



UDC 636.52/.58.087.7:611.018.4

The condition of the bone tissue of broiler chickens when using feed additives from marine hydrobionts

N. I. Dankevych¹, S. A. Tkachuk², A. P. Pylypenko²

1 – Odesa State agrarian university, Odesa, Ukraine

2 – The National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Article info

Received 07.04.2020

Received in revised form
30.04.2020

Accepted
20.05.2020

1 – Odesa State agrarian
university, Odesa, Ukraine
e-mail:

dankevych82@gmail.com

2 – The National University
of Life and Environmental
Sciences of Ukraine, Kyiv,
Ukraine

Dankevych, N. I., Tkachuk, S. A., & Pylypenko, A. P. (2020). The condition of the bone tissue of broiler chickens when using feed additives from marine hydrobionts. *Veterinary Science, Technologies of Animal Husbandry and Nature Management*, 5, 32-37. DOI: 10.31890/vttp.2020.05.06

The purpose of the work was to determine the content of Calcium and Phosphorus in bone tissue, as well as the tibia strength index of broiler chickens under using two feed additives made from the waste of primary processing of marine hydrobionts in the diet. The experiment was carried out on "Ross 308" cross broilers, which were divided into 5 groups: 1 control and 4 experimental. Each additive was fed in two ways: by replacing 7% of the diet weight and adding 7% to it.

Chickens of the control group were fed only the basic diet (BD), balanced by basic nutrients. Chickens of experimental groups from 20 to 42 days old were additionally fed the feed additives. Chickens D-1 and D-2 groups consumed a mineral feed additive (MFA), D-3 and D-4 groups received a protein-mineral feed additive (PMFA). Moreover, broilers of D-1 and D-3 groups by feed weight received 93% of BD and 7% of MFA and PMFA respectively, D-2 and D-4 groups in addition to BD (100%) received 7% respectively of MFA and PMFA.

*MFA is milled leaves of the Black Sea Mussel (*Mytilus galloprovincialis*) and seawater. PMFA contained milled leaves of large and the body of small mussels, waste from the primary processing of red algae *Phyllophora nervosa* and seawater.*

As a material for research was considered the chickens' tibia of of 42 days old. The concentration of total Calcium and inorganic Phosphorus was determined in the middle part of the tibia using a UV mini-1240 SHIMADZU spectrophotometer (Japan) and a set of reagents NPP Filisit-Diagnostika (Ukraine). The bone cross-sectional area was determined by scanning prior to testing with processing in the Compass-3D graphics program. The mechanical parameters of the bones were determined on an FM-1000 testing machine under the action of a double-support bend.

The use of feed additives contributed to an increase in the content of Calcium and Phosphorus in the bone tissue of broiler chickens and, accordingly, the strength of the tibia. The Phosphorus content increase took place to a greater extent than Calcium, which caused a decrease in the Calcium-Phosphorus ratio. The content of Calcium and Phosphorus in the bone tissue, as well as the strength of the tibia of the chickens increased due to diet enrichment with feed additives, and not its partial replacement.

Key words: broiler chickens, feed additives, marine hydrobionts, Calcium, Phosphorus, strength, bone tissue.

Состояние костной ткани цыплят-бройлеров при использовании в рационе кормовых добавок, приготовленных из морских гидробионтов

Н. И. Данкевич¹, С. А. Ткачук², А. П. Пилипенко²

1 – Одесский государственный аграрный университет, Одесса

2 – Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, Киев

Целью работы было определение содержания кальция и фосфора, а также показателя прочности большеберцовой кости цыплят-бройлеров при использовании в рационе двух кормовых добавок, изготовленных из отходов первичной переработки морских гидробионтов. Опыт выполнен на цыплятах-бройлерах кросса «Росс 308»,

которых разделили на 5 групп: контрольную и 4 опытных. Каждую добавку скармливали двумя способами: заменой 7 % массы корма рациона и добавкой к нему в количестве 7 %.

Цыплятам контрольной группы скармливали только основной рацион (ОР), сбалансированный по основным питательным веществам. Цыплятам опытных групп с 20-х до 42-х суток выращивания дополнительно вводили кормовые добавки. Цыплята Д-1 и Д-2 групп получали минеральную кормовую добавку, Д-3 и Д-4 групп – белково-минеральную кормовую добавку. Причем, бройлеры Д-1 и Д-3 группы по массе корма получали 93 % ОР и 7 % соответственно минеральной и белково-минеральной кормовой добавки, Д-2 и Д-4 группы – дополнительно к ОР (100 %) получали 7 % соответственно минеральной и белково-минеральной кормовой добавки.

