butcher és Miles, 2018).

Az alternatív tartástechnológiák mellett a módosított ketrecek is hatással vannak a tojásvisszatartásra, és ezen keresztül a tojáshéj színére. Walker (1998) megállapította, hogy a zártabb tojófészkekből származó tojások sötétebbek színűek voltak, mint a nyitott fészkekből származók. Ez azt jelenti, hogy a zártabb fészkek esetében a tyúkok nyugodtabbak voltak, és rövidebb volt a tojásvisszatartás ideje. Az eredmények alátámasztják a korábbi bizonyítékokat, miszerint a stressz csökkentése és a jólét javítása érdekében kívánatos zártabb fészkelő helyek kialakítása.

Hughes et al. (1986) megfigyelései során a tojótyúkokat kizárták a fészkekből, ami a tojások visszatartását eredményezte a héjmirigyben. Amikor a kizárást, mint stresszt, kísérletesen előidéztek, és adrenalin fecskendeztek a madarakba, az növelte a tojások visszatartását és a kóros



tojáshéjú tojások megnövekedett arányát eredményezte az azt követő 10 napban. A dózis-válasz hatás tehát nyilvánvaló volt.

A management hibák, melyek mind az étkezési, mind a tenyésztójas előállításnál előfordulhatnak, és főképpen a szervezési, technológiai, takarmányozási hibákban csúcsosodnak ki, mind stresszorként hatnak a tojásképződés során, melyek a fent említett módokon befolyásolhatják a tojáshéj színének változását.

1.3.4 Baromfibetegségek

Számos vírusos baromfibetegség, mint például az IBV, az ND, az ED-76 (egg drop syndrome) és a madárinfluenza (AI) járhat a tojástermelés mennyiségi és minőségi megváltozásával (Saif et al., 2008). Ezek a vírusok specifikus affinitást mutatnak a légúti és a reprodukív traktus nyálkahártyájához. Mivel a vírus közvetlenül megfertőzi és károsítja a reprodukív rendszert, a betegség jelei közvetett módon a traktus termékében, a tojásban nyilvánulnak meg. Így a tojástermelés csökken, a tojáshéj elvékonyodik, abnormálisan világos, és szabálytalan körvonalú lesz. ED-76 esetében a héj nélküli tojások is megjelenhetnek.

A *Coronaviridae* családba tartozó IBV széles körű elterjedtségének, gyors szaporodásának és genetikai variációjának köszönhetően számos országban okoz jelentős gazdasági károkat fiatal állatok elhullása és felnőtt állatok termelési mutatóinak romlásán keresztül (Yuan et al., 2022).

A barna tollú tojótyúkok esetében a fertőző bronchitis felelős lehet a tojáshéj minőségének romlásáért és a héj világosabb színének kialakulásáért (Chousalkar et al., 2009). Ennek oka, hogy a betegséget okozó koronavírus hajlamos elszaporodni a különféle hámszövetekben, beleértve a légcsövet, a tüdőt, a vesét, a beleket, a petefészket és a tojócsövet (Uenaka et al., 1998; Ignjatovic et al., 2002), és a protoporfirin szintézis helye pedig a madárméh hámszöve.

A különböző törzsek eltérő affinitással rendelkeznek az egyes szervek sejtjeihez: bizonyos törzsek inkább az ivarszervekben, mások inkább a vese szövetben szaporodnak, de a vese szöveti tropizmust mutató törzsek is okozhatják világosabb színű tojások termelését (Chousalkar et al., 2009). Kísérleti fertőzéssel azt is kimutatták, hogy az IBV képes megfertőzni a petevezető bármely szakaszát és a különböző IBV törzsek eltérő affinitást mutatnak az egyes tojócső szakaszokhoz, ezáltal meghatározva a károsodás lokalizációját és mértékét (Chousalkar et al., 2007).

A petevezető morfológiai állapota konzisztens az adott állat által megtermelt tojás minőségével és a tubuláris mirigyek alulfejlettsége összefüggésbe hozható a rossz minőségű tojások termelésével napos kori IBV fertőzés esetén (Crinion, 1972).

Az IBV vírusfertőzés esetén megfigyelhető csökkent takarmány, és vízfogyasztás, valamint a vírus szaporodás által okozott lokális és szisztémás károsító hatások együttesen vezetnek petefészkek sorvadáshoz és a megtermelt tojások mennyiségi és minőségi romlásához. A csökkent takarmány- és vízfogyasztás önmagában is képes regresszív elváltozásokat okozni a tojótyúkok ivarszerveiben és csökkenteni a termelési mutatókat, de ezen szervi változások gyorsan helyreállhatnak a megfelelő takarmányozási körülmények újbóli fennállása esetén (Sevoian és Levine 1957).

Az ivarszervek mikroszkópos vizsgálata azt bizonyítja, hogy a takarmánymegvonás miatti stressz okozta regresszív elváltozás a petevezető méretének arányos csökkenéséhez vezet, ezért az epithel sejtek formájában nem figyelhető meg változás és a csillók száma és mérete sem károsodik. Ezzel szemben egy IBV vírusfertőzés során az egyes tojócső szakaszok aránytalanul károsodnak: a magnum, isthmus és uterus epithel rétegeinek a magassága csökken, a sejtek alakja megváltozik, a csillók károsodnak, vagy helyenként teljesen eltűnnek és a tubuláris mirigyek kitágulnak, ezek pedig egy súlyosabb fokú és tartósabb regresszióhoz vezetnek (Sevoian és Levine, 1957).



Chousalkar et al. (2007) ehhez hasonló eredményeket publikált kísérleti IBV fertőzést követően: egyes egyedekben atrofizálódott petevezető, gyulladásos sejtek infiltrációja és a tubuláris mirigyek tágulata volt megfigyelhető és ezen állatok tojástermelése leállt. A többi fertőzött állatban csupán a tojáshéjak kifakulása volt tapasztalható, megtartott termelési mutatók mellett.

