

Wpływ wybranych dodatków paszowych na gospodarkę mineralną u drobiu

SYLWESTER ŚWIĄTKIEWICZ, MAŁGORZATA ŚWIĄTKIEWICZ

Dział Żywienia Zwierząt i Paszoznawstwa Instytutu Zootechniki – Państwowego Instytutu Badawczego,
ul. Krakowska 1, 32-083 Balice

Świątkiewicz S., Świątkiewicz M.

Effect of chosen feed additives on mineral metabolism in poultry

Summary

The article discusses the results of studies on the effect of chosen feed additives on mineral utilisation in poultry. In modern meat- and lay-type poultry the disorders of mineral metabolism often lead to decreased eggshell quality and osteoporosis in laying hens as well as tibial dyschondroplasia in broiler chickens. These disturbances have negative effects not only on the economic profitability of production but also on the welfare of birds. The results of experiments indicate that the use of active forms of vitamin D₃ (25-hydroxycholecalciferol), organic acids, pre- and probiotic fructans could positively affect mineral metabolism in poultry.

Keywords: poultry, mineral metabolism, eggshell quality, bone quality, feed additives

U drobiu utrzymywanego w warunkach wysokiej produktywności często występują zaburzenia metabolizmu składników mineralnych. Wiąże się to z dużym zapotrzebowaniem intensywnie rosnącego lub produkującego jaja organizmu na makro- i mikroelementy. Zaburzenia gospodarki mineralnej mogą szybko prowadzić do pogorszenia parametrów wytrzymałościowych skorup jaj i kośćca.

Jakość skorupy, rozumiana przede wszystkim jako wytrzymałość mechaniczna, jest jednym z ważnych czynników kształtujących opłacalność ekonomiczną towarowej produkcji jaj. Według niektórych danych, straty wynikające ze stłuczeń i mikropęknięć skorupy stanowią 6-10% sumy wszystkich wyprodukowanych jaj. Jakość skorupy jest istotna również ze względu na bezpieczeństwo konsumentów, gdyż brak uszkodzeń skorupy warunkuje ochronę treści jaja wtórnym skażeniem bakteryjnym, np. *Salmonellą*. Aspekt ten nabiera obecnie dużego znaczenia ze względu na stopniową rezygnację w Unii Europejskiej z klatkowego chowu niosek na rzecz utrzymania na ściółce, gdzie jaja mają większy kontakt z odchodami. Istotnym problemem dotyczącym skorupy jaj jest wyraźne obniżanie się jej jakości wraz z rosnącym wiekiem kur, co może powodować zwiększenie liczby stłuczek aż do ponad 20% pod koniec cyklu nieśnego.

Postępującemu wraz z wiekiem obniżeniu jakości skorupy jaj u wysokoprodukcyjnych niosek często towarzyszą objawy pogorszenia wytrzymałości kośćca, wywołane zazwyczaj osteoporozą. Spowodowane tym schorzeniem następstwa, takie jak: ból, stres, ogra-

niczenia ruchowe, utrudnienia w pobieraniu pokarmu i wody czy też podwyższona śmiertelność – pogarszają istotnie dobrostan ptaków (36). Bezpośrednią przyczyną opisywanych objawów „zmęczenia klatkowego” są ubytki mineralne w strukturalnej części kości, tj. w warstwie korowej i siateczkowej, negatywnie wpływające na parametry wytrzymałościowe kośćca (37). Zjawisko to wiąże się z procesem kalcyfikacji skorupy, najbardziej intensywnym w nocy, gdy kury nie pobierają pokarmu. Powstaje wówczas konieczność uruchamiania wapnia z rezerw Ca, którymi są płytki kostne. U ptaków o bardzo wysokim tempie nieśności często nie ma możliwości uzupełnienia tych braków, co może prowadzić do odwapnienia i spadku masy części strukturalnej kości. Wyniki badań wskazują, że u około 34% niosek znajdujących się w końcowej fazie nieśności występują ślady wcześniejszych złamań (14), a 30% padnięć w komercyjnych stadach kur utrzymywanych w klatkach może być związana z uszkodzeniami kości (21).