Минеральная кормовая добавка представляет собой молотые створки Мидии черноморской (*Mytilus gallorprovincialis*) и морскую воду. Белково-минеральная кормовая добавка содержала молотые створки больших и тела мелких мидий, отходы первичной переработки красной водоросли *Phyllophora pervosa* и морскую воду.

Материалом для исследований служила большеберцовая кость курочек 42-х суточного возраста. Концентрацию общего Кальция и неорганического Фосфора определяли в средней части диафиза большеберцовой кости при использовании спектрофотометра «UV mini-1240 SHIMADZU» (Япония) и набора реактивов НПП Филисит-Диагностика (Украина). Площадь поперечного сечения кости определяли путем сканирования с обработкой в графической программе «Компас-3D». Механические показатели кости определяли на испытательной машине FM-1000 при действии двухпорного изгиба.

в разной степени способствовало увеличению в костной ткани цыплят-бройлеров содержания Кальция, Фосфора и прочности кости.

Ключевые слова: цыплята-бройлеры, кормовые добавки, морские гидробионты, Кальций, Фосфор, прочность, костная ткань.

Стан кісткової тканини курчат-бройлерів за використання у раціоні кормових добавок, виготовлених із морських гідробіонтів

Н. І. Данкевич¹, С. А. Ткачук², А. П. Пилипенко²

¹ – Одеський державний аграрний університет, Одеса

² – Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ

Визначали загальний вміст Кальцію, неорганічного Фосфору та міцність кісткової тканини в середній частині діафіза великогомілкової кістки курчат-бройлерів за використання мінеральної і білково-мінеральної кормових добавок, виготовлених з чорноморської мідії і червоної водорості. Встановлено, що збільшення показників вмісту Кальцію і Фосфору, а також міцності кістки залежали від складу кормових добавок і способу їх згодовування.

Ключові слова: курчата-бройлери, кормові добавки, морські гідробіонти, Кальцій, Фосфор, міцність, кісткова тканина.

Вступ

За останні 50 років завдяки інтенсивному генетичному відбору темпи росту маси тіла курчат-бройлерів збільшилися більш ніж на 300 % (Knowles et al., 2008). Разом із тим, швидке збільшення маси тіла не супроводжується розвитком досить сильного скелета, повністю здатного підтримувати більш важке тіло, що викликає деформації і, навіть, переломи кісток кінцівок (Fleming, 2008). Кульгавість, що виникає через слабкі тазові кінцівки, ставить під загрозу благополуччя курчат і призводить до значних економічних втрат, оскільки така птиця зазнає труднощів з доступом до корму і води, і, в кінцевому підсумку, гине (Julian, 2005; Waldenstedt, 2006; Dibner, Richards, Kitchell, & Quiroz, 2007; Kierończyk, Rawski, Józefiak, & Świątkiewicz, 2017). Причиною внутрішніх кровотеч, крововиливів у грудних м'язах, які є серйозними дефектами і значно знижують якість тушок птиці, можуть бути переломи дрібних кісток (Rath, Huff, Huff, & Balog, 2000; Hemme, Spark, Wolf, Paschertz, & Kamphues, 2005; Driver, Pesti, Bakalli, & Edwards, 2006). Крім того, причиною появи крововиливів у м'язовій тканині тушок курчат-бройлерів може бути порушення з'єднання крові, що залежить від функціонування низки білків плазми, необхідним компонентом яких є Кальцій (Stenflo, 1991).

Стан скелета є одним із важливих показників добробуту, здоров'я і продуктивності курчат-бройлерів (Kierończyk, Rawski, Józefiak, & Świątkiewicz, 2017). Вирішальним фактором, що визначає міцність кісток скелета, є вміст неорганічних речовин, і, в першу чергу, Кальцію і Фосфору, про що свідчать дослідження низки науковців (Wilson, 1991; Shafey, 1993; Sohail, & Roland,

2002; Saunders-Blades, Maclsaac, Korver, & Anderson, 2009; Zhang, He, Li, Hu, & Piao, 2019). Кісткова тканина бройлерів сучасних кросів є менш мінералізованою і більш пористою порівняно з їх менш продуктивними генетичними попередниками, що пов'язано, як з більшою швидкістю росту, так і більш високими вимогами до складу раціону, в т.ч. вмісту неорганічних речовин (Williams, Solomon, Waddington, Thorp, & Farquharson, 2000; Świątkiewicz, & Arczewska-Wlosek, 2012).

Мінерали виконують важливі біологічні функції в організмі тварин, серед яких Фосфор є одним з найбільш важливих для бройлерів, оскільки він пов'язаний з утворенням кісток, структурою нуклеїнових кислот, фосфоліпідів, клітинних мембран, підтриманням кислотно-лужного балансу і перенесенням енергії (Underwood, & Suttle, 1999). Фосфор є важливим і критичним елементом життя (Cordell, Neset, & Prior, 2012; Scholz, Ulrich, Eilittä, & Roy, 2013). Разом із Кальцієм, Фосфор бере участь у багатьох біологічних функціях, отже, їх зв'язок є взаємозалежним (Rama Rao, Raju, Reddy, & Pavani, 2006; Ventura, & da Silva, 2019).