Crinion (1972) nem talált szignifikáns különbséget a napos korban IBV vírussal fertőzött és kontroll csoport között *Haugh egységben*, tojástömegben, sűrűségben, vagy héjvastagságban, mégis a fertőzött csoport tojásainak a Haugh egység eredményeiben tízszeres variációt tapasztalt. A tojástermeléshez szükséges anyagok tehát megfelelő mennyiségben jutnak el a petevezetőbe, viszont azok beépülése nem tud megfelelő módon megvalósulni a vírusreplikáció okozta sejtkárosodás következtében. Azon állatok, amelyek a kísérlet során kizárólag méshéj nélküli tojásokat termeltek, feltehetően a naposkori IBV fertőzés következtében kialakuló, maradandó petevezető károsodást szenvedtek el.

Az IBV fertőzések okozta tojáshéjszín fakulás összefüggésben áll a PP IX csökkent szintézisével és/vagy tojáshéjba történő csökkent lerakódásával, mivel a vírusfertőzés hatására kialakult, világosabb színű tojáshéjakból mindig alacsonyabb mennyiségű PP IX mérhető egységnyi tömegű tojáshéjra nézve (Samiullah et al., 2016a).

Élő attenuált VicS strain IBV vírussal való tízszeres dózisu fertőzés esetén is tapasztalhatunk tojáshéjszín fakulást és formaváltozást, azonban a vizsgált törzs nem okozott tojástermelés csökkenést és petevezető károsodást, és a hatása kifejezettebb volt azon egyedekben, melyek jérce korban nem immunizálódtak a fertőző bronchitis vírusával szemben (Chousalkar et al., 2009). Más vizsgálatok szerint a tojástermelés alatti rendszeres, 8 hetente történő permetezéssel vakcinázás VicS strain IBV vakcinával szignifikánsan csökkentette az Isa barna típusú tojóhibridek termelését a kontroll csoporthoz képest (Sulaiman és Roberts, 2011).

Az IBV-t taglaló szakkönyvek javarészt a betegség tojástermelés csökkentő hatását, vékony héjú, héj nélküli, vagy durva felszínű és fakó tojások megjelenését taglalják, és említést tesznek a klasszikus „bronchitis tojás” megjelenésről, ami ráncos és hullámos felszínű (Cook et al., 2012; Cavanagh és Gelb, 2008).

A különböző törzseket vizsgáló kutatások ellentétes, vagy részben ellentétes eredményei szintén bizonyítják azt a megfigyelést, miszerint különböző törzsek eltérő kórélettani elváltozásokat tudnak kialakítani házityúkban. Ezen felül az egyes tyúkfajták IBV vírussal szembeni érzékenységének is meghatározó szerepe lehet a tojócsőben kialakuló károsodás mértékében, ugyanis fehér leghorn típusú fajtában súlyosabb elváltozásokat írtak le, mint barna Isa fajtában (Chousalkar et al., 2009).

Az említett vizsgálatok tehát eltérő és néhol ellentmondó eredményeket mutattak be az egyes IBV törzsek által okozott fertőzések során tapasztalt termelési és tojásmínőségi mutatók tekintetében házityúkban, azonban a tojás depigmentáltságát okozó közvetlen és közvetett szignifikáns hatás számos szerző által került bizonyításra. A vírus által okozott, tojócsövet érintő csökkent pigment termelés és/vagy beépítés pontos mechanizmusa nem teljesen tisztázott, de összefüggésben lehet a vírusreplikáció hatására kimutatható csökkent mitokondrium számmal az uterusban (Khan et al., 2019). A baromfipestist (ND) okozó paramyxovírus tojástermelésre és tojáshéjminőségre gyakorolt kártételét a tojótyúkok a vérszérum kalcium és foszfor koncentrációjával ellenőrizték Igwe et al. (2018). A fertőzött csoportok tojástermelése szignifikánsan csökkent, még a vakcinázott csoporté is, ezzel együtt a foszfor koncentráció a vérszérumban szintén. A baromfipestissel fertőzött tojótyúkok tojástermelése pozitívan erősen korrelált a szérum foszforszint csökkenésével. A nem



vakcinázott, befertőzött csoportokban volt jelentős a hófehér (hipózott) tojások megjelenése, és emelkedett a magas arányú puha héjú és törött tojások aránya.

Baromfipestis ellen vakcinázott és vakcinázatlan állatok kísérleti fertőzését végezte el Igwe et al. (2018) és a vizsgálatok során azt tapasztalták, hogy a vakcinázatlan állatok esetén jelentős mértékű romlás volt látható a tojástermelésben és a tojáshéjak színében, valamint minőségében is. A kórszövettani elváltozások a látott tünetekkel összhangban álltak: a petevezető súlyos fokú gyulladással elváltozása, szövetelhalás, atrófia és a csillók teljes pusztulása, melyek leginkább az uterust érintették.

Ezzel szemben a vakcinázott és vvNDV vírussal fertőzött állatok esetén nem volt megfigyelhető szín- és minőségváltozás és a termelés csökkenése is enyhébb fokú volt, de fontos észben tartani, hogy még vakcinázott állományokban is jelentkezhethet tojástermelés kiesés egy vadvírus fertőzés esetén. Baromfipestis elleni vakcinavírussal történő kísérleti fertőzés során is csak enyhébb elváltozásokat tapasztalhatunk: petevezető ödéma, valamint limfocitózis és plazmasejtes beszűrődése (Biswal és Morril, 1954; Bwala et al., 2012).

Az említett megfigyelések alapján tehát az IBV-hez hasonlóan a baromfipestis esetén is figyelembe kell venni az egyes vírustörzsek patogenitását a vakcinázási program kialakításakor, és kiemelt figyelmet kell szentelni a járványvédelmi szabályok betartásának is. A vakcinázás, habár megvédi az állatokat a vvND által okozott klinikai tünetek többségének megjelenésétől, mint például a tojáshéjszín kifakulása és a héjminőség romlása, de a tojástermelés csökkenése nem ritka jelenség egy vadvírus fertőzés során (Alexander és Senne, 2016).

