

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

**ГОНЧАР ВІТАЛІЙ ВОЛОДИМИРОВИЧ**

УДК 614.31:637.414-035.67

ДИСЕРТАЦІЯ

**ВПЛИВ БАРВНИКІВ ЖОВТКІВ НА ЯКІСТЬ  
І БЕЗПЕЧНІСТЬ КУРЯЧИХ ЯЄЦЬ  
ЗА РІЗНИХ РЕЖИМІВ ЗБЕРІГАННЯ**

212 «Ветеринарна гігієна, санітарія і експертиза»  
21 «Ветеринарна медицина»

Подається на здобуття ступеня доктор філософії

Дисертація містить результати власних досліджень.  
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання  
на відповідне джерело В. В. Гончар

Науковий керівник  
**Якубчак Ольга Миколаївна,**  
доктор ветеринарних наук,  
професор

Київ – 2023

## АНОТАЦІЯ

**Гончар В. В. Вплив барвників жовтків на якість і безпечність курячих яєць за різних режимів зберігання.** Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття ступеня доктор філософії за спеціальністю 212 «Ветеринарна гігієна, санітарія і експертиза». Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ, 2023.

Серед факторів, які впливають на якість і безпечність харчових яєць важливу роль відіграють санітарно-гігієнічні умови утримання та годівлі курей-несучок, а також дотримання гігієнічних вимог під час їх виробництва та зберігання. Одним із важливих критеріїв привабливості харчових яєць для споживача є інтенсивність забарвлення жовтків, що досягають шляхом згодовування курям-несучкам різних барвників, зокрема каротиноїдів природного походження, таких як лікопін та астаксантин.

Нині серед джерел лікопіну природного походження все більшого поширення набуває використання його олійного екстракту з продуктів переробки помідорів, а перспективним джерелом астаксантину є олійний екстракт водорості *Haematococcus pluvialis*.

В дисертаційній роботі зроблено санітарно-гігієнічну оцінку курячих харчових яєць, збагачених лікопіном чи астаксантином за різних режимів зберігання за показниками морфологічного та хімічного складу яєць, вмісту каротиноїдів, вітаміну А, жирних кислот та мікробіологічними показниками.

Дослідженнями встановлено, що згодовування курям-несучкам добавок лікопіну в дозах 20; 40 та 60 мг/кг чи астаксантину в дозах 10; 20 та 40 мг/кг комбікорму не впливало на масу яєць, масу білка, масу жовтка та масу шкаралупи як свіжознесених яєць, так і впродовж 30 діб їх зберігання за температури  $4\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  та вологості 80–85 %, порівняно з контрольною групою.

Зберігання курячих яєць за температури  $12\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  і вологості 70–75 %, які отримували добавку лікопіну в дозі 20 мг/кг комбікорму чи астаксантину в

дозі 10 мг/кг комбікорму, спричинило зниження їх маси на 0,66 %, та 0,92 %, відповідно, порівняно з контролем. Це зниження відбувалося за рахунок зменшення маси білка яєць курей, яким згодовували добавку лікопіну, на 1,01 % та астаксантину – на 1,73 %, порівняно з контролем.

Зберігання яєць впродовж 30 діб за температури  $12\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  і вологості 70–75 %, отриманих від курей, яким згодовували добавку лікопіну у дозі 40 мг/кг комбікорму, знижувало масу яєць на 0,75 % та масу білка – на 1,13 %, але не впливало на масу жовтка та шкаралупи, порівняно з контролем.

Зберігання яєць за температури  $12\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  і вологості 70–75 %, отриманих від курей, яким згодовували добавки лікопіну у дозі 60 мг/кг комбікорму, зменшувало масу яєць на 0,71 % за рахунок зменшення маси білка на 1,19 % і не впливало на масу жовтка та масу шкаралупи порівняно з контролем.

Згодовування добавки астаксантину в дозі 20 мг/кг комбікорму курям-несучкам впливало на морфологічні показники яєць за зберігання їх за температури  $12\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  і вологості 70–75 % шляхом зниження маси яєць на 0,78 % за рахунок зменшення маси білка – на 1,02 %, але не впливало на масу жовтка та шкаралупи яєць порівняно з контролем.

Згодовування курям-несучкам астаксантину в дозі 30 мг/кг комбікорму за зберігання протягом 30 діб за температури  $12\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  і вологості 70–75 % сприяло зменшенню маси яєць на 0,67 %, що відбулося за рахунок зниження маси білка на 1,56 %, але не впливало на масу жовтка та шкаралупи порівняно з контролем.

Зберігання яєць курей, що отримували добавки лікопіну в дозі 20 мг/кг комбікорму чи астаксантину в дозі 10 мг/кг комбікорму, за температури  $4\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  і вологості 80–85 %, не впливало на вміст сухої речовини, вологи, сирих протеїну, жиру, золи, а також фосфору і кальцію в яйцях порівняно з контролем.

Зберігання яєць за температури  $12\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  і вологості 70–75 %, отриманих від курей, яким згодовували добавку лікопіну в дозі 20 мг/кг комбікорму чи астаксантину в дозі 10 мг/кг комбікорму не впливало на вміст вологи, сухої

речовини, сирих протеїну, жиру та фосфору і кальцію, але знижувало вміст сирової золи в яйцях на 0,11 % та 0,10 %, відповідно, порівняно з контролем.

Лікопін у дозі 40 мг/кг комбікорму впродовж 30 діб не впливав на вміст вологи, сухої речовини, сирих протеїну, жиру, золи, кальцію, але підвищував на 0,03 % вміст фосфору в свіжознесених яйцях, а в дозі 20 мг/кг комбікорму впродовж 30 діб – не впливав на хімічний склад яєць порівняно з контролем.

Зберігання курячих яєць впродовж 30 діб за впливу лікопіну у дозі 40 мг/кг комбікорму чи астаксантину в дозі 20 мг/кг комбікорму за температури  $4\pm 0,5$  °C не впливало на вміст вологи, сухої речовини, сирих жиру, протеїну і золи, а також кальцію і фосфору, а за температури  $12\pm 0,5$  °C збільшувало вміст сирого протеїну на 0,54 та 0,72 % порівняно з контролем.

За згодовування курям-несучкам лікопіну в дозі 60 мг/кг комбікорму впродовж 30 діб встановлено, що вміст фосфору в свіжознесених яйцях підвищився на 0,03 %, тоді як вміст вологи, сухої речовини, сирих жиру, протеїну і золи, а також кальцію не змінювався. Додаток до основного раціону курей-несучок астаксантину в дозі 30 мг/кг комбікорму не впливала на хімічний склад яєць порівняно з контрольною групою.

Зберігання яєць впродовж 30 діб за температури  $4\pm 0,5$  °C і вологості 80–85 %, за згодовування курям добавки лікопіну в дозі 60 мг/кг чи астаксантину в дозі 30 мг/кг комбікорму сприяло зниженню вмісту вологи та підвищенню вмісту сухої речовини на 1,12 % та 0,92 % відповідно, що відбулося за рахунок збільшення рівня сирого протеїну на 0,77 % та 1,0 % відповідно, тоді як решта показників не змінювалися порівняно з контрольною групою. Аналогічні зміни хімічного складу яєць були виявлені і за їх зберігання в умовах  $12\pm 0,5$  °C.

Згодовування курям лікопіну в дозі 20 мг/кг комбікорму збільшувало загальний вміст каротиноїдів у жовтках свіжознесених яєць на 20,7 % порівняно з контролем. Астаксантин у дозі 10 мг/кг комбікорму сприяв збільшенню цього значення на 58,7 % порівняно з контролем і на 31,4 % порівняно з дозою лікопіну 20 мг/кг комбікорму. Це, у свою чергу, сприяло збільшенню інтенсивності забарвлення жовтків свіжознесених яєць курей,

яким згодовували лікопін в дозі 20 мг/кг комбікорму на 2,4 бали порівняно з контролем. Згодовування курям астаксантину в дозі 10 мг/кг комбікорму посилювало інтенсивність забарвлення жовтків свіжознесених курячих яєць на 5,4 бали порівняно з контролем і на 3,2 бали порівняно з добавкою лікопіну в дозі 20 мг/кг комбікорму.

Зберігання яєць, отриманих від курей, які споживали комбікорм з добавкою лікопіну 20 мг/кг за температури  $4\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  і вологості 80–85 %, забезпечувало вищий загальний вміст каротиноїдів у жовтках на 17,6 % порівняно з контролем. Зберігання яєць за цих же умов, отриманих від курей за згодовування астаксантину в дозі 10 мг/кг комбікорму, збільшувало загальний вміст каротиноїдів в жовтках 33,4 % порівняно з контролем та на 13,5 % порівняно з добавкою лікопіну в дозі 20 мг/кг комбікорму.

За застосування добавки лікопіну курям в дозі 20 мг/кг комбікорму та зберігання за температури  $12\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  і вологості 70–75 % забезпечувало вищий загальний вміст каротиноїдів у жовтках на 30,5 % порівняно з контролем. Разом з тим, зберігання яєць за цих же умов, отриманих від курей за згодовування астаксантину в дозі 10 мг/кг комбікорму, збільшувало загальний вміст каротиноїдів в жовтках в 1,9 раза порівняно з контролем та в 1,4 раза порівняно з добавкою лікопіну в дозі 20 мг/кг комбікорму.

Лікопін в дозі 40 мг/кг та астаксантин в дозі 20 мг/кг комбікорму за зберігання яєць за температури  $12\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  і вологості 70–75 % впродовж 30 діб збільшували загальний вміст каротиноїдів у жовтках на 12,5 % та в 1,8 раза відповідно порівняно з контролем. Крім того, добавка астаксантину у вказаній вище дозі забезпечувала вищий в 1,6 раза рівень каротиноїдів у жовтках яєць ніж добавка лікопіну в дозі 40 мг/кг комбікорму під час їх зберігання.

Добавки астаксантину в раціонах курей несучок більш ефективні для збагачення жовтків яєць каротиноїдами та надання їм привабливого забарвлення, ніж добавки лікопіну. Лікопін в дозі 40 мг/кг комбікорму збільшував інтенсивність забарвлення жовтків на 2,8 бала порівняно з контролем, а астаксантин в дозі 20 мг/кг комбікорму – на 6,6 бала порівняно з

контролем і на 3,8 бала порівняно з добавкою лікопіну в дозі 40 мг/кг комбікорму за зберігання яєць за температури  $12\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  і вологості 70–75 % впродовж 30 діб.

Згодовування курям-несучкам лікопіну в дозах від 20 до 60 мг/кг комбікорму не впливало на вміст вітаміну А в жовтках як свіжознесених, так і яєць за зберігання в умовах температурних режимів  $4\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  і вологості 80–85 %, та  $12\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  і вологості 70–75 %. Добавка астаксантину в дозах 20 і 30 мг/кг комбікорму краще стабілізувала вітамін А в жовтках курей під час зберігання, але лише за температури  $4\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  і вологості 80–85 %.

Лікопін в дозах від 20 до 60 мг/кг комбікорму забезпечував збагачення жовтків курячих яєць каротиноїдами і поліпшення їх забарвлення в межах від 7,6 до 10,0 балів за 15 бальною кольоровою шкалою, яке не залежало від температурного режиму їх зберігання.

Астаксантин в дозах від 10 до 30 мг/кг комбікорму забезпечував збагачення жовтків курячих яєць каротиноїдами значно ефективніше ніж лікопін і створював кольорову шкалу жовтків від 11,0 до 14,2 балів за 15 бальною кольоровою шкалою як свіжознесених яєць, так і за різних режимів їх зберігання.

Режими зберігання харчових яєць за  $4\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  і вологості 80–85 %, та  $12\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  і вологості 70–75 % однаково впливають на жирнокислотний склад жовтків яєць, отриманих від курей, яким згодовували добавки лікопіну в дозах 20, 40 та 60 мг/кг чи астаксантину в дозах 10, 20 та 30 мг/кг комбікорму впродовж 30 діб порівняно зі свіжознесеними яйцями. Зі збільшенням дози лікопіну від 20 до 60 мг/кг чи астаксантину від 10 до 30 мг/кг в раціоні курей-несучок в жовтках свіжознесених, а також в яйцях за обох температурних режимів їх зберігання знижується частка ω6 ПНЖК: цис-8,11,14-ейкозатрієнової та 6,9,12-октадекатрієнової кислот аж до повного їх зникнення.

Добавка астаксантину до раціону курей-несучок характеризувалась значно сильнішим впливом на співвідношення насичених і ненасичених

жирних кислот у жовтках курячих яєць під час їх зберігання, ніж добавка лікопіну. Згодовування астаксантину курям-несучкам більшою мірою знижувало і стабілізувало співвідношення  $\omega_3/\omega_6$  ПНЖК у жовтках за зберігання яєць, ніж добавка лікопіну до раціону курей. Отримані результати досліджень можуть бути основою для вибору режиму зберігання збагачених каротиноїдами харчових курячих яєць з урахуванням корекції жирнокислотного профілю ліпідів жовтків.

Згодовування курям-несучкам добавок лікопіну в дозах 20, 40 та 60 мг/кг комбікорму чи астаксантину в дозах 10, 20 та 30 мг/кг комбікорму впродовж 30 діб поспіль не впливало як на чисельність МАФAM на поверхні шкаралупи свіжознесених яєць, так і в жовтках. Зберігання курячих яєць, збагачених різними дозами лікопіну чи астаксантину в умовах  $4\pm 0,5^\circ\text{C}$  і вологості 80–85 % та  $12\pm 0,5^\circ\text{C}$  і вологості 70–75 % впродовж 30 діб підвищувало контамінацію поверхні шкаралупи та жовтка яєць МАФAM порівняно зі свіжознесеними яйцями. Зберігання курячих яєць як контрольної групи, так і збагачених різними дозами лікопіну чи астаксантину за температури  $4\pm 0,5^\circ\text{C}$  і вологості 80–85 % характеризувалося нижчою чисельністю МАФAM як поверхні шкаралупи, так і жовтків, порівняно зі зберіганням яєць за температури  $12\pm 0,5^\circ\text{C}$  і вологості 70–75 %.

Виробництво харчових яєць, збагачених лікопіном чи астаксантином, дозволяє не лише отримувати привабливий колір жовтків, але й харчовий продукт із функціональними властивостями, придатний до зберігання за режимів  $4\pm 0,5^\circ\text{C}$  і вологості 80–85 % та  $12\pm 0,5^\circ\text{C}$  і вологості 70–75 % впродовж 30 діб.

**Ключові слова:** курячі яйця, лікопін, астаксантин, зберігання, якість, безпечність.

## ANNOTATION

**Honchar V. V. Effect of yolk dyes on quality and safety of chicken eggs in different ways of storage.** Qualification scientific work on manuscript rights.

Dissertation for obtaining the educational and scientific degree of Doctor of Philosophy in specialty 212 "Veterinary hygiene, sanitation and expertise". National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, 2023.

Among the factors that affect the quality and safety of food eggs, sanitary and hygienic conditions of keeping and feeding laying hens, as well as compliance with hygienic requirements during their production and storage, play an important role. One of the important criteria for the attractiveness of edible eggs for the consumer is the intensity of the color of the yolks, which is achieved by feeding laying hens with various dyes, in particular carotenoids of natural origin, such as lycopene and astaxanthin.

Currently, among sources of lycopene of natural origin, the use of its oil extract from tomato processing products is becoming more and more widespread, and a promising source of astaxanthin is the oil extract of the algae *Haematococcus pluvialis*.

In the dissertation, a sanitary-hygienic assessment of edible chicken eggs enriched with lycopene or astaxanthin under different storage regimes was made according to the indicators of the morphological and chemical composition of the eggs, the content of carotenoids, vitamin A, fatty acids and microbiological indicators.

Research has established that feeding laying hens with lycopene supplements in doses of 20; 40 and 60 mg/kg or astaxanthin in doses of 10; 20 and 40 mg/kg of compound feed did not affect egg weight, protein weight, yolk weight and shell weight of both freshly laid eggs and during 30 days of their storage at a temperature of  $4\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  compared to the control group.

Storage of chicken eggs at a temperature of  $12\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ , which were supplemented with lycopene at a dose of 20 mg/kg of compound feed or astaxanthin at a dose of 10 mg/kg of compound feed, caused a decrease in their weight by 0.66%



and 0.92%, respectively, compared to the control. This decrease was due to a decrease in the egg protein mass of hens fed with lycopene supplement by 1.01% and astaxanthin by 1.73%, compared to the control.

Storage of eggs for 30 days at a temperature of  $12\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ , obtained from hens fed with lycopene supplement at a dose of 40 mg/kg compound feed, reduced egg mass by 0.75% and protein mass by 1.13%, but not affected the weight of the yolk and shell, compared to the control.

Feeding the astaxanthin supplement at a dose of 20 mg/kg of compound feed to laying hens affected the morphological indicators of eggs when stored at a temperature of  $12\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  by reducing the weight of eggs by 0.78% due to a decrease in the weight of protein by 1.02%, but had no effect on egg yolk and shell weight compared to the control.

Storage of eggs at a temperature of  $12\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ , obtained from hens fed with lycopene supplements at a dose of 60 mg/kg compound feed, reduced egg weight by 0.71% due to a decrease in protein weight by 1.19% and did not affect yolk weight and shell weight compared to the control.

Feeding laying hens with astaxanthin at a dose of 30 mg/kg of compound feed for 30 days at a temperature of  $12\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  contributed to a decrease in egg mass by 0.67%, which occurred due to a decrease in protein mass by 1.56%, but not affected the yolk and shell weight compared to the control.

Storage of eggs from chickens supplemented with lycopene at a dose of 20 mg/kg of compound feed or astaxanthin at a dose of 10 mg/kg of compound feed at a temperature of  $4\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  did not affect the content of dry matter, moisture, crude protein, fat, ash, as well as phosphorus and calcium in eggs compared to the control.

Storage of eggs at a temperature of  $12\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ , obtained from hens fed with a supplement of lycopene at a dose of 20 mg/kg of compound feed or astaxanthin at a dose of 10 mg/kg of compound feed did not affect the content of moisture, dry matter, crude protein, fat and phosphorus and calcium, but reduced the raw ash content in eggs by 0.11% and 0.10%, respectively, compared to the control.

Lycopene at a dose of 40 mg/kg of compound feed for 30 days did not affect the content of moisture, dry matter, crude protein, fat, ash, calcium, but increased the phosphorus content in freshly laid eggs by 0.03%, and at a dose of 20 mg/kg of compound feed for 30 days - did not affect the chemical composition of eggs compared to the control.

Storage of chicken eggs for 30 days under the influence of lycopene at a dose of 40 mg/kg of compound feed or astaxanthin at a dose of 20 mg/kg of compound feed at a temperature of  $4\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  did not affect the content of moisture, dry matter, crude fat, protein and ash, as well as calcium and phosphorus, and at a temperature of  $12\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  increased the content of crude protein by 0.54 and 0.72% compared to the control.

When laying hens were fed lycopene at a dose of 60 mg/kg of compound feed for 30 days, it was established that the phosphorus content in freshly laid eggs increased by 0.03%, while the content of moisture, dry matter, crude fat, protein and ash, as well as calcium did not was changing Addition of astaxanthin to the basic diet of laying hens at a dose of 30 mg/kg compound feed did not affect the chemical composition of eggs compared to the control group.

Storage of eggs for 30 days at a temperature of  $4\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  while feeding chickens with lycopene at a dose of 60 mg/kg or astaxanthin at a dose of 30 mg/kg combined feed contributed to a decrease in moisture content and an increase in dry matter content by 1.12% and 0.92 %, respectively, which occurred due to an increase in the level of crude protein by 0.77% and 1.0%, respectively, while the rest of the indicators did not change compared to the control group. Similar changes in the chemical composition of eggs were also detected during their storage at  $12\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ .

Feeding chickens with lycopene at a dose of 20 mg/kg of compound feed contributed to an increase in the total content of carotenoids in the yolks of freshly laid eggs by 20.7% compared to the control. Astaxanthin at a dose of 10 mg/kg of compound feed contributed to an increase in this value by 58.7% compared to the control and by 31.4% compared to a dose of lycopene of 20 mg/kg of compound feed. This, in turn, contributed to an increase in the color intensity of the yolks of

freshly laid eggs of hens fed lycopene at a dose of 20 mg/kg of compound feed by 2.4 points compared to the control. Feeding chickens with astaxanthin at a dose of 10 mg/kg of compound feed increased the intensity of color of the yolks of freshly laid chicken eggs by 5.4 points compared to the control and by 3.2 points compared to the addition of lycopene at a dose of 20 mg/kg of compound feed.

Storage of eggs obtained from hens that received lycopene supplements at a dose of 20 mg/kg compound feed at a temperature of  $4\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  ensured a higher total content of carotenoids in the yolks by 17.6% compared to the control. Storage of eggs under the same conditions, obtained from hens fed astaxanthin at a dose of 10 mg/kg of compound feed, increased the total content of carotenoids in the yolks by 33.4% compared to the control and by 13.5% compared to the addition of lycopene at a dose of 20 mg/kg compound feed.

Storage of eggs obtained from hens with the use of lycopene supplement at a dose of 20 mg/kg of compound feed at a temperature of  $12\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  ensured a higher total content of carotenoids in the yolks by 30.5% compared to the control. At the same time, the storage of eggs under the same conditions, obtained from hens fed astaxanthin at a dose of 10 mg/kg of compound feed, increased the total content of carotenoids in the yolks by 1.9 times compared to the control and by 1.4 times compared to the addition of lycopene in the dose 20 mg/kg of compound feed.

Lycopene at a dose of 40 mg/kg and astaxanthin at a dose of 20 mg/kg of compound feed for storing eggs at a temperature of  $12\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  for 30 days increased the total content of carotenoids in yolks by 12.5% and 1.8 times, respectively, compared to the control. In addition, the addition of astaxanthin at the above dose provided a 1.6 times higher level of carotenoids in egg yolks than the addition of lycopene at a dose of 40 mg/kg of compound feed during their storage.

Astaxanthin supplements in the diets of laying hens are more effective in enriching egg yolks with carotenoids and giving them an attractive color than lycopene supplements. Lycopene at a dose of 40 mg/kg of compound feed increased the intensity of yolk coloring by 2.8 points compared to the control, and astaxanthin at a dose of 20 mg/kg of compound feed by 6.6 points compared to the control and

by 3.8 points compared to the addition of lycopene in a dose of 40 mg/kg of compound feed for storing eggs at a temperature of  $12\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  for 30 days.

