



Науковий вісник Львівського національного університету  
ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького.  
Серія: Сільськогосподарські науки

Scientific Messenger of Lviv National University  
of Veterinary Medicine and Biotechnologies.  
Series: Agricultural sciences

ISSN 2519–2698 print  
ISSN 2707–5834 online

doi: 10.32718/nvlvet-a9601  
<https://nvlvet.com.ua/index.php/agriculture>

UDC 636.598:082.2

## Use of the mathematical models to describe egg production of the geese

V. P. Khvostik<sup>1</sup>, G. A. Paskevych<sup>2</sup>✉, L. M. Fijalovych<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Animal Science of the National Academy of Agrarian Sciences, Kharkov, Ukraine

<sup>2</sup>Stepan Gzhytskyi National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies Lviv, Lviv, Ukraine

### Article info

Received 25.01.2022

Received in revised form

24.02.2022

Accepted 25.02.2022

**Khvostik, V. P., Paskevych, G. A., & Fijalovych, L. M. (2022). Use of the mathematical models to describe egg production of the geese. Scientific Messenger of Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Agricultural sciences, 24(96), 3–8. doi: 10.32718/nvlvet-a9601**

Institute of Animal Science of the  
National Academy of Agrarian  
Sciences, Tvarnynykiv Str., 1A,  
Kharkov, 61026, Ukraine

Stepan Gzhytskyi National  
University of Veterinary Medicine  
and Biotechnologies Lviv,  
Pekarska Str., 50, Lviv,  
79010, Ukraine.  
Tel: +38-097-541-85-86  
E-mail: galinapaskevich14@gmail.com

The article presents the results of descriptive modeling of egg production in geese of different genotypes to create a dimorphic population. T. Bridges' model in all groups of birds overestimated the egg-laying rates in the second and fifth months of egg-laying – by 0.41–7.63 % and 4.10–6.64 %, respectively. At the same time, in the fourth month of laying, she underestimated its value – by 4.13–6.91 %. In the middle of egg-laying, i.e., in the third month, this model most accurately described it – deviations of theoretical values from empirical ones were minimal (in the range of 0.37–2.43 %). In general, using the model of T. Bridges, the average percentage of deviations of the actual egg production from the empirical was 2.31–4.37 %. The highest correspondence of essential indicators with those calculated among the studied groups was found in geese F2 (2.31 %). Using the model of F. Richards, similar trends in the mathematical description of egg-laying were observed. This model overestimated the value of egg production in geese of different genotype groups in the second (1.39–8.88 %) and fifth (5.00–7.43 %) months of egg-laying. In the fourth month, this model underestimated egg production in poultry in the range of 4.13–7.19 %. In general, the average percentage deviation of actual indicators theoretically determined by this model was low and was in the field of 2.47–5.07 %. Comparing the use of models of T. Bridges and F. Richards on geese of one group, we can note the higher efficiency of the first, i.e., higher accuracy of coincidence of actual and theoretical values of monthly egg production. Analysis of the coefficients of the models used among the geese of the studied groups shows that the most incredible exponential growth rate of the theoretical egg-laying curve is characteristic of the descendants of F1 and F2, while the function of T. Bridges is the lowest in the descendants of the third generation in the original breeds. According to the model of T. Bridges, the kinetic rate of increase of the theoretical curve according to the model T. Bridges is highest in birds F3, Rhine breed and created dimorphic geese, and according to the function of F. Richards – in F1, F2 and also in Rhine geese.

**Key words:** geese, egg-laying, description, T. Bridges model, F. Richards model.

## Використання математичних моделей для опису несучості гусей

В. П. Хвостик<sup>1</sup>, Г. А. Паскевич<sup>2</sup>✉, Л. М. Фіялович<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Інститут тваринництва НААН, м. Харків, Україна

<sup>2</sup>Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького, м. Львів, Україна

У статті наведено результати описового моделювання несучості в гусей різних генотипів у процесі створення диморфної популяції. Модель Т. Бріджеса у всіх групах птиці завищувала показники несучості на другому та п'ятому місяцях яйцекладки – відповідно на 0,41–7,63 % та 4,10–6,64 %. Водночас на четвертому місяці несучості вона занижувала її значення – на 4,1–6,91 %. У середині яйцекладки, тобто на третьому місяці, дана модель найбільш точно її описувала – відхилення теоретичних значень від емпіричних були мінімальними (у межах 0,37–4,3 %). Загалом за використання моделі Т. Бріджеса середній відсоток відхилень фактичних показників несучості від емпіричних склав 2,31–4,37 %. Найбільшу відповідність фактичних показників з розраховани-