Сучасне птахівництво не можливе без використання мінеральних кормових добавок, потреба в яких з роками тільки збільшується. Глобальна проблема дефіциту Фосфору через його інтенсивну мобілізацію з фосфоритів природних родовищ створює загрозу продовольчій безпеці. Враховуючи, що природні мінеральні джерела Фосфору виснажуються, постає проблема пошуку нових ресурсів, використання фосфатних порід низької якості, або ж його повторного

використання (Cordell, Rosemarin, Schröder, & Smit, 2011; Delezie, Bierman, Nollet, & Maerten, 2015; Neset, Cordell, Mohr, VanRiper, & White, 2016). Спроба знайти альтернативу комерційним мінеральним добавкам не завжди буває успішною. Так, заміна в раціоні курчат дикальційфосфату добавкою з джерела місцевого родовища викликало зменшення маси їх тіла, споживання корму, вмісту в кістках золи і Кальцію. Водночас біомеханічні властивості кісток погіршились, на що вказує зменшення граничного руйнівного зусилля, моменту вигину, напруги і модуля пружності (Odongo, Plaizier, van Straaten, & McBride, 2002).

Використання в раціоні птахів Фосфору рослинного походження потребує використання ферменту фітази, що має високу ціну. У свою чергу, виділення з послідом неперетравленого Фосфору призводить до його накопичення у навколишнього середовищі, що становить значну екологічну проблему (Delezie, Bierman, Nollet, & Maerten, 2015).

Збалансованим джерелом корисних неорганічних речовин можуть бути морські гідробіонти – молюски, що містять мінеральні речовини, а також цінний білок. Зокрема морські мідії є потенційним джерелом білка для птиці через високий вміст метіоніну і цистеїну (Jönsson, & Holm, 2010). Для деяких видів диких птахів, таких як довгохвості качки (*Clangula hyemalis*) мідії є основним кормом (Dahlberg, Chen, Larsson, Bergman, & Asplund, 2016). Навіть через наявність в мідіях токсину – омега-кислоти, за згодовування виготовленої з них муки, не було встановлено несприятливого впливу на здоров'я птиці або показники її продукції (Jönsson, & Holm, 2010).

Однак, під час первинної обробки мідій, їх стулки розглядаються як відходи, що становлять економічну і екологічну проблему, а з іншого боку, вони можуть бути цінним товаром (Morris, Bäckeljaun, & Chapelle, 2019). Також, значний потенціал у використанні мають червоні морські водорості, що є джерелом поживних і біологічно активних речовин (Gómez-Ordóñez, Jiménez-Escrig, & Rupérez, 2012; de Jesus Raposo, de Moraes, & de Moraes, 2015).

Метою роботи було визначити вміст Кальцію і Фосфору та міцність в середині діафіза великогомілкової кістки курчат-бройлерів кросу «Росс 308» за використання в раціоні кормових добавок, виготовлених з відходів первинної переробки морських гідробіонтів – мідій і водоростей.

Матеріал і методи досліджень

Дослід виконано на курчатах-бройлерах кросу «Росс 308», яких вирощували в умовах виробничого підприємства за загальноприйнятною технологією з утриманням на підлозі. Усього було сформовано 5 груп (n=50) птиці: одну контрольну і чотири дослідних. Курчатам згодовували стандартний комбікорм згідно ДСТУ 4120-2002 «Комбікорми повнораціонні для сільськогосподарської птиці», напували водою з ніпельних поїлок. Птиці контрольної групи згодовували лише основний раціон (ОР). Бройлерам дослідних груп з 20 до 42 доби вирощування додатково до ОР вводили кормові добавки, виготовлені з морських гідробіонтів. Курчата першої і другої дослідних груп (Д-1 і Д-2) отримували мінеральну кормову добавку (МКД), третьої і четвертої (Д-3 і Д-4) – білково-мінеральну кормову добавку (БМКД). Натомість бройлери Д-1 і Д-3 групи за масою корму отримували 93 % ОР і 7 % відповідно МКД і БМКД, групи Д-2 і Д-4 додатково до ОР (100 %) 7 % відповідно МКД і БМКД.

МКД (патент України на корисну модель № 34634), представляє собою дрібно мелені стулки *Мідії чорноморської* (*Mytilus galloprovincialis*) і морську воду. БМКД (патент України на корисну модель № 42687) містить розмелені стулки великих і тіла дрібних мідій, відходи первинної переробки морської водорості *Філофора ребриста* (*Phyllophora nervosa*) і морську воду.