A baromfipestis által okozott depigmentációnak és héjminőség romlásnak a pontos mechanizmusa még nem ismert, de feltételezhetően összefüggésben áll a vírus szaporodás során látott kórszövettani elváltozásokkal (Li et al., 2016) (mint ahogy azt a bronchitis vírus esetén is láthattuk), valamint a vérben mért foszfor koncentráció csökkenésével. Li et al. (2016) azt is kimutatták, hogy egy erősen patogén NDV fertőzés esetén az uterus *CaBP-D28k* mRNS expressziója szignifikánsan alacsonyabb, mint a kontroll csoporté, ez pedig összefüggésben áll a tojáshéj minőségével és kalcium koncentrációjával. Li et al. (2017) ugyanezen gén (*CaBP-D28k*) csökkent expresszióját mutatták ki kísérleti madárinfluenza fertőzés során, ami összeköthető a csökkent tojástermeléssel és a tojáshéjminőség romlásával.

Kanárikkal végzett, kísérleti úton előállított vérszegénység esetén negatív összefüggést találtak a plazma és az ürülék protoporfirin-koncentrációi között a tojásrakás során és a tojáshéj barna színe között. Ez az eredmény arra utal, hogy megnövekedett a protoporfirin termelése a májban, amely megemelkedhetett a plazma és az ürülék protoporfirin koncentrációiban, és gátolhatta a tojáshéj protoporfirin pigmentációját, valószínűleg az enzimaktivitások befolyásolása révén. Ez alapján feltételezték, hogy a pigment de novo termelődik a kanári héjmirigyében, de a keringő pigment szintek befolyásolhatják a héjmirigyek pigment szintézisét, így összekapcsolva a tojó fiziológiai állapotát a tojáshéj színével (Hargitai et al., 2017).

Han et al. (2021) szintén kutatták a máj szerepét a tojáshéj barna színének kialakulásában. Kísérletükben összehasonlító transzkriptomikai analízist végeztek idős, Hy-Line brown tojótyúkok májában, ahol a barna tojáshéj színe eltérő volt, és megállapították, hogy a sötétebb héjú (színlegyezőn 14,8) tojást tojó tyúkok májában számos, immunválaszhoz és vírusellenes hatáshoz kapcsolódó gén expressziója magasabb volt, mint a világosabb színű (színlegyezőn 9,7) tojást tojó társaikéban.

A héj pigmentációjának gyors csökkenése gyakori bizonyos gyógyszerek, például a szulfonamid kezelést követően. A tyúkoknak napi 5 mg-os dózisban adott nicarbazin kokcidiosztatikum 24 órán



belül halványabb színű tojások termelését eredményezi. Nagyobb dózisok a tojáshéj kutikula teljes depigmentációjához vezethetnek (Butcher és Miles, 2018).

Tojótyúkoknál és szülőpárállományoknál a vírusos eredetű anémiai mellett gondolnunk kell a külső-belső paraziták okozta anémiára is, ami szintén okozhatja a tojások színének változását (madártetű atka, kokcidiózis).

1.4 Gépi látórendszerek és képfeldolgozó algoritmus használata

Az automatizált, gépi látórendszerek (Machine Vision System, MVS) forradalmasították szinte az összes iparágat. A nagy teljesítményű számítási erőforrások és a számítógépes látástechnikák, például a tárgyfelismerés és a képszegmentálás 2000-es években bekövetkezett fejlődésével, valamint a mély neurális hálózatok 2010-es években történő megjelenésével a látásalapú rendszerek teljesítménye jelentősen megnőtt (Ghazal et al., 2024).

A gépi látórendszereket a környezetből származó vizuális információk feldolgozására és értelmezésére, míg a mesterséges intelligencia (MI) technológiákat a gépi tanulási algoritmusokkal együtt a minták felismerésére és a cselekvések, események előrejelzésére alkalmazzák. Ezek az intelligens rendszerek az időbeli tanulás által javítják a teljesítményüket.

A mezőgazdaságban használt képalkotó technológiák lehetővé teszik a növények valós idejű vizsgálatát és monitorozását a jobb egészségi állapotfelmérés, a hozambecslés és a talajviszonyok meghatározása érdekében, ami jobb minőségű terményhez és fejlettebb tervezéshez vezet (Ghazal et al., 2024).

A tojások külső – belső hibáinak és a tojáshéj repedéseinek vizsgálatára egyre szélesebb körben használt módszer olyan gépi látórendszer, amely világítási rendszert és szoftveralgoritmusokat integrál az emberi ellenőrzés alternatívájaként.

So et al. (2022) összegezték a hibás tojások kimutatásához eddig üzemi és kísérleti körülmények között alkalmazott módszereket (gépi látás, spektroszkópia, akusztikai válasz, módosított nyomás, hiperspektrális képalkotás) és algoritmusokat.

A képalkotást használó rendszerekben az intenzív fény áthatol az ép és a belső hibás (vérfolt, húsfolt) tojásokon. Nasiri et al. (2020) szintén az átvilágított tojások képét használták és szennyezettséggel kombinált, véres és törött (törött, repedt vagy lyuk a tojáshéjon) tojások alapján tanították a mélytanulás modellt, amivel átlagosan 94,84-es teljes pontosságot értek el ötszörös keresztvalidáció használatával.

Az ép tojások képeinek színe jellemzően sárga, míg a hibás tojások képein a vérfoltok piros színben jelennek meg (Dehrouyeh et al., 2010). Bár Dehrouyeh et al. (2010) különböző megvilágítású tojásokról készült képeket használtak az algoritmushoz, az RGB (piros, zöld, kék) színes képeket szürkeárnyaltos (színárnyalat, telítettség, világosság) képekké alakították. A továbbiakban színárnyalat-hisztogramot használtak a vérfoltok kimutatására, és a hisztogram két végének maximális értékeit választották ki a hibadetektálás kritériumaként.