ми серед досліджених груп визначено у гусей  $F_2$  (2,31 %). За використання моделі Ф. Річардса виявлено подібні тенденції математичного опису несучості. Дана модель завищувала значення несучості у гусей різних генотипових груп на другому (1,39–8,88 %) та п'ятому (5,00–7,43 %) місяцях яйцекладки. На четвертому місяці ця модель занижувала показники несучості у птиці у межах 4,13–7,19 %. У підсумку середній відсоток відхилень фактичних показників з теоретично визначеними цією моделлю був невисоким і перебував у межах 2,47–5,07 %. Порівнюючи використання моделей Т. Бріджеса та Ф. Річардса на гусях однієї групи, можна підкреслити вищу ефективність першої, тобто більш високу точність збігу фактичних і теоретичних значень помісячної несучості. Аналіз коефіцієнтів використаних моделей серед гусей досліджених груп свідчить, що найбільша експоненційна швидкість росту теоретичної кривої яйцекладки характерна нащадкам  $F_1$  і  $F_2$ , тим часом як за функцією Т. Бріджеса вона є найнижчою у нащадків третього покоління та диморфних гусей, а за рівнянням Ф. Річардса – у вихідних порід. Кінетична швидкість нарощування теоретичної кривої за моделлю Т. Бріджеса найвища у птиці  $F_3$ , рейнської породи та створених диморфних гусей, а за функцією Ф. Річардса – у  $F_1$ ,  $F_2$  і також у рейнських гусей.

**Ключові слова:** гуси, несучість, опис, модель Т. Бріджеса, модель Ф. Річардса.

## Вступ

Швидкість росту і розвитку сільськогосподарської птиці тісно пов'язані з її господарсько корисними та племінними якостями. Ріст і розвиток являють собою складний єдиний процес, котрий залежить від спадковості організму та умов вирощування птиці. Кількісні та якісні зміни в організмі протягом життя відбуваються з різною інтенсивністю. Це обумовлено безперервністю росту і розвитку його частин в окремі періоди життя організму. Ріст відбувається у результаті збільшення числа клітин, маси і розмірів організму загалом або окремих його частин. Одночасно з ростом змінюється та ускладнюється будова клітин, утворюються нові тканини й органи, тобто відбуваються якісні зміни організму, або його розвиток (Rait, 2017; Sobolev et al., 2017; 2018; 2019; Bashchenko et al., 2020).

Для удосконалення селекційних програм у птахівництві важливого значення набуває розробка критеріїв оцінки закономірності росту молодняка та дорослої птиці з метою прогнозування у наступних поколіннях і для корекції системи вирощування, зокрема, використання обмеженої годівлі ремонтного молодняка, що має важливе народногосподарське значення. Для вирішення цих питань пропонується застосовувати два підходи: вивчення онтогенетичних змін живої маси птиці шляхом удосконалення показників, що характеризують інтенсивність росту й формування особин та використання математичних моделей для опису й прогнозування живої маси (Kovalenko, 2003).

Математичне моделювання базується на вивченні об'єктів, явищ, процесів за допомогою застосування різноманітних моделей, які виступають особливою системою математичних співвідношень (Ferreira et al., 2015). Висновки, отримані за використання правильно визначеної моделі, дають змогу знизити енергетичні та економічні витрати на виробництво продукції (Otwińska-Mindur et al., 2016).

Удосконалення методів і прийомів оцінки росту живої маси та мірних ознак організмів тварин і птиці ведеться у різних напрямках. Одним з них виступає математичне моделювання кривих росту птиці для їх опису та прогнозування майбутньої ячної та м'ясної продуктивності (Narinc et al., 2011; 2013; 2014; Leksrisonpong et al., 2014; Javid et al., 2016). Даний підхід найбільш інформативний, тому що вибір адекватної моделі дає змогу з високою точністю описувати теоретично розрахованими даними експериментально отримані показники, проводити оцінку особин у ранньому віці, скоротивши період зміни генерацій,

отримуючи ефект селекції внаслідок більш високої племінної цінності відібраних генотипів (Wencsek et al., 2015; Wolc et al., 2015).

