

УДК 636.52/.58:637.4:004.94

DOI <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2021.121.28>

МОДЕЛЮВАННЯ КОНЦЕНТАЦІЇ ВІТАМІНУ Е І СЕЛЕНУ В ЯЙЦЯХ КУРЕЙ

Сахацький Г.І. – к.с.-г.н., доцент,

завідувач кафедри агротехнології і агроінженерії,

Приазовський державний технічний університет

Десятський С.П. – к.фіз.-мат.н.,

доцент кафедри вищої та прикладної математики,

Приазовський державний технічний університет

Забезпеченість птиці вітамінами вважається важливим чинником її високої репродуктивної здатності. Вивчено дію підвищених рівнів вітаміну Е та селену у комбікормі на їхню концентрацію в яйцях курей. Птиці дослідних груп додатково давали вітамін Е (у вигляді синтетичного DL-альфа-токоферилацетату) і селен (у вигляді селеніту натрію). Тривалість дослідів становила 7 місяців. Контрольні і дослідні групи птиці сформовано за методом аналогів із курей, вирівняних за живою масою у 140-денному віці. Птиця утримувалась у клітках. Основні параметри утримання і годівлі птиці відповідали встановленим вимогам. Концентрацію вітаміну Е у жовтку яєць визначали щомісяця, селену у жовтку і білку яєць - на 2, 4 та 7 місяць дослідів. Оброблення результатів дослідів здійснено за допомогою математичних і біометричних методів із визначенням критерію достовірності за Стьюдентом. Моделювання зв'язку між концентрацією вітаміну Е, селену у кормі та їхнім умістом у яйцях птиці здійснено за допомогою чисельної мінімізації за алгоритмом Нелдера-Міда функції із обчисленням коефіцієнта детермінації. Визначено зв'язок між концентрацією у комбікормі курей-несучок вітаміну Е і селеніту натрію та їхнім умістом у яйцях птиці. Збагачення комбікорму вітаміном Е у 2,5-10 разів сприяло підвищенню концентрації токоферолу у жовтку яєць у 1,9-4,6 рази, що відбувалося непропорційно – із підвищенням концентрації у раціоні вітаміну Е зростання його вмісту у жовтку уповільнювалося. Підвищення у комбікормі рівня селеніту натрію сприяло збільшенню концентрації селену у жовтку і білку яєць. Взаємозв'язки між значеннями розглянутих характеристик із високим ступенем надійності (коефіцієнт детермінації R^2 майже в усіх випадках перевищує 0,98) можуть бути апроксимовані запропонованими регресійними моделями.

Ключові слова: вітамін Е, селен, кури, яйця, яєчний білок, яєчний жовток, регресійні моделі.

Sakhatsky G.I., Desiatskyi S.P. Simulation of concentration of E-vitamin and selenium in chicken eggs

Provision of poultry with vitamins is considered to be an important factor of its reproductive ability. We investigated the influence of increase of the levels of E-vitamin and selenium in mixed fodder upon their concentration in the eggs of hens. Poultry of the groups under investigation were additionally fed with E-vitamin in the form of synthetic DL-alpha tocopherolacetate and selenium in the form of sodium selenit. The investigation lasted seven months. The control and investigated groups of poultry were formed according to the analog method, comprising hens, equal in live weight, their age was 140 days. The birds were kept in cages. The principle parameters of birds keeping and feeding corresponded to standard requirements. Concentration of E-vitamin in yolks was determined monthly, while concentration of selenium in egg yolk and albumen was determined on 2nd, 4th and 7th months of investigation. The results obtained were processed by the application of mathematic and biometric methods with performing of Student's validity. Simulation of the link between concentration of E-vitamin and sodium selenium in the fodder and their content was performed by numeric minimalization according to the algorithm of Nelder-Mead of the function with calculation of the determination factor. Revealed was the link between concentration of E-vitamin and sodium selenium in mixed fodder of laying hens with their content in the eggs. A 2.5-10 times enrichment of mixed fodder with E-vitamin

promotes increase in tocopherol concentration in egg yolks by 1.9-4.6 times, it happening non-proportionally – with the increase of concentration of E-vitamin in the ration the growth of its content in yolk decelerates. Increase of the level of sodium selenit in mixed fodder promotes growth of selenium concentration in egg albumen and yolk. Correlations between the values of the analyzed characteristics with a high degree of reliability (determination factor R^2 nearly in all cases exceeds 98 0,98) can be approximated by means of regression models.