Під час роботи з дослідними тваринами дотримувались положень «Загальних етичних принципів експериментів на тваринах», ухвалених на Першому Національному конгресі з біоетики (Київ, 2001) і Європейської конвенції «Про захист хребетних тварин, яких використовують для експериментальних та інших наукових цілей» (Страсбург, 1986).

Матеріалом для досліджень слугувала великогомілкова кістка (n=5) курчат лише однієї статі – курочок 42-добового віку. Після забою курчат-бройлерів шляхом анатомічного препарування із тазової кінцівки вилучали ліву великогомілкову кістку.

Уміст загального Кальцію і неорганічного Фосфору визначали в середині діафіза великогомілкової кістки за використання спектрофотометру «UV mini-1240 SHIMADZU» (Японія) і набору реактивів НВП *Філісім-Діагностика* (м. Дніпро). Біомеханічні дослідження міцності великогомілкової кістки виконано в лабораторії статичних випробувань кафедри механіки факультету конструювання та дизайну Національного університету біоресурсів і природокористування України (м. Київ), хімічні дослідження вмісту неорганічних речовин – у лабораторії біохімії Інституту стоматології та щелепно-лицевої хірургії НАМН України (м. Одеса).

Площу поперечного перерізу середини діафіза кістки визначали шляхом сканування перерізу з подальшою обробкою у графічній програмі «Компас-3D». Механічні показники кісток визначали на випробувальній машині *FM-1000* за дії двоопорного згину (Tsurpal, 2005). Для реєстрації даних використовувалась комп'ютеризована система *Specimen*, із максимальною частотою вимірювань до 18 вимір./с.

Механічне нормальне напруження під час згину визначали за загальноживаною формулою:

$$\sigma = M / W$$

де:

σ – нормальне напруження (МПа);

M – величина згинального моменту (Нм);

W – осьовий момент опору (м³).

Значення згинального моменту визначали за формулою:

$$M = F \times l / 4,$$

де:

F – величина прикладеного зовнішнього навантаження (Н),

l – відстань між опорами (м).

Одержані цифрові показники обробляли математичними методами. Вірогідність різниці між середнім арифметичним двох варіаційних рядів визначали за критерієм достовірності (td) і таблицями Стьюдента.

Результати та їх обговорення

Результати визначення вмісту загального Кальцію і неорганічного Фосфору у середній частині діафіза великогомілкової кістки курчат-бройлерів 42-добового віку наведено в таблиці.

Вміст Кальцію, Фосфору та показник міцності у середній частині діафіза великогомілкової кістки курчат-бройлерів, M±m, n=5

Показники	Групи				
	К	Д-1	Д-2	Д-3	Д-4
Кальцій загальний, ммоль/г	2,92±0,21	3,50±0,14	3,61±0,08*	3,41±0,06	3,92±0,21*
Фосфор неорганічний, ммоль/г	1,79±0,12	2,40±0,10**	2,56±0,09***	2,57±0,06***	3,06±0,24**
Кальцій-Фосфорне відношення	1,65±0,12	1,49±0,13	1,42±0,05	1,33±0,05*	1,31±0,08*
Міцність кістки, σ max, МПа	292,94±50,11	324,93±17,02	436,19±23,70***	324,49±13,53	445,84±58,71*

Примітка: * – $p \leq 0,05$; ** – $p \leq 0,01$; *** – $p \leq 0,001$ у порівнянні з контрольною групою.

Враховуючи, що стать птахів є одним з факторів, що впливає на їх потреби в годівлі (Mello et al., 2012), а також відмінності у будові трубчастих кісток різної статі (Tkachuk, & Pasnichenko, 2017), дослід було виконано на курочках.

Аналізуючи результати дослідження, що представлені в таблиці, бачимо, що згодовування кормових добавок, виготовлених з відходів переробки морських гідробіонтів сприяло збільшенню мінералізації кісткової тканини курчат-бройлерів. Так, уміст неорганічного Кальцію у великогомілкової кістці курчат другої дослідної групи збільшився на 23,6 % ($p \leq 0,05$), четвертої – на 34,2 % ($p \leq 0,05$). У курчат першої і третьої груп спостерігали тенденцію до збільшення цього показника. Уміст неорганічного Фосфору був достовірно більшим у курчат-бройлерів усіх дослідних груп: першої – на 34,1 % ($p \leq 0,01$), другої – на 43,0 % ($p \leq 0,001$), третьої – на 43,6 % ($p \leq 0,001$) і четвертої – на 70,9 % ($p \leq 0,01$). Одержані нами результати дослідження узгоджуються з дослідженнями інших науковців щодо збільшення вмісту Кальцію і Фосфору в трубчастих кістках сільськогосподарської птиці за збільшення їх вмісту в раціоні (Williams, Waddington, Solomon, & Farquharson, 2000; Onyango, Hester, Stroshine, & Adeola, 2003; Venäläinen, Valaja, & Jalava, 2006; Zhang, He, Li, Hu, & Piao, 2019). Згідно повідомленню Onyango, Hester, Stroshine, & Adeola (2003), уміст золи в кістках курчат є чутливим індикатором концентрації Кальцію і Фосфору в раціоні, так само, як і вміст Фосфору в сироватці крові відображає різну концентрацію доступного Фосфору в кормах, а також міцність кістки на розрив і вміст в ній неорганічних речовин (Hemme, Spark, Wolf, Paschertz, & Kamphues, 2005).