Для виявлення загальних закономірностей росту запропоновано низку методів, при цьому особливого значення набувають математичні моделі для опису та, особливо – прогнозування продуктивності тварин. Досить докладні дослідження моделювання росту проведено у птахівництві, де розроблено експоненційну модель, яка адекватно описує криві росту птиці (Kycher & Pasechnik, 2016; Hryhorenko & Shcherbyna, 2017; Stepanenko, 2018; Stepanenko, 2020).

**Метою досліджень** було провести математичне моделювання полігенно зумовленої ознаки “несучість” у гусей різного генетичного походження, отриманих у процесі виведення диморфної популяції.

## Матеріал і методи досліджень

Дослідження проведено на гусях вихідних родинних форм, великої сірої та рейнської породи гусей першого-третього покоління, створеної диморфної популяції у процесі її виведення на базі племінного заводу “Роздольне” Харківської області. Для опису несучості птиці використано рівняння функції Т. Бріджеса (Bridges et al., 1986) та Ф. Річардса (Richards, 1959).

Усі експериментальні втручання проводили з дотриманням вимог “Європейської конвенції про захист хребетних тварин, яких використовують для експериментальних та наукових цілей” (Страсбург, 1985) та ухвали Першого національного конгресу з біоетики (Київ, 2001).

## Результати та їх обговорення

При вивченні закономірностей росту сільськогосподарської птиці насамперед визначають її живу масу, середньодобові та відносні прирости, проміри статей тіла, індекси тілобудови (Korsakov, 2020; Krotova et al., 2020).

Рівняння росту, згладжуючи окремі відхилення, дають змогу визначити загальну тенденцію вікових змін того чи іншого об'єкта. Визначення такої тенденції чи траєкторії росту надає можливість із досить високою точністю прогнозувати вікові зміни живої маси (Kovalenko & Bolelaja, 1998).

Актуальним постає питання застосування математичних моделей для опису і прогнозування несучості на більш широкому генетичному матеріалі сільсько-

господарської птиці, яким виступають у наших дослідженнях вихідні родинні форми гусей та нащадки першого–четвертого поколінь створеної диморфної популяції.

Розглянуто можливість застосування математичних моделей Т. Бріджеса та Ф. Річардса для опису несучості протягом п'яти місяців яйцекладки гусей в

процесі виведення диморфної популяції (табл. 1–6). Особливістю цих моделей є те, що вони прогнозують значення продуктивності по більш вирівняній, згладженій кривій, розрахованій за накопичуваними даними несучості, що дозволяє точніше прогнозувати параметри продуктивних ознак.

**Таблиця 1**

Описове моделювання несучості гусей великої сірої породи

| Місяць несучості | Фактичні дані | Модель Т. Бріджеса |               | Модель Ф. Річардса |               |
|------------------|---------------|--------------------|---------------|--------------------|---------------|
|                  |               | Теоретичні дані    | Відхилення, % | Теоретичні дані    | Відхилення, % |
| 1                | 0,10          | 0,10               | 0,00          | 0,10               | 0,00          |
| 2                | 8,00          | 8,61               | -7,63         | 8,71               | -8,88         |
| 3                | 17,39         | 17,27              | 0,69          | 17,07              | 1,84          |
| 4                | 24,90         | 23,18              | 6,91          | 23,11              | 7,19          |
| 5                | 25,30         | 26,98              | -6,64         | 27,18              | -7,43         |
| $\bar{X}$        | ×             | ×                  | 4,37          | ×                  | 5,07          |

**Таблиця 2**

Описове моделювання несучості гусей рейнської породи

| Місяць несучості | Фактичні дані | Модель Т. Бріджеса |               | Модель Ф. Річардса |               |
|------------------|---------------|--------------------|---------------|--------------------|---------------|
|                  |               | Теоретичні дані    | Відхилення, % | Теоретичні дані    | Відхилення, % |
| 1                | 0,36          | 0,36               | 0,00          | 0,36               | 0,00          |
| 2                | 9,96          | 10,31              | -3,51         | 10,36              | -4,02         |
| 3                | 18,94         | 19,01              | -0,37         | 18,87              | 0,37          |
| 4                | 26,05         | 24,48              | 6,03          | 24,45              | 6,14          |
| 5                | 26,20         | 27,73              | -5,84         | 27,89              | -6,45         |
| $\bar{X}$        | ×             | ×                  | 3,15          | ×                  | 3,40          |

