

Wpływ czynników żywieniowych na jakość skorupy jaja

Sylwester Świątkiewicz, Jerzy Koreleski

*Zakład Żywienia Zwierząt, Instytut Zootechniki w Balicach
Aleksandrowice, 32-083 Balice*

Słowa kluczowe: jakość skorupy jaja, wapń, fosfor, witamina D₃,
witamina C, mikroelementy

Wprowadzenie

Skorupa, stanowiąca 8–9% masy świeżego jaja, oprócz roli strukturotwórczej, jest barierą ochronną zabezpieczającą wnętrze jaja przed drobnoustrojami. Kontroluje wymianę gazową oraz stanowi źródło wapnia dla rozwijającego się w czasie inkubacji zarodka.

Jakość skorupy jaja, rozumiana jako jej wytrzymałość na pęknięcie, jest jednym z ważniejszych zagadnień w produkcji drobiarskiej. Szacuje się, że stłuczenia i mikro-pęknięcia skorup mogą występować w 8–10% produkowanych jaj, spożywczych i wylęgowych, co w skali ogólnoswiatowej powoduje każdego roku znaczące straty. Brak mikrouszkodzeń skorupy warunkuje dobrą ochronę treści jaja przed zakażeniami bakteryjnymi (np. salmonellą). Aspekt ten nabiera obecnie szczególnego znaczenia ze względu na występujące w Europie tendencje do odchodzenia od klatkowego systemu utrzymania kur nieśnych na rzecz ekologicznego chowu na ściółce, gdzie jaja mają zdecydowanie większy kontakt z odchodami.

Istotnym problemem dotyczącym jakości skorup jest wyraźne obniżanie się ich wytrzymałości wraz z wiekiem kur. Proces ten jest szczególnie widoczny po 50 tygodniu nieśności, kiedy następuje znaczne pocienienie skorupy. W związku z tym pod koniec cyklu nieśnego stłuczki mogą stanowić nawet 20% zniesionych jaj. Pogorszeniu jakości skorupy towarzyszą często objawy osteoporozy u kur.

W niniejszym opracowaniu, obok krótkiego scharakteryzowania budowy i procesu formowania się skorupy jaja, omówiono czynniki żywieniowe mogące oddziaływać na poprawę jakości skorup, a tym samym na obniżenie strat wynikających z ich uszkodzeń.

Budowa i formowanie się skorupy

Związki mineralne stanowią około 90% masy całej skorupy. Podstawowym elementem jest wapń, którego zawartość wynosi w przybliżeniu 2,2 g (98% składników mineralnych skorupy), podczas gdy fosforu jest tylko 20 mg (0,9%). Oprócz tego występują tam również niewielkie ilości magnezu, potasu i sodu oraz śladowo niektóre mikroelementy (Zn, Cu, Fe, Mn).

W strukturze skorupy można wyróżnić następujące warstwy (rozpoczynając od strony wewnętrznej):

- Wewnętrzną i zewnętrzną błonę podskorupową. Obydwie błony przylegają ściśle do siebie na całej powierzchni, z wyjątkiem tępego końca jaja, gdzie są oddzielone, tworząc komorę powietrzną. Stanowią około 4% masy skorupy, są nieskalcyfikowane, a w ich skład wchodzi związki białkowe – głównie kolagen (93%), lipidy (3%), węglowodany (2%) i popiół surowy (2%).
- Skorupę właściwą składającą się z warstwy brodawkowej (mamilarnej) i warstwy gąbczastej (palisadowej). Warstwa brodawkowa jest utworzona przez półkoliste skupiska węglanu wapnia (brodawki), które są osadzone na zewnętrznej błonie podskorupowej. Pomiędzy brodawkami znajduje się organiczny rdzeń w postaci włókienek białkowych. Warstwa gąbczasta jest niemal czystym węglanem wapnia z niewielką ilością podłoża organicznego. Przylegające do siebie kryształki CaCO_3 są tutaj ułożone prostopadle do powierzchni, tworząc główne rusztowanie skorupy, decydujące o jej cechach wytrzymałościowych.
- Nabłonek (kutykula). Ta najbardziej zewnętrzna warstwa otacza całą powierzchnię skorupy, chroniąc ją przed wysuszeniem i działaniem drobnoustrojów. Składa się głównie z białek (86%), a w dalszej kolejności z lipidów (4%), polisacharydów (3%) i śladowych ilości składników mineralnych.

Pierwszy etap formowania się skorupy, rozpoczynający się około 3,5 godziny po owulacji, zachodzi w cieśni jajowodu (*isthmus*). Obejmuje on tworzenie się błon podskorupowych, a czas jego trwania wynosi 1,5 godziny. Najpierw poprzez odkładanie delikatnej siateczki włókien keratynowych powstaje cienka błona wewnętrzna. Podczas przesuwania się jaja przez cieśń tworzy się grubsza, zewnętrzna błona podskorupowa, będąca podłożem, na którym nastąpi kalcyfikacja skorupy właściwej.

Jajo otoczone błonami podskorupowymi przechodzi do połączenia cieśniowo-macicznego, w którym rozpoczyna się odkładanie kryształków węglanu wapnia w specyficznych punktach błony podskorupowej zewnętrznej. W ten sposób formują się brodawki warstwy mamilarnej skorupy.