Порівняно з контролем, у курчат дослідних груп Кальцієво-Фосфорне співвідношення в кістковій тканині великогомілкової кістки було меншим. Так, у бройлерів третьої і четвертої дослідної групи Кальцієво-Фосфорне співвідношення було достовірно меншим на 19,4 і 20,6 % ($p \leq 0,05$). У курчат першої і другої дослідної групи спостерігали тенденцію до зменшення Кальцієво-Фосфорного співвідношення.

Беручи до уваги результати дослідження збільшення молярного співвідношення Кальцію до Фосфору у курей з демінералізацією і високою порозністю кісткової тканини (Williams, Solomon, Waddington, Thorp, & Farquharson, 2000), зменшення цього показника у курчат-бройлерів за впливу кормових добавок із морських гідробіонтів слід вважати позитивним фактом.

Порівнюючи вплив різних кормових добавок на організм курчат-бройлерів і умов їх згодовування, слід відмітити, що збільшення вмісту неорганічного Кальцію відбулось за збагачення ними раціону, а не його часткової заміни. Так, якщо за використання МКД і БМКД курчатам першої і третьої дослідних груп уміст

Кальцію мав лише тенденцію до збільшення, то у птиці другої і четвертої груп його вміст був достовірно більшим на 23,6 і 34,2 % відповідно.

Стосовно впливу кормових добавок на вміст неорганічного Фосфору в кістковій тканині курчат, слід відмітити, що він залежав як від способу використання добавки, так і її складу. Більші показники вмісту Фосфору спостерігали за умови збагачення раціону кормовими добавками, а не його часткової заміни. Порівняно з курчатами першої і третьої групи у курчат другої і четвертої групи його вміст був більшим відповідно на 6,7 і 19,1 %. Порівняно з використанням МКД, застосування БМКД, яка крім ступок мідій містила ще й їх тіла, а також червоної водорості, в більшій мірі збільшило вміст Фосфору в кістках курчат. Так, порівняно з птицею першої і другої дослідних груп, яким використовували МКД, у курчат третьої і четвертої груп, яким використовували БМКД, його вміст був більшим на 7,1 і 19,5 % відповідно. Водночас, про збільшення вмісту золи, Кальцію і Фосфору в кістках гомілки курчат-бройлерів за збільшення в раціоні доступного Фосфору повідомляє Venäläinen, Valaja, & Jalava (2006).

Згідно результатів наших досліджень, використання МКД і БМКД сприяло збільшенню міцності кісток курчат-бройлерів. Механічне напруження кісток при згинанні, що відповідає показнику міцності, за використання кормових добавок було більшим у курчат другої дослідної групи на 48,9 % ($p \leq 0,001$), четвертої – на 52,2 % ($p \leq 0,05$). У курчат першої і другої дослідної групи спостерігали тенденцію до збільшення цього показника. Таким чином, показник міцності кісток залежав від умов використання кормових добавок: він був найбільшим у курчат, яким МКД і БМКД згодовували додатково до основного раціону.

Іншими дослідниками доведено, що міцність, здатність довгих кісток тварин, таких, як великогомілкова і стегова кістка, протистояти перелому, прямо залежить від умісту в них Кальцію і Фосфору (Wilson, 1991; Shafey, 1993; Sohail, & Roland, 2002; Hemme, Spark, Wolf, Paschertz, & Kamphues, 2005; Driver, Pesti, Bakalli, & Edwards, 2006; Zhang, He, Li, Hu, & Piao, 2019), тільки Кальцію (Frost, & Roland, 1991) і тільки Фосфору (Sohail, & Roland, 2002).

Згідно з результатами наших досліджень, збільшення показників міцності великогомілкової кістки було встановлено у курчат, в кістковій тканині яких вміст загального Кальцію і неорганічного Фосфору був більшим порівняно із контрольною групою.