Feeding laying hens with lycopene in doses from 20 to 60 mg/kg of compound feed did not affect the content of vitamin A in the yolks of both freshly laid and eggs stored at temperatures of  $4\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  and  $12\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ . Addition of astaxanthin in doses of 20 and 30 mg/kg of compound feed better stabilized vitamin A in chicken yolks during storage, but only at a temperature of  $4\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ .

Lycopene in doses from 20 to 60 mg/kg of compound feed provided enrichment of chicken egg yolks with carotenoids and improvement of their color in the range of 7.6 to 10.0 points on a 15-point color scale, which did not depend on the temperature regime of their storage.

Astaxanthin in doses from 10 to 30 mg/kg of compound feed provided the enrichment of chicken egg yolks with carotenoids much more effectively than lycopene and created a color scale of yolks from 11.0 to 14.2 points on a 15-point color scale both for freshly laid eggs and under different regimes of their storage.

Temperature regimes of food egg storage of  $4\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  and  $12\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  equally affect the fatty acid composition of egg yolks obtained from hens fed with lycopene supplements in doses of 30, 40 and 60 mg/kg or astaxanthin in doses of 10, 20 and 30 mg/kg of compound feed for 30 days compared to freshly laid eggs. With an increase in the dose of lycopene from 20 to 60 mg/kg or astaxanthin from 10 to 30 mg/kg in the diet of laying hens, the proportion of  $\omega 6$  PUFA decreases: cis-8,11, 14-eicosatrienoic and 6,9,12-okadecatrienoic acids until their complete disappearance.

The addition of astaxanthin to the diet of laying hens was characterized by a significantly stronger effect on the ratio of saturated and unsaturated fatty acids in the yolks of chicken eggs during their storage than the addition of lycopene. Feeding of astaxanthin to laying hens reduced and stabilized the ratio of  $\omega 3/\omega 6$  PUFAs in egg yolks during storage of eggs to a greater extent than did lycopene supplementation to the diet of hens. The obtained research results can be the basis for choosing the storage mode of food chicken eggs enriched with carotenoids, taking into account the correction of the fatty acid profile of the lipids of the yolks.

Feeding laying hens with lycopene supplements in doses of 20, 40 and 60 mg/kg of compound feed or astaxanthin in doses of 10, 20 and 30 mg/kg of compound feed for 30 consecutive days did not affect the number of mesophilic-aerobic and facultative-anaerobic microorganisms on the surface shells of freshly laid eggs, as well as yolks. Storage of chicken eggs enriched with different doses of lycopene or astaxanthin in temperature regimes of  $4\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  and  $12\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  for 30 days increased the contamination of the surface of the shell and egg yolk of mesophilic-aerobic and facultative-anaerobic microorganisms compared to freshly laid eggs. The storage of chicken eggs of both the control group and enriched with different doses of lycopene or astaxanthin at a temperature of  $4\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  was characterized by a lower number of mesophilic-aerobic and facultative-anaerobic microorganisms both on the surface of the shell and in the yolks, compared to the storage of eggs at  $12\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ .

The production of edible eggs enriched with lycopene or astaxanthin allows not only to obtain an attractive yolk color, but also a food product with functional properties, suitable for storage at temperatures of  $4\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  and  $12\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  for 30 days.

**Key words:** chicken eggs, lycopene, astaxanthin, storage, quality, safety.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

### Статті у наукових фахових виданнях України

1. Гончар В. В., Якубчак О. М., Кудрявченко О. П. Вплив астаксантину та лікопіну на хімічний склад курячих харчових яєць за різних режимів зберігання. Сучасне птахівництво. 2020. № 5–6. С. 18–25. *(Здобувачем проведено дослідження, проаналізовано хімічний склад яєць та підготовлено матеріал до друку).*

2. Гончар В. В., Якубчак О. М. Вплив лікопіну та астаксантину на морфологічні показники харчових курячих яєць за різних режимів зберігання. Сучасне птахівництво. 2021. № 7–8. С. 7–13. *(Здобувачем проведено дослідження, проаналізовано морфологічні параметри харчових яєць та підготовлено матеріал до друку).*

3. Гончар В. В., Якубчак О. М. Вплив кормових добавок лікопіну та астаксантину на мікробне обсіменіння харчових курячих яєць за зберігання. Сучасне птахівництво. 2022. № 5–6. С. 22–28. *(Здобувачем проведено дослідження, визначено мікробне обсіменіння харчових яєць та підготовлено матеріал до друку).*

### Статті у наукових виданнях,

#### включених до міжнародних наукометричних баз даних

#### Scopus та/або Web of Science Core Collection

4. Shevchenko L. V., Iakubchak O. M., Davydovych V. A., Honchar V. V., Ciorga M., Hartung J., Kołacz R. Influence of lycopene and astaxanthin in feed on metabolic parameters of laying hens, yolk color of eggs and their content of carotenoids and vitamin A when stored under refrigerated conditions. Polish Journal of Veterinary Sciences. 2021. Vol. 24. № 4. P. 525–535. *(Здобувачем визначено вміст в жовтках харчових яєць каротиноїдів та вітаміну А за різних режимів зберігання).*

5. Honchar V., Iakubchak O., Shevchenko L., Midyk S., Korniyenko V., Kondratiuk V., Rozbytska T., Melnik V., Kryzhova Y. The effect of astaxanthin and lycopene on the content of fatty acids in the yolks of chicken eggs under different

storage regimes. *Potravinarstvo*. 2022. Vol. 16. P. 473–489. *(Здобувачем проведено дослідження, проаналізовано вміст жирних кислот в жовтках яєць за зберігання, оформлено результати та підготовлено матеріал до друку).*

### **Науково-практичні рекомендації**

6. Давидович В. А., **Гончар В. В.**, Шевченко Л. В., Якубчак О. М. Збагачення харчових курячих яєць лікопіном та астаксантином: науково-практичні рекомендації. Київ, 2022. 18 с. *(Затверджено й прийнято до впровадження в практику ветеринарної медицини Науково-методичною радою Державної служби України з питань безпеки харчових продуктів та захисту споживачів, протокол № 2 від 29.12.2021 р. Здобувачем проведено аналіз мікробного обсіменіння яєць, зроблено аналіз отриманих даних, підготовлено тези доповіді).*

### **Тези наукових доповідей**

7. **Гончар В. В.**, Якубчак О. М. Вплив барвників жовтків яєць на їх безпеку і якість. Сучасні тенденції ветеринарної освіти та науки: Всеукраїнська науково-практична конференція, м. Київ, 9 жовтня 2019 року: тези доповіді. Київ, 2019. С. 48. *(Здобувачем проведено дослідження, взято участь в узагальненні результатів і підготовці тез доповіді).*

8. **Гончар В. В.**, Якубчак О. М. Хімічний склад яєць за згодовування курям астаксантину і лікопіну. Сучасні аспекти лікування і профілактики хвороб тварин: IV Всеукраїнська науково-практична інтернет-конференція, м. Полтава, 15–16 жовтня 2020 року: тези доповіді. Полтава, 2020. С. 199. *(Здобувачем проведено дослідження, визначено хімічний склад яєць і підготовлено тези доповіді).*

9. **Гончар В. В.**, Давидович В. А., Якубчак О. М., Шевченко Л. В. Вплив астаксантину та лікопіну на вміст каротиноїдів і вітаміну А в жовтках яєць. Наукові передумови оптимізації органічного бізнесу: V Міжнародний конгрес «Органічна Україна 2021», м. Київ, 17 квітня 2021 року: тези доповіді. Київ, 2021. С. 53–56. *(Здобувачем проведено дослідження вмісту каротиноїдів*

*і вітаміну А в жовтках яєць, узагальнено результати і підготовлено тези доповіді).*

10. Давидович В. А., **Гончар В. В.**, Шевченко Л. В., Якубчак О. М. Вплив лікопіну і астаксантину на вміст каротиноїдів у свіжознесених яйцях харчових та за зберігання в умовах холодильника. XI International Scientific and Practical Conference Kyiv, 11–13 July 2021. Kyiv, 2021. С. 51–56. *(Здобувачем проведено дослідження вмісту лікопіну і астаксантину в курячих яйцях за зберігання в умовах холодильника, підготовлено тези доповіді).*

11. **Гончар В. В.**, Якубчак О. М. Морфологічні показники харчових курячих яєць за згодовування лікопіну та астаксантину на за різних режимів зберігання. Глобальні виклики ветеринарної медицини ХХІ століття: Міжнародна наукова конференція, м. Київ, 11 листопада 2021 року: тези доповіді. Київ, 2021. С. 35–38. *(Здобувачем проведено дослідження, взято участь в узагальненні результатів і підготовці тез доповіді).*

12. Якубчак О. М., **Гончар В. В.** Вміст жирних кислот у жовтках курячих харчових яєць за впливу лікопіну та астаксантину. Ветеринарна медицина: сучасні виклики і актуальні проблеми науки, освіти та продовольчої безпеки: Всеукраїнська науково-практична інтернет-конференція, м. Житомир, 9–10 червня 2022 року: тези доповіді. Житомир, 2022. С. 258. *(Здобувачем проведено дослідження вмісту жирних кислот в жовтках курячих яєць, узагальнено отримані результати).*

13. **Гончар В. В.**, Якубчак О. М. Мікробне обсіменіння харчових курячих яєць за зберігання. Єдине здоров'я – 2022: Міжнародна наукова конференція, м. Київ, 22–24 вересня 2022 року: тези доповіді. Київ, 2022. С. 177–179. *(Здобувачем проведено аналіз мікробного обсіменіння яєць, зроблено аналіз отриманих даних, підготовлено тези доповіді).*



## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ І СКОРОЧЕНЬ.....	20
ВСТУП.....	21
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ.....	27
1.1. Вплив режимів і термінів зберігання на якість і безпечність харчових яєць.....	27
1.2. Вплив натуральних барвників жовтків яєць лікопіну та астаксантину на їх зберігання .....	35
1.3. Вплив умов зберігання на жирнокислотний та ліпідний склад жовтків курячих яєць.....	41
1.4. Заключення з огляду літератури.....	49
РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	51
2.1. Схема та умови проведення досліджень.....	51
2.2. Методи досліджень.....	54
2.2.1. Визначення морфологічних показників та хімічного складу яєць.....	54
2.2.2. Дослідження вмісту каротиноїдів у жовтках яєць.....	56
2.2.3. Визначення вмісту вітаміну А у жовтках яєць.....	57
2.2.4. Визначення вмісту жирних кислот у жовтках яєць.....	57
2.2.5. Визначення мікробіологічних показників курячих яєць.....	58
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	61
3.1. Вплив лікопіну та астаксантину на морфологічні показники харчових курячих яєць за різних режимів зберігання.....	61
3.2. Вплив астаксантину та лікопіну на хімічний склад курячих харчових яєць за різних режимів зберігання.....	65
3.3. Вплив добавок лікопіну та астаксантину в раціоні курей-несучок на вміст вітаміну А, каротиноїдів та забарвлення жовтків яєць за різних режимів зберігання.....	71
3.4. Вплив астаксантину та лікопіну на вміст жирних кислот у жовтках курячих харчових яєць за різних режимів зберігання.....	80

3.5. Вплив лікопіну та астаксантину на бактеріальне обсіменіння харчових курячих яєць за різних режимів зберігання.....	101
РОЗДІЛ 4. АНАЛІЗ ТА УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	109
ВИСНОВКИ.....	124
ПРОПОЗИЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ.....	126
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	127
ДОДАТКИ.....	152

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ І СКОРОЧЕНЬ**

ВЕРХ – високоефективна рідинна хроматографія

ДСТУ – Національний стандарт України

ГОСТ – Міждержавний стандарт

НЖК – насичені жирні кислоти

ННЖК – ненасичені жирні кислоти

МНЖК – мононенасичені жирні кислоти

ПНЖК – поліненасичені жирні кислоти

МАФАМ – мезофільні аеробні і факультативно анаеробні мікроорганізми

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Яйця курячі відносяться до харчових продуктів, які мають унікальне поєднання поживних та біологічно активних речовин, важливих для організму людини. Вони є одними з найбільш повноцінних харчових продуктів, доступних людям, оскільки вони багаті мінералами, вітамінами, ліпідами, жирними кислотами та білками, що містять незамінні амінокислоти, які володіють високою біологічною цінністю [137, 162].

Унікальність харчових яєць полягає також в тому, що вони як одні з небагатьох продуктів, можуть зберігатися впродовж декількох тижнів у своєму природному стані без втрати специфічних характеристик [6, 39].

Нині задоволення потреби споживачів яйцями передбачає врахування не лише їх якості та безпечності, але й товарної привабливості, яка визначається забарвленням жовтка [158]. Відомо, що колір жовткам надають природні каротиноїди, зокрема, лікопін та астаксантин, які також здатні впливати на антиоксидантні властивості курячих яєць.

Лікопін – неоксигенований ациклічний каротиноїд, який надає рожевого забарвлення помідорам та продуктам їх переробки, а також має сильну антиоксидантну дію [9, 117].

Астаксантин – кетокаротиноїд, продукт окиснення  $\beta$ -каротину і є поширеним пігментом водоростей, риб родини лососевих та деяких птахів [129]. Він має червоно-гарячий колір, володіє імунопротекторною, антиканцерогенною дією і високою антиоксидантною активністю, яка перевищує в 500 разів вітамін Е [79, 140].

Нині для забарвлення жовтків курячих яєць використовується значна кількість джерел природного лікопіну та астаксантину, але залишаються не до кінця з'ясованими питання щодо впливу цих каротиноїдів на морфологічний та хімічний склад яєць, зокрема каротиноїдний, жирнокислотний і вітамінний склад жовтків, а також мікробне обсіменіння за різних температурних режимів зберігання яєць. Тому дослідження показників якості та безпечності курячих харчових яєць, збагачених лікопіном чи астаксантином, дасть можливість

визначити оптимальні дози цих каротиноїдів у раціоні курей та терміни і температурно-вологісні режими їх зберігання.

**Зв'язок роботи з науковими програмами.** Дисертаційна робота є складовою частиною науково-дослідної теми, яка виконується на кафедрі ветеринарної гігієни імені професора А.К. Скороходька: «Санітарно-гігієнічні заходи забезпечення здоров'я тварин у господарствах України різних форм власності», № держреєстрації 0116U001299 (2016–2024 рр.).

**Мета та завдання дослідження.** Мета дисертаційного дослідження – визначити вплив лікопіну та астаксантину на якість та безпечність харчових курячих яєць за різних режимів зберігання на основі характеристики їх морфологічного, хімічного, каротиноїдного, жирнокислотного складу та мікробного обсіменіння.

Для досягнення поставленої мети було передбачено вирішення таких завдань:

- визначити вплив різних доз лікопіну та астаксантину на морфологічні показники курячих яєць за різних температурно-вологісних режимів зберігання;

- з'ясувати хімічний склад курячих харчових яєць збагачених лікопіном чи астаксантином під час зберігання за різних температурно-вологісних режимів;

- дослідити вміст каротиноїдів та вітаміну А в харчових курячих яйцях під впливом лікопіну та астаксантину за різних режимів зберігання;

- визначити жирнокислотний склад жовтків курячих харчових яєць, збагачених лікопіном чи астаксантином, під час зберігання за різних температурно-вологісних режимів;

- дослідити вплив різних доз лікопіну та астаксантину на мікробний склад курячих харчових яєць під час зберігання за різних температурно-вологісних режимів;

- розробити науково-практичні рекомендації щодо застосування лікопіну та астаксантину курям-несучкам для забезпечення привабливого кольору та збагачення каротиноїдами жовтків харчових яєць.

*Об'єкт дослідження* – вплив лікопіну та астаксантину на якість і

безпе́чність ку́рячих яєць за збе́рігання в умо́вах різни́х температу́рно-вологі́сних режі́мів.

*Предмет дослідження* – ку́рячі яйця, зба́гачені лі́копіном та аста́ксантином за збе́рігання протя́гом 30 ді́б в умо́вах різни́х температу́рно-вологі́сних режі́мів, їх хі́мічний скла́д та мі́кробіологі́чні показни́ки.

**Методи досліджень:** морфологі́чні (морфологі́чні показни́ки яєць), біохі́мічні (визначення хі́мічного скла́ду ку́рячих яєць), хро́матографі́чні (визначення вмі́сту жи́рних кисло́т у жо́втках яєць), мі́кробіологі́чні (мі́кробне обсі́меніння яєць), статисти́чні (статисти́чна обробка ре́зультатів до́сліджень).

**Наукова новизна одержаних результатів.** Вперше зроблено санітарно-гігієні́чну оці́нку ку́рячих харчо́вих яєць зале́жно від до́зи лі́копіну та аста́ксантину в раці́оні ку́рей за різни́х температу́рно-вологі́сних режі́мів їх збе́ргіання.

До́ведено, що зго́довування до́бавки лі́копіну ку́рям-несу́чкам впродо́вж 30 ді́б в до́зах 20, 40 та 60 мг/кг ко́мбікорму, а тако́ж аста́ксантину в до́зах 10, 20 та 30 мг/кг ко́мбікорму не впли́вало на морфологі́чні показни́ки сві́жознесени́х яєць, а тако́ж під час їх збе́рігання впродо́вж 30 ді́б за температу́ри  $4\pm 0,5$  °C і воло́гості 80–85 %, то́ді як збе́рігання за температу́ри  $12\pm 0,5$  °C і воло́гості 70–75 % в більшо́сті випадкі́в сприя́ло зни́женню маси́ яєць за ра́хунок зменше́ння маси́ бі́лка.

Збе́рігання яєць впродо́вж 30 ді́б за температу́ри  $4\pm 0,5$  °C та  $12\pm 0,5$  °C за зго́довування ку́рям до́бавки лі́копіну в до́зі 60 мг/кг чи аста́ксантину в до́зі 30 мг/кг ко́мбікорму сприя́ло зни́женню вмі́сту во́логи та підви́щенню вмі́сту су́хої речови́ни на 1,12 % та 0,92 % відпо́відно, що відбу́лося за ра́хунок підви́щення рівня́ сирого́ протеї́ну на 0,77 % та 1,0 % відпо́відно.

Експериментально́ до́ведено, що вико́ристання лі́копіну та аста́ксантину в раці́оні ку́рей несу́чок сприя́є зба́гаченню жо́вткі́в ку́рячих яєць приро́дними каротиної́дами і не впли́ває на вмі́ст віта́міну А за збе́рігання в умо́вах температу́р  $4\pm 0,5$ °C і воло́гості 80–85 % та  $12\pm 0,5$ °C і воло́гості 70–75 % впродо́вж 30 ді́б.

Згодовування курям-несучкам лікопіну в дозах від 20, 40 і 60 мг/кг комбікорму забезпечує забарвлення жовтків курячих яєць від 7,6 до 10,0 балів за 15 бальною кольоровою шкалою, яке не залежить від температурно-вологісного режиму їх зберігання. Астаксантин в дозах в 10, 20 і 30 мг/кг комбікорму за згодовування курям-несучкам забарвлює як жовтки свіжознесених яєць за 15 бальною кольоровою шкалою від 11,0 до 14,2 балів, так і за різних режимів їх зберігання.

Температурно-вологісні режими зберігання харчових яєць ( $4\pm 0,5$  °C і вологість 80–85 % та  $12\pm 0,5$ °C і вологість 70–75 %) однаково впливають на жирнокислотний склад жовтків яєць, отриманих від курей, за згодовування добавок лікопіну в дозах 30, 40 та 60 мг/кг чи астаксантину в дозах 10, 20 та 30 мг/кг комбікорму впродовж 30 діб, порівняно зі свіжознесеними яйцями. Використання астаксантину курям-несучкам більшою мірою знижує і стабілізує співвідношення  $\omega_3/\omega_6$  ПНЖК у жовтках за зберігання яєць, ніж згодовування добавки лікопіну.

Лікопін в дозах 20, 40 та 60 мг/кг комбікорму чи астаксантин в дозах 10, 20 та 30 мг/кг комбікорму протягом 30 діб поспіль не впливають на чисельність МАФМ як на поверхні шкаралупи свіжознесених яєць, так і в жовтках. Зберігання курячих яєць, збагачених лікопіном чи астаксантином за  $4\pm 0,5$  °C і вологості 80–85 % та  $12\pm 0,5$ °C і вологості 70–75 % протягом 30 діб підвищувало контамінацію поверхні шкаралупи та жовтка яєць МАФМ порівняно зі свіжознесеними яйцями і залежало від температурно-вологісного режиму зберігання.

**Практичне значення отриманих результатів.** Доведено, що олійні екстракти природних лікопіну та астаксантину в наростаючих дозах в раціоні курей-несучок підвищують вміст каротиноїдів в жовтках яєць та забезпечують їх стабільне забарвлення як у свіжознесених яйцях, так і під час зберігання за  $4\pm 0,5$ °C і вологості 80–85 % та  $12\pm 0,5$ °C і вологості 70–75 % впродовж 30 діб. Встановлено оптимальні дози лікопіну (від 20 до 60 мг/кг комбікорму), що забезпечують забарвлення жовтків курячих яєць від 7,6 до 10,0 балів, а

астаксантину – від 10 до 30 мг/кг комбікорму, що забарвлюють жовтки яєць від 11,0 до 14,2 балів за 15 бальною кольоровою шкалою.

Зберігати харчові яйця, збагачені лікопіном чи астаксантином, доцільно за температури  $4 \pm 0,5$  °C і вологості 80–85 %, що більшою мірою дозволяє стабілізувати морфологічні, біохімічні (вміст вологи, білку, каротиноїдів і вітаміну А) показники та мікробне обсіменіння яєць.

Для покращення співвідношення  $\omega_3/\omega_6$  ПНЖК у жовтках курячих яєць за їх зберігання більш ефективним є згодовування курям-несучкам астаксантину, ніж лікопіну. Отримані результати досліджень можуть бути основою для вибору режиму зберігання збагачених каротиноїдами харчових курячих яєць з урахуванням корекції жирнокислотного профілю ліпідів жовтків.

Результати досліджень увійшли до Науково-практичних рекомендацій «Збагачення харчових курячих яєць лікопіном та астаксантином», які затверджено і прийнято до впровадження в практику ветеринарної медицини Науково-методичною радою Державної служби України з питань безпеки харчових продуктів та захисту споживачів (протокол № 2 від 29.12. 2021 р.).