Warstwa gąbczasta skorupy, decydująca o jej wytrzymałości i grubości, tworzy się już w całości po przejściu jaja do części macicznej jajowodu (*uterus*). Następuje tutaj bardzo szybkie odkładanie CaCO_3 (około $0,3\text{--}0,35\text{ g} \cdot \text{h}^{-1}$), a o jego intensywności świadczy fakt, że jest to najszybszy spośród znanych procesów mineralizacji [31]. Cały proces kalcyfikacji skorupy trwa od około 10 do 20–22 godzin po owulacji i koń-

czy się na 2–4 godziny przed zniesieniem jaja. Przy stosowaniu typowego programu świetlnego (14 godz. światła i 10 godz. ciemności) owulacja następuje najczęściej po 2–4 godz. od włączenia światła, tak więc tworzenie się skorupy zachodzi głównie w nocy, już po wyłączeniu światła [30].

W czasie formowania się skorupy następuje znaczny spadek stężenia wapnia w osoczu krwi – z około $20\text{--}25 \text{ mg} \cdot 100 \text{ ml}^{-1}$ (wartość normalna) do $12\text{--}14 \text{ mg} \cdot 100 \text{ ml}^{-1}$ (od 10 do 20 godz. po owulacji). W wypadku jonów fosforowych obserwuje się odwrotną zależność.

Podczas trwania kalcyfikacji część maciczna jajowodu wydziela specyficzny płyn, będący źródłem składników niezbędnych dla prawidłowego uwapnienia skorupy. Oprócz wapnia i jonów węglanowych zawiera on kilka rodzajów białek, wchodzących w skład zrębu organicznego skorupy. Zalicza się do nich: proteiny części białkowej jaja (lizozym, owotransferyna, owoalbumina), osteopontyny (białka typowe dla struktury kości) oraz proteiny występujące wyłącznie w płynie macicznym, specyficzne dla procesu kalcyfikacji skorupy, tj. owokleidyna 17 i 116 oraz awokaliksyna 32 [31]. Przypuszcza się, że wymienione białka, poprzez oddziaływanie na wielkość, kształt i ułożenie kryształków węglanu wapnia, wpływają na strukturę krystalograficzną skorupy.

Żywienie kur nieśnych a jakość skorupy jaja

Czynniki związane z żywieniem niosek, obok uwarunkowań genetycznych, środowiskowych (np. temperatura otoczenia), wieku ptaków oraz warunków produkcyjno-technologicznych (wyposażenie kurnika, sposób segregacji, transportu i pakowania jaj), mają duży wpływ na parametry jakościowe skorupy jaja.

Makroelementy

Wapń. Opisane powyżej mechanizmy kalcyfikacji świadczą o znacznym stopniu złożoności tego procesu i występującym przy tym ogromnym obciążeniu organizmu kury związanym przede wszystkim z wydatkowaniem wapnia. Z tego powodu prawidłowe zbilansowanie dawki w Ca jest podstawowym warunkiem uzyskania jaj charakteryzujących się skorupą dobrej jakości.

Poziom Ca. Po osiągnięciu dojrzałości płciowej, na krótko przed zniesieniem pierwszego jaja, pod wpływem estrogenów i androgenów, zachodzi wytworzenie wtórnej tkanki kostnej (tzw. kości szpikowych) w jamie szpikowej kości długich. W kościach szpikowych zostaje zmagazynowane 4–5 g Ca, tak więc stanowią one rezerwę wapnia, którą organizm może uruchomić w czasie kalcyfikacji skorupy. Dla prawidłowego uformowania się kości szpikowych należy, w okresie 2–3 tygodni przed rozpoczęciem nieśności, podnieść poziom Ca w dawce do około 2,5%.

W okresie nieśności organizm kury wydatkuje codziennie około 2,0–2,2 g wapnia na kalcyfikację skorupy. Biorąc pod uwagę stopień wchłaniania tego pierwiastka (50–60%), należy zapewnić ptakowi pobranie z paszą co najmniej 4 g Ca na dzień. Zbyt niska zawartość wapnia w mieszance paszowej (poniżej 3%) prowadzić może do obniżenia nieśności, pogorszenia jakości skorupy, a nawet do wzrostu liczby upadków [16]. Obserwowano, że podniesienie udziału Ca w paszy z 2,5 do 3,5% wpływało wyraźnie na polepszenie wytrzymałości skorupy bez wpływu na nieśność [24]. Dalsze zwiększanie zawartości wapnia w paszy nie jest wskazane, gdyż nie polepsza jakości skorupy [16, 23]. Jedynie w badaniach Ousterhouta [33] obserwowano nieco większą masę i gęstość skorupy oraz ciężar właściwy jaj po zwiększeniu zawartości Ca dawce z 3,75 do 4,75% – za najkorzystniejszy w pierwszych miesiącach nieśności uznając niższy udział Ca (3,75%), a następnie podniesienie go do 4,75%.

Przy stosowaniu w żywieniu niosek pasz zawierających powyżej 10% tłuszczu, o dużym udziale nasyconych kwasów tłuszczowych, mogą tworzyć się w układzie pokarmowym nierozpuszczalne mydła wapniowe [30]. Następstwem tego procesu jest obniżenie wchłaniania Ca, a w konsekwencji – wzrost zapotrzebowania ptaków na ten pierwiastek.

Forma Ca. Najpoważniejszym problemem w gospodarce wapniem w organizmie kur nieśnych jest fakt, że proces kalcyfikacji skorupy jaja w gruczole macicznym zachodzi w godzinach nocnych, podczas gdy ptak pobiera paszę i Ca w dzień. Z tego powodu, w celu dostarczenia odpowiedniej ilości Ca do macicy, musi zachodzić uwalnianie wapnia z kości szpikowych. W kościach stosunek Ca do P jest wąski i wynosi 2 : 1, co jest niezgodne z zapotrzebowaniem organizmu w okresie nieśności i zawartością obydwóch pierwiastków w paszy (stosunek Ca do P całkowitego powinien być zbliżony do 7 : 1). Oznacza to, że uruchomienie zasobów z kości powoduje, oprócz uwolnienia potrzebnych ilości wapnia, również uwolnienie nadmiernych ilości fosforu, przewyższających potrzeby organizmu. Nadmiar P we krwi przeszkadza w kalcyfikacji skorupy i stanowi dodatkowe metaboliczne obciążenie organizmu. Część fosforu niewykorzystana w metabolizmie jest wydalana do środowiska, przyczyniając się do jego zanieczyszczenia.