Key words: *E- vitamin, selenium, eggs, hens, albumen, yolk, regression models.*

Постановка проблеми. Вітамін *E* (токоферолі) – це група близьких за будовою сполук, похідних токолу. Відомо 8 структурних речовин із активністю токоферолу: 4 токоферолі (α , β , γ , δ) і 4 токотрієнолі (α , β , γ , δ). Найактивніший з них α -токоферол, який є 5,7,8 - триметилотоколом [1,3]. Вітамін *E* всмоктується у тонкому кишечнику; ефективність цього процесу залежить від складу раціону, використаної дози, віку, статі та інших індивідуальних характеристик птиці. Натуральний вітамін *E* у кормах швидко руйнується під дією тепла, вологи, окислених жирів. Тому передбачити кількість активного вітаміну *E* у кормах важко. Вітамін *E* нетоксичний, високі його дози не призводять до гіпервітамінозу, проте надмірне введення у корм має бути економічно виправданим. До того ж у дослідах великі концентрації вітаміну *E* (10-20 тис. МО / кг корму) істотно знижували вміст вітаміну *A* і каротиноїдів у ячному жовтку [7]. *E*-авітаміноз проявляється порушенням структури і нормального функціонування багатьох тканин: розвивається м'язова дистрофія, дегенерація спинного мозку, параліч кінцівок, дегенеративні зміни репродуктивних органів. До аналогічних наслідків призводить і дефіцит селену. За відношенням між собою вітамін *E* та селен є синергістами. Ефекти біохімічної взаємодії і синергізму вітаміну *E* та селену послужили основою їх вивчення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Достатня забезпеченість птиці вітаміном *E* і селеном вважаються важливими факторами її високої репродуктивної здатності [1,3,5,6]. Вітамін *E* накопичується у печінці та жировій тканині, проте цього не досить для тривалого задоволення потреб у ньому. Кількість вітаміну *E*, яка надходить з організму несучки у кожне яйце, більше, ніж резерв цієї сполуки в організмі [7]. Зростання концентрації вітаміну *E* у комбікормі з 10 до 150 мг/кг призводило до збільшення вмісту вітаміну *E* в ячному жовтку [7]. Збільшенню ячної продуктивності, ефективності використання корму сприяло підвищення рівня селену в раціоні птиці до 0,5 мг/кг [10]. Зростання у раціоні яєчних курей-несучок вітаміну *E* та селену призвело до покращення репродуктивної здатності птиці (збільшилася заплідненість і виводимість яєць, зріс вивід добових курчат) [8,9].

Постановка завдання. Ця робота переслідувала декілька цілей: по-перше, вивчення дії підвищених рівнів вітаміну *E* та селену у комбікормі на їхню концентрацію в яйцях курей, а по-друге, побудування регресійних моделей зв'язку між концентрацією вітаміну *E* та селену у кормі та їхнім умістом в яйцях птиці.

Матеріал і методи досліджень. Дослідження були проведені на курах батьківського стада кросу "Ломан-Браун". Птиця утримувалась у клітковій батареї КБР-2. Схема досліду представлена на табл. 1.

На початку досліду, який тривав 7 місяців, контрольна і дослідні групи (по 70 курей і 7 півнів у кожній) були сформовані за методом аналогів із курей, вирівняних за живою масою у 140-денному віці. Основні параметри утримання і годівлі

птиці відповідали встановленим вимогам [4, 12]. Птиці дослідних груп додатково давали вітамін *E* (у вигляді синтетичного DL-альфа-токоферилацетату) та селен (у вигляді селеніту натрію) згідно з вищезазначеною схемою. У піддослідній птиці щомісяця визначали концентрацію вітаміну *E* у жовтку п'яти яєць, які відбиралися на початку місяця за методом випадкової вибірки. Відбір яєць для визначення вмісту селену у жовтку та білку яєць здійснювався за аналогічною схемою на 2, 4 та 7 місяці дослідження. Обробку результатів проводили згідно із загальноприйнятими математичними та біометричними методами [11] із визначенням критерію достовірності за Стьюдентом. Базуючись на результатах експерименту, побудували нелінійні регресивні моделі залежності між концентрацією в кормі вітаміну *E* і селену та їхньою концентрацією в яйцях птиці. Для кожної із залежностей було розглянуто понад 100 нелінійних моделей. Побудова регресійної залежності проводилася чисельною мінімізацією за алгоритмом Нелдера-Міда [2,13] функції