Także w przypadku kurcząt rzeźnych słaba jakość kośćca jest poważnym problemem, ujemnie wpływającym na wyniki ekonomiczne odchowu brojlerów i dobrostan ptaków. W Stanach Zjednoczonych straty finansowe w produkcji brojlerów wynikające ze schorzeń układu kostnego szacuje się na 80-120 milionów dolarów rocznie. Stwierdzono, że kości u obecnych krzyżówek kurcząt mięsnych charakteryzują się niskim stopniem zmineralizowania i wysoką porowatością, co wpływa na ich obniżoną wytrzymałość mechaniczną i zwiększoną podatność na uszkodzenia (39).

Głównym czynnikiem żywieniowym decydującym o prawidłowym rozwoju kośćca i kalcyfikacji skorupy jaja jest odpowiednie zaopatrzenie organizmu w wapń i fosfor. Podnoszenie zawartości składników mineralnych w mieszankach paszowych nie zawsze rozwiązuje powyższe problemy, a prowadzi do niekorzystnego dla środowiska zwiększonego wydalania w odchodach makro- i mikroelementów. Dodatki paszowe polepszające wykorzystanie składników mineralnych mogą zatem stanowić cenne uzupełnienie mieszanki dla drobiu. W niniejszym opracowaniu przedstawiony został wpływ na gospodarkę mineralną u drobiu takich dodatków paszowych, jak aktywna forma witaminy D_3 , kwasy organiczne oraz pre- i probiotyki.

Aktywne formy witaminy D_3

Witamina D_3 (cholekalcyferol) odgrywa ważną rolę w gospodarce mineralnej organizmu, zwłaszcza w metabolizmie wapnia. Stymuluje absorpcję jelitową Ca, biorąc udział w tworzeniu kalbindyny – specyficznego przenośnika o charakterze białkowym, który zapewnia aktywny transport jonów Ca przez nabłonek jelitowy i utrzymuje optymalną zawartość tego makroelementu we krwi. W celu pełnienia tych funkcji metabolicznych witamina D_3 musi zostać przekształcona w organizmie do aktywnej biologicznie formy hormonalnej – 1,25-dwuhydroksy-cholekalcyferolu ($1,25-(OH)_2D_3$). Pierwszy etap tego procesu zachodzi w wątrobie i polega na hydroksylacji witaminy cholekalcyferolu w pozycji 25 i syntezie monohydroksy-cholekalcyferolu ($25-OH-D_3$). Zawartość tego metabolitu we krwi jest dobrym wskaźnikiem zaopatrzenia organizmu w witaminę D_3 . W drugim etapie, zachodzącym w nerkach, poprzez przyłączenie kolejnej grupy hydroksylowej powstaje $1,25-(OH)_2D_3$. U drobiu, w określonych stanach fizjologicznych, np. w przypadku kur znajdujących się w końcowej fazie nieśności, może występować upośledzenie funkcjonowania wątroby i osłabienie aktywności enzymu 25-hydroksylazy (1), co prowadzi do zaburzeń w powstawaniu aktywnych form witaminy D_3 i nieprawidłowości w gospodarce mineralnej organizmu. W następstwie mogą powstać objawy osteoporozy i pogorszenie jakości skorup jaj u niosek oraz objawy krzywicy i dyschondroplazji kości piszczelowej u brojlerów.

Rozwój na skalę przemysłową technologii produkcji aktywnych form witaminy D_3 , zwłaszcza $25-OH-D_3$, umożliwi ich stosowanie w formie dodatków paszowych w żywieniu drobiu. W niektórych doświadczeniach wykazano pozytywny wpływ $25-OH-D_3$ na wytrzymałość skorup, zwłaszcza w końcowej fazie cyklu nieśnego (17), a także na parametry jakościowe kości piszczelowych, tj. stopień ich zmineralizowania, wytrzymałość, sztywność, elastyczność oraz grubość i pole przekroju warstwy korowej (35). Stosowanie innych aktywnych form witaminy D_3 , tj. $1,25-(OH)_2D_3$ i $1\alpha-OH-D_3$, łagodziło również negatywny wpływ wieku niosek na jakość skorup jaj (3). Wprowadzenie $1,25-$