Z powodu dużej wielkości cząsteczek – węglan wapnia dodany do paszy w postaci żwirku wapniowego lub rozdrobnionych muszli ostryg jest, w odróżnieniu od miazgi zmielonej kredy, wolniej rozpuszczany przez soki trawienne, a przez to okres jego wchłaniania znacznie się wydłuża. W okresach przerwy w pobieraniu paszy zalegające w przewodzie pokarmowym (głównie w żołądku mięśniowym) cząsteczki węglanu wapnia stanowią dobre źródło Ca do kalcyfikacji skorupy i ograniczają potrzebę uruchamiania tego makroelementu z kości. Wynikający z tego korzystny wpływ stosowania dużych cząsteczek CaCO_3 na jakość skorup i stan zdrowotny kończyn dolnych ptaków został wielokrotnie potwierdzony doświadczalnie [14, 15, 23]. Jest to szczególnie widoczne w końcowym okresie cyklu nieśności, w gorącym klimacie, jak również przy stosowaniu niezbyt wysokiego poziomu Ca w dawce [31].

Przyjmuje się, że dla dłuższego zatrzymania węglanu wapnia w żołądku mięśniowym jego cząsteczki muszą mieć wymiary większe niż 0,8 mm [36]. Powinny być przy tym na tyle duże, żeby część z nich pozostawała w mielcu przez dłuższy czas, a jednocześnie na tyle miękkie i o tak dużej powierzchni, by soki żołądkowe rozpuszczały je z prędkością umożliwiającą wchłonięcie do krwiobiegu co najmniej $75 \text{ mg Ca} \cdot \text{h}^{-1}$ [43]. Jako generalną zasadę można przyjąć stosowanie CaCO_3 w postaci grubych cząsteczek w ilości do 2/3 całego węglanu wapnia, przy czym powinny to być cząsteczki o wymiarach nieprzekraczających około 4 mm. Stosowanie większych cząsteczek nie jest wskazane, gdyż ze względu na niską rozpuszczalność są one słabo przyswajalne i zostają w większości wydalone [31].

Fosfor. Zbyt wysoki udział (powyżej 0,35–0,40%) fosforu dostępnego (niefitynowego) w paszy dla niosek ma negatywny wpływ na jakość skorupy jaj. Efekt ten jest szczególnie widoczny przy stosowaniu mieszanek charakteryzujących się niską zawartością wapnia, gdyż łatwo wówczas o nadmierne zawężenie stosunku Ca do P całkowitego (powinien on wynosić około 7 : 1).

Normy Żywienia Drobiu [29] zalecają, aby zawartość P przyswajalnego w dawkach dla kur nieśnych typu lekkiego wynosiła 0,36–0,37%, w zależności od tempa nieśności. W świetle wielu opublikowanych w ostatnich latach prac badawczych, poziom ten wydaje się zbyt wysoki. W licznych doświadczeniach obniżenie zawartości P dostępnego do 0,3% [12, 46], a nawet do 0,2% [23, 49] lub 0,15% [8] nie wpłynęło na wyniki produkcyjne i jakość skorupy jaj. Bez pogorszenia tych parametrów stosowano także fazowe żywienie kur nieśnych – w okresie 30–42, 43–54 i 55–66 tygodnia życia udział P dostępnego wynosił odpowiednio: 0,25; 0,20 i 0,15% [21].

Zmniejszenie ilości fosforanów paszowych dodawanych do dawek dla drobiu oraz innych zwierząt gospodarskich stanowi ważne zagadnienie z punktu widzenia ochrony środowiska, gdyż wydalany z odchodami fosfor jest dużym obciążeniem dla gleby i wód powierzchniowych. Doświadczalnie wykazano, że użycie fitazy pozwala na zmniejszenie zawartości fosforu w mieszankach paszowych dla kur nieśnych [18]. Enzym ten, poprzez hydrolizę związków fitynowych występujących w paszy do nieorganicznych fitynianów i inozytolu, poprawia wykorzystanie P fitynowego, który w normalnych warunkach jest dla drobiu mało dostępny. Stwierdzono, że po wprowadzeniu do mieszanki 300 jednostek aktywności na 1 kg (lub więcej) fitazy; 0,1% udział P dostępnego w paszy jest wystarczający do uzyskania normalnych wskaźników produkcyjnych i skorupy jaj dobrej jakości [8].

W doświadczeniu własnym [47], w żywieniu kur nieśnych, zastosowano niedoborową mieszankę paszową, w której zmniejszono (w stosunku do dawki o normatywnej zawartości składników pokarmowych) zawartość fosforu dostępnego o $1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$. Oprócz tego obniżono ilość także innych składników: wapnia (o $1 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$), białka ogólnego ($3,4 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$), lizyny ($132 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), metioniny ($90 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), metioniny z cystyną ($90 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), treoniny ($130 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) oraz energii metabolicznej ($0,05 \text{ MJ EM} \cdot \text{kg}^{-1}$). Jednocześnie do mieszanki doświadczalnej dodano fitazę pocho-

dzenia mikrobiologicznego w ilości $400 \text{ FTU} \cdot \text{kg}^{-1}$. Uzyskane wyniki (tab. 1) wskazują, że dodatek enzymu fitolitycznego do paszy dla kur nieśnych pozwala na obniżenie udziału fosforu i innych składników pokarmowych bez pogorszenia jakości skorupy jaja, jak również wskaźników produkcyjnych i cech wytrzymałościowych kości piszczelowych i udowych.