Таблиця 1

Схема дослідження

Група курей	Добавка на 1 кг комбікорму, мг	
	Вітамін <i>E</i>	Селен
1 (контрольна)	30	0,1
2	75	0,2
3	75	0,3
4	150	0,2
5	150	0,3
6	225	0,2
7	225	0,3
8	300	0,2
9	300	0,3

$$L(A, B, \dots) = \sum_{i=1}^n (C_i - C(E_i, Se_i; A, B, \dots))^2,$$

із подальшим обчисленням коефіцієнта детермінації

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (C_i - \bar{C})^2}{\sum_{i=1}^n (C_i - \bar{C})^2},$$

або

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (C(t_i, E_i, Se_i; A, B, \dots) - \bar{C})^2}{\sum_{i=1}^n (C_i - \bar{C})^2}$$

де $\bar{C} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n C_i$. Як відомо [2,14], $0 \leq R^2 \leq 1$, причому $R^2 = 1$ тільки у випадку, коли залежність є точною для всіх точок (E_i, Se_i, C_i) $((t_i, E_i, Se_i, C_i)$ відповідно) і $R^2 \approx 0$, якщо зв'язок між змінними є відсутнім. Найкращою вважалася залежність, для якої величина R^2 була близькою до одиниці.

Виклад основного матеріалу дослідження. Результати проведених біохімічних аналізів свідчать про те, що додаткове збагачення раціону птиці вітаміном *E* призвело до підвищення його концентрації у жовтку яєць (табл.2).

Таблиця 2

Концентрація вітаміну E у жовтку яєць (мкг/г)

Групи	Місяць досліді						
	1	3	3	4	5	6	7
1	157,8± 11,1	167,4± 10,6	159,8± 11,8	154,6± 10,1	146,4± 10,3	147,8± 8,5	139,2± 8,2
2	289,8± 10,7***	308,2± 11,3***	301,6± 12,0***	295,6± 11,4***	297,4± 12,3***	289,0± 12,1***	279,4± 12,1***
3	300,4± 12,6***	312,2± 13,2***	309,4± 13,1***	298,2± 12,3***	302,4± 11,7***	301,6± 12,3***	307,2± 12,9***
4	337,2± 12,9***	358,0± 13,3***	362,2± 13,0***	362,6± 13,6***	375,4± 13,7***	368,6± 13,9***	362,8± 13,5***
5	345,2± 12,7***	364,0± 13,5***	367,6± 13,1***	374,4± 14,5***	381,2± 13,9***	375,8± 13,4***	370,8± 13,7***
6	552,4± 13,5***	576,0± 14,1***	579,6± 13,8***	566,4± 14,0***	568,2± 15,1***	556,4± 14,3***	550,4± 14,4***
7	565,8± 13,3***	586,6± 14,4***	588,8± 14,0***	578,8± 14,2***	576,0± 14,1***	569,8± 14,4***	563,6± 14,5***
8	716,4± 14,3***	742,2± 14,6***	739,0± 14,6***	728,4± 14,4***	722,8± 14,3***	721,0± 14,7***	718,0± 14,6***
9	729,4± 14,1***	754,2± 14,3***	748,6± 14,5***	742,4± 14,4***	737,0± 14,5***	731,6± 14,8***	725,2± 14,7***

*** $P > 0,999$ порівняно з контролем

Усі піддослідні групи птиці за цим показником переважали контрольну з високим рівнем достовірності ($P > 0,999$). Водночас із підвищенням концентрації у раціоні несучок вітаміну *E* (з 75мг/кг до 300 мг/кг) зростання його вмісту у жовтку яєць уповільнилося. Крім того, як у контролі, так і у піддослідних групах птиці підмічено підвищення концентрації вітаміну *E* у жовтку яєць до третього місяця продуктивності, а надалі – повільне зниження. Слід відзначити й позитивну дію селену на вміст вітаміну *E* у жовтку яєць. Підвищення концентрації селену у кормі з 0,2 мг/кг до 0,3 мг/кг призводило до зростання концентрації вітаміну *E* у жовтку яєць. Така закономірність є характерною для птиці всіх піддослідних груп і чітко простежувалася протягом 7 місяців експерименту.