**Таблиця 3**

Описове моделювання несучості гусей F1

| Місяць несучості | Фактичні дані | Модель Т. Бріджеса |               | Модель Ф. Річардса |               |
|------------------|---------------|--------------------|---------------|--------------------|---------------|
|                  |               | Теоретичні дані    | Відхилення, % | Теоретичні дані    | Відхилення, % |
| 1                | 0,10          | 0,10               | 0,00          | 0,10               | 0,00          |
| 2                | 10,85         | 11,12              | -2,49         | 11,22              | -3,41         |
| 3                | 19,97         | 19,86              | 0,55          | 19,63              | 1,70          |
| 4                | 25,69         | 24,63              | 4,13          | 24,63              | 4,13          |
| 5                | 25,95         | 27,20              | -4,82         | 27,45              | -5,78         |
| $\bar{X}$        | ×             | ×                  | 2,40          | ×                  | 3,00          |

**Таблиця 4**

Описове моделювання несучості гусей F2

| Місяць несучості | Фактичні дані | Модель Т. Бріджеса |               | Модель Ф. Річардса |               |
|------------------|---------------|--------------------|---------------|--------------------|---------------|
|                  |               | Теоретичні дані    | Відхилення, % | Теоретичні дані    | Відхилення, % |
| 1                | 0,15          | 0,15               | 0,00          | 0,15               | 0,00          |
| 2                | 12,19         | 12,24              | -0,41         | 12,36              | -1,39         |
| 3                | 21,37         | 21,79              | -1,97         | 21,55              | -0,84         |
| 4                | 28,63         | 27,18              | 5,06          | 27,16              | 5,13          |
| 5                | 29,00         | 30,19              | -4,10         | 30,45              | -5,00         |
| $\bar{X}$        | ×             | ×                  | 2,31          | ×                  | 2,47          |

Аналізуючи результати описового моделювання за Т. Бріджесом, можна відзначити такі особливості. Дана модель у всіх групах птиці завищувала показники несучості на другому та п'ятому місяцях яйцекладки – відповідно на 0,41–7,63 % та 4,10–6,64 %. Водночас на четвертому місяці несучості вона занижувала її значення – на 4,13–6,91 %. Найбільші відхилення виявлено у великих сірих гусей.

У середині яйцекладки, тобто на третьому місяці, модель Т. Бріджеса описувала її найточніше – відхилення теоретичних значень від емпіричних були мінімальними (у межах 0,37–2,43 %).

Загалом за використання моделі Т. Бріджеса середній відсоток відхилень фактичних показників несучості від емпіричних склав 2,31–4,37 %. Найбільшу відповідність фактичних показників з розрахованими серед

досліджених груп визначено у гусей F<sub>2</sub> (2,31 %), тимчасом як найменшу – у великих сірих (4,37 %).

За використання моделі Ф. Річардса, аналогічно моделі Т. Бріджеса, виявлено подібні тенденції математичного опису несучості. Так, дана модель завищувала значення несучості у гусей різних генотипових

груп на другому (1,39–8,88 %) та п'ятому (5,00–7,43 %) місяцях яйцекладки. І знову найбільше перевищення розрахованих значень над емпіричними було у великих сірих гусей. На четвертому місяці ця модель занижувала показники несучості у птиці у межах 4,13–7,19 %.

**Таблиця 5**

Описове моделювання несучості гусей F<sub>3</sub>

| Місяць несучості | Фактичні дані | Модель Т. Бріджеса |               | Модель Ф. Річардса |               |
|------------------|---------------|--------------------|---------------|--------------------|---------------|
|                  |               | Теоретичні дані    | Відхилення, % | Теоретичні дані    | Відхилення, % |
| 1                | 0,79          | 0,79               | 0,00          | 0,79               | 0,00          |
| 2                | 12,27         | 13,10              | -6,76         | 13,12              | -6,93         |
| 3                | 24,37         | 23,85              | 2,13          | 23,71              | 2,71          |
| 4                | 32,63         | 30,96              | 5,12          | 30,91              | 5,27          |
| 5                | 33,40         | 35,36              | -5,87         | 35,52              | -6,35         |
| $\bar{X}$        | ×             | ×                  | 3,98          | ×                  | 4,25          |