Yang et al. (2023) munkájuk során egyedi képeket készítettek a fehér héjú tojásokról és egy kétlépcsős modellt fejlesztettek ki *valós idejű többfeladatos detektálás* (real-time multitask detection, RTMDet) és véletlen erdő (Random Forest) alapján a tojás kategóriájának és tömegének előrejelzésére. A modell *konvolúciós neurális hálózatot* (CNN) használt és regressziós technikákat a tojások együttes osztályozására és tömegmérésére.

Az osztályozás során nagyon jól működött a modell a véres tojások esetében, mivel a fehér tojáshéjon megjelenő vörös foltok miatt, a *CNN modell* képes volt jellemzőtérképek (feature map) kinyerésére. Az RTMDet-et használták a tojások osztályozáshoz szükséges jellemzőinek rendezésére



és kinyerésére, a kinyert jellemzők (tojás hosszúság és szélesség) alapján pedig egy *Random Forest algoritmust* használtak a tojástömeg előrejelzésére.

Annak ellenére, hogy Milovanovic et al. (2021) megállapították, hogy a gépi látási rendszerekkel a különböző baromfiafajoktól származó tojások színe pontosabb mérhető, mint a *Minolta színmérővel*, a módszer még nem került bevezetésre üzemi körülmények között.

A következő lépés annak vizsgálata, hogy a jelenleg gépilátáson alapuló tojásosztályozási rendszerek, módosított algoritmust használva, alkalmasak-e a tojáshéjszín meghatározására. Ez lehetőséget adna arra, hogy a már egyéb funkcióra elkészített képeket (szennyezettség, törött tojás) a tojáshéjszín bemeneteként alkalmazzuk.

Bár Yang et al. (2023) által választott megoldások megfeleltek a kitűzött célnak (legjobb osztályozási pontosság 94,80 % és 96,0 % volt az R^2 regressziós modell esetében), a tojáshéjszín modellhez a növénytermesztésben, a színeltérésen alapuló módszereket felhasználva, további lehetőségek nyílnak a modell kidolgozásra.

Vrochidou et al. (2021) a szőlő érettségének fokát ellenőrző, gépi látáson alapuló modellben a színiskálákat három érettségi fokozathoz – érett, éretlen és túlrett – képhisztogramokhoz rendelték. Majd támogató *vektoros regresszor* (Support Vector Regressor, SVR) módszert alkalmaztak a szőlő érettségének alakulását követő színiskálák létrehozására. Következő lépésként adatbányászati algoritmusokat használtak a színjellemzők kinyerésére az RGB színanalízisű képek mérési tartományának (ROI) standard és átlagos eltéréseiből. A modell teljesítményét a négyzetes középértékből kapták meg K-szoros keresztvalidáció segítségével.

A spenótnál alkalmazott modell (Haider et al., 2021) más megközelítés, de tojáshéjszínre átültetve is izgalmas eredményt hozhat. A spenót esetében a képet úgy készítették, hogy a levelet egy speciálisan tervezett táblára helyezték, amely az adott növény referencia zöld és sárga színeit tartalmazza. A javasolt algoritmus automatikusan kinyeri a levelet a képből, és kiszámítja a színbeli hasonlóságot a referencia színekkel. Majd ebből az elemzésből definiálnak egy zöld színérték (GCV) indexet, amely nitrogénindikátorként szolgál. Munkájuk során különböző színtávolság-modellek értékelését is elvégezték, hogy megtalálják azt a modellt, amely képes pontosan rögzíteni a színkülönbségeket.

A tojáshéjszín esetében, a kép *RGB színanalízisében* a vörösség lehet fontos, mivel a sötétebb barna tojáshéjban magasabb az a^* (pirosság) tényező (Samiullah és Roberts, 2013; Lukanov et al., 2015).

Az ebben a fejezetben leírt, a gépilátáson alapuló, a tojásválogatásra és a növénytermesztésben alkalmazott eljárásokból javasolt elindulni egy olyan *Machine Learning modell* megalkotásához, ami alkalmas a tojáshéjszín meghatározására és az ezen alapuló monitoring rendszer kidolgozására.

2. KÖVETKEZTETÉSEK

A tojáshéj színe fajra, fajtára, hibridre jellemző, attól függően, hogy protoporfirin vagy biliverdin épül be a tojáshéj külső rétegébe. A kutikulába beépült színanyagok és a kutikula felszínének simasága is hozzájárul ahhoz, hogy milyen színűnek látjuk a tojást. Ennek megfelelően, minden fajnak, fajtának, hibridnek más a tojáshéj színe, ami egészséges állapotban, optimális körülmények esetén jellemző rá. Ezt tekinthetjük szín-alapvonalnak, amit viszonyítási értéként szolgálhat a színeltérések megállapításához.

A gépi látás használatával sokkal pontosabban érzékelhetőek a színeltérések, ezért az azonos állományoktól származó tojásoknál a színek varianciájában is meg lehet határozni egy tűréshatárt, hogy a tényleges, állományszintű eltéréseket detektáljuk.



A szín-alapvonalától való eltérést okozhatják normális élettani folyamatok is, mint például az állomány termelésben eltöltött ideje továbbá, hogy a tojást melyik napszakban tojta a tyúk (reggeli órákban lerakott tojások sötétebb színárnyalatúak). Ezt a gépi látás bevezetésekor is figyelembe kell venni és korcsoportonként újra meghatározni a szín alapvonalat és rögzíteni kell a napszakot, amikor a tojáshéjszín mérése történik.

A szín-alapvonalától való eltérést egyrészt okozhatják a tojáshéj és kutikula normális képződését megzavaró folyamatok, pl. tojásvisszatartás (stressz), az uterus megváltozott pH-ja (hőstressz), takarmányozási hibák (kokcidiosztatikum átszennyeződés, a héj képződéséhez szükséges mikro- és makroelemek, vitaminok hiánya), illetve a kalcium és foszfor anyagcserét befolyásoló egyéb tényezők (pl. egyes antibiotikumok, vírusos betegségek), másrészt okozhatja a tojáshéj képződésben részt vevő szervek, szövetek károsodásai, pl. fertőző betegségek következtében.