Результати аналізів із визначення вмісту селену у жовтку і білку яєць показали, що цей показник залежить від концентрації селену в раціоні несучок (табл. 3).

Збагачення раціону курей селеном призводило до підвищення його концентрації як у білку, так і у жовтку яєць. За цим показником у всіх піддослідних групах птиці спостерігалось статистично достовірне перевищення контрольної групи протягом усього експериментального періоду. Слід відмітити зростання вмісту

селену у жовтку і білку яєць у разі підвищення в раціоні курей кількості вітаміну Е. Групи курей, маючи раціони-аналоги за вмістом селену (0,2 мг/кг корму або 0,3 мг/кг корму) та відміни за вмістом вітаміну Е (75 - 300 мг/кг корму), відрізняються за кількістю селену у яйцях. Ця закономірність характерна для птиці всіх піддослідних груп і чітко відстежується протягом експериментального періоду. Крім того, в усіх піддослідних групах птиці максимальна концентрація селену як у жовтку, так і у білку яєць зафіксована у другій серії аналізів, проведених на 4-му місяці продуктивності курей, а мінімальна – на початку експерименту. Виявлена динаміка є подібною до динаміки процесу накопичення вітаміну Е у жовтку курячих яєць.

Таблиця 3

Концентрація селену у яйцях курей дослідних груп

Групи	Вміст селену у жовтку і білку яєць за місяцями продуктивності (нг/г)					
	2		4		7	
	жовток	білок	жовток	білок	жовток	білок
1	384,5±9,00	89,8±1,78	378,5±8,50	92,9±2,04	372,2±9,60	89,6±2,41
2	452,2±10,10 **	106,4±4,12 ***	478,5±11,60 ***	113,3±3,61 ***	458,6±10,20 ***	118,5±3,51 ***
3	517,5±13,60 ***	128,6±4,70 ***	549,2±12,01 ***	130,4±4,10 ***	535,6±13,21 ***	128,2±4,80 ***
4	461,5±11,50 **	106,6±4,10 **	485,3±12,40 ***	114,4±3,00 **	463,8±10,60 **	116,8±3,30 ***
5	503,4±12,30 ***	133,5±4,80 ***	547,7±12,30 ***	132,8±4,7 ***	536,4±13,30 ***	128,1±4,65***
6	460,7±10,90 **	104,6±4,30 ***	484,6±11,40 ***	108,6±3,7 ***	470,7±10,90 ***	119,5±4,00 ***
7	509,4±14,10 ***	133,8±5,00 ***	554,7±12,70***	137,2±4,9 ***	544,9±13,00***	136,9±4,60 ***
8	464,7±10,40 ***	107,8±4,40 ***	489,5±11,30 ***	112,7±3,8 ***	474,3±11,20 ***	118,0±4,10 ***
9	519,5±13,50 ***	138,5±5,30 ***	550,6±13,73***	136,0±5,0 ***	546,6±13,04 ***	138,5±4,90 ***

** $P > 0,99$ порівняно з контролем; *** $P > 0,999$ порівняно з контролем

Працездатність програми підбору оптимальної моделі, що здійснює алгоритм отримання результатів на основі чисельної оптимізації, перевірена на великій кількості тестових моделей, і в усіх випадках результати збігаються з відомими результатами. Можливим є також використання систем комп'ютерної алгебри (Wolfram Mathematica, Maplesoft Maple та інших), які мають вбудовані модулі оптимізації. Слід відзначити, що у випадку лінійної багатofакторної моделі часто використовують матричне подання початкових даних і їхнє оброблення економетричними методами. Застосований підхід на основі прямої чисельної оптимізації може використовуватися також і в разі нелінійних регресійних моделей. Найпростішими виявилися параболічно-гіперболічна модель

$$C(E, Se) = a + bE + cE^2 + \frac{d}{Se}$$

і модель

$$C(t, E, Se) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + \frac{b_1}{E} + b_2 E + \frac{c_1}{Se} + c_2 Se$$

для вибірки з урахуванням часового фактору.