**Особистий внесок здобувача.** Аналіз та узагальнення результатів досліджень, формулювання висновків і пропозицій виробництву, а також підготовка матеріалів до публікації у наукових виданнях зроблені спільно з науковим керівником. Здобувачем особисто проведено аналіз фахової літератури, організовано та виконано експериментальні дослідження з визначення впливу різних доз лікопіну та астаксантину на морфологічні показники, хімічний склад, вміст каротиноїдів, вітаміну А, жирних кислот та мікробіологічні показники курячих харчових яєць, зроблена статистична обробка отриманих даних.

**Апробація результатів дослідження дисертації.** Результати досліджень дисертаційної роботи були представлені на Всеукраїнській науково-практичній конференції «Сучасні тенденції ветеринарної освіти та науки», 9 жовтня 2019 р., м. Київ; IV Всеукраїнській науково-практичній інтернет-конференції, 15–16 жовтня, 2020 р., м. Полтава; V Міжнародному



Конгресі «Органічна Україна 2021»; Інтернет-конференції, м. Київ, 17 квітня 2021 р. «Proceedings of XI International Scientific and Practical Conference», Kyiv, Ukraine 11-13 July 2021, SPC – Sci-conf.com.ua, Kyiv, Ukraine. 2021; Міжнародній науковій конференції «Глобальні виклики ветеринарної медицини 21 століття» 11 листопада 2021 р. НУБіП, м. Київ; 9–10 червня 2022 року. » Всеукраїнська науково-практична інтернет-конференція «Ветеринарна медицина: сучасні виклики і актуальні проблеми науки, освіти та продовольчої безпеки. 9–10 червня 2022 року. Житомир: Поліський національний університет, 2022. Житомир: Поліський національний університет, 2022; Міжнародній науковій конференції «Єдине здоров'я – 2022», 22-24 вересня 2022 р., м. Київ.

**Публікації.** За темою дисертаційної роботи опубліковано 13 наукових праць з яких 3 статті у фахових виданнях України включених до міжнародних наукометричних баз даних, 2 статті у зарубіжних виданнях включених до міжнародних наукометричних баз даних, 7 тез доповідей та науково-практичні рекомендації.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертація складається з анотацій, вступу, огляду літератури, матеріалів і методів дослідження, результатів досліджень, аналізу та узагальнення результатів досліджень, висновків і пропозицій виробництву, списку використаних джерел, додатків. Загальний обсяг дисертації викладено на 156 сторінках, робота ілюстрована 20 таблицями і 4 рисунками. Список використаної літератури нараховує 187 джерел, з них 166 латиницею.

## РОЗДІЛ 1

### ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

#### **1.1. Вплив режимів і термінів зберігання на якість і безпечність харчових яєць**

Харчові курячі яйця є природним джерелом надзвичайно великої кількості поживних речовин таких як білки, жири, мінерали та вітаміни [34].

Куряче яйце – одне із найбільш затребуваних продуктів, універсальне для використання в харчовій промисловості, особливо в кулінарному виробництві. Воно також має особливий хімічний склад, оскільки містить в основному білки з перетравністю 90%, амінокислоти, жиророзчинні вітаміни (А і D), водорозчинні вітаміни (В<sub>2</sub>, В<sub>6</sub> і В<sub>12</sub>), селен, йод, залізо і цинк [116]. Яйця містять також ряд бактерицидних та бактеріостатичних компонентів, зокрема лізоцими, які є перспективним засобом для лікування запальних захворювань кишечника [78, 147].

Виробництво харчових курячих яєць передбачає їх збирання, сортування та зберігання протягом певного часу, перш ніж вони будуть реалізовані та спожиті людиною. Під час зберігання в яйцях птиці постійно здійснюються процеси, які супроводжується різноманітними складними фізичними, хімічними та фізіологічними змінами. Вони також можуть бути забруднені мікроорганізмами, що призводить до псування [138] та впливає на їх якість.

Умови, а також режими і терміни зберігання, такі як температура, відносна вологість повітря та одиниці Хау впливають на інтенсивність втрати ваги та показники якості яєць [111, 124].

Одними з критеріїв якості харчових яєць є їх зовнішня та внутрішня якість, які вважаються ключовими показниками свіжості курячого яйця. Таким чином, одним із завдань виробників є забезпечення споживача яйцями належної якості [109].

Харчові курячі яйця містять на своїй шкарлупі близько 17000 пор, тому під час зберігання і реалізації необхідно забезпечувати належні температурно-вологісні режими для попередження втрати вологи на зниження їх якості [109].

Одними з перших і найпоширеніших методів визначення свіжості яєць було їх занурення у воду. Свіжі яйця мають здатність опускатися на дно, а старі – спливати на поверхню. Крім того, візуальні характеристики шкаралупи використовуються для визначення зовнішньої якості яйця та його придатності до реалізації. Яйця з тонкою, пористою, пошкодженою або каскадною шкаралупою зазвичай підлягають утилізації [77]. Разом з тим, такі методи є неточними і не враховують внутрішні показники якості, важливі для оцінки свіжості яєць.

Зміни якості яєць багатофакторні. У цьому аспекті температура зовнішнього середовища відіграє головну роль [107]. Відомо, що температура вища за 20°C може спричинити різкі зміни якості яєць порівняно з яйцями, які зберігаються за належної температури [119]. При цьому важливим є комплекс факторів: не належні температура повітря, його вологість та швидкість руху, а також тривалість зберігання негативно впливають на внутрішню частину яйця, що призводить до зниження якості та меншої привабливості для споживача [81].

Таким чином, тривалий термін зберігання а також високі температура навколишнього середовища та відносна вологість є основними несприятливими факторами погіршення якості яєць під час зберігання [38, 141].

Температурний режим та тривалість зберігання яєць впливають на їх внутрішню якість, яка оцінюється в одиницях Хау. Цей показник визначає свіжість яєць з урахуванням втрати маси та висоту білка [124].

Висота білка зменшується під час тривалого періоду зберігання яєць за кімнатної температури, що збільшує втрату води через пори шкаралупи [166] і, у свою чергу, спричиняє зниження ваги яйця. Так, відомо, що після 10 днів

зберігання за температури 29°C втрата ваги яєць збільшувалась на 1,94% порівняно з тими, що зберігалися за температури 25°C [119].

Виявлено, що на втрату ваги яєць під час зберігання впливають такі фізичні фактори, як температура, швидкість руху та відносна вологість повітря [38]. Це призводить до більшого розпаду жовтка через втрату халази, структури, яка фіксує жовток у центрі. Виявлено зниження висоти білка і жовтка за рахунок сплюснення цієї структури шляхом осмотичної міграції від альбуміну до жовтка, що відбувається через жовткову оболонку, яка зберігає та захищає поживні речовини [99].

Встановлено вплив температури зберігання на якість столових яєць протягом 28 днів. Доведено, що втрата маси яєць, які зберігалися за температури 5°C, значно нижча, ніж у яєць, що зберігалися за температури 22°C протягом усього періоду. Яйця, що зберігалися за температури 5 °C, мали вищу масу, ніж яйця, які зберігалися за температури 22 °C протягом 28 днів. Висота білка, одиниці Хау та індекс жовтка яєць, що зберігалися за температури 5 °C, були значно вищими, ніж у яєць, які зберігалися за 22 °C протягом 28 діб. Величина рН білка в яйцях, що зберігалися за 5°C, був значно нижчим, ніж у яєць, які зберігалися за 22 °C [64].

Зниження висоти білка може бути пов'язане зі зниженням якості білка в яйці, оскільки найвищий відсоток білка міститься в цій їстівній частині, головним чином альбуміну, овомуцину, овотрансферину та овальбуміну [60]. Виявлено також зниження одиниць Хау з розкладанням комплексу овомуцин-лізоцим, що сприяє підвищенню величини рН [7].

Результати досліджень різних авторів показують, що свіжість яєць знижується починаючи з десятого дня, про що свідчить зниження одиниць Хау і є причиною обмеження для споживання людиною [28]. Тому рекомендують споживати яйця за показником Хау, яке повинно бути не нижчим ніж 70 одиниць, оскільки через втрату поживної якості яйця та можливу присутність патогенних мікроорганізмів цей показник може знижуватись [111].

Доведено взаємозв'язок між втратою маси яєць і тривалістю їх зберігання, зокрема з 1 до 21 доби зберігання за температури 25 °С і відносної вологості 81%, а також між масою яєць і включенням пігментів у жовток [89].

Показано також вплив температури 4 °С у поєднанні з відотною вологістю на рівні 80 % на якість харчових яєць під час зберігання протягом 10 тижнів [62]. Впродовж цього періоду маса яєць зменшилася з 61 до 57 г після 10 тижнів зберігання. У середньому висота білка зменшилася за тривалого зберігання з 7,05 до 4,85 мм. Значення одиниць Хау знизилися під час зберігання за температури 4 °С з 82,59 до 67,43. За цих умов не було виявлено відмінностей щодо міцності оболонки. Разом з тим була виявлена значна різниця у міцності жовткової мембрани. Еластичність жовткової мембрани знижувалася під час зберігання, залишаючись низькою через 6 тижнів. Тривале холодильне зберігання призвело до зниження маси яєць, висоти білка та одиниць Хау. Однак середні значення Хау все ще були в межах діапазону для яєць категорії А. Еластичність жовткової мембрани також зменшилася, що могло призвести до легшого розриву жовтків, коли споживачі розбивали яйця.

У дослідженнях також виявлено, що пігментація жовтка зменшується з часом зберігання яєць, можливо, через підвищення рН і втрату халази, що спричиняє більшу інтенсивність окислення каротиноїдних пігментів, що містяться в жовтку, і зниження точності колориметрії [143]. Однак зазначають, що на пігментацію жовтка впливає концентрація та поглинання каротиноїдних пігментів у кормах для курей [5]. Нестабільність каротиноїдів у жовтках яєць під час зберігання пов'язана з окислювальними процесами та реакціями ізомеризації, викликаними температурою, світлом або рН, які є однією з причин зниження інтенсивності забарвлення жовтка [132].

Доведено також, що існує зворотний зв'язок між терміном зберігання яєць за температури 30°С та випаровуванням і обміном CO<sub>2</sub> в яйцях курей батьківського стада кросу Рос-308 віком 35 і 50 тижнів [156]. Автори пояснили, що тривале зберігання яєць за даної температури підвищує рН в

яйцях, яке спричиняє зміщення балансу карбонатно-бікарбонатної буферної системи в бік виробництва  $\text{CO}_2$ , а це у свою чергу знижує термін зберігання яєць. Дослідження підтверджують, що температура зберігання підвищує утворення біологічно активних амінів у яйцях, яке сприяє розмноженню патогенних бактерій. Це призводить до втрати поживної якості яєць, в основному через негативні зміни висоти білка і одиниць Хау [97].

Повідомлялося про прогресуюче випаровування води з яєць за зберігання переважно за кімнатної температури, що в свою чергу спричиняє втрату ваги яєць, висоту білка та одиниці Хау, а також свіжості та якості яєць. Це було підтверджено в дослідженнях ряду авторів [38, 119] за зберігання яєць за високих температур ( $35^\circ\text{C}$ ). З іншого боку виявлено зв'язок між втратою маси яєць і кольором жовтка.

Зниження маси яєць в процесі зберігання пов'язують з погіршенням кольору жовтка. Ймовірно, зниження маси яєць спричиняє більше окиснення каротиноїдних пігментів і зниження інтенсивності забарвлення жовтка [143].

Стверджують [156], що за зберігання яєць за температури  $30^\circ\text{C}$  протягом 28 днів виникає розрідження білка.

Під час процесу зберігання всередині яйця відбуваються як фізичні, так і хімічні зміни [77]. Однак інтенсивність цих змін залежить головним чином від температури та терміну зберігання. Загалом, коли яйця зберігаються протягом тривалого часу, відбувається розрідження білка та підвищення рН через виділення  $\text{CO}_2$  через пори шкаралупи [7]. Крім того, білок містить великий відсоток води (88%) і білка, особливо овомуцину, який надає йому в'язкість, еластичність і консистенцію [60]. Тому втрата води під час тривалого зберігання за температури  $25^\circ\text{C}$  зменшує висоту білка та термін зберігання яєць [77]. Цього не відбувається в яйцях, які зберігалися за належної температури, оскільки в цьому випадку втрата маси яєць і висота білка знижується лише на 0,22 одиниці. Результати досліджень підтверджують, що за належної температури зберігання в яйцях відбуваються

зміни, але набагато менші, ніж за кімнатної температури. Ці яйця не зазнають несприятливих змін навіть за тривалого зберігання і залишаються свіжими.

Виявлено, що на якість і масу білка під час зберігання яєць впливає температура вище 20 °С [61]. Подібним чином впливає температура зберігання яєць і на величину рН білка та одиниці Хау [92]. Крім цього, доведено [5, 132], що температура зберігання яєць впливає на пігментацію жовтка, і це дає можливість прогнозувати втрати пігментів і вітаміну А в цій структурі яйця.

Одним з факторів, що впливає на процеси, які відбуваються в яйці, є дифузія вуглекислого газу через яєчну шкаралупу. Цьому сприяють висока температура і вологість [97]. Оптимальна температура зберігання яєць визначена на основі фізіологічної нульової точки, за якої припиняється ембріональний розвиток. Внутрішню якість яєць можна забезпечити через сповільнення їх псування під час зберігання шляхом витримування стабільної температури зберігання.

У традиційній практиці яйця часто зберігають за температурного діапазону 10–18 °С через витрати на охолодження та проблеми конденсації, особливо за нижчих температур, близько 10°С, а щоб зменшити втрату маси яєць, відносну вологість слід підтримувати на рівні 70–80 %. Повідомляють також, що харчові яйця можуть зберігатися впродовж 8 днів за температури 15 °С і 2 дні – за температури 18°С, не втрачаючи свої властивості. Яйця можуть зберігатися до 20 днів без втрати внутрішньої якості і бути придатними для споживання людиною за температури 7 °С і відносної вологості 60 % [7]. Яйця, які зберігаються за високої температури, близько 30 °С, псуються дуже швидко, і вони є непридатними для споживання людиною вже через два тижні. У спекотному і сухому кліматі, де температура навколишнього середовища досягає 40 °С, яйця не слід зберігати більше ніж тиждень [141].

Збільшення пор в шкаралупі полегшує вихід вологи та газів з яєць. Розпад вугільної кислоти в яєчному білку утворює вуглекислий газ (CO<sub>2</sub>) і воду (H<sub>2</sub>O). Вуглекислий газ виходить через пори шкаралупи, яєчний білок втрачає товщину і стає водянистим, що призводить до втрати маси яєць.

Доведена більша втрата маси яєць, які зберігалися за кімнатної температури, ніж у тих, що зберігалися в холодильнику. Це пов'язано з тим, що кутикула, що закупорює повітряні пори шкаралупи яєць, які зберігалися в умовах кімнатної температури, висихала швидше і почала скорочуватися, а, отже, пори шкаралупи збільшувалися в розмірі швидше, полегшуючи вихід з яєць вуглекислого газу і вологи. Температура навколишнього середовища відіграє важливу роль у втраті вологи яйцями шляхом випаровування. Двоокис вуглецю втрачається через пори шкаралупи, тоді як кисень потрапляє в яйце і створює повітряний міхур, змушуючи яйце плавати, коли його поміщають у воду через втрату маси [55].

На якість яєць впливає спосіб і тривалість зберігання, якщо яйце не зберігається в належних умовах, зниження маси відбувається із збільшенням терміну зберігання. Якщо яйця зберігаються за вищої температури, то це спричиняє більшу втрату маси, ніж коли яйця зберігаються в холодильнику [131].

Якість яєць може погіршуватися у разі зараження їх мікроорганізмами. Це може призвести до передачі збудника інфекції і псування яєць, що, в свою чергу, викликає інфекцію харчового походження у споживачів [96]. Мікробне обсіменіння яєць часто відбувається протягом декількох секунд після відкладання яєць курми. Яйця можуть бути заражені вертикальним шляхом: мікроорганізми з крові та органів травлення птиці потрапляють в яєчний жовток і горизонтальним шляхом, залежно від санітарно-гігієнічних умов, після відкладання яєць птицею (за штучного запліднення), клоакальний контакт з матеріалом гнізда та підстилки під час яйцекладки. Інші фактори також можуть впливати на бактеріальне обсіменіння яєць, такі як пил у пташниках і складських приміщеннях, недотримання гігієни обробки яєць або пошкодження цілісності яєць (тріщини, наявність дефектів кутикули та мембрани), сезону і умов зберігання [84].

Обсіменіння яєчної шкаралупи мікроорганізмами відбувається в основному через послід. Щоразу, коли відкладаються яйця, вони можуть бути



обсеменені фекаліями та мікроорганізми можуть проходити через оболонку і мембрану завдяки вакуумному ефекту, який виникає через втрату тепла яйцем після знесення. Мікроорганізми можуть потрапляти в яйця за невідповідності термінів і умов зберігання та транспортування. Заражені яйця та продукти можуть призводити до серйозних ризиків для здоров'я споживачів під час вживання в сирому вигляді.

Нині сприйняття споживачів про якість і безпечність яєць змінилося через обізнаність щодо гігієнічних та фізичних властивостей яєчної шкаралупи, її мікробного обсеменіння. Багато видів бактерій, наприклад, ешерихії, мікрококи, сальмонели, стрептококи, стафілококи, аеромонас, ентеробактер, протеус, псевдомонас, а також цвілеві гиби і дріжджі знаходяться на шкаралупі столових яєць [84]. З іншого боку, група грамнегативних *Enterobacteriaceae* виділена як основна щодо обсеменіння промислових курячих яєць.

Яйця є одним із найпоширеніших продуктів, що викликають сальмонельоз людини [43]. Належним способом зберігання яєць є охолодження для запобігання розвитку патогенів таких як *Salmonella spp.* Деякі норми щодо яєць у різних правилах викладені наступним чином: транспортування і зберігання яєць повинно здійснюватися за постійної температури, забезпечуючи найкращі гігієнічні умови, яйця підлягають реалізації протягом 21 дня після кладки [115] і термін придатності яєць повинен становити 28 днів після кладки [25, 36].

Отже, отримані результати досліджень низки авторів переконливо доводять, що на якість яєць впливає тривалість, вологість та температура зберігання. Зберігання курячих харчових яєць за кімнатної температури знижує якість яєць, головним чином, через втрату їх маси, висоту білка, а також одиниці Хау. Результати показують, що на якість яєць впливає процес і тривалість зберігання. Швидка деградація яєць, що зберігаються за кімнатної температури, і висока температура робить їх непридатними для використання через три тижні зберігання. Зберігання яєць у холодильнику, на відміну від

зберігання за температури в умовах навколишнього середовища, дозволяє уникнути втрати якості. У тропічних країнах, де температура докілька коливається від 25 °С до 30 °С, зберігання яєць не повинно перевищувати двох тижнів.

Разом з тим, наведена оцінка впливу температурно-вологісного фактора, а також умов і тривалості зберігання харчових яєць свідчить, що показники якості і безпечності цього продукту регламентуються Європейським законодавством, і дотримання чинних вимог дозволяє забезпечувати споживачам гарантію їх якості та безпечності.

## **1.2. Вплив натуральних барвників жовтків яєць лікопіну та астаксантину на їх зберігання**

Каротиноїди дуже поширені в природі і поряд з антиоксидантною, антиканцерогенною, радіопротекторною дією, здатні надавати забарвлення рослинам, а також тваринам та продуктам, отриманим під час переробки сировини тваринного походження [102, 157, 165].

Забарвлення яєчного жовтка є одним із основних параметрів для оцінки якості яєць, окрім форми, ваги, міцності та цілісності яєчної шкаралупи [134]. Колір жовтка є суттєвим критерієм для споживача та його уподобань і це залежить від країни. Наприклад, бажаний колір жовтка в Ірландії, Північній Англії та Швеції становить 8 – 9, в Австралії, Фінляндії та Франції – близько 11, а в Німеччині, Нідерландах, Іспанії та Бельгії – приблизно 13 за 15 бальною кольоровою шкалою. Відомо, що каротиноїди, які мають жовте, помаранчеве, червоне чи рожеве забарвлення можуть впливати на колір жовтка та покращувати його. Однак тварини можуть тільки метаболізувати каротиноїди, але не здатні їх синтезувати [135].

Оскільки каротиноїди відіграють важливу роль у забарвленні яєчного жовтка, раціон годівлі птахів повинен містити каротиноїди, щоб задовольнити їх потребу у цих речовинах. Існують синтетичні та природні джерела кормових

каротиноїдів. Проте існують обмеження щодо використання синтетичних каротиноїдів в годівлі тварин, які відрізняються в різних країнах [50, 135, 161].

Крім того, підвищення інтересу у людей до здорового харчування призвело до збільшення попиту на натуральні продукти, зокрема яйця. Для досягнення бажаного забарвлення яєчного жовтка, особливо при використанні кормів з низьким вмістом каротиноїдів, раціон курей доповнюють їх різними джерелами [100, 101].

Додавання лютеїну та зеаксантину в корм для курей дозволяє покращити забарвлення жовтків яєць за менших витрат на їх виробництво. Кантаксантин є одним із каротиноїдів, який широко використовується в раціонах для птиці, і невелике додавання цього каротиноїду до кормів призводить до задовільного кольору яєчного жовтка [120].

Кантаксантин та інші червоні каротиноїди, схвалені Європейською комісією [35] для використання в раціонах годівлі птиці, були обрані через їх кольоровий ефект. Майже від 37% до 50% спожитого кантаксантину відкладається в жовтку яєць. Для порівняння, лише 1% харчового  $\beta$ -каротину, від 4,4% до 23% харчового лютеїну та 23% харчового зеаксантину відкладається в яєчному жовтку [50].

За згодовування курям свіжого аннато, доданого до комерційного раціону у концентраціях 1,5 та 2,0 %, а також синтетичних добавок в концентрації 0,001 % карофілу жовтого (апоефір) і 0,006 % карофілу червоного (кантаксантин) отримували яйця, які зберігали в паперових лотках протягом 36 днів при контрольованій температурі  $2\pm 0,2^{\circ}\text{C}$  і відносній вологості 90 %. Як встановлено в досліді, окислення ліпідів було вище в яйцях, які зберігалися протягом 36 днів, порівняно зі свіжими яйцями, що відбулося, ймовірно, протягом зберігання та зневоднення, однак зберігання яєць не вплинуло на колір жовтків, а також смак яєць [133].