A gépi látást már alkalmazzák különböző típusú tojásválogatógépek a szennyezett és törött tojások kiválogatására. Az ott alkalmazott módszerek tojáshéjszínre adaptálása non-invazív monitoring eszközt kínál az ágazat számára. A gépi látással gyűjtött adatok felhasználhatók gépi tanulási modellek betanítására, ami a tendenciák alapján előre jelzi a termelés szempontjából kedvezőtlen trendeket. Ezáltal a helyesbítő tevékenység mielőbb eszközölhető, mivel a túlzott színvesztés egy bizonyos pont fölött már romló tojáshéj minőséggel is járhat, az időben kapott figyelmeztetéssel a tojáštörésből adódó gazdasági kár mérsékelhető vagy megelőzhető.



Eggshell Colour as a Monitoring Tool

ÁGNES TÍMEA TORMA^{1*}, TAMÁS NAGY², KATALIN KOVÁCSNÉ GAÁL³

¹Intervet Hungária Ltd., MSD Animal Health, Budapest, Hungary

²Gyermelyi Ltd., Gyermely, Hungary

³Albert Kázmér Faculty of Agricultural and Food Sciences of Széchenyi István University
Department of Animal Science, Mosonmagyaróvár, Hungary

ABSTRACT

Eggs, as a vital animal protein, are of great importance in human nutrition. In addition, the quality of eggs (composition, shape, colour, shell quality, etc.) plays a decisive role in their use as food, as well as in their processability, storage, hatchability, vaccine production, and more. These properties are influenced by the components of the egg, both together and separately. Consumer preferences for eggshell colour vary, with some buyers favouring white eggs and others opting for brown-shelled ones. However, beyond just the colour of the commercial eggs, the impact of colour on eggshell quality may be even more significant. Protoporphyrin and biliverdin result in a huge variety of bird egg colours. Different breeding directions have resulted in different eggshell colours in hybrids. The pigmentation of brown-shelled eggs is more pronounced in broiler breeder parent flock than in brown-egg-type layer flocks, but the deviation from the eggshell colour characteristic of the hybrid can serve as an indicator of the health status of the birds, feeding and production-related parameters. By collecting eggshell colour data, the trend of different eggshell colour changes can be recognized in time, and corrective steps can be taken to prevent deterioration to a level that can lead to the appearance of more fragile eggs. Machine vision is already used in the quality classification of eggs, however, the analysis of eggshell colour is not yet part of the process. Using machine vision, colour differences can be detected much more accurately, therefore, a tolerance limit can be defined in the colour variance of eggs from the same flocks to detect actual, flock-level differences. In this literature review, we studied the influencing role of eggshell colour with the aim of demonstrating that changes in eggshell colour have an impact on other eggshell quality indicators, which can influence shell strength and, through this, commercial egg quality or hatchability of breeding eggs. Therefore, with the introduction of machine vision techniques and machine learning, this can be a practical tool for the sector.

Keywords: eggshell, shell colour, shell colour measurement, influencing factors, machine vision



IRODALOMJEGYZÉK

- Alexander D. J. & D. A. Senne, D. A. (2016). Newcastle Disease. In Saif, Y. M.; Fadly, A. M., Ames, *Diseases of poultry* (12th ed.). Iowa: Blackwell Pub.
- Bakken, G. S., Vanderbilt, V. C., Buttemer, W. A., Dawson, W. R. (1978) Avian eggs: thermoregulatory value of very high near-infrared reflectanc. *Science*, 200,321-323.
- Baylan, M., Celik, L. B., Akpinar, G. C., Alasahan, S., Kucukgul, A., & Dogan, S. C. (2017). Influence of eggshell colour on egg yolk antibody level, incubation results, and growth in broiler breeders. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 46, 105-112. <https://doi.org/10.1590/S1806-92902017000200004>
- Biswal, G., & Morrill, C. C. (1954). The pathology of the reproductive tract of laying pullets affected with Newcastle disease. *Poultry Science*, 33(5), 880-897. <https://doi.org/10.3382/ps.0330880>
- Bogenfürst, F. (2020). *A keltetés kézikönyve*. Forum, Budapest.
- van de Braak, T. (2023). *Eggshell color Eggsplained*. Hendrix Genetics. <https://layinghens.hendrix-genetics.com/en/articles/eggshell-color-eggsplained>
- Butcher, G. D. & Miles, R.D. (2018). Factors Causing Poor Pigmentation of Brown-Shelled Eggs. *IFAS Extension*, VM94. <https://edis.ifas.ufl.edu/publication/VM047>
- Bwala, D. G., Clift, S., Duncan, N. M., Bisschop, S. P., & Oludayo, F. F. (2012). Determination of the distribution of lentogenic vaccine and virulent Newcastle disease virus antigen in the oviduct of SPF and commercial hen using immunohistochemistry. *Research in Veterinary Science*, 93(1), 520-528. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2011.06.023>
- Cavanagh, D. & Gelb, J. (2008). Infectious bronchitis. In Saif, Y. M., Fadly, A. M., Glisson, J. R., McDougald, L. R., Nolan, L. K. & Swayne, D. E. (Eds), *Diseases of poultry* (pp. 117-133). Ames, Iowa Blackwell, USA.
- Commission International de L'Eclairage (CIE) *Colorimetry* (3rd ed.), CIE 015:2004. CIE Publications.
- Chousalkar, K. K., Roberts, J.R., & Reece, R. (2007). Comparative Histopathology of Two Serotypes of Infectious Bronchitis Virus (T and N1/88) In Laying Hens and Cockerels. *Poultry Science*, 86(1), 50-58. <https://doi.org/10.1093/ps/86.1.50>
- Chousalkar, K. K., Cheetham, B. F., & Roberts, J. R. (2009). Effects of infectious bronchitis virus vaccine on the oviduct of hens. *Vaccine*, 27(10), 1485–1489. <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2009.01.012>
- Conder, L. H., Woodard, S. I., & Dailey, H. A. (1991). Multiple mechanisms for the regulation of haem synthesis during erythroid cell differentiation. Possible role for coproporphyrinogen oxidase. *The Biochemical Journal*, 275(2), 321-326. <https://doi.org/10.1042/bj2750321>
- Cook, J. K., Jackwood, M., & Jones, R. C. (2012). The long view: 40 years of infectious bronchitis research. *Avian Pathology*, 41(3), 239-250. <https://doi.org/10.1080/03079457.2012.680432>
- Crinion, R. A. P. (1972). Egg quality and production following infectious bronchitis virus exposure at one day old. *Poultry Science*, 51(2), 582-585. <https://doi.org/10.3382/ps.0510582>
- Dehrouyeh, M. H., Omid, M., Ahmadi, H., Mohtasebi, S. S., & Jamzad, M. (2010). Grading and quality inspection of defected eggs using machine vision. *International Journal of Advanced Science and Technology*, 17, 23-30.
- Drabik, K., Karwowska, M., Wengerska, K., Próchniak, T., Adamczuk, A., & Batkowska, J. (2021). The Variability of Quality Traits of Table Eggs and Eggshell Mineral Composition Depending on Hens' Breed and Eggshell Color. *Animals*, 11(5), 1204. <https://doi.org/10.3390/ani11051204>
- Fletcher, D. L., Britton, W. M., Rahn, A. P., & Savage, S. I. (1981). The influence of layer flock age on egg component yields and solids content. *Poultry Science* 60(5), 983-987. <https://doi.org/10.3382/ps.0600983>