Tabela 1. Wpływ dodatku enzymu fitolitycznego do niedoborowej mieszanki paszowej dla kur nieśnych na jakość skorupy jaja, wyniki produkcyjne oraz cechy wytrzymałościowe kości piszczelowych i udowych

Wyszczególnienie	Grupa kontrolna (dawka o normalnej zawartości składników pokarmowych)	Grupa doświadczalna (dawka o obniżonej zawartości składników pokarmowych)
Nieśność [%]	95,4 a	96,9 a
Zużycie paszy na 1 kg jaj [kg]	1,90 a	1,93 a
Zużycie paszy na 1 jajo [g]	127 a	126 a
Gęstość skorupy [$\text{mg} \cdot \text{cm}^{-2}$]	79,9 a	82,9 b
Grubość skorupy [μ]	371 a	391 b
Wytrzymałość skorupy na zgniatanie [N]	42,7 a	43,3 a
Wytrzymałość kości piszczelowych na złamanie [N]	199,3 a	216,8 a
Wytrzymałość kości udowych na złamanie [N]	202,2 a	197,3 a

a, b – wartości w wierszach oznaczone różnymi literami różnią się istotnie ($P \leq 0,05$).

Magnez. Mg bierze udział w metabolizmie wapnia, gdyż spełnia rolę kofaktora parathormonu, który stymuluje reabsorpcję Ca z kości. U niosek żywionych dawkami syntetycznymi – deficytowymi w magnez (poniżej 0,021%) – obserwowano zdecydowane obniżenie wydajności nieśnej i grubości skorupy [50].

W normalnych warunkach mieszanki dla kur nieśnych zawierają około 0,16% Mg, co przekracza 4-krotnie zapotrzebowanie kur nieśnych (0,04%) – tak więc nie stosuje się uzupełniania diet w ten makroelement. Doświadczalnie wykazano, że zwiększenie zawartości magnezu w mieszance paszowej nawet do 0,77% nie oddziałuje na jakość skorupy [2].

Sód i chlor. Stosowanie diet deficytowych w Na i Cl (odpowiednio poniżej 0,1 i 0,14%) pogarszało parametry produkcyjne i jakość skorupy jaj u niosek [40]. Nadmiar chloru w dawce (0,75%) negatywnie oddziaływał na grubość skorupy [3]. Balnave i Zhang [5] stwierdzili natomiast, że wysoki poziom NaCl w wodzie pitnej ($2 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$) wyraźnie pogarsza jakość skorup.

Witaminy

Witamina D₃. Witamina D₃ (cholekalcyferol), ze względu na ważną rolę w gospodarce wapniowej organizmu, jest czynnikiem mogącym pośrednio wpływać na jakość skorup. U drobiu utrzymanego w warunkach fermowych, bez bezpośredniego oddziaływania ultrakrótkiego promieniowania słonecznego, odpowiednie uzupełnienie paszy w witaminę D₃ ma podstawowe znaczenie. Dla zapewnienia normalnej produkcyjności, minimalne zapotrzebowanie niosek na tę witaminę wynosi 300–400 j.m. · kg⁻¹ paszy. W praktyce są jednak stosowane większe ilości, np. zalecana w Normach Żywienia Drobiu [29] zawartość tej witaminy w paszy dla kur nieśnych wynosi 1600–2000 j.m. · kg⁻¹. W Europie, w obawie przed nadmiernym odłożeniem w jajach i mięsie, za górną granicę poziomu cholekalcyferolu w mieszankach paszowych dla niosek przyjęto 3000 j.m. · kg⁻¹.

Witamina D₃ stymuluje wchłanianie wapnia w jelitach, biorąc udział w tworzeniu specyficznego przenośnika o charakterze białkowym CaBP (Calcium Binding Protein), który zapewnia transport jonów Ca²⁺⁺ i utrzymuje normalny poziom tego makroelementu we krwi. Ponadto, poprzez regulację działania parathormonu, współdziała w uwalnianiu wapnia z kości.

Witamina D₃, aby spełnić swoje zadania w metabolizmie wapnia, musi zostać przekształcona do formy hormonalnej, biologicznie czynnej – 1,25-(OH)₂D₃. Proces ten zachodzi w dwóch etapach: 1 – powstanie w wątrobie monohydroksy-cholekalcyferolu [25-(OH)D₃] poprzez przyłączenie grupy hydroksylowej w pozycji 25. Poziom 25-(OH)D₃ we krwi może być dobrym wskaźnikiem zaopatrzenia organizmu w witaminę D₃ [44]; 2 – powstanie w mitochondriach komórek nerkowych dwuhydroksy-cholekalcyferolu [1,25-(OH)₂D₃] poprzez dołączenie drugiej grupy hydroksylowej w pozycji 1. W powstawaniu aktywnej formy witaminy D₃ uczestniczy steroidowa hydroksylaza cytochromowa nerki, której aktywność jest stymulowana przez parathormon.

Objawy awitaminozy witaminy D₃ są podobne jak w wypadku niedoboru wapnia – następuje obniżenie wydajności nieśnej, pogorszenie jakości skorupy oraz odwapnienie kości.