Ми отримали такі результати, представлені у вигляді рівнянь найкращих із отриманих залежностей

$$C(E, Se) = 275,111 + 0,59084E + 0,0038276E^2 - \frac{13,584}{Se};$$

$$i(u, \dots) - 775,72 \quad 11,288 \quad 1,5090^2 \quad \frac{20036}{E} \quad 2,8670E \quad \frac{120,12}{Se} \quad 1900,9Se.$$

У всіх випадках значення коефіцієнту детермінації R^2 було більшим, ніж 0,985. Це означає, що отримана модель пояснює понад 98,5% змін відповідної залежної змінної. Нами також проведено перевірку значущості отриманих коефіцієнтів. Задля цього для рівня значущості $\gamma = 0,98$ були побудовані довірчі інтервали з параметрів моделей. Вони не містили нульового значення, а це означає, що з імовірністю помилки, меншою, ніж $\alpha = 1 - \gamma = 0,02$, відповідний параметр повинен входити до моделі.

Висновки і пропозиції. Збагачення комбікорму вітаміном Е у 2,5-10 разів сприяє підвищенню концентрації токоферолу у жовтку яєць у 1,9-4,6 рази, що відбувається непропорційно - із підвищенням концентрації у раціоні вітаміну Е зростання його вмісту у жовтку уповільнюється. Підвищення в комбікормі концентрації селеніту натрію сприяє збільшенню концентрації селену у жовтку і білку яєць.

Взаємозв'язки між значеннями розглянутих характеристик із високим рівнем надійності (коефіцієнт детермінації R^2 майже в усіх випадках перевищує 0,98) можуть бути апроксимовані запропонованими регресійними моделями.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Вальдман А. Р. Витамини в животноводстве. Рига : Зинатне, 1977. 352 с.
2. Васильев Ф. П. Численные методы решения экстремальных задач : учеб. пособие для вузов. 2-е изд, перераб и доп. Москва : Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит, 1988. 552 с.
3. Вальдман А.Р., Сурай П.Ф., Ионоу И.А., Сахацкий Н.И. Витамини в питании птицы. Харьков : Оригинал, 1993. 423 с.
4. Ветеринарно-санитарні правила для птахівницьких господарств і вимоги до їх проєктування : затв. наказом Головного державного інспектора ветеринарної медицини України від 03.07.2001 року, № 53. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0565-01#Text>
5. Ионоу И. А. Физиологический статус птицы в эмбриогенезе та постнатальному онтогенезі залежно від її А-, Е- та К-вітамінної забезпеченості : автореф. дис..... д-ра с.-г. наук : 03.00.13. Харків, 1997. 32 с.
6. Ионоу И. А. Витамини Е и С как компоненты антиоксидантной системы эмбрионов птиц и млекопитающих. *Украинский биохимический журнал*. 1997. Т. 69, № 5-6. С. 3-11.
7. Кавтарашвили А.Ш., Коденцова В.М., Мазо В.К., Рисник Д.В., Стефанова И.Л. Биофортификация куриного яйца: витамини и каротиноиды. *Сельскохозяйственная биология*. 2017. Т 52, № 6. С. 1094-1104.
8. Кириленко О. Ф., Сахацкий Г. І. Інкубаційні якості курячих яєць при збагаченні раціону вітаміном Е та селеном. *Птахівництво* : міжвід. темат. наук. зб. 2011. Вип. 67. С. 150-154.
9. Кириленко О. Ф., Сахацкий Г. І. Вплив вітаміну Е і селену в раціоні яєчних курей на їх репродуктивну здатність. *Наукові праці Південного філіалу Нац. ун-ту біоресурсів і природокористування України «Кримський агротехнологічний ун-т»*. Сер. Ветеринарні науки. 2012. Вип. 144. С. 20-27.