**Таблиця 6**

Описове моделювання несучості гусей диморфної популяції

| Місяць несучості | Фактичні дані | Модель Т. Бріджеса |               | Модель Ф. Річардса |               |
|------------------|---------------|--------------------|---------------|--------------------|---------------|
|                  |               | Теоретичні дані    | Відхилення, % | Теоретичні дані    | Відхилення, % |
| 1                | 0,72          | 0,72               | 0,00          | 0,72               | 0,00          |
| 2                | 12,95         | 13,85              | -6,95         | 13,88              | -7,18         |
| 3                | 25,94         | 25,31              | 2,43          | 25,14              | 3,08          |
| 4                | 34,48         | 32,79              | 4,90          | 32,74              | 5,05          |
| 5                | 35,30         | 37,37              | -5,86         | 37,56              | -6,40         |
| $\bar{X}$        | ×             | ×                  | 4,03          | ×                  | 4,34          |

У підсумку – середній відсоток відхилень фактичних показників з теоретично визначеними цією моделлю був невисоким і перебував у межах 2,47–5,07 %. Як і за попередньою моделлю, найбільшу відповідність фактичних значень з теоретичними визначено у гусей другої генерації, тимчасом як більші розбіжності були у птиці вихідної материнської форми.

Порівнюючи використання моделей Т. Бріджеса та Ф. Річардса на гусях однієї групи, можна підкреслити

вищу ефективність першої, тобто вищу точність збігу фактичних і теоретичних значень помісячної несучості.

Аналіз коефіцієнтів використаних моделей (табл. 7) серед гусей досліджених груп свідчить, що найбільша експоненційна швидкість росту теоретичної кривої яйцекладки характерна нащадкам F<sub>1</sub> і F<sub>2</sub>, тимчасом як за функцією Т. Бріджеса вона є найнижчою у потомків третього покоління та диморфних гусей, а за рівнянням Ф. Річардса – у вихідних порід.

**Таблиця 7**

Коефіцієнти моделей у гусей досліджуваних груп

| Порода, покоління, популяція | Модель Т. Бріджеса |          |                       | Модель Ф. Річардса |          |                       |
|------------------------------|--------------------|----------|-----------------------|--------------------|----------|-----------------------|
|                              | <i>M</i>           | <i>a</i> | <i>R</i> <sup>2</sup> | <i>μ</i>           | <i>A</i> | <i>R</i> <sup>2</sup> |
| Велика сіра                  | 1,437              | 0,570    | 98,73                 | -0,700             | 0,463    | 98,47                 |
| Рейнська                     | 1,358              | 0,634    | 99,01                 | -0,708             | 0,540    | 98,87                 |
| F <sub>1</sub>               | 1,725              | 0,571    | 99,43                 | -0,756             | 0,612    | 99,26                 |
| F <sub>2</sub>               | 1,651              | 0,571    | 99,38                 | -0,784             | 0,573    | 99,28                 |
| F <sub>3</sub>               | 1,215              | 0,659    | 99,03                 | -0,710             | 0,504    | 98,90                 |
| Диморфна                     | 1,254              | 0,650    | 99,05                 | -0,713             | 0,511    | 98,91                 |

Кінетична швидкість нарощування теоретичної кривої за моделлю Т. Бріджеса найвища у птиці F<sub>3</sub>, рейнської породи та створених диморфних гусей, а за функцією Ф. Річардса – у F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub> і також у рейнських гусей. Апроксимація теоретичних кривих обох моделей до фактичних даних, що виражена коефіцієнтом детермінації, найтісніша у гусей першого і другого поколінь. Їм дещо поступаються нащадки F<sub>3</sub> та диморфна популяція. Вихідні породи характеризуються порівняно меншими значеннями детермінації.

**Висновки**

Проведені дослідження показують, що апроксимація фактичних кривих теоретичними, що змодельовані використаними функціями, є дуже високою, хоча рівняння Т. Бріджеса має вищі значення коефіцієнту детермінації порівняно з рівнянням Ф. Річардса. До того ж встановлено, що нащадки першого і другого поколінь мають найбільші значення апроксимації у рамках використаних моделей, цей факт підкріплю-

ється найнижчими середніми відхиленнями у цих групах. Окрім того, встановлено, що нащадки першої і другої генерації характеризуються найвищою експоненційною швидкістю росту теоретичних кривих. На нашу думку, такі результати можна пояснити гетерозисним ефектом, який у нащадків F<sub>3</sub> дещо слабшає, а у диморфній популяції ймовірно стабілізується.