U drobiu, w określonych stanach fizjologicznych oraz w wypadku niewydolności wątroby i nerki, proces uaktywniania witaminy D₃ może zachodzić w niewystarczającym stopniu lub ulegać zahamowaniu. U kur nieśnych, zwłaszcza starszych, poprzez zachwianie gospodarki wapniowej organizmu mogą występować objawy osłabienia kończyn i pogorszenie cech wytrzymałościowych skorupy. Samo zwiększenie ilości witaminy D₃ w paszy nie likwiduje tych problemów, natomiast zastąpienie cholekalcyferolu przez 25-(OH)D₃ pozwala na zwiększenie twardości [10] oraz grubości skorupy [6]. U niosek dobrze zaopatrzonych w witaminę D₃ wprowadzenie 1,25-(OH)₂D₃ polepszało odporność kości piszczelowej na złamanie [13, 27]. Wyniki dotyczące skuteczności dodatku aktywnych form witaminy D₃, nie są jednak jedno-

znaczne, gdyż w niektórych badaniach nie stwierdzono ich korzystnego wpływu na jakość skorupy i cechy fizyczno-chemiczne kości [37].

Witamina C. Kwas askorbinowy odgrywa ważną rolę w procesie powstawania skorupy jaja. Będąc czynnikiem redukującym dla enzymu hydroksylazy lizylowej, bierze udział w syntezie kolagenu, ważnego elementu błon podskorupowych. Jednocześnie jest niezbędny w metabolizmie witaminy D₃ (a więc pośrednio i wapnia), poprzez swój udział w zachodzącym w nerkach procesie hydroksylacji 25-(OH)D₃ do 1,25-(OH)₂D₃ [20].

W normalnych warunkach ptaki mają zdolność do syntezy w nerkach witaminy C w ilościach pokrywających zapotrzebowanie organizmu. Jednakże oddziaływanie różnego rodzaju czynników stresogennych (pochodzenia środowiskowego, żywieniowego czy patogenego) powodować może wzrost zapotrzebowania na kwas askorbinowy. Potrzebne jest wówczas uzupełnianie dawek w egzogenne źródła tej witaminy. Najczęstszym przypadkiem tego rodzaju jest stres termiczny, tj. oddziaływanie na kury temperatury przekraczającej 30°C. Następuje wtedy wzrost ciepłoty ciała, pocienienie skorupy jaja oraz zwiększenie liczby jaj zdeformowanych i stłuczek. Wykazano, że dodatek kwasu askorbinowego w warunkach stresu cieplnego polepsza jakość jaj [28]. W niektórych doświadczeniach odnotowano korzystne oddziaływanie witaminy C na parametry jakościowe skorupy również w normalnych warunkach temperaturowych [32], chociaż inni badacze nie obserwowali takiego efektu. Dla przykładu Keshavarz [20], stosując zróżnicowany dodatek witaminy C (od 125 do 1000 ppm), nie stwierdził jego wpływu na parametry jakościowe skorupy i mineralizację kości.

Mikroelementy

Istnieją przesłanki, że dla prawidłowego przebiegu procesu kalcyfikacji skorupy niezbędne są mangan, cynk i miedź. Mikroelementy te są aktywatorami enzymów – syntetazy mukopolisacharydowej (Mn), oksydazy lizylowej (Cu) i anhidrazy węglanowej (Zn). Dwa pierwsze z tych enzymów biorą udział w formowaniu organicznego zrębu skorupy oraz błon podskorupowych, natomiast anhidraza węglanowa dostarcza jonów dwuwęglanowych niezbędnych w procesie kalcyfikacji. Odgrywa ona również ważną rolę w zachowaniu równowagi kwasowo-zasadowej w organizmie.

Komponenty wchodzące w skład typowej mieszanki paszowej dla kur nieśnych (bez dodatkowych źródeł składników mineralnych) dostarczają około 30 mg · kg⁻¹ Zn, 20 mg · kg⁻¹ Mn i 6 mg · kg⁻¹ Cu [31], co w wypadku Zn i Mn jest znacznie poniżej wartości zalecanych w Normach Żywienia Drobiu [29]. W praktyce uzupełnia się zatem mieszanki paszowe wszystkimi wyżej wymienionymi mikroelementami, a także Fe, Co, I i Se.

Liczba badań dotycząca wpływu pierwiastków śladowych na jakość skorupy jest ograniczona, a ich wyniki nie są jednoznaczne. Abdallah i in. [1] stwierdzili, że wyco-

fanie z pełnoporcjowej mieszanki paszowej nieorganicznych źródeł Zn, Mn i Cu nie wpływało na wyniki produkcyjne (nieśność, pobranie i wykorzystanie paszy) oraz ciężar właściwy jaj, natomiast obniżało masę skorupy. Udowodniono przy tym, że efekt ten był spowodowany niedoborem manganu. Potwierdzeniem tego są doświadczenia, w których obserwowano korzystne oddziaływanie dodatku Mn do paszy na grubość skorupy [42]. W innych badaniach podwyższenie ilości wprowadzanego Mn z 25 do 75 mg · kg⁻¹ nie dało natomiast żadnego rezultatu [41]. Inal i in. [17] podają, że zapotrzebowanie organizmu niosek na Mn dla uzyskania optymalnej jakości skorupy wynosi 50–100 mg · kg⁻¹ i jest znacznie większe niż dla osiągnięcia maksymalnej produktywności, dla której wystarczy 25 mg · kg⁻¹.