$(OH)_2D_3$ w ilości 5 $\mu\text{g}/\text{kg}$ do mieszanki paszowej dla niosek znajdujących się w końcowej fazie cyklu nieśnego (72. tydzień życia) zwiększyło wytrzymałość kości piszczelowych ptaków (23). Podobne rezultaty otrzymali Frost i in. (13) wnioskując, że efektywność przemiany witaminy D_3 do $1,25-(OH)_2D_3$ u wysoko-produkcyjnych kur nieśnych jest wystarczająca dla zapewnienia dobrej jakości skorupy, ale zbyt niska dla utrzymania wysokiej wytrzymałości kości piszczelowych. Jednak nie we wszystkich badaniach wykazano pozytywne działanie aktywnych form witaminy D_3 – dla przykładu Keshavarz (15) nie odnotował poprawy jakości skorup po całkowitym zastąpieniu cholekalcyferolu przez $25-OH-D_3$, natomiast Rennie i wsp. (30) nie obserwowali oddziaływania dodatku $1,25-(OH)_2D_3$ na strukturę kości i częstotliwość występowania osteoporozy u kur.

W przypadku kurcząt brojlerów stwierdzono, że poziom witaminy D_3 w paszy, który jest dopuszczony w dotychczasowej praktyce żywieniowej, może być zbyt niski dla zapewnienia dobrej jakości kośćca u szybko rosnących ptaków, sugerując jednocześnie, że skuteczną alternatywą może być stosowanie jej aktywnej formy – $25-OH-D_3$ (38). Według Yargera i in. (40) czynniki stresogenne, często występujące w warunkach produkcyjnych, takie jak: zbyt duża gęstość obsady, stres cieplny, nadmierne pobudzenie układu odpornościowego (stany zapalne), mogą powodować zaburzenia w procesach wchłaniania i hydroksylacji w wątrobie witaminy D_3 . Wyniki niektórych badań wskazują, że stosowanie aktywnych form witaminy D_3 , stymulując proces dojrzewania chondrocytów, może zmniejszać częstotliwość występowania i nasilenie objawów dyschondroplazji kości piszczelowej u brojlerów (12, 43). W badaniach krajowych obserwowano korzystny wpływ dodatku $25-OH-D_3$ na wskaźniki produkcyjne brojlerów, parametry wytrzymałościowe kości piszczelowych oraz zatrzymanie Ca i P w organizmie (18, 34). Również dodatek $1,25-(OH)_2D_3$ (stosowany równocześnie z fitazą) poprawiał cechy wytrzymałościowe i geometryczne kości udowych kurcząt (27).

Kwasy organiczne

Krótkołańcuchowe kwasy organiczne, takie jak: kwas propionowy, mrówkowy, sorbowy, cytrynowy, fumarowy, octowy, malonowy, mlekowy, jabłkowy i winowy, wchodzą w skład zakwaszaczy paszowych. Ich działanie polega na zmniejszaniu buforujących właściwości pasz, głównie mineralnych oraz obniżaniu pH mieszanki paszowej i treści wola przewodu pokarmowego, dzięki czemu tworzą się warunki sprzyjające rozwojowi korzystnych bakterii kwasu mlekowego, a hamujące rozwój *Salmonella*, *E. coli*, *Clostridium* oraz *Campylobacter*.

Wyniki niektórych badań wskazują, że kwasy organiczne mogą oddziaływać korzystnie na wykorzystanie składników mineralnych u zwierząt monogastrycznych.

nych. Mechanizm takiego działania jest związany m.in. z obniżeniem pH treści jelitowej, co wpływa na efektywniejsze działanie enzymów trawiennych, a także zwiększa rozpuszczalność makro- i mikroelementów oraz ich wchłanianie.