- Ghazal, S., Munir, A., & Qureshi, W. S. (2024). Computer vision in smart agriculture and precision farming: Techniques and applications. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 13, 64-83. <https://doi.org/10.1016/j.aiia.2024.06.004>
- Gosler, A. G., Connor, O. R., & Bonser, R. H. C. (2011). Protoporphyrin and Eggshell Strength: Preliminary Findings from a Passerine Bird. *Avian Biology Research*, 4(4), 214-223. <https://doi.org/10.3184/175815511X13207833399666>
- Grover, R. M., Anderson, D. L., & Damon, R. A. (1980). The Correlation Between Egg Shell Color and Specific Gravity as a Measure of Shell Strength, *Poultry Science*, 59, 1335-1336. <https://doi.org/10.3382/ps.0591335>
- Haider, T., Farid, M. S., Mahmood, R., Ilyas, A., Khan, M. H., Haider, S. T.-A., Chaudhry, M. H., & Gul, M. (2021). A computer-vision-based approach for nitrogen content estimation in plant leaves. *Agriculture*, 11(8), 766. <https://doi.org/10.3390/agriculture11080766>
- Han, G., Kim, J., Kang, H., & Kil, D. (2021). Transcriptomic analysis of the liver in aged laying hens with different intensity of brown eggshell color. *Animal Bioscience*, 34(5), 811-823. <https://doi.org/10.5713/ajas.20.0237>
- Hargitai, R., Boross, N., Hámori, S., Neuberger, E., & Nyiri, Z. (2017). Eggshell Biliverdin and Protoporphyrin Pigments in a Songbird: Are They Derived from Erythrocytes, Blood Plasma, or the Shell Gland? *Physiological and Biochemical Zoology*, 90(6), 613-626. <https://doi.org/10.1086/694297>
- Hughes, B. O., Gilbert, A. B., & Brown, M. F. (1986). Categorisation and causes of abnormal egg shells: relationship with stress. *British Poultry Science*, 27(2), 325-337. <https://doi.org/10.1080/00071668608416885>
- Hy-Line International (2018). *Optimizing Egg Size in Commercial Layers*. Hy-Line International, Technical update. <https://www.hyline.com/Upload/Resources/TU%20EGG%20ENG.pdf>
- Ignjatovic, J., Ashton, D. F., Reece, R., Scott, P., & Hooper, P. (2002). Pathogenicity of Australian Strains of Avian Infectious Bronchitis Virus. *Journal of Comparative Pathology*, 126(2-3), 115-123. <https://doi.org/10.1053/jcpa.2001.0528>
- Igwe, A. O., Ihedioha, J. I., & Okoye, J. O. A. (2018). Changes in serum calcium and phosphorus levels and their relationship to egg production in laying hens infected with velogenic Newcastle disease virus. *Journal of Applied Animal Research*, 46(1), 523-528. <https://doi.org/10.1080/09712119.2017.1352506>
- Ishikawa, S., Suzuki, K., Fukuda, E., Arihara, K., Yamamoto, Y., Mukai, T., & Itoh, M. (2010). Photodynamic antimicrobial activity of avian eggshell pigments. *FEBS Letters*, 584(4), 770-774. <https://doi.org/10.1016/j.febslet.2009.12.041>
- Jones, D. R., Musgrove, M. T., Anderson, K. E., & Thesmar, H. S. (2010). Physical quality and composition of retail shell eggs. *Poultry science*, 89(3), 582-587. <https://doi.org/10.3382/ps.2009-00315>
- Joseph, N. S., Robinson, N. A., Renema, R. A., & Robinson, F. E. (1999). Shell quality and color variation in broiler breeder eggs, *J. Appl. Poultry Res.*, 8, 70-74. <https://doi.org/10.1093/japr/8.1.70>
- Kennedy, G. Y., & Vevers, H. G. (1976). A survey of avian eggshell pigments. *Comparative biochemistry and physiology. B, Comparative biochemistry*, 55(1), 117-123. [https://doi.org/10.1016/0305-0491\(76\)90183-8](https://doi.org/10.1016/0305-0491(76)90183-8)
- Khan, S., Roberts, J., & Wu, S. B. (2019). Genes involved in mitochondrial biogenesis and function may not show synchronised responses to mitochondria in shell gland of laying chickens under infectious bronchitis virus challenge. *BMC Molecular and Cell Biology*, 20, 1-13. <https://doi.org/10.1186/s12860-019-0190-7>