Kang i in. [19] stwierdzili, że istnieje wysoka, dodatnia korelacja pomiędzy aktywnością anhydryzy węglanowej (aktywatorem jest cynk) w gruczole skorupowym i cechami jakościowymi skorupy jaja. Stosowanie dawek o niskiej zawartości Zn (15–35 mg · kg⁻¹) nie pogarszało wskaźników produkcyjnych u kur i jakości skorupy [1, 45]. Balnave i Zhang [5] wykazali jednak, że użycie wysokiego dodatku Zn (100 mg · kg⁻¹) polepszało parametry skorupy – redukując negatywne skutki podwyższonego poziomu NaCl w wodzie pitnej.

Doświadczalnie wprowadzono również inne pierwiastki do diet dla kur nieśnych: bor – w ilości 100 mg · kg⁻¹ [35], wanad – 20 mg · kg⁻¹ [48] i fluor – 6–20 mg · dm⁻³ [11], nie stwierdzając jednak ich wpływu na cechy skorupy. Wykazano natomiast, że dodatek takich metali ciężkich jak nikiel (100–500 mg · kg⁻¹), chrom (500–2000 mg · kg⁻¹) oraz ołów (20–100 mg · kg⁻¹) zmniejszał masę skorupy [26].

Organiczne formy mikroelementów. Wyniki niektórych badań wskazują, że organiczne połączenie Zn, Mn i innych mikroelementów (biopleksy) są lepiej wykorzystywane przez organizm niż ich nieorganiczne odpowiedniki [34]. Biopleksy są to kompleksy metali z takimi organicznymi związkami, jak białka, aminokwasy, węglowodany i niektóre połączenia syntetyczne. Mechanizm korzystnego oddziaływania tych związków polega, między innymi, na ochronie mikroelementów przed tworzeniem nieprzyswajalnych kompleksów z kwasem fitynowym czy też niektórymi frakcjami włókna pokarmowego. Biorąc pod uwagę podwyższoną przyswajalność biopleksów, przypuszcza się, że ich stosowanie może wpłynąć na ograniczenie wydalania pierwiastków śladowych do środowiska.

Badania nad wykorzystaniem biopleksów cynku i manganu w żywieniu drobiu dawały często pozytywne rezultaty. Większość wyników pochodzi jednak z doświadczeń na kurczętach brojlerach, natomiast badań na kurach nieśnych jest niewiele. Sanford [39] wykazał korzystny efekt dodatku do paszy białczanu cynku na masę skorupy jaja. Bunesowa [9] stwierdziła, że jednoczesne, częściowe zastąpienie w dawce (w 50%) nieorganicznych źródeł Zn i Mn przez biokompleksy tych mikroelementów wyraźnie zwiększa wytrzymałość skorupy na stłuczenie. Obserwowano również zmniejszenie ilości stłuczek oraz jaj z uszkodzonymi skorupami po wprowadzeniu do paszy dla niosek (od 57 tygodnia życia) chelatu Zn, Mn, Fe, Cu, I i Co [7]. Mabe i in.

[25] nie stwierdzili natomiast różnic w parametrach fizycznych skorup (wytrzymałość na zgniatanie, moduł elastyczności, sztywność) u niosek żywionych paszami z dodatkiem nieorganicznego lub organicznego źródła Zn, Mn oraz Cu.

Inne

Syntetyczne zeolity (glinokrzemiany sodu). Związki te są minerałami zawierającymi około 13% Na, 15% Al i 18,6% Si. Zainteresowanie nimi jako dodatkiem paszowym dla kur nieśnych jest związane z ich właściwością tworzenia kompleksów z wapniem oraz z potencjalną zdolnością do poprawy jakości skorupy jaj [30]. Ich pozytywny wpływ na cechy skorupy był obserwowany zwłaszcza przy niskim poziomie Ca w paszy [38] oraz przy wysokiej temperaturze otoczenia [22].

Kwaśny węglan sodu (NaHCO_3). W warunkach podwyższonej temperatury otoczenia (powyżej 30°C) następuje u ptaków znaczne przyspieszenie oddychania (wzrastające nawet do kilkuset oddechów na minutę). Taka hiperwentylacja może prowadzić do obniżenia poziomu dwutlenku węgla i podwyższenia pH krwi (zasadowica oddechowa). Dla utrzymania prawidłowego pH krwi następuje wówczas w nerkach zwiększone wydalanie jonów wodorowęglanowych. Spadek zawartości we krwi jonów HCO_3^- , które są niezbędne dla prawidłowego przebiegu procesu kalcyfikacji, oddziałuje z kolei na pogorszenie jakości skorupy. Zjawisko to jest często obserwowane w klimacie gorącym. Podanie kwaśnego węglanu sodu (jako źródła jonów wodorowęglanowych) nioskom utrzymywanym w wysokiej temperaturze otoczenia poprawiało cechy jakościowe skorupy [4].

Podsumowanie

Odpowiednia podaż wapnia w paszy jest niewątpliwie najważniejszym czynnikiem żywieniowym wpływającym na jakość skorupy jaja. Duże znaczenie ma nie tylko zawartość Ca w mieszance paszowej, ale także forma, w jakiej jest podany (wielkość cząsteczek). Przedstawiony przegląd literatury wykazuje również, że optymalizacja takich składników paszy, jak fosfor, witaminy (D_3 , C) oraz mikroelementy (Mn, Zn, Cu), jest niezbędna dla uzyskania skorup jaj charakteryzujących się dobrą jakością.

Literatura

- [1] Abdallah A.G., Harms R.H., Wilson H.R., El-Hyssein O. 1994. Effect of removing trace minerals from the diet of hens laying eggs with heavy or light shell weight. *Poult. Sci.* 73: 295–301.
- [2] Atteh J.O., Leeson S. 1983. Influence of increasing dietary calcium and magnesium levels on performance, mineral metabolism and egg mineral content of laying hen. *Poult. Sci.* 62: 1261–1268.