W doświadczeniach na kurczętach rzeźnych wykazano między innymi, że kwas cytrynowy zwiększa przyswajalność fosforu fitynowego i jego zawartość w osoczu, natomiast nie ma wpływu na wykorzystanie wapnia (5, 11, 28). Matyka i Masłowski (20) odnotowali korzystny wpływ kwasu propionowego na wytrzymałość kości udowych brojlerów, co mogło być związane z lepszym wykorzystaniem składników mineralnych. Stosując mieszaninę kwasu mlekowego i mrówkowego (0,25% diety) stwierdzono polepszenie wykorzystania fosforu fitynowego i zwiększenie zawartości popiołu surowego w kościach piszczelowych przepiórek japońskich (32). W przypadku kur reprodukcyjnych zastosowanie mieszaniny lotnych kwasów tłuszczowych poprawiało wytrzymałość skorupy jaj i obniżało liczbę stłuczek (33), natomiast u niosek towarowych kwas cytrynowy (w ilości 1%, 2%, 3% lub 4% mieszanki paszowej) nie miał wpływu na przyswajalność fosforu (4). W badaniach modelowych na szczurach odnotowano, że dodatek kwasu octowego i mrówkowego istotnie zwiększa wchłanianie Ca w okrężnicy (19).

Pre- i probiotyki

Prebiotyki definiuje się jako składniki diety nieulegające trawieniu w przewodzie pokarmowym, które wybiórczo stymulują rozwój korzystnej mikroflory bakteryjnej jelit, głównie laseczek kwasu mlekowego, pozytywnie wpływając na stan zdrowotny organizmu gospodarza. Szczególnie silne właściwości prebiotyczne wykazują fruktany, do których zalicza się inulinę i oligofruktozę, naturalnie występujące w niektórych roślinach, np. cykorii korzeniowej i topinamburze. Probiotyki są to żywe mikroorganizmy dodawane do paszy lub żywności, które po spożyciu korzystnie wpływają na zdrowie gospodarza poprzez poprawę jego endogennej równowagi mikrobiologicznej. Zalicza się do nich szczepy bakterii fermentacji mlekowej, m.in. *Lactobacillus acidophilus*, *L. bulgaricus*, *L. casei*, *Bifidobacterium bifidum* i inne.

Pre- i probiotyki mają korzystny wpływ na funkcje fizjologiczne i status zdrowotny organizmu, m.in. wykazując działanie zwiększające dostępność wapnia i innych pierwiastków mineralnych. Mechanizm oddziaływania wymienionych dodatków paszowych na gospodarkę mineralną organizmu obejmuje kilka elementów. Krótkołańcuchowe kwasy tłuszczowe (KKT), będące produktem fermentacji prebiotyków, oprócz obniżania pH treści jelit, mogą tworzyć łatwo rozpuszczalne i wchłaniane kompleksy z niektórymi składnikami mineralnymi. Bakterie kwasu mlekowego wchodzące w skład preparatów prebiotycznych wytwarzają metabolity stymulujące rozwój nabłonka jelitowego

i zwiększające jego zdolność absorpcyjną na drodze transportu pasywnego, a także mogą produkować pewne ilości fitazy, enzymu podnoszącego dostępność składników mineralnych.

Większość dostępnych wyników nad wpływem prebiotyków na biodostępność składników mineralnych pochodzi z badań modelowych na szczurach. Zwiększenie jelitowej absorpcji wapnia u tych zwierząt, będące efektem stosowania fruktanów, obserwowali liczni autorzy (9, 10, 24). U szczurów stwierdzono również podwyższoną przyswajalność innych składników mineralnych – fosforu, magnezu, cynku, miedzi i żelaza (8, 10, 24) oraz korzystny wpływ fruktanów na mineralizację kości (31, 42).

W badaniach na drobiu wykazano, że wprowadzenie inuliny i oligofruktozy do paszy dla kur nieśnych ma korzystny wpływ na gospodarkę mineralną organizmu, co wyrażało się podniesieniem zawartości wapnia w surowicy krwi, polepszeniem jakości skorupy jaja (wzrost procentowego udziału skorupy w masie jaja i jej wytrzymałości mechanicznej), zwiększeniem poziomu popiołu surowego, wapnia i fosforu w kościach piszczelowych (6) oraz podwyższeniem wydajności nieśnej (7). Stwierdzono również, że dodatek 0,75% fruktanów do mieszanki paszowej dla przepierzanych niosek pozwala, poprzez poprawę wykorzystania wapnia, na ograniczenie spadku wytrzymałości mechanicznej kości piszczelowych i udowych w okresie przepierzania (16). Wykazano także, że dodatek inuliny do diety zwiększa długość kosmków jelitowych, co może korzystnie oddziaływać na procesy wchłaniania składników pokarmowych, w tym makro- i mikroelementów (29).