10. Отченашко В. В. Продуктивність курок-несучок при використанні збагачених вітаміном Е та селеном комбикормів з різними рівнями жовтої кукурудзи та люцернового борошна *Науковий вісник Національного аграрного університету*: зб. наук. пр. 1999. Вип. 19. С. 126-131.

11. Плохинский Н. А. Математические методы в биологии : учебно-метод. пособие. Москва : Изд-во Моск. ун-та, 1978. 265 с.

12. Рекомендації з нормування годівлі сільськогосподарської птиці. Під ред. Ю. О. Рябоконя. Бірки : Ін-т птахівництва УААН, 2005. 101 с.

13. Химмельблау Д. М. Прикладное нелинейное программирование. Москва : Мир. 1975. 536 с.

УДК 636.2.034:636.237.1:636.084.413:636.085.33

DOI <https://doi.org/10.32851/2226-0099.2021.121.29>

МОЛОЧНА ПРОДУКТИВНІСТЬ КОРІВ ШВИЦЬКОЇ ПОРОДИ ВЕСНЯНО-ЛІТНЬОГО ОТЕЛЕННЯ З УРАХУВАННЯМ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЇХ ДОБОВОГО РАЦІОНУ

Силиченко К.А. – аспірант кафедри технології виробництва продукції тваринництва,
Дніпровський державний аграрно-економічний університет

У статті представлено результати дослідження молочної продуктивності з урахуванням особливостей добового раціону 146 корів швицької породи весняно-літнього отелення, що мали дворазовий режим споживання корму та утримувалися на промисловому комплексі «Єкатеринославський» Дніпровської області. Групи спостереження сформовано залежно від номеру лактації корів. Зокрема, за I лактації під спостереженням знаходилися 53 швицькі корови; за II лактації – 39; за III лактації – 31; за IV лактації і подальших – 23 корови швицької породи. Якщо під час статистичної обробки даних середні величини показників у групах відрізнялись один від одного з розбіжністю $P < 0,05$, $P < 0,01$, $P < 0,001$, то отримані результати вважали статистично вірогідними. Унаслідок дослідження молочної продуктивності корів і проведеного аналізу структури харчового раціону визначено, що в умовах промислового комплексу за раціональної годівлі корів швицької породи їхня жива маса достовірно збільшувалася кожної наступної лактації, досягаючи максимальних значень $738,0 \pm 6,15$ кг під час четвертої і подальших лактацій, адже з віком ці тварини вже повністю пристосувалися до інтенсивної технології експлуатації, аніж первістки, вага яких становила $396,1 \pm 2,37$ кг ($P < 0,001$ порівняно з II, III, IV групами спостереження). Найтривалішою була перша лактація ($359,5 \pm 10,69$ діб), проте достовірно найвищий удій молока зареєстровано за другої лактації ($10597,2 \pm 226,72$ кг) із динамічним збільшенням показників удою від першого до другого лактаційного віку на 8,04%, а потім відбулося їх зменшення від другої до третьої лактації на 8,99%, а за четвертої і наступних – на 13,28%. Корови швицької породи весняно-літнього отелення під час другої лактації також характеризувалися високим рівнем молочної продуктивності з найвищими показниками удою за кожні 100 діб лактації ($3449,6 \pm 30,58$ кг; $3550,5 \pm 48,67$ кг; $3323,7 \pm 82,47$ кг), найбільшими абсолютними показниками жиру ($412,79 \pm 10,52$ кг), білку ($350,5 \pm 7,79$ кг), кількості молока за 1 добу лактації ($33,4 \pm 0,85$) з поступовим зменшенням цих показників кожної наступної лактації. Раціони годівлі корів швицької породи у весняно-літній період містили силос кукурудзяний, сіно злаків, комбикорми, і тільки сухостійні тварини отримували солому. В якості додаткового корму всі швицькі корови вживали пивну дробину та сіль-лизунець, а діїні та новотільні – крейду і соду. Отже, забезпечення якісними кормами раціонів годівлі великої рогатої худоби швицької породи в умовах великого промислового комплексу сприятиме продуктивному їх доволіттю.

Ключові слова: корови швицької породи, молочна продуктивність, удій, жир, білок, добовий раціон, весняно-літнє отелення.