- [3] Austic R.E. 1984. Excess dietary chloride depresses egg shell quality. *Poult. Sci.* 63: 1773–1777.
- [4] Balnave D., Muheereza S.K. 1997. Improving eggshell quality at high temperatures with dietary sodium bicarbonate. *Poult. Sci.* 76: 588–593.
- [5] Balnave D., Zhang D. 1993. Response of laying hens on saline drinking water to dietary supplementation with various Zn compounds. *Poult. Sci.* 72: 603–609.
- [6] Bar A., Striem S., Rosenberg J., Hurwitz S. 1988. Egg shell quality and cholecalciferol metabolism in aged laying hens. *J. Nutr.* 118: 1018–1023.
- [7] Baroli D., Pignattelli P., Lancioni F., Cavalchini L.G. 1997. Effects of chelated trace-elements with aminoacids on eggshell quality in commercial laying hens. Proceedings, 11th Eur. Symp. Poult. Nutr. Faaborg, Denmark, August 24–28. 441–443.
- [8] Boiling S.D., Douglas M.W., Johnson M.L., Wang X., Parson C.M., Koelkebeck K.W., Zimmerman R.A. 2000. The effect of dietary available phosphorus levels and phytase on the performance of young and older laying hens. *Poult. Sci.* 78: 224–230.
- [9] Bunesova A. 1999. Chelated trace minerals (Zn, Mn) in nutrition of hens. *Zeszyty Naukowe PTZ, Chów i hodowla drobiu* 45: 309–317.
- [10] Charles O.W., Duke S., Reddy B. 1978. Further studies on the response of laying hens to 25-hydroxycholecalciferol. *Poult. Sci.* 57: 1095–1099.
- [11] Coetze C.B., Casey N.H., Meyer J.A. 1997. Fluoride tolerance of laying hens. *Brit. Poult. Sci.* 38: 597–602.
- [12] Frost T.J., Roland D.A. Sr. 1991. The influence of various calcium and phosphorus levels on tibia strength and eggshell quality of pullets during peak production. *Poult. Sci.* 70: 963–969.
- [13] Frost T.J., Roland D.A., Untawale G.G. 1990. Influence of vitamin D₃, 1 alpha-hydroxyvitamin D₃ and 1,25-dihydroxyvitamin D₃ on egg shell quality, tibia strength, and various production parameters in commercial laying hens. *Poult. Sci.* 69: 2008–2016.
- [14] Gornowicz E. 1999. Źródło wapnia w mieszance a jakość skorupy jaj. *Zeszyty Naukowe PTZ, Chów i hodowla drobiu* 45: 527–528.
- [15] Guinotte F., Nys Y. 1991. Effects of particle size and origin of calcium sources on egg shell quality and bone mineralization in egg laying hens. *Poult. Sci.* 70: 583–592.
- [16] Hartel H. 1990. Evaluation of the dietary interaction of calcium and phosphorus in the high producing laying hens. *Brit. Poult. Sci.* 31: 473–494.
- [17] Inal F., Coskun B., Gulsen N., Kurtoglu V. 2001. The effects of withdrawal of vitamin and trace mineral supplements from layer diets on egg yield and trace mineral composition. *Brit. Poult. Sci.* 42: 77–80.
- [18] Kamińska B. Z., Skraba B., Koreleski J. 1996. Effect of dietary phosphorus level and supplemental phytase on performance of Hisex Brown laying hens and egg shell quality. *J. Anim. Feed Sci.* 45: 249–259.
- [19] Kang C., Nam K.T., Olson O.E., Carlson C.W. 1996. Relationship between eggshell quality and biochemical parameters of calcium metabolism. *Asian-Australian J. Anim. Sci.* 9: 715–722.
- [20] Keshavarz K. 1996. The effect of different levels of vitamin C and cholecalciferol with adequate or marginal level of dietary calcium on performance and eggshell quality of laying hens. *Poult. Sci.* 75: 1227–1235.
- [21] Keshavarz K. 2000. Non phytate phosphorus requirement of laying hens with and without phytase on a phase feeding program. *Poult. Sci.* 79: 748–763.
- [22] Keshavarz K., McCormick C. 1991. Effect of sodium aluminosilicate, oyster shell and their combination on acid-base balance and egg shell quality. *Poult. Sci.* 70: 313–325.