Дослідження показують, що яйця за органічного виробництва містять більш високий рівень каротиноїдів на відміну від яєць, вироблених в промислових умовах. Звичайні способи зберігання показали лише обмежений

вплив на концентрацію каротиноїдів у яйцях. Проте більш холодне середовище (принаймні для яєць зі шкаралупою) і зберігання під високим тиском мали найкращий консервуючий вплив на вміст каротиноїдів. Доведено також, що обробка, наприклад, варіння, збільшує концентрацію каротиноїдів в яйцях, тоді як смаження знищило каротиноїди майже повністю. Відварювання на відміну від смаження яєць може бути кращим з точки зору збереження каротиноїдів під час обробки цього харчового продукту [103].

Ароматичні амінокислоти та каротиноїди є основними компонентами, які забезпечують антиоксидантні властивості яєчного жовтка. Поглинання кисневих радикалів було найвищим у яйцях, збагачених n-3/лютеїном порівняно з інтактними. Шість тижнів зберігання яєць в охолодженому стані не змінили значення цього показника, а також вміст вільних амінокислот, каротиноїдів і малонового диальдегіду в яєчному жовтку. Проте кип'ятіння та смаження значно знижували інтенсивність поглинання синглетного кисню та вміст вільних амінокислот, лютеїну та зеаксантину, а також підвищували вміст малонового диальдегіду в яйцях. Результати досліджень показали, що антиоксидантна активність жовтків яєць, збагачених лютеїном, стабільна протягом шести тижнів імітованого роздрібного зберігання [94].

Один із каротиноїдів, який застосовують як добавку в раціоні курей для поліпшення забарвлення жовтків, є лікопін – рожевий пігмент, який належить до природних каротиноїдів, що знаходяться у фруктах і овочах. Лікопін міститься в кількостях 3100-8600 мкг на 100 г помідорів або продуктів з них. Найбільш відомим біологічним ефектом лікопіну є його дія як засобу для зниження рівня холестерину в крові людини або антиоксиданту [1]. Таким чином, він запобігає окисленню ліпопротеїнів низької щільності, що пов'язано зі зниженням ризику атеросклерозу та ішемічної хвороби серця у людей [104].

Дослідниками встановлено, що ефективність транспортування кормового лікопіну в яєчний жовток коливається від 0,13% до 4,5%. Відомо, що включення лікопіну в курячі яйця відбувається відразу після згодовування

корму курям-несучкам і його концентрація в яйцях зберігається постійною під час згодовування [136].

Попередні дослідження були зосереджені на впливі лікопіну на функціональний стан системи кровотворення, ліпідний профіль, антиоксидантні системи, а також окислювальні процеси в м'ясі птиці [136]. Разом з тим нині недостатньо досліджень щодо окислювальної стабільності яєць, збагачених лікопіном за різних умов зберігання. Крім того, вплив різних концентрацій лікопіну в жовтках яєць, обмін ліпідів у крові та рівень лікопіну в тканинах раніше не досліджувався.

Відомо, що лікопін не проявляє суттєвого впливу на продуктивність курей, а також якість яєць [136]. Не доведено також впливу лікопіну на міцність і товщину яєчної шкаралупи та одиниці Хау [3]. Також є підтвердження впливу лікопіну на забарвлення жовтка, що є наслідком прямого включення лікопіну в яєчний жовток, як і повідомлялося в інших дослідженнях [3].

Астаксантин один із каротиноїдів, який має корисні властивості, такі як покращення антиоксидантної здатності [164] та інгібування перекисного окислення ліпідів [91], а також сповільнює старіння. Астаксантин є одним із найсильніших антиоксидантів, знайдених у природі [163] він є більш стабільним і стійким до окислення, ніж його синтетичний аналог. Кормові добавки астаксантину збільшують забарвлення яєчного жовтка залежно від дози та покращують антиоксидантну здатність у тканинах курей-несучок [149].

Мікродорощ *Haematococcus pluvialis* є найефективнішим джерелом для виробництва астаксантину [121, 125]. Додавання астаксантину до раціону курей може покращити колір яєчного жовтка, підвищити загальну антиоксидантну здатність і пригнічувати перекисне окислення ліпідів [74]. Однак вплив різних доз астаксантину в кормах та тривалістю зберігання на якість яєць залишається неясним. Проведені дослідження показують, що погіршення якості яєць під час їх зберігання пов'язане з доглядом і годівлею

курей-несучок [148] та умовами зберігання яєць. Дослідження показують, що температура та термін зберігання впливає на якість яєць [54]. Астаксантин корисний для здоров'я курей і може легко накопичуватись в жовтку, тому можна припустити, що термін зберігання яєць збагачених астаксантином, можна подовжити без втрати їх якості.

Дослідженнями показано вплив раціонів з додаванням до них астаксантину на якість яєць. За винятком кольору жовтка, внутрішня якість харчових яєць погіршується із збільшенням терміну зберігання при температурі вище 20°C. Дані дослідження показують, що зі збільшенням терміну зберігання за температурних режимів 4°C і 20°C індекс жовтка та Хау зменшуються, тоді як рН, колір жовтка та втрата ваги яєць збільшуються [151, 152]. Крім того, дослідження показують, що згодовування астаксантину не вплинуло на продуктивність курей або якість яєць, за винятком кольору яєчного жовтка [149, 178].

Результати досліджень показали, що рівень астаксантину в кормі не впливав на індекс, рН жовтка або Хау. Раніше астаксантин успішно використовувався для посилення пігментації яєчних жовтків або м'яса птиці [142, 149].

Жовтковий індекс – це показник сферичної форми яєчного жовтка, який вказує на свіжість яйця [145]. Під час зберігання яєць жовтковий індекс зменшується через зниження жовткової мембрани, оскільки жовток поглинає воду з білка [151]. На цей процес також можуть впливати каротиноїди, зокрема астаксантин.

Астаксантин може поглинати вільні радикали шляхом автоокислення, яке пов'язане з його деградацією для передачі електронів у збудженому стані синглетного кисню до каротиноїдного ланцюга [40]. Підвищення активності антиоксидантних ферментів, наприклад, глутатіонпероксидази у жовтку та білку може покращити антиоксидантний статус яєць [106]. Унікальна структура частини кінцевого кільця астаксантину може покращити

антиоксидантну активність і зменшити окислювальний потенціал шляхом зв'язування з фосфоліпідами клітинної мембрани [49].

Яйця для споживання людиною зазвичай готують шляхом відварювання або смаження окремо або з іншими інгредієнтами відповідно до особистих уподобань. Приготування та обробка можуть призвести до деякого зменшення вмісту каротиноїдів у жовтках яєць, оскільки високореактивна, багата електронами молекула каротиноїду, присутня в яєчних жовтках, піддається окисленню. Інтенсивність окислення залежить від кількості каротиноїду, доступного кисню, впливу світла, температури та присутності ферментів, металів і антиоксидантів. Але, з іншого боку, механічне пошкодження або термічна обробка спричиняє розм'якшення або руйнування клітинної стінки та мембрани, що сприяє вивільненню корисних для здоров'я компонентів і, таким чином, підвищує їх біодоступність [161].

Дослідницькі статті, які з'являлися в пресі, вибірково розглядали та коротко підсумовували вплив термічної обробки на яєчний жовток [95]. Лютеїн, зеаксантин та інші каротиноїди, що містяться в кормах для птиці, насичуються киснем і в такому вигляді переносяться в яйця. Ці каротиноїди дуже сприйнятливі до тепла, світла та вологи, тому можуть зазнавати структурних змін під час приготування їжі або термічної обробки [122]. Лютеїн, зеаксантин і кантаксантин здатні руйнуватися під час варіння, але в різному ступені [95]. Наприклад, лютеїн у яєчному жовтку постраждав найбільше зі зниженням приблизно на 23%, 17% і 19% для варених, оброблених в мікрохвильовій печі і смажених яєць відповідно.

З огляду на вищезазначені властивості каротиноїдів і враховуючи, що яйця являють собою матрицю, багату ліпідами [17], можна було б очікувати, що значна ізомеризація ксантофілів яєчного жовтка може відбуватися під час зберігання та обробки [65]. Але згідно з останніми дослідженнями стабільності ксантофілів яєчного жовтка під час домашнього приготування їжі було виявлено, що якісний профіль стереоізомерів каротиноїдів не змінюється при нагріванні [95]. Кип'ятіння, смаження та нагрівання в мікрохвильовій печі

призвели до значного зниження, особливо *транс*-лютеїну, і супутнього невеликого збільшення 13 *цис*-ізомерів лютеїну та зеаксантину, яке, однак було менш вираженим, ніж очікувалося. Загальні втрати ксантофілів у яйцях за таких умов становили від 6% до 18% [95].

Також важливими є механізми окислення, за допомогою яких каротиноїди розкладаються, включаючи шляхи, викликані теплом, світлом, киснем, кислотою, перехідним металом або взаємодією з радикалами. Вільні ароматичні амінокислоти в яєчному жовтку проявляють антиоксидантні властивості. Яєчний жовток містить значну кількість антиоксидантів і характеризується наявністю окрім лецитину – триптофану і тирозину [93].

Під час приготування харчових продуктів, які містять яйця, в них може знизитись антиоксидантна активність і вміст ароматичних амінокислот. Усі способи приготування харчових продуктів з вмістом яєць певним чином зменшили антиоксидантну цінність яєчних каротиноїдів. Полієнова структура робить каротиноїди сприйнятливими до ізомеризації та деградації, викликані умовами, які зазвичай застосовуються під час обробки. За таких умов, як високі температури та ультрафіолетове світло, присутність кисню та певних ферментів (моно- та діоксигенази, окислювально-відновні іони активних металів), усі *транс*-каротиноїди можуть бути перетворені на їхні *цис*-ізомери [122] або можуть окислитись та розщепитись до апокаротиноїдів. Ці перетворення можуть бути пов'язані з частковою або повною втратою їх біологічної активності.

Отримані результати ряду досліджень різних авторів свідчать про відсутність суттєвого впливу таких каротиноїдів як лікопін і астаксантин на показники якості харчових яєць, які зберігалися за різних умов, за винятком концентрації каротиноїдів у жовтках.

### **1.3. Вплив умов зберігання на жирнокислотний та ліпідний склад жовтків курячих яєць**



Курячі яйця не тільки одні з найбільш універсальних продуктів з високою харчовою цінністю для людини, але також є ефективними інгредієнтами багатьох харчових продуктів через їх поживність, органолептику та функціональні властивості [159]. В різних країнах яйця в основному зберігають і транспортують в охолодженому стані. Однак не існує встановленої системи холодового ланцюга для транспортування і зберігання яєць. Особливо довготривале зберігання за кімнатної температури може призвести до різних змін у яйцях, таких як втрата якості [4], окислення ліпідів, білків [19, 160] і зміни складу жирних кислот, а також конформації білка.

Ліпіди яєчного жовтка більш сприйнятливі до окислення через відносно високу концентрацію поліненасичених жирних кислот [118]. Окислення ліпідів яєчного жовтка під час обробки яєць викликало великий інтерес серед дослідників. Встановлено, що за різних методів та термінів зберігання харчових яєць значно змінюється окислення ліпідів яєчного жовтка та оксиданту.

Нині зростає потреба в курячих яйцях, збагачених такими поживними речовинами, як поліненасичені жирні кислоти [153], вітаміни D, E та ін.), мінерали, зокрема селен, залізо, цинк, а також антиоксидантні сполуки, оскільки це збагачення може покращити здоров'я споживачів [22, 100, 101, 112, 154]. Крім того, на думку багатьох дослідників, співвідношення ПНЖК/НЖК, ПНЖК n-6/n-3, а також індекси атерогенності та тромбогенності в даний час є одними з найважливіших показників для оцінки поживної цінності харчових продуктів та впливу на здоров'я споживача [11, 26].

За останнє десятиліття серед найбільш використовуваних сполук для збагачення яєць є омега-3 жирні кислоти та каротиноїди [66, 76]. Тому для забезпечення вищесказаного основну роль відіграє годівля курей-несучок. Добре відомо, що жирнокислотний склад раціону курей впливає на жирнокислотний склад яєць [72].

Вивчення впливу температури зберігання на якість курячих харчових яєць за згодовування курям-несучкам кон'югованої лінолевої кислоти в

кількості 0,5% протягом 40 днів показало, що через 28 днів за 4 °С або кімнатної температури (21–24 °С) протягом одного, двох або трьох тижнів відбувалось підвищення в жовтках рівнів жирних кислот з вуглецевими ланцюгами C16:0 і C18:0 і зниження рівнів C16:1(n-7) і C18:1(n-9). Співвідношення загального вмісту насичених і ненасичених жирних кислот (НЖК/НЖК) зросло в 2,4 рази, а в яйцях курей за добавки кон'югованої лінолевої кислоти в раціон за зберігання в умовах температури 4 °С. Крім того, ці яйця мали вищі значення рН жовтка та нижчі значення рН білка порівняно з контрольною групою. В свою чергу добавка кон'югованої лінолевої кислоти в раціон курей-несучок викликала значні зміни кольору жовтка та білка яєць, що зберігалися за температурних режимів 4 °С і 15 °С, тоді як жодних змін кольору в жовтку та білку не спостерігалось за зберігання за температури 21–24 °С. Результати показали, що добавка кон'югованої лінолевої кислоти до комбікорму для курей впливала на склад жирних кислот яєць і мала негативний вплив на якість яєць, що зберігалися за температури 4 °С або 15 °С, але не за кімнатної температури (21–24 °С). Автори припустили, що кон'югована лінолева кислота, ймовірно, змінила проникність жовткової мембрани під час зберігання яєць за нижчих температурних режимів [12].

Згодовування курям кормів, що містили 0, 2,5 або 5,0 % кон'югованої лінолевої кислоти протягом 4 тижнів показало, що за зберігання яєць за температури 4°С протягом 1, 7, 21 або 49 днів пропорції міристинової, пальмітинової, стеаринової, ліноленової (9-цис, 11-транс та 10-транс, 12-цис ізомерів) і неідентифікованих жирних кислот у ліпідах яєчного жовтка збільшувалися зі збільшенням її в раціоні, але частки пальмітолеїнової олеїнової, лінолевої, ліноленової, арахідонової та докозагексаєнової кислот знижувались. Тривалість зберігання яєць збільшила частку яєчного жовтка, але знизила вміст білка та ліпідів жовтка після 21 дня зберігання. Величина рН яєчного жовтка підвищувалася зі збільшенням терміну зберігання, особливо зі збільшенням рівня кон'югованої лінолевої кислоти в раціоні. Величина рН білка значно підвищився після 7 днів зберігання, але залишався незмінним до

21 дня, а потім знизився на 49 день. Згодовування кон'югованої лінолевої кислоти не впливало на рН білка яєць до 49 днів зберігання. На колір жовтка не вплинуло згодовування птиці кон'югованої лінолевої кислоти та зберігання, але поверхня яєчного жовтка курей іноді мала відносно темний колір зі світлими плямами. Кон'югована лінолева кислота під час зберігання яєць підвищила міцність звареного яєчного жовтка. Автори висловили припущення, що зміни якості яєць за згодовування курам кон'югованої лінолевої кислоти були пов'язані зі збільшенням вмісту води в жовтку, рухом іонів між жовтком і білком через жовткову мембрану та змінами рН яєчного жовтка під час зберігання [2].

Іншими дослідженнями доведено, що під час зберігання яєць за температур 4 °С і 20 °С протягом 6 тижнів не було суттєвої різниці вмісту ліноленої, арахідонової та докозагексаєнової кислот. Після 6 тижнів зберігання вміст цих жирних кислот у яйцях також не виявив значної тенденції до зниження [32].

Аналогічні результати підтверджені в інших дослідженнях [85], які повідомили, що яйця, багаті на жирні кислоти, що містять n-3, які зберігалися протягом 28 днів за кімнатної температури, показали аналогічний склад жирних кислот, що й у свіжих яєць.

Відомо також [155], що кон'югована лінолева кислота була стабільною в яйцях під час зберігання протягом 6 місяців за температурного режиму 0–4°С. Також не було виявлено [2] впливу зберігання на склад жирних кислот у яйцях протягом 49 днів за температури 4 °С.

Відмічають [83], що стійкість при зберіганні яєць від курей, яких годували 1,5 % дієтичною олією менхадена, промисловим риб'ячим жиром, який містить приблизно 30 % n-3 жирних кислот, порівняна зі стійкістю яєць курей, яких годували кормами без додавання жиру.

Навпаки, повідомлялося про зниження загального вмісту n-3 жирних кислот в яйцях курей, яких годували риб'ячим жиром або оливковим листям після 60 днів зберігання за температури 4 °С [20].

Як було запропоновано в різних дослідженнях, стабільність n-3 жирних кислот за зберігання яєць могла бути пояснена захисним ефектом  $\alpha$ -токоферолу. Дійсно,  $\alpha$ -токоферол природним чином присутній у сирих яйцях [90], а також надходить з кормом для курей.

Яйця, збагачені n-3 ПНЖК, так само швидко псуються, як і звичайні яйця, і їх свіжість і якість починають знижуватися відразу після виробництва на птахофабриках [75]. Крім того, n-3 ПНЖК збільшують ступінь ненасиченості яєчного жовтка, але можуть підвищувати чутливість до окислення ліпідів. Окислені жирні кислоти та їх денатуровані продукти шкідливі для організму людини та можуть мати негативні наслідки після всмоктування в кишечнику в кров. Ліпіди в яйцях можуть окислюватися під час зберігання, особливо за високих температур зберігання [88].

Вміст n-3 ПНЖК і вільних жирних кислот у збагачених n-3 ПНЖК яйцях зменшувався під час зберігання, що може призвести до зниження загальної антиоксидантної активності. Антиоксидантна активність яєць, що зберігалися за температури 4 °С, була вища, ніж у тих, що зберігалися за температури 25 °С, незалежно від типу яйця, що може бути пов'язано з тим, що компонент, відповідальний за окислювальну активність, такий як вільні амінокислоти, був стабільним під час зберігання за низької температури. Разом з тим у дослідженнях підтверджено факт окислення ліпідів під час зберігання яєць [86].

Значення вмісту реактивних речовин тіобарбітурової кислоти зросли як у звичайних, так і в яйцях, збагачених n-3 поліненасиченими жирними кислотами, що зберігалися при 25 °С, тоді як жодних змін у значеннях вмісту реактивних речовин тіобарбітурової кислоти не виявлено впродовж 12 днів зберігання за температури 4 °С. Ці результати узгоджуються з попередніми дослідженнями [88], які показують, що зберігання яєць за низької температури менше впливає на окислення ліпідів. Результати цього дослідження показують, що жирні кислоти, вільні амінокислоти та антиоксидантна активність яєць, збагачених n-3 ПНЖК, і звичайних яєць змінювалися під час

зберігання. Зокрема, яйця, збагачені n-3 ПНЖК, були більш сприйнятливими до окислення ліпідів через більш високі пропорції ПНЖК. Частка загальної кількості вільних амінокислот значно зменшилася під час зберігання, але зміни, що спостерігалися під час зберігання яєць за температур 25 °C і 4 °C, істотно не відрізнялися. Двадцять чотири дні зберігання яєць за температури 25 °C значно знизили в них загальну антиоксидантну здатність і підвищили значення реактивних речовин тіобарбітурової кислоти. Результати досліджень також показали, що жирні кислоти та антиоксидантна активність у яйцях, збагачених n-3 поліненасиченими жирними кислотами, стабільні під час зберігання за температури 4 °C протягом 24 днів [76].

В дослідженні було визначено інтенсивність ліполізу та окислення ліпідів яєць, що зберігалися за різних температур (4 та 22 °C), оцінюючи зміни фізико-хімічного індексу, ліпідного профілю, ферментативної активності та окисного індексу. Результати показали, що зміни фізико-хімічного індексу харчових яєць були більш вираженими за температури 22 °C, ніж за 4 °C. Втрата ваги, вміст вологи та рН яєчного жовтка істотно зросли, тоді як індекс жовтка знизився під час зберігання. Однак не було істотної різниці в ліпідному профілі харчових яєць між температурою зберігання від 4 до 22 °C. Аналіз ліпідного складу жовтків продемонстрував, що гідроліз ліпідів відбувався під час зберігання яєць і призвів до помітного зниження вмісту фосфоліпідів і підвищення вмісту вільних жирних кислот. Також встановлено, що вміст фосфатидилхоліну, фосфатидилетаноламіну і фосфатидилінозитулу в жовтках яєць значно зменшувався під час зберігання. Кореляційний аналіз показав що деградація ліпідів істотно позитивно пов'язана з активністю ліпази, і помітні зміни вмісту ліпідних фракцій є результатом як їх гідролізу, так і окислення. Можна зробити висновок, що на фізико-хімічні показники яєць і на активність ліпази сильно впливала температура під час зберігання, що вплинуло на стабільність ліпідів жовтка [150].

Недоліком збагачення яєць омега-3 поліненасиченими жирними кислотами є підвищена сприйнятливість до перекисного окислення ліпідів

жовтка, через що це впливає як на харчові та сенсорні якості яєць, так і на безпечність продукту для споживачів. Таким чином, одночасне збагачення яєць антиоксидантними сполуками, зокрема вітаміном Е та каротиноїдами зменшує окислення жирних кислот і забезпечує хороше джерело дієтичних антиоксидантів [105]. Крім того, каротиноїди – це червоні та жовті пігменти, які тісно пов'язані з обміном ліпідів та жирних кислот, і впливають на колір яєчного жовтка [82].

Дані показали, що споживання каротиноїдів людиною пов'язане з меншою частотою серцево-судинних захворювань через поглинання вільних радикалів і стійкість холестерину ліпопротеїнів низької щільності до індукторів окислення [42].

Таким чином, додавання джерел каротиноїдів у раціон курей має дві потенційні дії: як природний пігмент для покращення кольору та якості яєчного жовтка та як антиоксидант для затримки окислення поліненасичених жирних кислот.

Нині у зв'язку зі збільшенням попиту на м'ясо птиці та яйця, нутріцевтики використовуються як дієтичні добавки для поліпшення якісних характеристик кормів для птиці. Каротиноїди протягом багатьох років використовувалися у птахівництві для пігментації яєць і м'яса [46]. Лікопін [105] і лютеїн [73] можуть відкладатися в жовтку і значно посилювати колір яєчного жовтка. Порівняно з  $\beta$ -каротином і кантаксантином, атаксантин ефективніше депонується у тканинах і яйцях курей-несучок [71, 150].

Одним із факторів, що характеризує інтенсивність окиснення ліпідів, є рівень малонового диальдегіду у жовтках яєць.