- Konrád, Sz. (2008). *Sárga magyar tyúk anyai vonalra alapozott termékelőállítás lehetőségei*. [Doktori (PhD) értekezés, Nyugat-magyarországi Egyetem]. Újhelyi Imre Doktori Iskola, Mosonmagyaróvár.
- Lang, M. R., & Wells, J. W. (1987). A review of eggshell pigmentation. *World's Poultry Science Journal*, 43, 238-246. <https://doi.org/10.1079/WPS19870016>
- Li, G., Chen, S., Duan, Z., Qu, L., Xu, G., & Yang, N. (2013). Comparison of protoporphyrin IX content and related gene expression in the tissues of chickens laying brown-shelled eggs. *Poultry Science*, 92(12), 3120-3124. <https://doi.org/10.3382/ps.2013-03484>
- Li, R., Guo, K., Liu, C., Wang, J., Tan, D., Han, X., & Wang, J. (2016). Strong inflammatory responses and apoptosis in the oviducts of egg-laying hens caused by genotype VIIId Newcastle disease virus. *BMC Veterinary Research*, 12, 1-12. <https://doi.org/10.1186/s12917-016-0886-2>
- Li, R., Qi, X., Han, X., Liu, C., Wang, J., Wang, R., & Huang, J. (2017). Deterioration of eggshell quality is related to calbindin in laying hens infected with velogenic genotype VIIId Newcastle disease virus. *Theriogenology*, 91, 62-68. <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2016.12.030>
- Li, Q., Ren J., Wang K., Zheng J., Xu G., Ge C., Yang N., & Sun C. (2020). The effect of breed and age on the gloss of chicken eggshells. *Poultry Science*, 99(5), 2494-2499. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.01.010>
- Lukanov, H., Genchev, A., & Pavlov, A. (2015). Colour traits of chicken eggs with different eggshell pigmentation. *Trakia Journal of Sciences*, 13(2), 149-158. <https://doi.org/10.15547/tjs.2015.02.007>
- Martínez-de la Puente, J., Merino, S., Moreno, J., Tomás, G., Morales, J., Lobato, E., García-Fraile, S., & Martínez, J. (2007). Are eggshell spottiness and colour indicators of health and condition in blue tits *Cyanistes caeruleus*? *Journal of Avian Biology*, 38(3), 377-384. <https://doi.org/10.1111/j.0908-8857.2007.03877.x>
- Mertens, K., De Ketelaere, B., Kamers, B., Bamelis, F. R., Kemps, B. J., Verhoelst, E. M., De Baerdemaeker, J. G., & Decuyper, E. M. (2005). Dirt Detection on Brown Eggs by Means of Color Computer Vision. *Poultry Science*, 84(10), 1653-1659. <https://doi.org/10.1093/ps/84.10.1653>
- Mertens, K., Vaesen, I., Loffel, J., Kemps, B., Kamers, B., Perianu, C., Zoons, J., Darius, P., Decuyper, E., De Baerdemaeker, J., & De Ketelaere, B. (2010). The transmission color value: A novel egg quality measure for recording shell color used for monitoring the stress and health status of a brown layer flock. *Poultry Science*, 89(3), 609-617. <https://doi.org/10.3382/ps.2009-00261>
- Miksik, I., Holáň, V., & Deyl, Z. (1996). Avian eggshell pigments and their variability. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 113(3), 607-612. [https://doi.org/10.1016/0305-0491\(95\)02073-X](https://doi.org/10.1016/0305-0491(95)02073-X)
- Miksik, I., Eckhardt, A., Sedlakova, P., & Mikulikova K. (2007). Proteins of insoluble matrix of avian (*Gallus gallus*) eggshell. *Connective Tissue Research*, 48(1), 1-8. <https://doi.org/10.1080/03008200601003116>
- Milovanovic, B., Tomovic, V., & Djekic, I. (2021). Color assessment of the eggs using computer vision system and Minolta colorimeter. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15, 5097-5112. <https://doi.org/10.1007/s11694-021-01085-4>
- Minelli, G., Sirri, F., Folegatti, E., Meluzzi, A., & Franchini, A. (2007). Egg quality traits of laying hens reared in organic and conventional systems. *Italian Journal of Animal Science*, 6(sup1), 728-730. <https://doi.org/10.4081/ijas.2007.1s.728>