Результати наших досліджень узгоджуються з результатами досліджень представленими у роботі Gerry (1980), в якій наведено дані впливу згодовування птиці подрібнених висушених мідій, і було зроблено висновок, що кормові добавки з морських гідробіонтів можуть ефективно замінити вапняк, як джерело неорганічних речовин у раціонах сільськогосподарської

птиці, і можуть бути використані з метою профілактики та лікування захворювань кінцівок і всього скелета.

Висновки

1. Використання кормових добавок, виготовлених з відходів первинної переробки морських гідробіонтів сприяло збільшенню міцності кісткової тканини великогомілкової кістки курчат-бройлерів з одночасним збільшенням умісту неорганічного Кальцію і загального Фосфору.

2. Порівняно з мінеральною кормовою добавкою, згодовування білково-мінеральної добавки сприяло збільшенню показників загального Кальцію, неорганічного Фосфору та міцності великогомілкової кістки курчат-бройлерів.

3. Збагачення раціону курчат-бройлерів мінеральною кормовою добавкою сприяло достовірному збільшенню вмісту Кальцію і Фосфору, а також міцності великогомілкової кістки на 23,6; 43,0 і 48,9 %, білково-мінеральною – на 34,2; 70,9 і 52,2 % відповідно. За умови часткової заміни раціону кормовими добавками відбулось збільшення лише вмісту Фосфору: за використання мінеральної кормової добавки на 34,1 % ($p \leq 0,01$), білково-мінеральної – на 43,6 % ($p \leq 0,001$).

Перспективою подальших досліджень є дослідження вмісту інших макро- і мікроелементів у кістковій тканині, а також інших біомеханічних показників кісток курчат-бройлерів за використання кормових добавок, виготовлених з морських гідробіонтів.