Відомо, що під час зберігання харчових яєць у жовтках відбуваються зміни, характерні для окислення ліпідів і деяких жирних кислот і, як наслідок, зниження їх абсолютного вмісту [87]. Окислення ліпідів – це процес, який впливає на стабільність яєчного жовтка під час зберігання. Це може змінити якість столових яєць та призвести до погіршення смаку, аромату та кольору і утворення токсичних речовин у яйцях

Концентрація малонового диальдегіду в яєчних жовтках зросла після зберігання за температури 4 °С протягом 60 і 90 днів. Збагачення жовтків курячих яєць  $\omega$  3 і  $\omega$  6 жирними кислотами також стимулювало утворення малонового диальдегіду за зберігання в умовах температури 4 °С протягом 30 і 60 діб, що також свідчить про процес окиснення ліпідів у жовтках.

Цей же факт був підтверджений у ряді досліджень [105], які повідомили про зниження загального вмісту  $\omega$  3 жирних кислот у жовтках яєць курей-несучок, яких годували риба'ячим жиром або листям оливи, після 60 днів зберігання за температури 4 °С.

В дослідженні було оцінено вплив моделювання роздрібної торгівлі та зберігання в домашніх умовах на вміст жирних кислот, вільних амінокислот та антиоксидантну активність у звичайних яйцях і яйцях, збагачених n-3 ПНЖК. Як видно з одержаних даних частка ПНЖК у збагачених n-3 ПНЖК яйцях була вищою, ніж у звичайних яйцях, але під час зберігання частка зменшилася з 24,40% до 21,92%, а потім збільшилася до 25,86%, що може бути пов'язано з гідролізом і окисненням ліпідів. Частка загальної кількості вільних амінокислот в яйцях значно зменшилася під час зберігання, але зміни, що спостерігалися під час зберігання за температур 25°C і 4°C істотно не відрізнялися. Двадцять чотири дні зберігання при 25°C значно знизили загальну антиоксидантну здатність і підвищили значення реактивних речовин тіобарбітурової кислоти у яйцях [76].

Таким чином, можна зауважити, що умови зберігання харчових яєць суттєво впливають на їх жирнокислотний склад, що пов'язано зі здатністю ненасичених жирних кислот окислюватися під впливом факторів зовнішнього середовища. На цей процес можуть також впливати ряд антиоксидантів, зокрема, вітаміни та каротиноїди, що належать до жиророзчинних сполук. Це дає підставу вважати збагачення жовтків курячих яєць каротиноїдами, зокрема, лікопіном чи астаксантином позитивним фактором збереження біологічно активних речовин яєць таких як ненасичені жирні кислоти.

#### 1.4. Заключення з огляду літератури

Яйця курячі харчові є надзвичайно універсальним і легкодоступним продуктом для всіх категорій споживачів. Останнім часом споживачі приділяють все більшу увагу питанням якості та безпечності цього продукту.

Відомо, що яйця курячі відносяться до продуктів, які перш ніж потрапити до споживача, підлягають зберіганню з моменту їх знесення, сортування, пакування, транспортування та зберігання як на складах виробника, так і в торговельній мережі. Основними факторами, які впливають на швидкість псування яєць є термін зберігання, температура, відносна вологість та швидкість руху повітря.

Не менш важливим критерієм попиту на харчові яйця є привабливість кольору їх жовтків, який забезпечується як синтетичними барвниками, так і каротиноїдами природного походження. Каротиноїди природного походження, зокрема лікопін та астаксантин відносяться до біологічно активних сполук з надзвичайно сильною антиоксидантною активністю, що певною мірою дозволяє уповільнити процеси окислення важливих біологічно активних компонентів яєць, підтримуючи температуру і вологість середовища їх зберігання.

Аналіз літературних джерел показує, що натуральні каротиноїди давно і широко використовуються для виробництва харчових курячих яєць. Це зумовлено в першу чергу їх корисними, зокрема антиоксидантними властивостями, імунопротекцією та впливом на важливі ланки обміну речовин в організмі.

Однак важливим фактором застосування каротиноїдів під час виробництва харчових яєць є їх здатність впливати на забарвлення жовтків яєць і надавати їм привабливого товарного вигляду.

Залежно від регіону споживачі віддають перевагу різній інтенсивності забарвлення жовтків курячих яєць. Разом з тим нині немає чіткої і вичерпної відповіді щодо впливу натуральних каротиноїдів, зокрема лікопіну та



астаксантину залежно від дози в раціоні курей-несучок на якість та безпечність харчових яєць за різних режимів зберігання.

Відомо, що під час зберігання курячих харчових яєць в них відбуваються хімічні і мікробіологічні процеси, інтенсивність і направленість яких суттєво залежить від умов зберігання, зокрема від температурно-вологісного режиму, повітрообміну та контамінації мікроорганізмами під час виробництва, транспортування та зберігання яєць.

В багатьох дослідженнях встановлені оптимальні режими зберігання харчових яєць, однак питання щодо якості і безпечності харчових яєць, збагачених каротиноїдами природного походження, зокрема лікопіном чи астаксантином за різних температурно-вологісних показників не досліджено.

Не враховано також вплив на якість та безпечність харчових яєць рівня збагачення лікопіном та астаксантином жовтків. При цьому вплив різних доз лікопіну чи астаксантину на хімічний склад курячих яєць, ступінь збереження каротиноїдів та вітаміну А, жирнокислотний склад жовтків, мікробіологічні показники та інтенсивність забарвлення жовтків курячих харчових яєць потребує більш детального і глибокого аналізу.

Це пов'язано в першу чергу з тим, що антиоксидантні властивості каротиноїдів, зокрема лікопіну та астаксантину можуть пролонгувати зберігання біологічно активних сполук у жовтках курячих яєць у процесі їх зберігання.

Тому дослідження показників якості та безпечності курячих харчових яєць, збагачених різними рівнями лікопіну чи астаксантину в різних умовах зберігання дасть можливість запропонувати споживачам не лише яйця як дієтичний і легкозасвоюваний харчовий продукт, але й як продукт з функціональними властивостями та привабливим товарним виглядом.

## РОЗДІЛ 2

### МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 2.1. Схема та умови проведення досліджень

Для досягнення поставленої мети було проведено дослід на базі віварію факультету ветеринарної медицини Національного університету біоресурсів і природокористування України.

Всі експерименти з використанням курей проведено з дотриманням вимог Європейської конвенції про захист хребетних тварин, що використовуються для наукових експериментів або в інших наукових цілях від 1986 р., а також Закону України «Про захист тварин від жорстокого поводження» від 21.02.2006 р. № 3447-IV в редакції від 04.08.2017 р.

Для проведення наукового дослідження було використано 45 курей кросу Хай-лайн W36 віком 14 тижнів. Птицю перед початком дослідження зважували і за принципом груп-аналогів розділили на 3 групи: по 15 голів у кожній. Після досягнення піку яйцекладки у віці 23 тижні було розпочато дослід, який складався з трьох періодів і тривав 90 діб. Схема дослідження наведена в табл. 2.1, рис. 2.1.

В якості джерела лікопіну використано 6 % масляний екстракт лікопіну, отриманий з помідорів (Lycopersicon, Ізраїль), а також астаксантину – 10 % масляний екстракт астаксантину, отриманий з біомаси водорості *Haematococcus pluvialis* (ALGAE Technologies, Ізраїль).

Курам протягом всього експерименту згодовували корми основного раціону, який забезпечував потребу птиці в поживних та біологічно активних речовинах [37, 58, 114]. З 1 до 30 доби дослідження курам-несучкам згодовували, в середньому, 91 г, а з 31 до 90 доби – 97 г повнораціонного комбікорму на голову за добу. Експериментальні кормові суміші готували з розрахунку на 4 доби. Для цього кормосуміш змішували і зберігали в герметичних контейнерах з харчового пластику. Доступ до води у птиці був не обмежений, напування

здійснювали з використанням чашкових поїлок. Курей утримували в трьохярусних кліткових батареях по 5 голів у кожній. Світловий день становив 16 годин, період темряви – 8 годин, інтенсивність освітленості – 30 лк. Температура повітря в приміщенні підтримувалась на рівні 21–23 °С, відносна вологість вологість повітря становила 60–62 %.

Таблиця 2.1

## Схема дослідів

Група	Період дослідів		
	I (1 – 30 доба)	II (31 – 60 доба)	III (61 – 90 доба)
Контрольна	ОР <sup>1</sup> + 0,33 г/кг рафінованої соняшникової олії	ОР <sup>2</sup> + 0,66 г/кг рафінованої соняшникової олії	ОР <sup>3</sup> + 1,0 г/кг рафінованої соняшникової олії
Дослідна 1 (лікопінова добавка)	ОР <sup>1</sup> + 20 мг/кг лікопіну	ОР <sup>2</sup> + 40 мг/кг лікопіну	ОР <sup>3</sup> + 60 мг/кг лікопіну
Дослідна 2 (астаксантинова добавка)	ОР <sup>1</sup> + 10 мг/кг астаксантину	ОР <sup>2</sup> + 20 мг/кг астаксантину	ОР <sup>3</sup> + 30 мг/кг астаксантину

Від кожної групи курей-несучок вранці перед годівлею протягом останніх п'яти діб кожного періоду дослідів, а саме з 25 до 30 доби (період I), з 55 до 60 доби (період II) та з 85 до 90 доби (період III) відбирали всі яйця, зважували, сортували, закладали в картонні прокладки і ділили на дві партії.

**Першу партію** розміщували на зберігання в холодильнику за температури  $4 \pm 0,5^\circ \text{C}$  та відносної вологості 80–85 %, а **другу партію** зберігали в яйцескладі за температури  $12 \pm 0,5^\circ \text{C}$  і відносної вологості 70–75 %. Обидві партії яєць зберігали впродовж 30 діб.

Для визначення показників якості яєць перед закладенням на зберігання і на 30-ту добу після зберігання відбирали по 5 яєць однакової маси від курей кожної групи, які належали до першої категорії згідно ДСТУ 5028:2008 [180] і проводили дослідження.

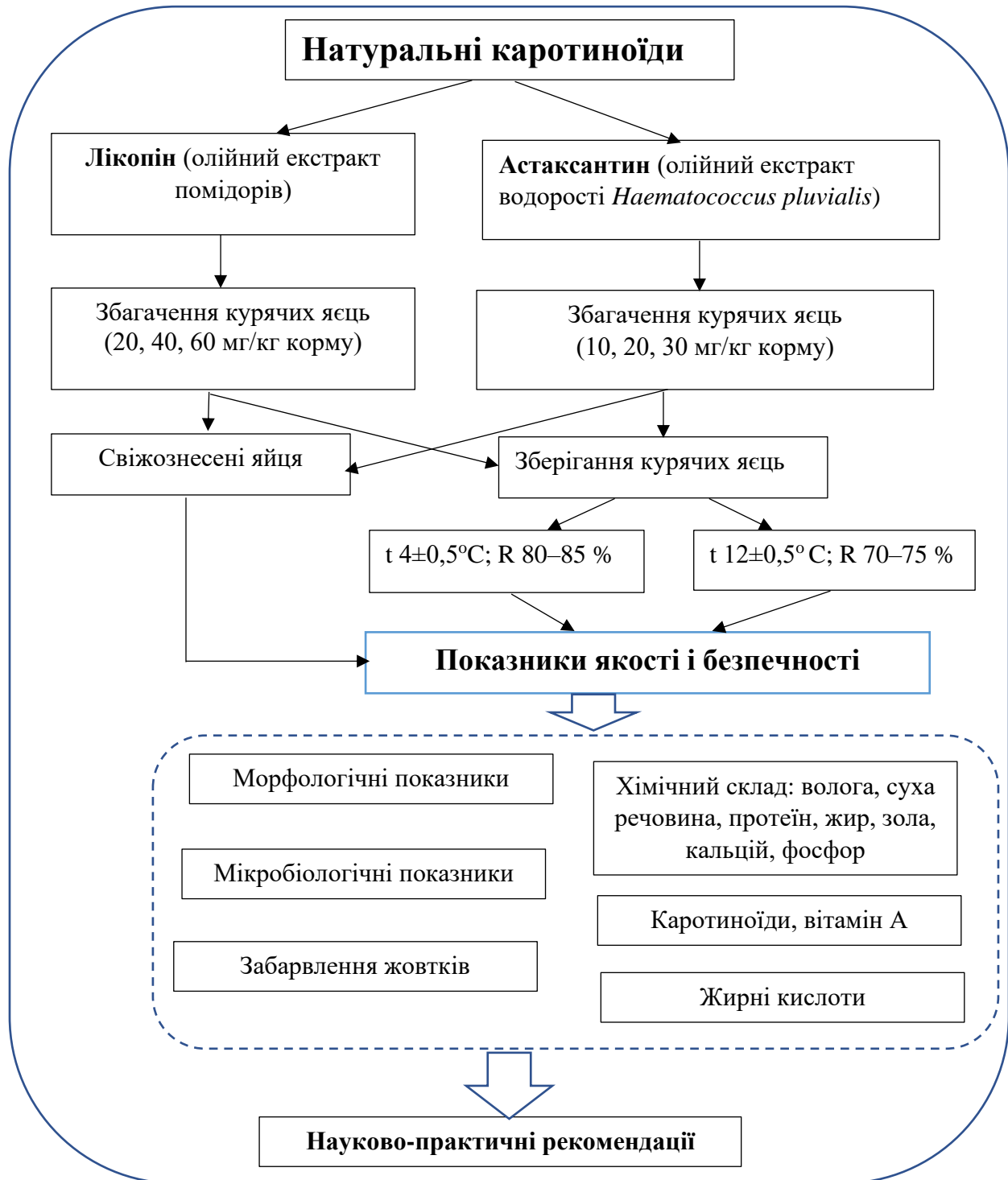


Рисунок 2.1. – Загальна схема досліджень

## 2.2. Методи досліджень

**2.2.1. Визначення морфологічних показників та хімічного складу яєць.** Під час зберігання курячих харчових яєць визначали масу яєць, білків, жовтків та шкаралупи з використанням вагів марки ВЛР-200 [186].

*Визначення масової частки вологи* в яйцях проводили за ГОСТ 30364.1-97 [175]. Висушування досліджуваних яєць проводили з використанням металевих бюксів з кришкою в сушильній шафі SLW 53 STD (Pol-Eko-Aparatura) до постійної маси, після цього зважували на вагах OHAUS Adventurer™ (AR 2140) близько 5 г проби, додавали 5 мл етилового спирту і вміст бюкси ретельно перемішували. Відкриті бюкси висушували протягом 1 години при температурі 70 °С, періодично перемішуючи. Потім пробу сушили при температурі 105 °С протягом 4 годин. Після висушування бюкси закривали кришкою, охолоджували до кімнатної температури, зважували і сушили ще протягом 1 години за температури 105 °С, після цього охолоджували, знову зважували і продовжували ці операції до тих пір, поки розбіжності між зважуваннями не наближались до 0,002 г.

*Визначення вмісту білка* в яйцях проводили за ГОСТ 30364.1-97 [175] за загальним азотом, який досліджували за методом К'ельдаля. Методика має три етапи: мінералізація (розкладання) проби, нейтралізація кислоти концентрованим лугом з наступною перегонкою (дистиляцією) водяною парою, титруванням перегнаного дистиляту розчином кислоти або лугу відомої концентрації (титрантом). Мінералізацію (розкладання) проби проводять за температури 440 °С при наявності концентрованої сірчаної кислоти і каталізатора з використанням дигестора для вологої мінералізації DK 6 Velp Scientifica. Мінералізацію охолоджували, а потім розбавляли водою і нейтралізували концентрованим гідроксидом натрію. На наступному етапі здійснювали перегонку (дистиляцію) водяною парою на приладі напівавтоматичному UDK 129 для перегонки з парою за К'ельдалем. При цьому аміак разом з парою попадає в прийомну колбу, де аміак зв'язується із

розчином борної кислоти. Потім дистиллят титрували розчином соляної кислоти. За кількістю реагенту, який був витрачений на титрування зв'язаного аміаку, визначили вміст загального білка.

**Визначення вмісту золи** в яйцях проводили за ГОСТ 30364.1-97 [175], використовуючи наважку аналізованого продукту, який поміщали в прожарений до постійної маси тигель. Вміст тигля випарювали та підсушували в сушильній шафі за температури 100-150 °С. Потім обережно обвуглювали на електричній плитці і прожарювали в муфельній печі Nabertherm L15 за температури 500-550 °С. Після прожарювання тигель охолоджували 15 -20 хв. в ексікаторі, зважували і прожарюють наважку вдруге. Якщо при повторному прожарюванні маса золи не змінювалась більше, ніж на 0,0002 г, то озолення вважали завершеним.

**Визначення вмісту жиру** в яйцях проводили за ГОСТ 30364.1-97 [175] екстракційним методом з попереднім гідролізом наважки. Цей метод базується на вилученні жиру розчинником з попередньо гідролізованої наважки і визначенні масової частки жиру шляхом зважування після видалення розчинника. При кип'ятінні вуглеводи та білки, що огортають жир, частково гідролізуються, стінки втрачають щільність і за рахунок цього полегшується і прискорюється екстракція жиру розчинником.

У наважку проби масою 5-6 г додавали 50 мл розчину соляної кислоти 4 моль/дм<sup>3</sup>, нагрівали на електроплитці і кип'ятили 1 годину. Потім гідролізат фільтрували, промиваючи фільтр гарячою водою. Фільтр підсушували в сушильній шафі SLW 53 STD (Pol-Eko-Aparatura). Вилучення жиру з фільтра проводили за методом Сокслета з використанням ефіру шляхом екстрагування за допомогою автоматичного екстракційного приладу Velp Scientifica SER 148. Після цього фільтр переносили в гільзу і поміщали в екстракційне обладнання. В екстракційні склянки наливали 100 мл розчинника, закривали екстракційну систему, вибирали і запускали програму. В подальшому проводили екстрагування жиру з подальшим відділенням ефіру і зважуванням сирого жиру, що залишився в екстракційній склянці.

**Визначення вмісту кальцію** в яйцях проводили за ГОСТ 30364.1-97 [175]. Метод заснований на озоленні, розчиненні золи і утворенні стійкого комплексу кальцію з трилоном Б в присутності індикатора кальцеїну в лужному середовищі. При цьому спочатку утворюється комплекс іонів кальцію з кальцеїном. При титруванні розчину трилоном Б, який має здатність утворювати стійкі внутрішньокмлексні сполуки з кальцієм, менш стійкий кальцеїн кальцієвий комплекс руйнується і кальцеїн витісняється в розчин. При використанні кальцеїну розчин забарвлюється: в кислому середовищі в жовто-зелений колір, в лужному – в рожевий.

Наважку озолювали в муфельній печі Nabertherm L15, потім розчиняли золу в мірних колбах на 100 мл. Розчин золи титрували трилоном Б при використанні індикатора кальцеїну.

**Визначення вмісту фосфору** в яйцях проводили за ГОСТ 30364.1-97 [175]. Суть методу полягає в мінералізації проби способом сухого озолення з утворенням солей ортофосфорної кислоти і подальшому фотометричному визначенні фосфору у вигляді зафарбованого в жовтий колір сполуки – гетерополікислоти, що утворюється в кислому середовищі в присутності ванадат- і молібдатіонів.

Наважку проби озолювали в муфельній печі Nabertherm L15, розчиняли золу в мірних колбах на 100 см<sup>3</sup>. З розчинів озолоту аналізованих проб піпеткою брали по 10 см<sup>3</sup> розчину і переносили в мірну колбу місткістю 50 см<sup>3</sup>, додавали 5 см<sup>3</sup> розчину азотної кислоти і 15 см<sup>3</sup> фарбувального розчину (амонію ванадієвокислого, азотної кислоти, амонію молібденовокислого), доводили дистильованою водою до мітки. Після кожного додавання розчинів і води розчини ретельно перемішували. Через 30 хв забарвлені розчини порівняння фотоколориметрували на КФК-3.

**2.2.2. Дослідження вмісту каротиноїдів у жовтках яєць.** Визначення загального вмісту каротиноїдів у жовтках курячих яєць проводили за методом екстракції [8]. Проби жовтків, масою 0,5 г екстрагували в 5 мл бутильованого

гідрокситолуолу (ВНТ) (0,05%) у холодному ацетоні (4 °С) і перемішували протягом 1 год 30 хв. Після 15 хв центрифугування за 3000 об/хв супернатант переносили в іншу пробірку, що містила 7 мл петролейного ефіру. Потім по ходу пробірки повільно додавали 20 мл дистильованої води. Після поділу двох фаз протягом 1 год додавали 10 мл дистильованої води. Водну фазу відкидали. Ефірну фазу переносили в іншу пробірку і вимірювали поглинання з використанням *spektrophotometer PD-303S (APEL Joran)*.

**2.2.3. Визначення вмісту вітаміну А у жовтках яєць.** Для цього відбирали по 0,5 г жовтка, розтирали в фарфоровій ступці з безводним натрію ульфатом (10 г), додавали 10 мл ацетону, перемішували і екстрагували 10 хв за ДСТУ 4687:2006 [179]. Після фільтрації доводили об'єм екстракту до 20 мл, випарювали на водяній бані під вакуумом. Сухий залишок розчиняли у 5 мл хлороформу, переносили в пробірку і нашаровували 1 мл ефірату трифториду бору, вмикали секундомір, збовтували вміст пробірки 3–5 с. Через 30 с проводили перше вимірювання, а через 1 хв – друге вимірювання оптичної густини з використанням *spektrophotometer PD-303S (APEL Joran)* за довжини хвилі 610 нм.

Інтенсивність забарвлення жовтків визначали з використанням шкали DSM (Nutritional Products, Базель, Швейцарія), за шкалою 1–15, від 1 (світло-жовтий) до 15 (темно-оранжевий).

**2.2.4. Визначення вмісту жирних кислот у жовтках яєць.** Для досліджень відбирали по 9 яєць від кожної групи курей на 30–31, 60–61 та 90–91 доби досліду. Екстракцію ліпідів з жовтків яєць проводили за методом Folch et al. [41]. Наступним етапом підготовки проб було проведення гідролізу та метилювання жирних кислот ліпідів, отриманих з проб курячих жовтків [24, 59].