Podobny wpływ na gospodarkę mineralną u drobiu mają probiotyki. W doświadczeniu na kurczętach brojlerach określającym wpływ preparatu zawierającego bakterie *Bacillus licheniformis* i *Bacillus subtilis* odnotowano, że dodatek probiotyku zwiększał grubość ścian kości piszczelowych oraz zawartość w nich popiołu surowego i fosforu (22). Dodatek bakterii probiotycznych z rodzaju *Lactobacillus* do diety niedoborowej w wapń i fosfor istotnie zwiększył retencję tych makroelementów oraz wytrzymałość mechaniczną i mineralizację kości piszczelowych u brojlerów (2). Pozytywny wpływ bakterii probiotycznych na zawartość popiołu surowego w kościach i ich wytrzymałość oraz poziom wapnia w surowicy krwi stwierdzono również przy stosowaniu mieszanek paszowych zasobnych w Ca i P (25). U kur nieśnych dodatek probiotyku (*Lactobacillus sporogenes*) zwiększył grubość i masę skorup jaj oraz ich wytrzymałość mechaniczną, a także zawartość Ca we krwi (26, 41).

Podsumowując przedstawione dane piśmiennictwa, można stwierdzić, że takie dodatki paszowe jak aktywne formy witaminy D₃, kwasy organiczne oraz pre- i probiotyki wykazują korzystny wpływ na wykorzystanie składników mineralnych u drobiu. W związku z tym ich stosowanie może zmniejszać częstotliwość

i nasilenie zaburzeń gospodarki mineralnej organizmu prowadzących do pogorszenia wytrzymałości mechanicznej skorup i jakości kośćca u intensywnie użytkowanych kur nieśnych i kurcząt rzeźnych.