*Перспективи подальших досліджень.* Перспективним напрямом досліджень буде проведення описового моделювання несучості гусей протягом усіх років їх використання.

#### Відомості про конфлікт інтересів

Автори стверджують про відсутність конфлікту інтересів.

#### References

- Bashchenko, M. I., Boiko, O. V., Honchar, O. F., Gutyj, B. V., Lesyk, Y. V., Ostapuyuk, A. Y., Kovalchuk, I. I., & Leskiv, Kh. Ya. (2020). The effect of milk thistle, metiphen, and silimevit on the protein-synthesizing function of the liver of laying hens in experimental chronic cadmium toxicosis. *Ukrainian Journal of Ecology*, 10(6), 164–168. DOI: 10.15421/2020\_276.
- Bridges, T. C., Turner, L. W., & Smith, E. M. (1986). A mathematical procedure for estimating animal growth and body composition. *Trans. ASAE*, 29(5), 1342–1347. DOI: 10.13031/2013.30320.
- Ferreira, N. T., Nilva, K., & Sakomura, N. K. (2015). Modelling the egg components and laying patterns of broiler breeder hens. *Animal Production Science*, 78(10), 342–360. DOI: 10.1071/AN14737.
- Hryhorenko, V. V., & Shcherbyna, O. V. (2017). Matematychnyi pidkhyd v otsynsi produktyvnykh yakosteï pytsi. Aktualni pytannia suchasnoi nauky: materialy konf. (m. IvanoFrankivsk, 7–8 lypnia 2017 r.). IvanoFrankivsk, 98–100. URL: <http://molodyvcheny.in.ua/files/conf/other/17july2017/32.pdf> (in Ukrainian).
- Javid, I., Sohail, H. K., & Nasir, M. (2016). Effects of egg size (weight) and age on hatching performance and chick quality of broiler breeder. *J. Appl. Anim. Res*, 44, 354–364. DOI: 10.1080/09712119.2014.987294.
- Korsakov, K. V. (2020). Ispol'zovanie kormovoj dobavki Reasil® Humic Health pri vyrashhivanii indeek: rezul'taty i perspektivy. *Pticevodstvo*, 4, 16–19. DOI: 10.33845/0033-3239-2020-69-4-16-19 (in Russian).
- Kovalenko, I. I. (2003). Vykorystannia matematychnykh modelei dlia otsinky parametriv rostu pytsi ryznykh klasiv rozpodilu. *Tavriiskyi naukovyi visnyk*, 22, 96–99 (in Ukrainian).
- Kovalenko, V. P., & Bolelaja, S. Yu. (1998). Selekcionnaja model' prognozirovanija mjasnoj produktivnosti pticy. *Citologija i genetika*, 32(4), 55–59 (in Russian).
- Krotova, N. Yu., Lavrentev, A. Yu., & Scherne, V. S. (2020). Produktivnost' cypljat-brojlerov pri ispol'zovanii mul'tijenzimnogo preparata. *Pticevodstvo*, 2, 27–30. DOI: 10.33845/0033-3239-2020-69-2-27-30 (in Russian).
- Kycher, E. A., & Pasechnik, M. V. (2016). Matematicheskoe modelirovanie dinamiki rosta i produktivnosti kur krossov “Hajseks braun” i “Lomann braun”. *Tehnologicheskij audit i rezervy proizvodstva*, 4/2(30), 38–44. DOI: 10.15587/2312-8372.2016.72833 (in Russian).
- Leksrisompong, N., Romero-Sanchez, H., & Oviedo-Rondón, E.O. (2014). Effects of feeder space allocations during rearing, female strain, and feed increase rate from photo stimulation to peak egg production on broiler breeder female performance. *Poultry Sci*, 93(5), 1045–1052. DOI: 10.3382/ps.2013-03219.
- Narinc, D., Karaman, E., & Aksoy, T. (2013). Investigation of nonlinear models to describe long-term egg production in Japanese quail. *Poultry Sci*, 92(6), 1676–1682. DOI: 10.3382/ps.2012-02511.
- Narinc, D., Karaman, E., & Firat, Z. M. (2011). Comparison of non-linear growth models to describe the growth in Japanese quail. *J. Anim. Vet. Adv*, 9(14), 1961–1966. DOI: 10.3923/javaa.2010.1961.1966.
- Narinc, D., Uckardes, F., & Aslan, E. (2014). Egg production curve analysis in poultry science. *World Poultry Sci. J*, 70(4), 817–828. DOI: 10.1017/S0043933914000877.
- Otwinowska-Mindur, A., Gumułka, M., & Kania-Gierdziewicz, J. (2016). Mathematical models for egg production in broiler breeder hens. *Ann. Anim. Sci*, 16(4), 1185–1198. DOI: 10.1515/aoas-2016-0037.
- Rait, A. (2017). *Pticevodstvo dlja nachinajushhih. Jeksmo-Press* (in Russian).
- Richards, F. J. (1959). A flexible growth function for empirical use. *Journal of experimental Botany*, 10(29), 290–300. URL: <http://www.jstor.org/stable/23686557>.
- Sobolev, A., Gutyj, B., Grynevych, N., Bilkevych, V., & Mashkin, Y. (2017). Enrichment of meat products with selenium by its introduction to mixed feed compounds for birds. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 8(3), 417–422. DOI: 10.15421/021764.
- Sobolev, O., Gutyj, B., Petryshak, R., Pivtorak, J., Kovalskyi, Y., Naumyuk, A., Petryshak, O., Semchuk, I., Mateusz, V., Shcherbatyy, A., & Semeniv, B. (2018). Biological role of selenium in the organism of animals and humans. *Ukrainian Journal of Ecology*, 8(1), 654–665. DOI: 10.15421/2017\_263.
- Sobolev, O., Gutyj, B., Petryszak, R., Golodjuk, I., Naumyuk, O., & Petryszak, O. (2018). The development of the digestive system in broiler chickens at different levels of selenium into the mixed fodder. *Scientific Messenger of Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnologies*, 20(84), 83–87. DOI: 10.15421/nvlvet8415.
- Sobolev, O. I., Gutyj, B. V., Sobolieva, S. V., Shaposhnik, V. M., Sljusarenko, A. A., Stoyanovskyy, V. G., Kamratska, O. I., Karkach, P. M., Bilkevych, V. V., Stavetska, R. V., Babenko, O. I., Bushtruk, M. V., Starostenko, I. S., Klopenko, N. I., Korol'-Bezpalá, L. P., & Bezpalyi, I. F. (2019). Digestibility of nutrients by young geese for use of lithium in the composition of fodder. *Ukrainian Journal of Ecology*, 9(1), 1–6. URL: <https://www.ujecology.com/articles/digestibility-of-nutrients-by-young-geese-for-use-of-lithium-in-the-composition-of-fodder.pdf>.
- Sobolev, O. I., Gutyj, B. V., Sobolieva, S. V., Fesenko, V. F., Bilkevych, V. V., Babenko, O. I., Klopenko, N. I., Kachan, A. D., Kosior, L. T., Lastovska, I. O., Vered, P. I., Shulko, O. P., Onyshchenko, L. S., & Slobodeniuk, O. I. (2019). The influence of different