Аналіз метилових ефірів жирних кислот проводили на газовому хроматографі Trace GC Ultra (США) з полум'яно-іонізаційним детектором та



інжектором з програмуванням температури на високополярній капілярній колонці SPTM-2560 (Supelco, USA), довжина 100 мм, з внутрішнім діаметром 0,25 мм і товщиною нерухомої фази 0,20 мкм. Умови хроматографування: температура колонки 140–240 °С, температура детектора 260 °С. Проба у хроматограф вводилася за допомогою автосамплера TriPlus в дозі 1 мкл. Тривалість аналізу складала 65 хв. Ідентифікування жирних кислот проводили за допомогою стандартного зразка Supelco 37 Component FAME Mix. Кількісну оцінку спектру жирних кислот ліпідів жовтків здійснювали методом внутрішньої нормалізації, визначаючи їх вміст у відсотках. Дослідження проводили у 3-х паралелях. У жовтках курячих яєць визначали наступні жирні кислоти: міристинова (14:0), міристолеїнова (14:1), пентадеканова (15:0), пальмітинова (16:0), пальмітоолеїнова (16:1 $\omega$ 9), гептадеканова (17:0), цис-10-гептадеценева (17:1), стеаринова (18:0), олеїнова (18:1 $\omega$ 9), лінолева (18:2 $\omega$ 6), ліноленова (18:3 $\omega$ 3), гама-ліноленова (18:3 $\omega$ 6), арахінова (20:0), цис-11-ейкозенова (20:1 $\omega$ 9), цис-11,14-ейкозадієнова (20:2 $\omega$ 6), цис-8,11,14-ейкозатрієнова (20:3 $\omega$ 6), арахідонова (20:4 $\omega$ 6), бегенова (22:0), цис - 4,7,10,13,16,19-докозагексаєнова (22:6 $\omega$ 3).

**2.2.5. Мікробіологічні дослідження курячих яєць. Визначення кількості мезофільних аеробних і факультативно анаеробних мікроорганізмів** в яйцях здійснювали за ДСТУ ISO 4833:2006 [184] та ДСТУ ISO 18593:2006 [183]. Для цього відбирали 1 г (мл) продукту і ряд пробірок (як правило не більше 5-ти), кожна пробірка містить 9,0 мл стерильного 0,1% розчину пептона. В першу пробірку стерильною градуйованою піпеткою вносили 1,0 мл досліджуваного продукту, потім стерильною піпеткою після досить ретельного перемішування вміст 1-й пробірки в кількості 1 мл переносили в наступну пробірку, не торкаючись до поверхні рідини в цій пробірці і т.д.

З кожної проби робили посів глибинним методом на 2 паралельні чашки Петрі з 2 – 3 послідовних розведень в кількості 1,0 мл, використовуючи для

цього 2%-й агар, приготовлений з сухого живильного агару. Чашки заливали розплавленим і охолодженим до 45 °С агаром відразу ж після внесення матеріалу.

Після застигання агару чашки з посівами поміщали в термостат догори дном, інкубували за рекомендацією ФАО/ВООЗ за температури 30 °С протягом 72 годин. Кількість колоній підраховували на кожній із засіяних чашок. Підрахунок колоній на чашках робили за допомогою приладу для рахунку колоній бактерій або лупи.

**Визначення бактерій групи кишкової палички (БГКП)** в яйцях проводили за ДСТУ 8104:2015 [181]. Для відбирали по 1 см<sup>3</sup> із розведень рідких яєчних продуктів піпеткою, які вносили у пробірки з середовищем Кесслера (розлиті по 5 см<sup>3</sup> у пробірки з поплавками). Посіви інкубували за температури (43±0,5)°С протягом (24±1) год. Після інкубації проводили підрахунок колоній.

**Визначення бактерій роду *Proteus*** в яйцях проводили за ДСТУ 8104:2015 [181]. Для цього вносили піпеткою 1 см<sup>3</sup> проби з розведення 1:10 в пробірку з м'ясо-пептонним агаром з похилою поверхнею, не торкаючись до похилої поверхні середовища. Посіви інкубували у термостаті протягом 24 год за температури (37±1)°С.

**Визначення бактерій *Staphylococcus aureus*** в яйцях проводили за ДСТУ 8104:2015 [181], ДСТУ ISO 6888-1:2003 [185]. З цією метою вносили піпеткою 1 см<sup>3</sup> проби у пробірку, що містила 9 см<sup>3</sup> сольового бульйону. Через 24 год інкубування в термостаті за температури (36±1)°С із сольового бульйону проводили пересівання бактеріологічною петлею на середовище Байд-Паркера. Для кожного розведення продукту використовували дві паралельні чашки Петрі. Чашки з посівами продовжували інкубувати у термостаті за температури (36±1)°С ще (24±1) год.

**Визначення бактерій *Salmonella*** у яйцях проводили за ДСТУ 8104:2015 [181], ДСТУ EN 12824:2004 [182]. У колбу, що містить 225 см<sup>3</sup> буференізованої пептонної води, вносили 25 см<sup>3</sup> яєчних продуктів з

дотриманням стерильності, перемішували та інкубували у термостаті за температури  $(37\pm 1)^\circ\text{C}$  протягом 16-20 год. У колбу що містила  $100\text{ см}^3$  середовища Кауфмана переносили  $10\text{ см}^3$  культури, отриманої на середовищі попереднього концентрування, інкубували у термостаті за температури  $(37\pm 1)^\circ\text{C}$  протягом 24 год. Після цього проводили посів бактеріологічною петлею із середовища селективного збагачення у чашки Петрі з вісмут-сульфідним агаром та середовищем Плоскірєва, розтираючи шпателем. Чашки з посівом інкубували у термостаті за температури  $(37\pm 1)^\circ\text{C}$ . За відсутності типових або підозрілих колоній чашки з посівами продовжували інкубувати ще 20-24 год при  $(37\pm 1)^\circ\text{C}$ .

***Визначення інтенсивності забарвлення жовтків яєць.*** Інтенсивність забарвлення жовтків свіжих яєць і яєць після зберігання за різних температурно-вологісних режимів визначали з використанням шкали DSM (Nutritional Products, Базель, Швейцарія), за шкалою 1–15, від 1 (світло-жовтий) до 15 (темно-оранжевий).

Визначення інтенсивності забарвлення варених яєць проводили за методикою Asensio-Grau et al. [10]. Для цього яйця варили у воді, яка їх повністю покривала, протягом 10 хвилин за температури  $95 \pm 5^\circ\text{C}$ , після чого охолоджували під проточною водою протягом 5 хвилин, негайно очищали, розрізували вздовж гострим ножем і фотографували.

***Статистичну обробку отриманих результатів*** проводили за допомогою програми ANOVA, дані в таблицях подано у вигляді  $x \pm SD$  (середнє  $\pm$  стандартне відхилення). Різницю між значеннями в групах визначали з використанням тесту Tukey. Різницю вважали вірогідною за  $p \leq 0,05$ .

## РОЗДІЛ 3

### РЕЗУЛЬТАТИ ВЛАСНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### **3.1. Вплив лікопіну та астаксантину на морфологічні показники харчових курячих яєць за різних режимів зберігання**

Згодовування курям-несучкам комбікорму з вмістом лікопіну 20 мг/кг чи астаксантину в дозі 10 мг/кг комбікорму впродовж 30 діб не впливало на масу свіжознесених яєць, а також масу білка, жовтка та шкарлупи, порівняно з контрольною групою (табл. 3.1).

Зберігання яєць курей, що отримували добавки лікопіну в дозі 20 мг/кг та астаксантину в дозі 10 мг/кг комбікорму за температури  $4\pm 0,5$  °C впродовж 30 діб також не впливало на масу яєць, масу білка, жовтка та шкарлупи, порівняно з контролем. Однак зберігання курячих яєць за температури  $12\pm 0,5$  °C, одержаних від курей, яким згодовували добавку лікопіну в дозі 20 мг/кг чи астаксантину – 10 мг/кг комбікорму знизило їх масу на 0,66 % та 0,92 %, відповідно, порівняно з контролем. Це відбувалося за рахунок зниження маси білка яєць курей першої дослідної групи на 1,01 % та другої дослідної – на 1,73 %, порівняно з контролем (табл. 3.1).

В даному випадку маса жовтка та маса шкарлупи яєць не змінювалася не лише за різних добавок каротиноїдів до раціону курей, але й за різних температурно-вологісних режимів зберігання курячих яєць.

Встановлено що згодовування курям-несучкам комбікорму з вмістом лікопіну 40 мг/кг чи астаксантину – 20 мг/кг комбікорму впродовж 30 діб не впливало на масу свіжознесених яєць, масу білка і масу жовтка, а також масу шкарлупи, порівняно з контрольною групою (табл. 3.2).

Зберігання яєць курей, яким згодовували добавку лікопіну в дозі 40 мг/кг чи астаксантину в дозі 20 мг/кг комбікорму за температури  $4\pm 0,5$  °C, не впливало на їх морфологічні параметри, порівняно з контрольною групою.

Таблиця 3.1

Морфологічні показники яєць за різних режимів зберігання,  $x \pm SD$ ,  
 $n = 10$

Показники, г	Групи курей		
	контрольна	дослідні	
		лікопін (20 мг/кг)	астаксантин (10 мг/кг)
	Свіжознесені яйця		
Маса яєць	58,38±0,30	58,51±0,28	58,49±0,27
Маса білка	35,96±0,56	35,45±0,80	35,52±0,43
Маса жовтка	16,39±0,16	16,90±0,15	16,89±0,20
Маса шкаралупи	6,03±0,31	6,16±0,39	6,08±0,23
Зберігання за температури 4±0,5 <sup>0</sup> С та вологості 80–85%			
Маса яєць	57,38±0,81	57,32±0,46	57,28±0,48
Маса білка	35,64±0,70	35,60±0,87	35,50±0,75
Маса жовтка	15,71±0,54	15,65±0,34	15,49±0,37
Маса шкаралупи	6,03±0,31	6,07±0,35	6,40±0,33
Зберігання за температури 12±0,5 <sup>0</sup> С та вологості 70–75%			
Маса яєць	57,40±0,59	56,74±0,48*	56,48±0,27*
Маса білка	36,87±0,84	35,86±0,45*	35,14±0,59*
Маса жовтка	14,35±0,37	15,03±0,36	15,22±0,40
Маса шкаралупи	5,74±0,22	5,85±0,13	6,07±0,31

Примітка:\* –  $p \leq 0,05$  порівняно з контролем

Зберігання яєць впродовж 30 діб за температури 12±0,5 °С, отриманих від курей, яким згодовували добавку лікопіну у дозі 40 мг/кг комбікорму, знижувало масу яєць на 0,75 % та масу білка – на 1,13 %, але не впливало масу жовтка та шкаралупи, порівняно з контролем.

Добавка астаксантину в дозі 20 мг/кг комбікорму для курей-несучок впливала на морфологічні показники яєць за зберігання їх за температури  $12\pm 0,5$  °С, а саме, сприяла зниженню маси яєць на 0,78 % та маси білка – на 1,02 % і не змінювало масу жовтка та шкаралупи яєць порівняно з контролем.

Таблиця 3.2

**Морфологічні показники яєць за різних режимів зберігання,  $x \pm SD$ ,  $n = 10$**

Показники, г	Групи курей		
	контрольна	дослідні	
		лікопін (40 мг/кг)	астаксантин (20 мг/кг)
	Свіжознесені яйця		
Маса яєць	58,38±0,30	58,47±0,28	58,49±0,28
Маса білка	35,56±1,73	35,43±0,55	35,41±0,53
Маса жовтка	17,27±0,39	17,20±0,44	17,16±0,26
Маса шкаралупи	5,56±0,1,63	5,84±0,13	5,92±0,27
Зберігання за температури $4\pm 0,5^0$ С та вологості 80–85%			
Маса яєць	57,21±0,50	57,60±0,31	57,35±0,36
Маса білка	34,49±0,92	35,41±0,43	35,03±0,56
Маса жовтка	16,72±0,41	16,40±0,27	16,40±0,38
Маса шкаралупи	6,00±0,33	5,79±0,24	5,92±0,29
Зберігання за температури $12\pm 0,5^0$ С та вологості 70–75%			
Маса яєць	57,25±0,52	56,50±0,77*	56,47±0,45*
Маса білка	35,30±0,75	34,17±0,72*	34,28±0,68*
Маса жовтка	16,00±0,43	16,13±0,26	16,24±0,40
Маса шкаралупи	5,95±0,26	5,89±0,10	5,95±0,18

Примітка:\* –  $p \leq 0,05$  порівняно з контролем

За згодовування курям-несучкам лікопіну в дозі 60 мг/кг комбікорму чи астаксантину в дозі 30 мг/кг комбікорму впродовж 30 діб не виявлено змін морфологічного складу свіжознесених курячих яєць, порівняно з контрольною групою.

Таблиця 3.3

**Морфологічні показники яєць за різних режимів зберігання,  $\bar{x} \pm SD$ ,  $n = 10$**

Показники, г	Групи курей		
	контрольна	дослідні	
		лікопін (60 мг/кг)	астаксантин (30 мг/кг)
	Свіжознесені яйця		
Маса яєць	58,41±0,16	58,56±0,20	58,48±0,25
Маса білка	35,46±0,43	35,44±0,26	35,10±0,32
Маса жовтка	17,25±0,15	17,34±0,19	17,42±0,13
Маса шкаралупи	5,70±0,23	5,78±0,11	5,96±0,18
Зберігання за температури 4±0,5 °С та вологості 80–85 %			
Маса яєць	57,16±0,18	57,29±0,29	57,18±0,50
Маса білка	34,85±0,85	34,60±0,41	34,66±0,56
Маса жовтка	16,63±0,59	16,88±0,37	16,55±0,11
Маса шкаралупи	5,68±0,26	5,81±0,12	5,97±0,14
Зберігання за температури 12±0,5 °С та вологості 70–75 %			
Маса яєць	56,87±0,58	56,16±0,44*	56,20±0,35*
Маса білка	34,87±0,68	33,68±0,52*	33,31±0,84*
Маса жовтка	16,37±0,48	16,63±0,34	16,85±0,58
Маса шкаралупи	5,73±0,23	5,85±0,12	6,03±0,17

Примітка:\* –  $p \leq 0,05$  порівняно з контролем

Зберігання яєць протягом 30 діб за температури  $4\pm 0,5$  °C за згодовування курям добавки лікопіну в дозі 60 мг/кг чи астаксантину в дозі 30 мг/кг комбікорму не впливало на масу курячих яєць, масу білка, масу жовтка та масу шкаралупи (табл. 3.3).

Зберігання яєць за температури  $12\pm 0,5$  °C, отриманих від курей, яким згодовували добавки лікопіну у дозі 60 мг/кг комбікорму, зменшувало масу яєць на 0,71 % за рахунок зменшення маси білка на 1,19 % і не змінювало масу жовтка та масу шкаралупи порівняно з контролем.

Згодовування курям-несучкам астаксантину в дозі 30 мг/кг комбікорму впливало на морфологічні показники яєць за зберігання за температури  $12\pm 0,5$ °C шляхом зменшення маси яєць на 0,67 %, що відбулося за рахунок зниження маси білка на 1,56 %, але не змінювало масу жовтка та масу шкаралупи порівняно з контролем (табл. 3.3).

Таким чином, в результаті проведених досліджень доведено, що згодовування курям-несучкам добавки лікопіну в дозах 20, 40 чи 60 мг/кг комбікорму, а також добавки астаксантину в дозах 10, 20 та 30 мг/кг комбікорму суттєво не впливали на морфологічні показники як свіжознесених яєць, так і яєць, які зберігалися впродовж 30 діб за температури  $4\pm 0,5$  °C, тоді як за зберігання яєць протягом 30 діб за температури  $12\pm 0,5$  °C відбувалося зниження маси яєць за рахунок зменшення маси білка за стабільної маси жовтків та шкаралупи.

Матеріали цього підрозділу опубліковано [172, 173].

### **3.2. Вплив астаксантину та лікопіну на хімічний склад курячих харчових яєць за різних режимів зберігання**

За згодовування курям-несучкам комбікорму з вмістом лікопіну 20 мг/кг комбікорму впродовж 30 діб не було встановлено змін щодо вмісту сухої речовини, вологи, сирих протеїну, жиру, золи, а також фосфору і кальцію в яйцях, порівняно з контрольною групою.



Додавання астаксантину в дозі 10 мг/кг комбікорму для курей-несучок сприяло підвищенню вмісту сирової золи в яйцях на 0,06 % порівняно з контрольною та з першою дослідною групами (табл. 3.4).

**Таблиця 3.4**

**Вплив лікопіну та астаксантину на хімічний склад курячих яєць в процесі їх зберігання, %,  $\bar{x} \pm SD$ , n = 5**

Показники	Група курей		
	контрольна	дослідна	
		лікопін (20 мг/кг)	астаксантин (10 мг/кг)
	Свіжознесені яйця		
1	2	3	4
Волога	75,67±0,40	74,70±0,73	75,74±0,39
Суша речовина	24,68±0,40	24,46±0,73	24,69±0,39
Сирий протеїн	13,70±0,41	13,69±0,22	12,93±0,12
Сирий жир	9,61±0,24	10,05±0,79	10,27±0,80
Сира зола	1,04±0,06	1,04±0,13	1,10±0,53*,**
Ca	0,06±0,004	0,05±0,002	0,05±0,004
P	0,13±0,003	0,14±0,01	0,14±0,01
Через 30 діб зберігання за температури 4±0,5° С та вологості 80–85 %			
Волога	74,79±0,81	73,98±0,36	74,16±0,45
Суша речовина	25,21±0,81	26,02±0,36	25,84±0,45
Сирий протеїн	14,10±0,75	13,79±0,21	13,70±0,12
Сирий жир	9,82±0,03	10,93±0,21	10,96±0,66
Сира зола	1,07±0,09	1,09±0,04	0,99±0,10
Ca	0,05±0,00	0,05±0,00	0,05±0,00
P	0,17±0,01	0,15±0,02	0,14±0,01
Через 30 діб зберігання за температури 12±0,5° С та вологості 70–75%			

Продовження табл. 3.4

1	2	3	4
Волога	74,60±0,23	73,17±0,19	73,73±0,82
Суша речовина	25,40±0,23	26,83±0,19	26,27±0,82
Сирий протеїн	13,81±0,71	13,98±0,36	14,05±0,55
Сирий жир	10,23±0,49	11,04±0,68	10,93±0,35
Сира зола	1,18±0,02	1,07±0,03*	1,08±0,10*
Са	0,05±0,00	0,06±0,01	0,05±0,01
Р	0,13±0,01	0,14±0,00	0,14±0,00

Примітка:\* –  $p \leq 0,05$  порівняно з контролем, \*\* –  $p \leq 0,05$  порівняно з дослідною групою (лікопін (20 мг/кг))

Зберігання яєць курей, що отримували добавки лікопіну в дозі 20 мг/кг комбікорму чи астаксантину в дозі 10 мг/кг комбікорму, за температури  $4 \pm 0,5$  °С не впливало на вміст сухої речовини, вологи, сирих протеїну, жиру, золи, а також фосфору і кальцію в яйцях порівняно з контролем.

За зберігання яєць за температури  $12 \pm 0,5$  °С, отриманих від курей, яким згодовували добавку лікопіну в дозі 20 мг/кг комбікорму та астаксантину в дозі 10 мг/кг комбікорму також не встановлено змін щодо вмісту вологи, сухої речовини, сирих протеїну, жиру та фосфору і кальцію, окрім вмісту сирової золи, в яйцях рівень якої знизився порівняно з контролем на 0,11 % та 0,10 % відповідно (табл. 3.4).

Встановлено, що згодовування курям-несучкам комбікорму з вмістом лікопіну 40 мг/кг комбікорму впродовж 30 діб не впливало на вміст вологи, сухої речовини, сирих протеїну, жиру, золи, кальцію, але підвищувало на 0,03 % вміст фосфору в свіжознесених яйцях порівняно з контролем. Згодовування астаксантину курям-несучкам в дозі 20 мг/кг комбікорму впродовж 30 діб не впливало на хімічний склад яєць (табл. 3.5).

Зберігання яєць курей, що отримували добавку лікопіну в дозі 40 мг/кг комбікорму чи астаксантину в дозі 20 мг/кг комбікорму, за температури  $4\pm 0,5$  °С не впливало на їх хімічний склад порівняно з контролем (табл. 3.5).

За зберігання курячих яєць впродовж 30 діб за температури  $12\pm 0,5$  °С, що отримували добавку лікопіну у дозі 40 мг/кг комбікорму чи астаксантину в дозі 20 мг/кг комбікорму, вміст вологи, сухої речовини, сирих жиру, і золи, а також кальцію і фосфору в них залишався незмінним, а вміст сирого протеїну збільшувався на 0,54 та 0,72 % порівняно з контролем (табл. 3.5).

**Таблиця 3.5**

**Вплив лікопіну та астаксантину на хімічний склад курячих яєць в процесі їх зберігання, %,  $\bar{x} \pm SD$ , n = 5**

Показники	Група курей		
	контрольна	дослідна	
		лікопін (40 мг/кг)	астаксантин (20 мг/кг)
	Свіжознесені яйця		
1	2	3	4
Волога	75,42±0,45	74,30±0,26	74,71±0,97
Суха речовина	24,58±0,45	25,70±0,26	25,29±0,97
Сирий протеїн	13,13±0,45	13,68±0,46	13,99±0,67
Сирий жир	10,24±0,52	10,66±0,43	10,23±0,52
Сира зола	0,99±0,09	0,96±0,04	1,00±0,03
Са	0,05±0,01	0,05±0,00	0,05±0,00
Р	0,17±0,01	0,20±0,01*	0,17±0,01
Через 30 діб зберігання за температури $4\pm 0,5$ °С та вологості 80–85%			
Волога	74,44±0,27	73,52±0,41	73,97±0,72
Суха речовина	25,56±0,27	26,48±0,41	26,03±0,72
Сирий протеїн	14,01±0,14	13,98±0,54	14,28±0,66

Продовження табл. 3.5

1	2	3	4
Сирий жир	10,30±0,43	11,24±0,41	10,46±0,25
Сира зола	1,06±0,06	1,06±0,02	1,05±0,01
Са	0,05±0,002	0,05±0,003	0,05±0,001
Р	0,14±0,03	0,16±0,05	0,19±0,01
Через 30 діб зберігання за температури 12±0,5° С та вологості 70–75%			
Волога	74,95±0,45	73,81±1,02	73,37±0,84
Суша речовина	25,05±0,45	26,19±1,02	26,63±0,84
Сирий протеїн	13,12±0,56	13,66±0,13*	13,84±0,46*
Сирий жир	10,58±0,14	10,39±1,22	11,35±0,73
Сира зола	1,10±0,10	1,00±0,03	1,20±0,03
Са	0,05±0,001	0,05±0,002	0,05±0,001
Р	0,20±0,008	0,21±0,006	0,19±0,005

Примітка:\* –  $p \leq 0,05$  порівняно з контролем

За згодовування курям-несучкам добавок лікопіну в дозі 60 мг/кг комбікорму впродовж 30 діб встановлено, що вміст фосфору в свіжознесених яйцях підвищився на 0,03%, тоді як вміст води, сухої речовини, сирих жиру, протеїну і золи, а також кальцію не змінювався (табл. 3.6). Добавка до основного раціону курей-несучок астаксантину в дозі 30 мг/кг комбікорму не впливала на хімічний склад яєць порівняно з контрольною групою.