References

- Cordell, D., Neset, T. S., & Prior, T. (2012). The phosphorus mass balance: identifying 'hotspots' in the food system as a roadmap to phosphorus security. *Current Opinion in Biotechnology*, 23(6), 839–845. DOI: [10.1016/j.copbio.2012.03.010](https://doi.org/10.1016/j.copbio.2012.03.010)
- Cordell, D., Rosemarin, A., Schröder, J. J., & Smit, A. L. (2011). Towards global phosphorus security: a systems framework for phosphorus recovery and reuse options. *Chemosphere*, 2011, 84(6), 747–58. DOI: [10.1016/j.chemosphere.2011.02.032](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.02.032)
- Dahlberg, A. K., Chen, V. L., Larsson, K., Bergman, A., & Asplund, L. (2016). Hydroxylated and methoxylated polybrominated diphenyl ethers in long-tailed ducks (*Clangula hyemalis*) and their main food, Baltic blue mussels (*Mytilus trossulus* × *Mytilus edulis*). *Chemosphere*, 144, 1475–1483. DOI: [10.1016/j.chemosphere.2015.10.012](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.10.012)
- de Jesus Raposo, M. F., de Moraes, A. M., & de Moraes, R. M. (2015). Marine polysaccharides from algae with potential biomedical applications. *Marine Drugs*, 13, 2967–3028. DOI: [10.3390/md13052967](https://doi.org/10.3390/md13052967)
- Delezie, E., Bierman, K., Nollet, L., & Maerten, L. (2015). Impacts of calcium and phosphorus concentration, their ratio, and phytase supplementation level on growth performance, foot pad lesions, and hock burn of broiler chickens. *Journal of Applied Poultry Research*, 24(2), 115–126. DOI: [10.3382/japr/pfv011](https://doi.org/10.3382/japr/pfv011)
- Dibner, J. J., Richards, J. D., Kitchell, M. L., & Quiroz, M. A. (2007). Metabolic challenges and early bone development. *Journal of Applied Poultry Research*, 16, 126–137. DOI: [10.1093/japr/16.1.126](https://doi.org/10.1093/japr/16.1.126)
- Driver, J. P., Pesti, G. M., Bakalli, R. I., & Edwards, H. M. Jr. (2006). The effect of feeding calcium- and phosphorus-deficient diets to broiler chickens during the starting and growing-finishing phases on carcass quality. *Poultry Science*, 85(11), 1939–1946. DOI: [10.1093/ps/85.11.1939](https://doi.org/10.1093/ps/85.11.1939)
- DSTU 4120-2002 Kombikormy povnoratsionni dlia silskohospodarskoi ptytsi. [Na zaminu HOST 18221-72, RST USSR 2000-90; chynnyi vid 2003-04-01]. Vyd. ofits. Kyiv : Derzhavnyi komitet Ukrainy z pytan tekhnichnoho rehuliuвання ta spozhyvchoi polityky, 2003. 16 s. [In Ukrainian]
- Fleming, R. H. (2008). Nutritional factors affecting poultry bone health. *Proceedings of the Nutrition Society*, 67, 177–183.
- 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. *Poultry Science*, 70(4), 963–969. DOI: [10.3382/ps.0700963](https://doi.org/10.3382/ps.0700963)
- Gerry, R.W. (1980). Ground dried whole mussels as a calcium supplement for chicken rations. *Poultry Science*, 59, 10, 2365-2368 DOI: [10.3382/ps.0592365](https://doi.org/10.3382/ps.0592365)
- Gómez-Ordóñez, E., Jiménez-Escrig, A., & Rupérez, P. (2012). Effect of the red seaweed *Mastocarpus stellatus* intake on lipid metabolism and antioxidant status in healthy Wistar rats. *Food Chemistry*, 135, 806–811. DOI: [10.1016/j.foodchem.2012.04.138](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.04.138)
- Hemme, A., Spark, M., Wolf, P., Paschertz, H., & Kamphues, J. (2005). Effects of different phosphorus sources in the diet on bone composition and stability (breaking strength) in broilers. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 89(3-6), 129–133. DOI: [10.1111/j.1439-0396.2005.00539.x](https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2005.00539.x)
- Jönsson, L., & Holm, L. (2010). Effects of toxic and non-toxic blue mussel meal on health and product quality of laying hens. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 94(3), 405–412. DOI: [10.1111/j.1439-0396.2009.00922.x](https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.2009.00922.x)
- Julian, R. J. (2005). Production and growth related disorders and other metabolic diseases of poultry. A review. *Veterinary Journal*, 169, 350–369. DOI: [10.1016/j.tvjl.2004.04.015](https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2004.04.015)
- Kierończyk, B., Rawski, M., Józefiak, D., & Świątkiewicz, S. (2017). Infectious and non-infectious factors associated with leg disorders in poultry – a review. *Annals of Animal Science*, 17(3), 645–669. DOI: [10.1515/a0as-2016-0098](https://doi.org/10.1515/a0as-2016-0098)
- Knowles, T. G., Kestin, S. C., Haslam, S. M., Brown, S. N., Green, L. E., Butterworth, A., Pope, S. J., Pfeiffer, D., & Nicol, C. J. (2008). Leg disorders in broiler chickens: prevalence, risk factors and prevention. *PLoS One*, 3, e1545.
- Mello, H. H. C., Gomes, P. C., Rostagno, H. S., Albino, L. F. T., de Oliveira, R. F. M., da Rocha, T. C., & Ribeiro, C. L. N. (2012). Requirement of available phosphorus by female broiler chickens keeping the calcium:available phosphorus ratio at 2:1. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 41(11), 2329–2335. DOI: [10.1590/S1516-35982012001100005](https://doi.org/10.1590/S1516-35982012001100005)
- Morris, J. P., Backeljau, T., & Chapelle, G. (2019). Shells from aquaculture: a valuable biomaterial, not a nuisance waste product. *Reviews in Aquaculture*, 11, 42–57. DOI: [10.1111/raq.12225](https://doi.org/10.1111/raq.12225)
- Neset, T. S., Cordell, D., Mohr, S., VanRiper, F., & White, S. (2016). Visualizing alternative phosphorus scenarios for future food security. *Frontiers in Nutrition*. 2016, 3, 47. eCollection. DOI: [10.3389/fnut.2016.00047](https://doi.org/10.3389/fnut.2016.00047)
- Odongo, N. E., Plaizier, J., van Straaten, P., & McBride, B. (2002). The effects of replacing dicalcium phosphate with Busumbu rock phosphate on performance and the mechanical properties of bone in growing chicks. *Tropical Animal Health and Production*, 34(4), 349–358. DOI: [10.1023/a:1015690920578](https://doi.org/10.1023/a:1015690920578)
- Onyango, E. M., Hester, P. Y., Strohshine, R., & Adeola, O. (2003). Bone densitometry as an indicator of percentage tibia ash in broiler chicks fed varying dietary