- Nasiri, A, Omid, M, & Taheri-Garavand, A. (2020) An automatic sorting system for unwashed eggs using deep learning. *Journal of Food Engineering*, 283, 110036. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110036>
- Nys, Y., & Guyot, N. (2011). Egg formation and chemistry. In Y. Nys, M. Bain, & F. Van Immerseel (Eds.), *Improving the Safety and Quality of Eggs and Egg Products* (pp. 83-132). Woodhead Publishing, Cambridge, UK. <https://doi.org/10.1533/9780857093912.2.83>
- Odabasi, A. Z., Miles, R. D., Balaban, M. O., & Portier K. M. (2007). Changes in Brown Eggshell Color As the Hen Ages. *Poultry Science*, 86, 356-363. <https://doi.org/10.1093/ps/86.2.356>
- Saif, Y. M. (Ed.) (2008). *Diseases of poultry* (12th ed.). Blackwell Publishing.
- Samiullah, S. & Roberts, J. R. (2013). The location of protoporphyrin in the eggshell of brown-shelled eggs, *Poultry Science*, 92, 2783-2788. <http://dx.doi.org/10.3382/ps.2013-03051>
- Samiullah, S., Roberts, J. R., & Chousalkar, K. (2016a). Infectious bronchitis virus and brown shell colour: Australian strains of infectious bronchitis virus affect brown eggshell colour in commercial laying hens differently. *Avian Pathology*, 45(5), 552-555. <http://dx.doi.org/10.1080/03079457.2016.1184744>
- Samiullah, S., Roberts, J., & Chousalkar, K. (2016b). Oviposition time, flock age, and egg position in clutch in relation to brown eggshell color in laying hens. *Poultry Science*, 95(9), 2052-2057. <https://doi.org/10.3382/ps/pew197>
- Sekeroglu, A. & Duman, M. (2009). Effect of Egg Shell Colour of Broiler Parent Stocks on Hatching Results, Chickens Performance, Carcass Characteristics, Internal Organ Weights and Some Stress Indicators. *Kafkas Universitesi Veteriner Fakultesi Dergisi*, 17(5), 837-842. <https://doi.org/10.9775/kvfd.2011.4630>
- Sell, J. L., Angel, C. R., & Escibano, F. (1987). Influence of supplemental fat on weights of eggs and yolks during early egg production. *Poultry science*, 66(11), 1807-1812. <https://doi.org/10.3382/ps.0661807>
- Sevoian, M., & Levine, P. P. (1957). Effects of infectious bronchitis on the reproductive tracts, egg production, and egg quality of laying chickens. *Avian Diseases*, 1(2), 136-164. <https://doi.org/10.2307/1587727>
- Sezer, M., & Tekelioğlu, O. (2009). Quantification of Japanese Quail Eggshell Colour by Image Analysis. *Biological Research* 42(1), 99-105. <https://doi.org/10.4067/S0716-97602009000100010>
- Simons, P. (2017): *Egg Signals*. Roodbont Publishers B.V.
- So, J-H., Joe, S. Y., Hwang, S. Y., Hong, S. J., & Lee, S. H. (2022). Current advances in detection of abnormal egg: a review. *Journal of Animal Science and Technology*, 64,5, 813-829. <https://doi.org/10.5187/jast.2022.e56>
- Sokołowicz, Z., Krawczyk, J., & Dykiel, M. (2018). Effect of Alternative Housing System and Hen Genotype on Egg Quality Characteristics. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 30(8), 695-703. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2018.v30.i8.1753>
- Solomon, S. E. (1997). *Egg and eggshell quality*. Iowa State University Press, London.
- Stoddard, M. C. & Stevens, M. (2011). Avian vision and the evolution of egg color mimicry in the common cuckoo. *Evolution*, 65, 2004-2013. <https://doi.org/10.1111/j.1558-5646.2011.01262.x>
- Stoddard, M. C., & Prum, R. O., (2011). How colorful are birds? Evolution of the avian plumage color gamut. *Behavioural Ecology* 22(5), 1042-1052. <https://doi.org/10.1093/beheco/arr088>
- Sulaiman, A., & Roberts, J. R. (2011). Infectious bronchitis vaccination protocols for laying hens. *Media Peternakan*, 34(3), 159-159. <https://doi.org/10.5398/medpet.2011.34.3.159>



- Sütő, Z. (2013). A tojás. In Pupos, T., Sütő, Z., & Szöllősi, L. (Eds.): *Versenyképes tojástermelés* (pp. 77-93). Szaktudás Kiadó Ház, Budapest.
- Uenaka, T., Kishimoto, I., Uemura, T., Ito, T., Umemura, T., & Otsuki, K. (1998). Cloacal inoculation with the Connecticut strain of avian infectious bronchitis virus: an attempt to produce nephropathogenic virus by in vivo passage using cloacal inoculation. *The Journal of veterinary medical science*, 60(4), 495-502. <https://doi.org/10.1292/jvms.60.495>
- Vrochidou, E., Bazinas, C., Manios, M., Papakostas, G. A., Pachidis, T. P., & Kaburlasos, V. G. (2021). Machine Vision for Ripeness Estimation in Viticulture Automation. *Horticulturae*, 7(9), 282. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7090282>
- Walker, A. W. (1998). Egg shell colour is affected by laying cage design. *British Poultry Science*, 39(5), 696-699. <https://doi.org/10.1080/00071669888593>
- Wei, R., & Bitgood, J. J. (1990). A new objective measurement of eggshell color. 1. A test for potential usefulness of two color measuring devices. *Poultry Science*, 69(10), 1775-1780. <https://doi.org/10.3382/ps.0691775>
- Wiemann, J., Yang, T., Sander, P. N., Schneider, M., Engeser, M., Kath-Schorr, S., Müller, C. E., Sander, P. M. (2017). Dinosaur origin of egg color: oviraptors laid blue-green eggs. *PeerJ*, 5:e3706. <https://doi.org/10.7717/peerj.3706>
- Yang, X., Bist, R. B., Subedi, S., & Chai, L. (2023). A Computer Vision-Based Automatic System for Egg Grading and Defect Detection. *Animals*, 13(14), 2354. <https://doi.org/10.3390/ani13142354>
- Yuan, S., Cheng, Q., Guo, J., Li, Z., Yang, J., Wang, C., Liang, Z., Zhang, X., Yu, H., Li, Y., Huang, S., & Wen, F. (2022). Detection and genetic characterization of novel infectious bronchitis viruses from recent outbreaks in broiler and layer chicken flocks in southern China, 2021. *Poultry Science*, 101(10), 102082. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.102082>
- Zeng, L., Xu, G., Jiang, C., Li, J., & Jiangxia Zheng, J. (2022). Research Note: L*a*b* color space for prediction of eggshell pigment content in differently colored eggs. *Poultry Science*, 101(8), 101942. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2022.101942>
- Zheng, C., Li, Z., Yang, N., & Ning, Z. (2014). Quantitative expression of candidate genes affecting eggshell color. *Animal Science Journal*, 85(5), 506-510. <https://doi.org/10.1111/asj.12182>
- Zsédely, E., Szalai, K., Takács, G., Lencsés-Varga, E., Szabó-Sárvári, L. Cs., & Tempfli, K. (2023). Yield Performance, Laying Behaviour Traits and Egg Quality of a Crossbred Laying Hen in Alternative Housing Systems. *Chemical Engineering Transactions*, 107, 121-126. <https://doi.org/10.3303/CET23107021>

©Copyright 2025 by the Authors.

The journal is Open Access (Platinum). This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