Зберігання яєць впродовж 30 діб за температури 4±0,5°С за згодовування курям добавки лікопіну в дозі 60 мг/кг комбікорму сприяло зниженню вмісту води та підвищенню вмісту сухої речовини на 1,12 %, що відбулося за рахунок збільшення рівня сирого протеїну на 0,77 %, тоді як решта показників не змінювалися порівняно з контрольною групою (табл. 3.6).

Вплив згодовування курям-несучкам астаксантину в дозі 30 мг/кг комбікорму на зберігання яєць за температури 4±0,5° С проявлявся зниженням

вмісту вологи і підвищенням вмісту сухої речовини на 0,92 % за рахунок збільшення вмісту сирого протеїну на 1,0 %, порівняно з контрольною групою.

Зміни хімічного складу яєць курей за зберігання при температурі  $12 \pm 0,5$  °С, які отримували добавки лікопіну у дозі 60 мг/кг комбікорму чи астаксантину в дозі 30 мг/кг комбікорму, були аналогічними, що й за температури  $4 \pm 0,5$  °С (табл. 3.6).

**Таблиця 3.6**

**Вплив лікопіну та астаксантину на хімічний склад курячих яєць в процесі їх зберігання, %,  $x \pm SD$ ,  $n = 5$**

Показники	Група курей		
	контрольна	дослідна	
		лікопін (60 мг/кг)	астаксантин (30 мг/кг)
	Свіжознесені яйця		
1	2	3	4
Волога	74,04±0,39	74,61±0,34	74,44±0,44
Суша речовина	24,96±0,39	25,39±0,34	25,56±0,44
Сирий протеїн	13,34±0,08	13,32±0,05	13,33±0,63
Сирий жир	10,37±0,30	10,72±0,34	10,88±0,16
Сира зола	1,05±0,04	1,11±0,04	1,12±0,06
Са	0,06±0,00	0,05±0,00	0,06±0,00
Р	0,17±0,01	0,20±0,01*	0,17±0,02
Через 30 діб зберігання за температури $4 \pm 0,5$ °С та вологості 80–85 %			
Волога	75,27±0,24	74,15±0,16*	74,35±0,33*
Суша речовина	24,73±0,24	25,85±0,16*	25,65±0,33*
Сирий протеїн	13,08±0,34	13,85±0,32*	14,08±0,51*
Сирий жир	10,40±0,24	10,41±0,38	10,60±0,55
Сира зола	1,04±0,04	1,00±0,04	1,05±0,05
Са	0,06±0,00	0,05±0,01	0,06±0,01

Продовження табл. 3.6

1	2	3	4
P	0,15±0,01	0,19±0,02	0,19±0,04
Через 30 діб зберігання за температури 12±0,5° С та вологості 70–75 %			
Волога	74,91±0,90	73,30±0,20*	73,28±0,20*
Суша речовина	24,95±0,73	26,70±0,20*	26,72±0,20*
Сирий протеїн	12,93±0,53	13,66±0,14	13,81±0,33*
Сирий жир	11,46±0,36	11,68±0,08	11,51±0,16
Сира зола	1,11±0,07	1,16±0,04	1,11±0,13
Са	0,06±0,000	0,05±0,005	0,06±0,003
P	0,17±0,02	0,19±0,00	0,21±0,02

Примітка:\* –  $p \leq 0,05$  порівняно з контролем

Таким чином, використання добавок лікопіну чи астаксантину в раціонах курей-несучок для збагачення каротиноїдами харчових яєць та надання привабливого кольору жовткам залежить від дози каротиноїдів у раціоні і не суттєво впливає на хімічний склад свіжознесених яєць, але за зберігання впродовж 30 діб за 4±0,5 °С і відносної вологості 80–85 % та 12±0,5 °С і відносної вологості 70–75 % сприяє збільшенню вмісту сухої речовини за рахунок протеїну в яйцях.

Матеріали цього підрозділу опубліковано [167, 169, 172, 173, 174]

### **3.3. Вплив добавок лікопіну та астаксантину в раціоні курей-несучок на вміст вітаміну А, каротиноїдів та забарвлення жовтків яєць за різних режимів зберігання**

Згодовування курам несучкам лікопіну в дозах 20, 40 та 60 мг/кг та астаксантину в дозах 10, 20 та 30 мг/кг комбікорму протягом 30 діб не впливало на накопичення вітаміну А, однак як і очікувалось, сприяло

збільшенню вмісту каротиноїдів у жовтках яєць, порівняно з контролем, що пояснюється відсутністю провітамінної активності в обох каротиноїдів.

При цьому добавки астаксантину, який належить до ксантофілів, у раціон курей несучок проявляли більш виражений ефект, ніж добавки лікопіну (табл. 3.7).

Таблиця 3.7

**Вплив лікопіну та астаксантину на вміст вітаміну А, каротиноїдів та забарвлення жовтків яєць курей несучок,  $\bar{x} \pm SD$ ,  $n = 5$**

Показники	Група курей		
	контрольна	дослідна	
		лікопін (20 мг/кг)	астаксантин (10 мг/кг)
	Свіжознесені яйця		
Вітамін А, мг/кг	6,08 ± 0,48	6,88 ± 0,29	8,00 ± 0,86
Сума каротиноїдів, мг/кг	10,72 ± 0,17	12,94 ± 0,66*	17,01 ± 0,84*,**
Забарвлення жовтків, балів	5,40 ± 0,27	7,80 ± 0,42*	11,00 ± 0,35*,**
Через 30 діб зберігання за температури 4±0,5° С та вологості 80–85 %			
Вітамін А, мг/кг	5,84 ± 0,52	6,86 ± 0,31	7,86 ± 1,01
Сума каротиноїдів, мг/кг	12,24 ± 0,36	14,39 ± 0,65*	16,33 ± 1,02*,**
Забарвлення жовтків, балів	5,20 ± 0,22	7,80 ± 0,22*	11,00 ± 0,35*,**
Через 30 діб зберігання за температури 12±0,5° С та вологості 70–75 %			
Вітамін А, мг/кг	5,46 ± 0,26	5,84 ± 0,12	6,10 ± 0,10
Сума каротиноїдів, мг/кг	10,88 ± 0,25	14,20 ± 0,80*	19,90 ± 0,71*,**
Забарвлення жовтків, балів	5,40 ± 0,27	7,60 ± 0,27*	11,20 ± 0,42*,**

Примітка:\* –  $p \leq 0,05$ , порівняно з контролем, \*\* –  $p \leq 0,05$ , порівняно з дослідною групою (лікопін (20 мг/кг))

Дані, наведені в табл. 3.7 свідчать про те, що згодовування курям-несучкам лікопіну в дозі 20 мг/кг комбікорму сприяло підвищенню загального вмісту каротиноїдів у жовтках свіжознесених яєць на 20,7 % порівняно з контролем. Астаксантин у дозі 10 мг/кг комбікорму сприяв підвищенню значення цього показника на 58,7 % порівняно з контролем і на 31,4 % порівняно з дозою лікопіну 20 мг/кг комбікорму. Це у свою чергу сприяло збільшенню інтенсивності забарвлення жовтків свіжознесених яєць курей, яким згодовували лікопін в дозі 20 мг/кг комбікорму на 2,4 бали порівняно з контролем. Згодовування курям астаксантину в дозі 10 мг/кг комбікорму сприяло збільшенню інтенсивності забарвлення жовтків свіжознесених курячих яєць на 5,4 бала порівняно з контролем і на 3,2 бала порівняно з добавкою лікопіну в дозі 20 мг/кг комбікорму.

Зберігання яєць курей, що отримували добавки лікопіну чи астаксантину в різних дозах, як в умовах  $4\pm 0,5$  °С, так і за  $12\pm 0,5$  °С протягом 30 діб суттєво не впливало на вміст вітаміну А в жовтках (табл. 3.7).

Не встановлено суттєвої різниці в забарвленні жовтків та загальному вмісті каротиноїдів у жовтках яєць курей, що отримували добавки лікопіну в дозі 20 мг/кг комбікорму та астаксантину в дозі 10 мг/кг комбікорму як за зберігання за температури  $4\pm 0,5$  °С, так і за  $12\pm 0,5$  °С порівняно зі свіжознесеними яйцями.

При цьому зберігалась вірогідна різниця між забарвленням жовтків і вмістом каротиноїдів у жовтках яєць між групами курей, що отримували добавки лікопіну та астаксантину, а також з контролем. Забарвлення жовтків курячих яєць за добавки лікопіну в дозі 20 мг/кг комбікорму було вищим за зберігання за температури  $4\pm 0,5$  °С і за  $12\pm 0,5$  °С на 2,6 та 2,2 бала відповідно порівняно з контролем. Добавка астаксантину в комбікорм курей-несучок в дозі 10 мг/кг сприяла збільшенню інтенсивності забарвлення жовтків за обох режимів зберігання яєць на 5,8 % порівняно з контролем та на 3,2–3,6 бала порівняно з добавкою лікопіну в дозі 20 мг/кг.



Зберігання яєць, отриманих від курей, які отримували добавки лікопіну в дозі 20 мг/кг комбікорму за температури  $4\pm 0,5$  °С, забезпечувало вищий загальний вміст каротиноїдів у жовтках на 17,6 % порівняно з контролем. Зберігання яєць за цих же умов, отриманих від курей за згодовування астаксантину в дозі 10 мг/кг комбікорму, збільшувало загальний вміст каротиноїдів в жовтках на 33,4 % порівняно з контролем та на 13,5 % порівняно з добавкою лікопіну в дозі 20 мг/кг комбікорму.

Зберігання яєць, отриманих від курей, яким згодовували добавку лікопіну в дозі 20 мг/кг комбікорму за температури  $12\pm 0,5$  °С забезпечувало вищий загальний вміст каротиноїдів у жовтках на 30,5 % порівняно з контролем. Зберігання яєць за цих же умов, отриманих від курей за згодовування астаксантину в дозі 10 мг/кг комбікорму, підвищувало загальний вміст каротиноїдів в жовтках в 1,9 раза порівняно з контролем та в 1,4 раза порівняно з добавкою лікопіну в дозі 20 мг/кг комбікорму.

Загальний вміст каротиноїдів у жовтках свіжознесених курячих яєць за згодовування добавки лікопіну в дозі 40 мг/кг збільшувався в 1,3 раза порівняно з контролем, тоді як добавка астаксантину сприяла збільшенню цього показника в 1,6 разів порівняно з контролем і на 23,9 % порівняно з дозою лікопіну 40 мг/кг комбікорму (табл. 3.8). Це сприяло збільшенню інтенсивності забарвлення жовтків у випадку згодовування курям лікопіну в дозі 40 мг/кг комбікорму на 2,8 бала, а у випадку згодовування астаксантину в дозі 20 мг/кг комбікорму на 6,4 бала порівняно з контролем і на 3,6 бала порівняно з вище вказаною дозою лікопіну.

Зберігання яєць за температури  $4\pm 0,5$  °С, отриманих від курей, яким згодовували добавку лікопіну в дозі 40 мг/кг, не впливало на вміст вітаміну А в жовтках, тоді як за згодовування добавки астаксантину в дозі 20 мг/кг показало підвищення вмісту вітаміну А в жовтках на 22,0 % порівняно з контролем та на 17,5% порівняно з добавкою лікопіну в дозі 40 мг/кг комбікорму. За цих умов зберігання яєць добавка лікопіну до комбікорму курей в дозі 40 мг/кг сприяла збільшенню загального вмісту каротиноїдів на

12,5 % порівняно з контролем, а добавка астаксантину в дозі 20 мг/кг комбікорму забезпечувала збільшення рівня каротиноїдів у жовтках яєць в 1,8 раза порівняно з контролем і вище вказаною дозою лікопіну (табл. 3.8).

Зберігання курячих яєць за температури  $12 \pm 0,5$  °C не впливало на вміст вітаміну А як за дози лікопіну 40 мг/кг, так і за дози астаксантину 20 мг/кг комбікорму.

Таблиця 3.8

**Вплив лікопіну та астаксантину на вміст вітаміну А, каротиноїдів та забарвлення жовтків яєць курей-несучок,  $\bar{x} \pm SD$ , n = 5**

Показники	Група курей		
	контрольна	дослідна	
		лікопін (40 мг/кг)	астаксантин (20 мг/кг)
	Свіжознесені яйця		
Вітамін А, мг/кг	$7,42 \pm 0,74$	$7,60 \pm 0,60$	$7,64 \pm 0,62$
Сума каротиноїдів, мг/кг	$10,77 \pm 0,46$	$14,28 \pm 0,53^*$	$17,69 \pm 1,16^{*,**}$
Забарвлення жовтків, балів	$6,00 \pm 0,35$	$8,80 \pm 0,42^*$	$12,40 \pm 0,27^{*,**}$
Через 30 діб зберігання за температури $4 \pm 0,5$ °C та вологості 80–85 %			
Вітамін А, мг/кг	$5,62 \pm 0,38$	$5,84 \pm 0,30$	$6,86 \pm 0,28^{*,**}$
Сума каротиноїдів, мг/кг	$10,33 \pm 0,25$	$11,62 \pm 0,41^*$	$18,34 \pm 0,40^{*,**}$
Забарвлення жовтків, балів	$6,20 \pm 0,22$	$9,20 \pm 0,42^*$	$12,80 \pm 0,42^{*,**}$
Через 30 діб зберігання за температури $12 \pm 0,5$ °C та вологості 70–75 %			
Вітамін А, мг/кг	$6,66 \pm 0,56$	$6,10 \pm 0,43$	$6,46 \pm 0,51$
Сума каротиноїдів, мг/кг	$10,52 \pm 0,38$	$11,84 \pm 0,68^*$	$18,42 \pm 0,81^{*,**}$
Забарвлення жовтків, балів	$6,40 \pm 0,27$	$9,20 \pm 0,42^*$	$13,00 \pm 0,35^{*,**}$

Примітка: \* –  $p \leq 0,05$ , порівняно з контролем, \*\* –  $p \leq 0,05$ , порівняно з дослідною групою (лікопін (40 мг/кг))

Лікопін в дозі 40 мг/кг та астаксантин в дозі 20 мг/кг комбікорму за зберігання яєць за температури  $12\pm 0,5$  °C впродовж 30 діб збільшували загальний вміст каротиноїдів у жовтках на 12,5 % та в 1,8 раза порівняно з контролем. Крім того, добавка астаксантину у вказаній вище дозі забезпечувала вищий в 1,6 раза рівень каротиноїдів у жовтках яєць ніж добавка лікопіну в дозі 40 мг/кг комбікорму під час їх зберігання. Добавки астаксантину в раціонах курей несучок більш ефективні для збагачення жовтків яєць каротиноїдами та надання їм привабливого забарвлення, ніж добавки лікопіну. Так, лікопін в дозі 40 мг/кг комбікорму збільшував інтенсивність забарвлення жовтків на 2,8 бала порівняно з контролем, а астаксантин в дозі 20 мг/кг комбікорму – на 6,6 бала порівняно з контролем і на 3,8 бала порівняно з добавкою лікопіну в дозі 40 мг/кг комбікорму за зберігання яєць за температури  $12\pm 0,5$  °C протягом 30 діб.

Згодовування курям-несучкам лікопіну в дозі 60 мг/кг чи астаксантину в дозі 30 мг/кг комбікорму не впливало на вміст вітаміну А в жовтках свіжознесених яєць (табл. 3.9).

При цьому добавка лікопіну в дозі 60 мг/кг комбікорму сприяла збільшенню загального вмісту каротиноїдів у жовтках свіжознесених яєць на 19,7 % порівняно з контролем, а добавка астаксантину в дозі 30 мг/кг комбікорму збільшувала цей показник в 1,8 раза порівняно з контролем і в 1,5 раза порівняно з дозою лікопіну 60 мг/кг комбікорму. В свою чергу збільшення вмісту каротиноїдів у жовтках курячих яєць сприяло поліпшенню інтенсивності їх забарвлення, зокрема під впливом лікопіну в дозі 60 мг/кг комбікорму на 3,2 бала порівняно з контролем, а під впливом астаксантину в дозі 30 мг/кг комбікорму на 7,2 бала порівняно з контролем і на 4,0 бали порівняно з добавкою лікопіну в дозі 60 мг/кг комбікорму.

Під час зберігання яєць за температури  $4\pm 0,5$  °C, отриманих від курей, які отримували добавку лікопіну в дозі 60 мг/кг комбікорму встановлено збільшення загального вмісту каротиноїдів в 1,7 раза порівняно з контролем. За цих же умов зберігання астаксантин в дозі 30 мг/кг комбікорму

забезпечував збільшення вмісту вітаміну А на 27,5 % і загального вмісту каротиноїдів у жовтках яєць у 2 рази порівняно з контролем і на 11,4 % та 16,4 % відповідно порівняно з вище вказаною дозою лікопіну (табл. 3.9).

Це в свою чергу забезпечувало поліпшення забарвлення жовтків яєць під час їх зберігання за температури за  $4 \pm 0,5$  °С у випадку згодовування добавки лікопіну в дозі 60 мг/кг комбікорму на 3,2 бала, а астаксантину – на 7,4 бала порівняно з контролем.

**Таблиця 3.9**

**Вплив лікопіну в дозі 60 мг/кг та астаксантину в дозі 30 мг/кг комбікорму на вміст вітаміну А, каротиноїдів та забарвлення жовтків яєць курей несучок,  $\bar{x} \pm SD$ , n = 5**

Показники	Група курей		
	контрольна	дослідна	
		лікопін (60 мг/кг)	астаксантин (30 мг/кг)
Свіжознесені яйця			
Вітамін А, мг/кг	$5,33 \pm 0,20$	$6,28 \pm 0,59$	$6,95 \pm 0,70$
Сума каротиноїдів, мг/кг	$9,80 \pm 0,52$	$11,43 \pm 2,14^*$	$17,30 \pm 0,59^{*,**}$
Забарвлення жовтків, балів	$6,60 \pm 0,27$	$9,80 \pm 0,42^*$	$13,80 \pm 0,42^{*,**}$
Через 30 діб зберігання за температури $4 \pm 0,5$ °С та вологості 80–85 %			
Вітамін А, мг/кг	$5,82 \pm 0,12$	$6,66 \pm 0,50$	$7,42 \pm 0,60^{*,**}$
Сума каротиноїдів, мг/кг	$7,72 \pm 0,38$	$13,07 \pm 1,45^*$	$15,21 \pm 0,86^{*,**}$
Забарвлення жовтків, балів	$6,60 \pm 0,27$	$9,80 \pm 0,42^*$	$14,00 \pm 0,35^{*,**}$
Через 30 діб зберігання за температури $12 \pm 0,5$ °С та вологості 70–75 %			
Вітамін А, мг/кг	$5,90 \pm 0,24$	$6,88 \pm 0,25$	$7,16 \pm 0,40$
Сума каротиноїдів, мг/кг	$7,61 \pm 1,07$	$8,25 \pm 0,29^*$	$15,43 \pm 1,08^{*,**}$
Забарвлення жовтків, балів	$6,40 \pm 0,27$	$10,00 \pm 0,50^*$	$14,20 \pm 0,42^{*,**}$

Примітка: \* –  $p \leq 0,05$ , порівняно з контролем, \*\* –  $p \leq 0,05$ , порівняно з дослідною групою (лікопін (60 мг/кг))

Під час зберігання курячих яєць за температури  $12\pm 0,5$  °С дози лікопіну 60 мг/кг та астаксантину 30 мг/кг комбікорму не впливали на вміст вітаміну А в жовтках. Однак було виявлено суттєвий вплив даних добавок на загальний вміст каротиноїдів і забарвлення жовтків яєць. Так, лікопін в дозі 60 мг/кг комбікорму за зберігання яєць в умовах температури  $12\pm 0,5$  °С сприяв збільшенню загального вмісту каротиноїдів у жовтках яєць на 8,4 %, а астаксантин у дозі 30 мг/кг комбікорму збільшував цей показник у 2 рази порівняно з контролем. Між групами яєць, отриманих від курей за згодовування лікопіну чи астаксантину у вказаних вище дозах за температури зберігання  $12\pm 0,5$  °С була також виявлена вірогідна різниця на користь астаксантину. Різниця у забарвленні жовтків яєць в даних умовах була аналогічною, що й за температури зберігання  $4\pm 0,5$  °С.

Таким чином, згодовування курям-несучкам лікопіну в дозах від 20 до 60 мг/кг комбікорму не впливає на вміст вітаміну А в жовтках як свіжознесених, так і яєць за зберігання в умовах температур  $4\pm 0,5$  °С та  $12\pm 0,5$  °С. Добавка астаксантину в дозах 20 і 30 мг/кг комбікорму краще стабілізує вітамін А в жовтках курей під час зберігання, але лише за температури  $4\pm 0,5$  °С. Лікопін в дозах від 20 до 60 мг/кг комбікорму забезпечував збагачення жовтків курячих яєць каротиноїдами і поліпшення їх забарвлення в межах від 7,6 до 10,0 балів, стабільність якого не залежало від температурного режиму їх зберігання.

Астаксантин в дозах від 10 до 30 мг/кг комбікорму збагачував жовтки курячих яєць каротиноїдами значно ефективніше ніж лікопін і забезпечував їх забарвлення від 11,0 до 14,2 балів за 15 бальною кольоровою шкалою як свіжознесених яєць, так і за обох режимів зберігання.

Як показали результати досліджень, проба варіння курячих яєць підтвердила, що інтенсивність забарвлення жовтків у випадку згодовування курям-несучкам лікопіну в дозі 20 мг/кг комбікорму була нижчою ніж за згодовування астаксантину в дозі 10 мг/кг комбікорму (рис. 3.1-3.3).