- doses of lithium additive in mixed feed on the balance of nitrogen in organism of goslings. *Ukrainian Journal of Ecology*, 9(2), 91–96. URL: <https://www.ujecology.com/articles/the-influence-of-different-doses-of-lithium-additive-in-mixed-feed-on-the-balance-of-nitrogen-in-organism-of-goslings.pdf>.
- Stepanenko, N. (2020). Doslidzhennia pokaznykiv efektyvnosti vyrobnytstva yaiets za dopomohoiu matematychnykh metodiv ta modelei. *Tavriiskyi naukovi visnyk. Serii: Ekonomika*, 2, 303–312. URL: <http://tnv-econom.ksauniv.ks.ua/index.php/journal/article/view/80> (in Ukrainian).
- Stepanenko, N. V. (2018). Matematychni metody, modeli ta informatsiini tekhnolohii v ekonomitsi. *Biznesnavihator*, 4(47), 189–194 (in Ukrainian).
- Wencek, E., Kałużna, I., & Koźlecka, M. (2015). Performance assessment of the utilitarian and breeding values of meat-type hens. The results of the assessment of the utilitarian value of poultry in 2014 (in Polish). *The National Poultry Council – Chamber of Commerce*, Warsaw, 1243–1387.
- Wolc, A., Graczyk, M., & Settar, P. (2015). Modified Wilmlink curve for egg production analysis in layers. *XXVII International Poultry Science Symposium PB WPSA “Science to practice – practice to science”*, 56.