Piśmiennictwo

1. Abe E., Horikawa H., Masumura T., Sugahara M., Kubota M., Suda T.: Disorders of cholecalciferol metabolism in old egg-laying hens. *J. Nutr.* 1982, 112, 463-446.
2. Angel R., Dalloul R. A., Doerr J.: Performance of broiler chickens fed diets supplemented with a direct-fed microbial. *Poultry Sci.* 2005, 84, 1222-1231.
3. Bar A., Striem S., Rosenberg J., Hurwitz S.: Egg shell quality and cholecalciferol metabolism in aged laying hens. *J. Nutr.* 1988, 18, 1018-1023.
4. Boiling S. D., Douglas M. W., Snow J. L., Parsons C. M., Baker D. H.: Citric acid does not improve phosphorus utilization in laying hens fed a corn soybean meal diets. *Poultry Sci.* 2000, 79, 1335-1337.
5. Boiling S. D., Webel D. M., Mavromichalis I., Parsons C. M., Baker D. H.: The effects of citric acid on phytate phosphorus utilization in chicks and young pigs. *J. Anim. Sci.* 2000, 8, 682-689.
6. Chen Y. C., Chen T. C.: Mineral utilization in layers as influenced by dietary oligofructose and inulin. *Int. J. Poultry Sci.* 2004, 3, 442-445.
7. Chen Y. C., Nakhthong C., Chen T. C.: Improvement of laying hen performance by dietary prebiotic chicory oligofructose and inulin. *Int. J. Poultry Sci.* 2005, 4, 103-108.
8. Coudray C., Feillet-Coudray C., Gueux E., Mazur A., Rayssiguier Y.: Dietary inulin intake and age can affect intestinal absorption of zinc and copper in rats. *J. Nutr.* 2006, 136, 117-122.
9. Coudray C., Ramebeau M., Feillet-Coudray C., Tressol J. C., Demigne C., Gueux E., Mazur A., Rayssiguier Y.: Dietary inulin intake and age can significantly affect intestinal absorption of calcium and magnesium in rats: a stable isotope approach. *J. Nutr.* 2005, 4, 29-36.
10. Delzenne N. M., Aertssens J., Verplaetse H., Roccaro M., Roberfroid M.: Effects of fermentable fructooligosaccharides on mineral, nitrogen, and energy digestive balance in the rats. *Life Sci.* 1995, 57, 1579-1587.
11. Ebrahimzad Y., Shivazad M., Taherkhani R., Nazeradl K.: Effects of citric acid and microbial phytase supplementation on performance and phytase phosphorus utilization in broiler chicks. *J. Poultry Sci.* 2008, 45, 20-24.
12. Fritts C. A., Waldroup P. W.: Effect of source and level of vitamin D on live performance and bone development in growing broilers. *J. Appl. Poultry Res.* 2003, 12, 45-52.
13. Frost T. J., Roland D. D., Untawale G. G.: Influence of vitamin D₃, 1 alpha-hydroxyvitamin D₃, and 1,25-dihydroxyvitamin D₃ on eggshell quality, tibia strength, and various production parameters in commercial laying hens. *Poultry Sci.* 1990, 69, 2008-2016.
14. Gregory N. G., Wilkins L. J.: Broken bones in domestic fowl: handling and processing damage in end-of-lay battery hens. *Br. Poultry Sci.* 1989, 30, 555-562.
15. Keshavarz K.: A comparison between cholecalciferol and 25-OH-cholecalciferol on performance and eggshell quality of hens fed different levels of calcium and phosphorus. *Poultry Sci.* 2003, 82, 1415-1422.
16. Kim W. K., Donalson L. M., Mitchell A. D., Kubena L. F., Nisbet D. J., Ricke S. C.: Effects of alfalfa and fructooligosaccharide on molting parameters and bone qualities using dual x-ray absorptiometry and conventional bone assays. *Poultry Sci.* 2006, 85, 15-20.
17. Koreleski J., Świątkiewicz S.: Efficacy of different level of cholecalciferol 25-OH-derivative in diets with two limestone forms in laying hens nutrition. *J. Anim. Feed Sci.* 2005, 14, 305-315.
18. Koreleski J., Świątkiewicz S.: Efficacy of different limestone particle size and 25-hydroxycholecalciferol in broiler diets. *J. Anim. Feed Sci.* 2005, 14, 705-714.
19. Lutz T., Scharrer E.: Effect of short-chain fatty acids on calcium absorption by the rat colon. *Experim. Physiol.* 1991, 76, 615-618.
20. Matyka S., Mastowski A.: Ocena wpływu wybranych konserwantów paszowych na mineralizację i wytrzymałość kości brojlerów żywionych natłuszczonymi mieszankami paszowymi. *Mat. XXVI Sesji Nauk. Komitetu Żywności Zwierząt KNZ PAN, Olsztyn* 1996, s. 15-16.
21. McCoy M. A., Reilly G. A. C., Kilpatrick D. J.: Density and breaking strength of bones of mortalities among caged layers. *Res. Vet. Sci.* 1996, 60, 185-186.
22. Mutus R., Kocabagli N., Alp M., Acar N., Eran M., Gezen S.: The effect of dietary probiotic supplementation on tibial bone characteristics and strength in broilers. *Poultry Sci.* 2006, 85, 1621-1625.