- calcium and phosphorus levels. *Poultry Science*, 82(11), 1787–1789. DOI: [10.1093/ps/82.11.1787](https://doi.org/10.1093/ps/82.11.1787)
- Rama Rao, S. V., Raju, M. V. L. N., Reddy, M. R., & Pavani, P. (2006). Interaction between dietary calcium and non-phytate phosphorus levels on growth bone mineralization and mineral excretion in commercial broilers. *Animal Feed Science and Technology*, 131, 133–148.
- Rath, N. C., Huff, G. R., Huff, W. E., & Balog, J. M. (2000). Factors regulating bone maturity and strength in poultry. *Poultry Science*, 79, 1024–1032. DOI: [10.1093/ps/79.7.1024](https://doi.org/10.1093/ps/79.7.1024)
- Saunders-Blades, J. L., MacIsaac, J. L., Korver, D. R., & Anderson, D. M. (2009). The effect of calcium source and particle size on the production performance and bone quality of laying hens. *Poultry Science*, 88(2), 338–353. DOI: [10.3382/ps.2008-00278](https://doi.org/10.3382/ps.2008-00278)
- Scholz, R. W., Ulrich, A. E., Eilittä, M., & Roy, A. (2013). Sustainable use of phosphorus: a finite resource. *Science of the Total Environment*, 461–462, 799–803. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2013.05.043](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.05.043)
- Shafey, T. M. (1993). Calcium tolerance of growing chickens: effect of ratio of dietary calcium to available phosphorus. *World's Poultry Science Journal*, 49(1), 5–18. DOI: [10.1079/WPS19930002](https://doi.org/10.1079/WPS19930002)
- Sohail, S. S., & Roland, D. A. Sr. (2002). Influence of dietary phosphorus on performance of Hy-line W36 hens. *Poultry Science*, 81(1), 75–83. DOI: [10.1093/ps/81.1.75](https://doi.org/10.1093/ps/81.1.75)
- Stenflo, J. (1991). Structure-function relationships of epidermal growth factor modules in vitamin K-dependent clotting factors. *Blood*, 78, 1637–1651. PMID: 1912552.
- Świątkiewicz, S., & Arczewska-Wlosek, A. (2012). Bone quality characteristics and performance in broiler chickens fed diets supplemented with organic acids. *Czech Journal of Animal Science*, 57(4), 193–205. DOI: [10.17221/6004-cjas](https://doi.org/10.17221/6004-cjas)
- Tkachuk, S. A., & Pasnichenko, O. S. (2017). *Vikovi ta vydovi morfo-biomekhanichni zakonomirnosti trubchastykh kistok sviiskoi ptytsi : [monohrafiia]*. Kyiv, 281 s. [In Ukrainian]
- Tsurpal, I. A. (2005). *Mekhanika materialiv i konstruksii : Navchalnyi posibnyk dlia pidhotovky bakalavriv v ahrarykh vyshchykh navchalnykh zakladakh II–IV rivniv akredytatsii z napriamiv «Mekhanizatsiia ta elektryfikatsiia silskoho hospodarstva» ta «Inzhenerna mekhanika» (spetsialnist «Mashyny ta obladnannia silskoho hospodarstva»)*. Kyiv : Vyshcha osvita, 367 s. [In Ukrainian]
- Underwood, E. J., & Suttle, N. F. (1999). *The mineral nutrition of livestock*. 3 ed. New York: CAB International. 614 p.
- Venäläinen, E., Valaja, J., & Jalava, T. (2006). Effects of dietary metabolisable energy, calcium and phosphorus on bone mineralisation, leg weakness and performance of broiler chickens. *British Poultry Science*, 47(3), 301–310. DOI: [10.1080/00071660600741776](https://doi.org/10.1080/00071660600741776)
- Ventura, M. V. A., & da Silva, R. M. (2019). Bone problems caused by the deficiency of calcium and phosphorus in the feeding of broilers. *Biomedical Journal of Scientific & Technical Research*, 16(4), 12223–12226. DOI: [10.26717/BJSTR.2019.16.002886](https://doi.org/10.26717/BJSTR.2019.16.002886)
- Waldenstedt, L. (2006). Nutritional factors of importance for optimal leg health in broilers: A review. *Animal Feed Science and Technology*, 126, 291–307. DOI: [10.1016/j.anifeedsci.2005.08.008](https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2005.08.008)
- Williams, B., Solomon, S., Waddington, D. Thorp, B., & Farquharson, C. (2000). Skeletal development in the meat-type chicken. *British Poultry Science*, 41(2), 141–149. DOI: [10.1080/713654918](https://doi.org/10.1080/713654918)
- Williams, B., Waddington, D., Solomon, S., & Farquharson, C. (2000). Dietary effects on bone quality and turnover, and Ca and P metabolism in chickens. *Research in Veterinary Science*, 69(1), 81–87. DOI: [10.1053/rvsc.2000.0392](https://doi.org/10.1053/rvsc.2000.0392)
- Wilson, J. H. (1991). Bone strength of caged layers as affected by dietary calcium and phosphorus concentrations, reconditioning, and ash content. *British Poultry Science*, 32(3), 501–508. DOI: [10.1080/00071669108417374](https://doi.org/10.1080/00071669108417374)
- Zhang, L., He, T., Li, M., Hu, J., & Piao, X. (2019). Effects of dietary calcium and phosphorus levels and supplementation of 25-hydroxycholecalciferol on performance and bone properties of broiler starters. *Archives of Animal Nutrition*, 73(6), 445–456. DOI: [10.1080/1745039X.2019.1667192](https://doi.org/10.1080/1745039X.2019.1667192)