- [23] Keshavarz K., Nakajima S. 1993. Re-evaluation of calcium and phosphorus requirements of laying hens for optimum performance and egg shell quality. *Poult. Sci.* 72: 144–153.
- [24] Kuhl H.J. Jr., Holder D.P., Sullivan T.W. 1977. Influence of dietary calcium level, source and particle size on performance of laying hens. *Poult. Sci.* 56: 605–611.
- [25] Mabe I., Rapp C., Nys Y. 2001. Supplementation of a corn-soybean meal diet with manganese, copper and zinc from organic or inorganic sources improves eggshell mechanical properties in aged hens. Proceedings, 13th Eur. Symp. Poult. Nutr. Blankenberge, Belgium, Sept. 30–Oct. 4. 70–71.
- [26] Meluzzi A., Simoncini F., Siri F., Vandi L., Giordini G. 1996. Feeding hens diets supplemented with heavy metals (chromium, nickel and lead). *Arch. Geflügelk.* 60: 119–125.
- [27] Newman S., Leeson S. 1999. The effect of dietary supplementation with 1,25-dihydroxycholecalciferol or vitamin C on the characteristics of tibia of older laying hens. *Poult. Sci.* 78: 85–90.
- [28] Njoku P.C., Nwazota A.O.U. 1989. Effect of dietary inclusion of ascorbic acid and palm oil on the performance of laying hens in a hot tropical environment. *Brit. Poult. Sci.* 30: 831–840.
- [29] Normy żywienia drobiu. Zalecenia żywieniowe i wartość pokarmowa pasz. 1996. Praca zbiorowa pod redakcją Stefani Smulikowskiej. Wydanie trzecie, Instytut Fizjologii i Żywienia Zwierząt PAN, Jabłonna: 5–141.
- [30] Nys Y. 1999. Nutritional factors affecting egg shell quality. *Czech Journal of Animal Science* 44: 135–143.
- [31] Nys Y. 2001. Recent developments in layer nutrition for optimising shell quality. Proceedings, 13th Eur. Symp. Poult. Nutr. Blankenberge, Belgium, Sept. 30–Oct. 4: 45–52.
- [32] Orban J.I., Roland D.A. Sr., Cummins K., Lovell R.T. 1993. Influence of large doses of ascorbic acid on performance, plasma calcium, bone characteristics, and egg shell quality in broilers and Leghorn hens. *Poult. Sci.* 72: 691–700.
- [33] Ousterhout L.E. 1980. Effects of calcium and phosphorus levels on egg weight and egg shell quality in laying hens. *Poult. Sci.* 59: 1480–1484.
- [34] Patton R.S. 1990. Chelated minerals: What are they, do they work? *Feedstuffs*. February 26: 14–17.
- [35] Qin X., Klandorf H. 1991. Effect of dietary boron supplementation on egg production, shell quality and calcium metabolism in aged broiler breeder hens. *Poult. Sci.* 70: 2131–2138.
- [36] Rao K.S., Roland D.A. Sr. 1990. Retention patterns of various sized limestone particles in gizzard of commercial leghorns hens. *Poult. Sci.* 69: 185–192.
- [37] Rennie J.S., Fleming R.H., McCormack H.A., McCorquodale C.C., Whitehead C.C. 1997. Studies on effects of nutritional factors on bone structure and osteoporosis in laying hens. *Brit. Poult. Sci.* 38: 417–424.
- [38] Roland D.A., Laurent S.M., Orloff H.D. 1985. Shell quality as influenced by zeolite with high ion exchange capability. *Poult. Sci.* 64: 1177–1187.
- [39] Sanford P.E. 1966. Influence of feeding various level of zinc proteins on egg shell quality. *Poult. Sci.* 45: 1121 (abstrakt).
- [40] Sauveur B., Monin P. 1978. Interrelationship between dietary concentration of sodium, potassium and chloride in laying hens. *Brit. Poult. Sci.* 19: 475–485.
- [41] Sazzad H.M., Bertechini A.G. 1998. Effect of varying manganese and available phosphorus levels in the diet on egg production and eggshell quality in layers. *Anim. Feed Sci. Technol.* 71: 305–310.

- [42] Sazzad H.M., Bertechini A.G., Nobre P.T.C. 1994. Egg production, tissue deposition and mineral metabolism in two strains of commercial layers with various manganese in diets. *Anim. Feed Sci. Technol.* 46: 271–275.
- [43] Scott M.L., Nesheim M.C., Young R.J. 1982. Nutrition of the chicken. 3rd edition. New York: M.L. Scott and Associates.
- [44] Soares J.H. Jr., Kerr J.M., Gray R.W. 1995. 25-hydroxycholecalciferol in poultry nutrition. *Poult. Sci.* 74: 1919–1934.
- [45] Stahl J.L., Cook M.E., Sunde M.L. 1986. Zinc supplementation: its effect on egg production. *Poult. Sci.* 65: 2104–2109.
- [46] Summers J.D. 1995. Reduced dietary phosphorus levels for layers. *Poult. Sci.* 74: 1977–1983.
- [47] Świątkiewicz S., Koreleski J., Goetz M., Kubicz M. 2001. Fitaza jako czynnik umożliwiający obniżenie zawartości składników pokarmowych w mieszance paszowej dla kur nieśnych. *Zeszyty Naukowe PTZ, Chów i hodowla drobiu* 57: 246–248.
- [48] Ueberschar K.H., Vogt H., Matthes S. 1985. The effect of various vanadium levels in broilers and laying rations on the performance of the birds and on residues in tissues and eggs. *Arch. Geflügelk.* 49: 23–30.
- [49] Usayran N., Farran M.T., Awadallah H.H.O., Al-Hawi I.R., Asmar R.J., Ashkarian V.M. 2001. Effects of added dietary fat and phosphorus on the performance and egg quality of laying hens subjected to a constant high environmental temperature. *Poult. Sci.* 80: 1695–1701.
- [50] Waddell A.L., Board R.G., Scott V.D., Tullett S.G. 1989. Influence of dietary magnesium content on laying performance and egg shell magnesium content in the domestic hen. *Brit. Poult. Sci.* 30: 865–876.

Effect of nutritional factors on the eggshell quality

Key words: eggshell quality, calcium, phosphorus, vitamin D₃, vitamin C, microelements

Summary

Eggshell quality in commercial laying hens is one of the most important problems of poultry industry. The number of eggs with damaged shell ranging from 8 to 10%, produces considerable economic losses every year.

In this article the effects of nutritional factors – macroelements (calcium, phosphorus, magnesium, sodium, chloride), vitamins (D₃, C), microelements (manganese, zinc, copper), aluminosilicate and sodium bicarbonate – on the eggshell quality were discussed.