23. Newman S., Leeson S.: The effect of dietary supplementation with 1,25-dihydroxycholecalciferol or vitamin C on the characteristics of tibia of older laying hens. *Poultry Sci.* 1999, 78, 85-90.
24. Ohta A., Ohtsuki M., Baba S., Adachi T., Sakata T., Sagaguchi E.: Calcium and magnesium absorption from the colon and rectum are increased in rats fed fructooligosaccharides. *J. Nutr.* 1995, 125, 2417-2424.
25. Panda A. K., Rama Rao S. V., Raju M. V. L. N., Sharma S. R.: Dietary supplementation of Lactobacillus sporogenes on performance and serum biochemico-lipid profile of broiler chickens. *J. Poultry Sci.* 2006, 43, 235-240.
26. Panda A. K., Rama Rao S. V., Raju M. V. L. N., Sharma S. R.: Effect of probiotic (Lactobacillus sporogenes) feeding on egg production and quality, yolk cholesterol and humoral immune response of White Leghorn layer breeders. *J. Sci. Food Agricult.* 2008, 88, 43-47.
27. Puzio I., Bieńko M., Radzki R., Kapica M., Filip R.: Wpływ fitazy i kalcietriolu na cechy wytrzymałościowe kości udowych kurcząt bojlerów. *Medycyna Wet.* 2004, 60, 1103-1105.
28. Rafacz-Livingston K. A., Martinez-Amezcuca C., Parsons C. M.: Citric acid improves phytate phosphorus utilization in crossbred and commercial broiler chicks. *Poultry Sci.* 2005, 84, 1370-1375.
29. Rehman H., Rosenkranz C., Bohm J., Zentek J.: Dietary inulin affects the morphology but not the sodium-dependent glucose and glutamine transport in the jejunum of broilers. *Poultry Sci.* 2007, 86, 118-122.
30. Rennie J. S., Fleming R. H., McCormack H. A., McCorquodale C. C., Whitehead C. C.: Studies on effects of nutritional factors on bone structure and osteoporosis in laying hens. *Br. Poultry Sci.* 1997, 38, 417-424.
31. Roberfroid M. B., Cumps J., Devogelaer J. P.: Dietary chicory inulin increases whole-body bone mineral density in growing male rats. *J. Nutr.* 2002, 132, 3599-3602.
32. Sacakli P., Sehu A., Ergun A., Genc B., Selcuk Z.: The effect of phytase and organic acid on growth performance, carcass yield and tibia ash in quails fed diets with low levels of non-phytate phosphorus. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 2006, 19, 198-202.
33. Sengor E., Yardimci M., Cetingul S., Bayram I., Sahin H., Dogan I.: Effects of short chain fatty acid (SCFA) supplementation on performance and egg characteristics of old breeder hens. *South Afr. J. Anim. Sci.* 2007, 37, 158-163.
34. Świątkiewicz S., Koreleski J.: The effects of particulate limestone and 25-hydroxy-cholecalciferol in broiler chicken diets on the mechanical properties of bones. *J. Anim. Feed Sci.* 2005, 14, suppl. 1, 495-498.
35. Świątkiewicz S., Koreleski J.: Wpływ 25-hydroksycholekalcyferolu w paszy na jakość kośćca kur nieśnych utrzymywanych w klatkach. *Medycyna Wet.* 2005, 61, 814-817.
36. Webster A. B.: Welfare implicatons of avian osteoporosis. *Poultry Sci.* 2004, 83, 184-192.
37. Whitehead C. C.: Overview of bone biology in the egg-laying hen. *Poultry Sci.* 2004, 83, 193-199.
38. Whitehead C. C., McCormack H. A., McTeir L., Fleming R. H.: High vitamin D₃ requirements in broilers for bone quality and prevention of tibial dyschondroplasia and interactions with dietary calcium, available phosphorus and vitamin A. *Poultry Sci.* 2004, 45, 425-436.
39. Williams B., Solomon S., Waddington D., Thorp B., Farquharson C.: Skeletal development in the meat type chicken. *Br. Poultry Sci.* 2000, 41, 141-149.
40. Yarger J. G., Saunders C. A., McNaughton J. L., Quarles C. L., Hollis B. W., Gray R. W.: Comparison of dietary 25-hydroxycholecalciferol and cholecalciferol in broiler chickens. *Poultry Sci.* 1995, 74, 1159-1167.
41. Yousefi M., Karkoodi K.: Effect of probiotic Thepax and Saccharomyces cerevisiae supplementation on performance and egg quality in laying hens. *Internat. J. Poultry Sci.* 2007, 6, 52-54.
42. Zafar T. A., Weaver C. M., Zhao Y., Martin B. R., Wastney M. E.: Nondigestible oligosaccharides increase calcium absorption and suppress bone resorption in ovariectomized rats. *J. Nutr.* 2004, 134, 399-402.
43. Zhang X., Liu G., McDaniel G. R., Roland D. A.: Responses of broiler lines selected for tibial dyschondroplasia incidence to supplementary 25-hydroxy-cholecalciferol. *J. Appl. Poultry Res.* 1997, 6, 410-416.

Adres autora: doc. dr hab. Sylwester Świątkiewicz, ul. Krakowska 1, 32-083 Balice; e-mail: sylwester.swiatkiewicz@izoo.krakow.pl