Крім того, варені жовтки яєць, отримані від курей за згодовування лікопіну в дозі 20 мг/кг комбікорму практично не відрізнялися у вареному вигляді від контролю.



Контрольна група

Дослідна група 1

Дослідна група 2

Рис. 3.1. Забарвлення жовтків курячих яєць, дослідна група 1 – доза лікопіну 20 мг/кг комбікорму, дослідна група 2 – доза астаксантину 10 мг/кг комбікорму

Згодовування лікопіну курам-несучкам в дозі 40 мг/кг комбікорму сприяло посиленню інтенсивності забарвлення жовтків курячих яєць порівняно з контролем, але добавка астаксантину в дозі 20 мг/кг комбікорму забезпечувала значно кращий ефект (рис. 3.2).



Контрольна група

Дослідна група 1

Дослідна група 2

Рис. 3.2. Забарвлення жовтків курячих яєць, дослідна група 1 – доза лікопіну 40 мг/кг комбікорму, дослідна група 2 – доза астаксантину 20 мг/кг комбікорму

Подальше збільшення дози лікопіну в раціоні курей-несучок до 60 мг/кг комбікорму хоча й давало ефект, однак на варених жовтках він був не досить виражений. Згодовування курам-несучкам астаксантину в дозі 30 мг/кг комбікорму забезпечувало достатньо інтенсивне забарвлення жовтків курячих яєць у вареному вигляді (рис. 3.3).



Контрольна група

Дослідна група 1

Дослідна група 2

Рис. 3.3. Забарвлення жовтків курячих яєць, дослідна група 1 – доза лікопіну 60 мг/кг комбікорму, дослідна група 2 – доза астаксантину 30 мг/кг комбікорму

Таким чином, згодовування курам-несучкам лікопіну чи астаксантину в наростаючих дозах по-різному забезпечує інтенсивність забарвлення жовтків курячих яєць як у свіжому, так і вареному вигляді.

Матеріали цього підрозділу опубліковано [128, 170, 176, 177].

#### **3.4. Вплив астаксантину та лікопіну на вміст жирних кислот у жовтках курячих харчових яєць за різних режимів зберігання**

Зберігання курячих харчових яєць впродовж 30 діб в умовах температурних режимів  $4\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  та  $12\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  не впливало на співвідношення у жовтках таких насичених жирних кислот як додеканова, пентадеканова, гептадеканова, ейкозенова і докозанова, але підвищувало на 0,04% та на 0,02% частку тетрадеканової кислоти на фоні зниження на 1,34% вмісту

гексадеканової і на 2,64 % та 2,43 % октадеканової кислот відповідно порівняно зі свіжознесеними яйцями.

Серед мононенасичених жирних кислот в умовах вище вказаних температурних режимів зберігання яєць лише частка цис-9-тетрадеценової кислоти у жовтках не змінювалась, тоді як частка транс-3-гексадеценової кислоти підвищувалась на 0,27 % та на 0,13 %, цис-9-октадеценової – на 2,87 % та 2,37 % і цис-11-ейкозенової – на 0,23 % та 0,21 % відповідно порівняно зі свіжознесеними яйцями. При цьому частка цис-10-гептадеценової кислоти знижувалася на 0,02 % у жовтках лише за зберігання яєць в умовах  $4\pm 0,5$  °C порівняно зі свіжознесеними яйцями (табл. 3.10).

Серед поліненасичених жирних кислот, які відносяться до  $\omega$  3, відзначали зниження частки 9,12,15-октадекатрієнової за обох температурних режимів на 0,23% та 4,7,10,13,16,19-докозагексаєнової – на 0,1 % у жовтках порівняно зі свіжознесеними яйцями, а 5,8,11,14,17-ейкозапентаєнової кислоти взагалі не виявляли як у жовтках свіжознесених яєць, так і за різних температурних режимів їх зберігання.

Зберігання курячих яєць за температурних режимів  $4\pm 0,5$  °C та  $12\pm 0,5$  °C протягом 30 діб не впливало на співвідношення у жовтках 6,9,12-октадекатрієнової та 5,8,11,14-ейкозатетраєнової кислот, але сприяло перерозподілу інших  $\omega$  6 ПНЖК порівняно зі свіжознесеними яйцями. Це виражалось у підвищенні на 1,37 % та 2,37 % частки 9,12-октадекадієнової та зниженні на 0,02 % та 0,03 % рівня цис-11,14-ейкозадієнової та на 0,02 % цис-8,11,14-ейкозатрієнової кислот у жовтках за температурних режимів  $4\pm 0,5$  °C та  $12\pm 0,5$  °C порівняно зі свіжознесеними яйцями.

Такі зміни в процесі зберігання харчових яєць за температурних режимів  $4\pm 0,5$  °C та  $12\pm 0,5$  °C спричинили зниження НЖК на 3,46 та 3,37 % за рахунок підвищення частки ННЖК на 4,42 % та 2,99 % у жовтках порівняно зі свіжознесеними яйцями. За цих умов ННЖК у жовтках курячих яєць в основному підвищувалися за рахунок частки мононенасичених жирних



кислот на 3,35 % та 2,7 %, тоді як частка ПНЖК залишалася стабільною за обох температурних режимів зберігання курячих яєць.

Серед поліненасичених жирних кислот у жовтках курячих яєць під час зберігання знижувалися  $\omega 3$  ПНЖК на 0,33 % та 0,34 % відносно  $\omega 6$  ПНЖК, що, в свою чергу, підвищило коефіцієнт  $\omega 3/\omega 6$  ПНЖК на 4,81 та 4,58 одиниці.

Згодовування курям-несучкам добавки лікопіну в дозі 20 мг/кг комбікорму суттєво впливало на жирнокислотний склад жовтків за різних температурних режимів зберігання яєць.

При цьому вміст насичених жирних кислот, таких як додеканова і пентадеканова не змінювався порівняно з даними у свіжознесених яйцях (табл. 3.11).

**Таблиця 3.10**

**Вміст жирних кислот у жовтках курячих яєць за різних режимів зберігання яєць (контрольна група), %,  $x \pm SD$ ,  $n = 9$**

Кислота	Режим зберігання яєць		
	Свіжознесені	4 $\pm$ 0,5 °C	12 $\pm$ 0,5 °C
1	2	3	4
Додеканова, 12:0	0,02 $\pm$ 0,006	0,01 $\pm$ 0,006	0,01 $\pm$ 0,006
Тетрадеканова, 14:0	0,26 $\pm$ 0,012	0,30 $\pm$ 0,021*	0,28 $\pm$ 0,006*
Цис-9-тетрадеценова, 14:1	0,07 $\pm$ 0,006	0,06 $\pm$ 0,006	0,06 $\pm$ 0,006
Пентадеканова, 15:0	0,06 $\pm$ 0,006	0,05 $\pm$ 0,006	0,06 $\pm$ 0,006
Гексадеканова, 16:0	28,59 $\pm$ 0,160	27,25 $\pm$ 0,178*	27,25 $\pm$ 0,060*
Транс-3-гексадеценова, 16:1	2,34 $\pm$ 0,045	2,61 $\pm$ 0,203*	2,47 $\pm$ 0,070*,**
Гептадеканова, 17:0	0,19 $\pm$ 0,006	0,18 $\pm$ 0,006	0,18 $\pm$ 0,006
Цис-10-гептадеценова, 17:1	0,05 $\pm$ 0,042	0,03 $\pm$ 0,006*	0,04 $\pm$ 0,006
Октадеканова, 18:0	12,58 $\pm$ 0,155	9,94 $\pm$ 0,066*	10,15 $\pm$ 0,191*
Цис-9-октадеценова, 18:1n9c	34,92 $\pm$ 0,096	37,79 $\pm$ 0,801*	37,29 $\pm$ 0,303*,**

9,12-октадекадієнова, 18:2n6c	15,90±0,090	17,27±0,350*	16,99±0,148*,**
6,9,12-октадекатрієнова, 18:3n6	0,01±0,006	0,01±0,006	0,01±0,006
9,12,15-октадекатрієнова, 18:3n3	0,45±0,006	0,22±0,012*	0,22±0,012*

Продовження табл. 3.10

1	2	3	4
Ейкозанова, 20:0	0,14±0,006	0,16±0,006	0,15±0,006
Цис-11-ейкозенова, 20:1	0,24±0,006	0,47±0,017*	0,45±0,006*,**
Цис-11,14-ейкозадієнова, 20:2n6	0,17±0,006	0,15±0,006*	0,14±0,006*
Цис-8,11,14-ейкозатрієнова, 20:3n6	0,22±0,006	0,20±0,006*	0,20±0,006*
5,8,11,14-ейкозатетраєнова, 20:4n6	2,70±0,081	2,76±0,110	2,67±0,059**
5,8,11,14,17- ейкозапентаєнова, 20:5n3	-	-	-
Докозанова, 22:0	0,06±0,006	0,04±0,006	0,04±0,006
4,7,10,13,16,19- докозагексаєнова, 22:6n3	1,04±0,055	0,94±0,015*	0,94±0,006*
НЖК	41,90±0,295	38,44±0,225*	38,53±0,210*
ННЖК	58,10±0,295	62,52±1,473*	61,09±0,352*,**
МНЖК	37,61±0,131	40,96±1,002*	40,31±0,244*,**
ПНЖК	20,49±0,167	21,56±0,474	21,16±0,112
ω3 ПНЖК	1,49±0,052	1,16±0,017*	1,15±0,015*
ω6 ПНЖК	19,00±1,29	20,39±0,458*	20,00±0,121*
ω3/ω6 ПНЖК	12,76±0,404	17,57±0,308*	17,34±0,274*

Примітка:\* –  $p \leq 0,05$ , порівняно зі свіжознесеними яйцями, \*\* –  $p \leq 0,05$ , порівняно з яйцями за зберігання за температури  $4 \pm 0,5^\circ\text{C}$

У жовтках за обох режимів зберігання яєць підвищувалися частки таких кислот як тетрадеканова на 0,06 % та 0,05 %, а також гексадеканова на 0,97 % та 0,73% за рахунок зниження часток октадеканової – на 0,61 %, ейкозанової – на 0,14 % і докозанової – на 0,02 % та 0,03 % у структурі ліпідів жовтків порівняно зі свіжознесеними яйцями. Що стосується вмісту гептадеканової кислоти, то її рівень вірогідно знижувався на 0,02 % в жовтках курячих яєць лише за зберігання в умовах  $12 \pm 0,5^\circ\text{C}$  протягом 30 діб порівняно зі свіжознесеними яйцями.

Зберігання яєць, отриманих від курей, що отримували добавку лікопіну в дозі 20 мг/кг комбікорму, викликало майже однаковий перерозподіл мононенасичених кислот у структурі ліпідів жовтків за обох режимів їх зберігання. При цьому виявлено, що вміст цис-9-тетрадецененової кислоти підвищувався на 0,02 % та 0,01 %, транс-3-гексадецененової – на 0,22 % та 0,19 % і цис-9-октадецененової кислот на 2,07 % та 2,33 %, а частка цис-10-гептадецененової і цис-11-ейкозенової кислот знижувалася на 0,02 % у жовтках порівняно зі свіжознесеними яйцями.

Серед  $\omega$  3 ПНЖК, які виявлено у жовтках яєць за застосування курям-несучкам лікопіну в дозі 20 мг/кг комбікорму, вміст 9,12,15-октадекатрієнової кислоти зростав на 0,20 % та на 0,19 % на фоні зниження рівня 5,8,11,14,17-ейкозапентаєнової кислоти за обох температурних режимів зберігання на 0,65 % та на 0,72 % порівняно зі свіжознесеними яйцями. При цьому пік 4,7,10,13,16,19-докозагексаєнової кислоти не було виявлено як на хроматограмах жовтків свіжознесених яєць, так і під час їх зберігання за різних температурних режимів.

Добавка лікопіну в дозі 20 мг/кг комбікорму для курей-несучок не впливала на вміст лише цис-8,11,14-ейкозатрієнової кислоти у жовтках яєць під час зберігання, тоді як частка решти  $\omega$  6 ПНЖК піддавалася перерозподілу

наступним чином: вміст 9,12-октадекадієнової знижувався на 0,63 % та 0,73 %, цис-11,14-ейкозадієнової – на 0,10 % та на 0,11 % і 5,8,11,14-ейкозатетраєнової кислот знижувався на 1,4 % та 1,11 %, а рівень 6,9,12-октадекатрієнової кислоти підвищувався на 0,14 % та 0,13 % порівняно зі свіжознесеними яйцями.

Попри це лікопін в дозі 20 мг/кг комбікорму для курей-несучок не впливав на НЖК та НЖК у жовтках яєць за їх зберігання в умовах  $4\pm 0,5$  °C та  $12\pm 0,5$  °C порівняно зі свіжознесеними яйцями.

**Таблиця 3.11**

**Вплив лікопіну в дозі 20 мг/кг комбікорму на вміст жирних кислот у жовтках курячих яєць за різних режимів зберігання, %,  $\bar{x} \pm SD$ , n = 9**

Кислота	Режим зберігання яєць		
	Свіжознесені	$4\pm 0,5$ °C	$12\pm 0,5$ °C
1	2	3	4
Додеканова, 12:0	0,02±0,006	0,01±0,006	0,01±0,006
Тетрадеканова, 14:0	0,23±0,012	0,29±0,006*	0,28±0,010*
Цис-9-тетрадецена, 14:1	0,04±0,006	0,06±0,012*	0,05±0,006*
Пентадеканова, 15:0	0,07±0,006	0,05±0,006	0,06±0,006
Гексадеканова, 16:0	26,70±0,055	27,67±0,076*	27,43±0,411*
Транс-3-гексадецена, 16:1	2,06±0,020	2,28±0,075*	2,25±0,042*
Гептадеканова, 17:0	0,19±0,010	0,18±0,015	0,17±0,010*
Цис-10-гептадецена, 17:1	0,07±0,006	0,05±0,006*	0,05±0,006*
Октадеканова, 18:0	11,84±0,142	11,23±0,031*	11,23±0,025*
Цис-9-октадецена, 18:1n9c	34,68±0,160	36,75±0,351*	37,01±0,630*
9,12-октадекадієнова, 18:2n6c	16,26±0,030	15,63±0,243*	15,53±0,116 <sup>*,**</sup>
6,9,12-октадекатрієнова, 18:3n6	0,02±0,14	0,16±0,13*	0,15±0,01*
9,12,15-октадекатрієнова, 18:3n3	0,20±0,006	0,40±0,010*	0,39±0,010*

Ейкозанова, 20:0	0,16±0,010	0,02±0,006*	0,02±0,006*
Цис-11-ейкозенова, 20:1	0,45±0,010	0,39±0,010*	0,39±0,015*
Цис-11,14-ейкозадієнова, 20:2n6	0,17±0,015	0,07±0,006*	0,06±0,012*
Цис-8,11,14-ейкозатрієнова, 20:3n6	0,26±0,006	0,24±0,006	0,22±0,006
5,8,11,14-ейкозатетраєнова, 20:4n6	4,66±0,040	3,26±0,055*	3,53±0,586*

Продовження табл. 3.11

1	2	3	4
5,8,11,14,17- ейкозапентаєнова, 20:5n3	1,86±0,046	1,21±0,049*	1,14±0,021*
Докозанова, 22:0	0,09±0,006	0,07±0,006*	0,06±0,006*
4,7,10,13,16,19- докозагексаєнова, 22:6n3	-	-	-
НЖК	39,29±0,123	39,54±0,064	39,26±0,387
ННЖК	60,71±0,123	60,49±0,091	60,78±0,331
МНЖК	37,29±0,140	39,53±0,250*	39,75±0,660*,**
ПНЖК	23,42±0,04	20,96±0,311*	21,03±0,465*
ω3 ПНЖК	2,06±0,044	1,61±0,058*	1,53±0,012*
ω6 ПНЖК	21,36±0,026	19,35±0,270*	19,50±0,459*
ω3/ω6 ПНЖК	10,37±0,228	12,00±0,340*	12,72±0,267

Примітка:\* –  $p \leq 0,05$ , порівняно зі свіжознесеними яйцями, \*\* –  $p \leq 0,05$ , порівняно з яйцями за зберігання за температури  $4 \pm 0,5^\circ\text{C}$

В той же час у структурі ліпідів жовтків яєць підвищувалася на 2,24 % та 2,46 % частка МНЖК на фоні зниження частки ПНЖК на 2,46 % та 2,39 %. В свою чергу частка ПНЖК знижувалися у жовтках курячих яєць за рахунок зниження на 0,45 % та 0,53 % як частки  $\omega 3$  ПНЖК, так і на 2,01 % та 1,86 %

частки  $\omega$  6 ПНЖК. В результаті цього коефіцієнт  $\omega_3/\omega_6$  ПНЖК зростав за температурного режиму  $4\pm 0,5$  °C і мав тенденцію до зростання за температури  $12\pm 0,5$  °C порівняно зі свіжознесеними яйцями.

Збільшення дози лікопіну до 40 мг/кг комбікорму для курей-несучок не впливало на співвідношення таких насичених кислот у жовтках як додеканова і пентадеканова, тоді як частки наступних кислот підвищувалися, зокрема, тетрадеканової – на 0,09 % та 0,08 %, гептадеканової – на 0,05 % та 0,04 %, ейкозанової – на 0,03 % і докозанової кислот – на 0,05 % та 0,04 % на тлі зниження частки гексадеканової на 5,0 % та 5,18% і октадеканової – на 1,97 % та 2,06 % за обох температурних режимів зберігання яєць.

Таблиця 3.12

**Вплив лікопіну в дозі 40 мг/кг комбікорму на вміст жирних кислот у жовтках курячих яєць за різних режимів зберігання, %,  $x \pm SD$ , n = 9**

Кислота	Режими зберігання яєць		
	Свіжознесені	4±0,5°C	12±0,5°C
1	2	3	4
Додеканова, 12:0	0,02±0,006	0,01±0,006	0,01±0,006
Тетрадеканова, 14:0	0,31±0,006	0,39±0,006*	0,38±0,010*
Цис-9-тетрадеценнова, 14:1	0,03±0,006	0,02±0,006	0,03±0,006
Пентадеканова, 15:0	0,02±0,006	0,01±0,006	0,02±0,006
Гексадеканова, 16:0	26,48±0,160	21,48±0,344*	21,30±0,032*
Транс-3-гексадеценнова, 16:1	2,09±0,020	2,93±0,052*	2,93±0,065*
Гептадеканова, 17:0	0,15±0,006	0,20±0,006*	0,19±0,010*
Цис-10-гептадеценнова, 17:1	0,01±0,006	0,07±0,010*	0,06±0,006*
Октадеканова, 18:0	12,19±0,035	10,28±0,556*	10,13±0,051*
Цис-9-октадеценнова, 18:1n9c	36,46±0,295	40,64±0,250*	40,24±0,055*
9,12-октадекадієнова, 18:2n6c	17,29±0,180	19,67±0,168*	19,63±0,123*

6,9,12-октадекатрієнова, 18:3n6	-	-	-
9,12,15-октадекатрієнова, 18:3n3	0,50±0,001	0,73±0,002*	0,71±0,003*
Ейкозанова, 20:0	0,15±0,010	0,18±0,010*	0,18±0,010*
Цис-11-ейкозенова, 20:1	0,09±0,006	0,06±0,006*	0,05±0,006*
Цис-11,14-ейкозадієнова, 20:2n6	0,16±0,006	0,11±0,006*	0,10±0,012*

Продовження табл. 3.12

1	2	3	4
Цис-8,11,14-ейкозатрієнова, 20:3n6	-	-	-
5,8,11,14-ейкозатетраєнова, 20:4n6	2,20±0,006	2,50±0,159*	2,42±0,015*
5,8,11,14,17- ейкозапентаєнова, 20:5n3	0,27±0,017	0,24±0,010*	0,24±0,010*
Докозанова, 22:0	0,21±0,006	0,26±0,010*	0,25±0,015*
4,7,10,13,16,19- докозагексаєнова, 22:6n3	1,37±0,206	1,13±0,015	1,13±0,015
НЖК	39,5±0,131	32,81±0,880*	32,47±0,093*
ННЖК	60,47±0,131	68,08±0,667*	67,53±0,093*
МНЖК	38,69±0,256	43,72±0,300*	43,31±0,035*
ПНЖК	21,79±0,395	24,36±0,370*	24,14±0,250*
ω3 ПНЖК	2,14±0,225	2,09±0,040	2,08±0,031
ω6 ПНЖК	19,65±0,170	22,27±0,329*	22,15±0,106*
ω3/ω6 ПНЖК	9,24±0,892	10,64±0,048	10,67±0,164

Примітка:\* –  $p \leq 0,05$ , порівняно зі свіжознесеними яйцями, \*\* –  $p \leq 0,05$ , порівняно з яйцями за зберігання за температури  $4 \pm 0,5$  °C

Серед мононенасичених жирних кислот, які входять до структури ліпідів жовтків, виявлено зниження лише частки цис-11-ейкозенової кислоти на 0,03 % та 0,04 % за зростання частки транс-3-гексадеценової на 0,84%, цис-10-гептадеценової – на 0,06 % та 0,05 % і цис-9-октадеценової – на 4,18 % і 3,78 % порівняно зі свіжознесеними яйцями (табл. 3.12).

Згодовування курям-несучкам лікопіну в дозі 40 мг/кг комбікорму змінювало співвідношення в жовтках яєць поліненасичених жирних кислот, які належать до  $\omega$  3, зокрема, підвищувало частку 9,12,15-октадекатрієнової на 0,23% та 0,21% порівняно зі свіжознесеними яйцями. Одночасно у жовтках курячих яєць зникла 6,9,12-октадекатрієнова кислота.

Лікопін у дозі 40 мг/кг раціону курей-несучок змінював співвідношення НЖК на користь ННЖК у ліпідах жовтків яєць. Це відбулося як за рахунок підвищення часток МНЖК на 5,03 % та 4,62 % так і ПНЖК на 2,57 % та 2,35 % в ліпідах жовтків курячих яєць. При цьому слід відзначити, що збільшення рівня ПНЖК в даному випадку характеризувалося підвищенням частки  $\omega$ 6 ПНЖК на 2,62 % та 2,5 % за обох режимів зберігання, однак воно не вплинуло на співвідношення  $\omega$ 3/ $\omega$ 6 ПНЖК у жовтках курячих яєць.

Подальше збільшення дози лікопіну до 60 мг/кг в раціоні курей-несучок сприяло підвищенню вмісту більшості насичених жирних кислот у жовтках за обох режимів зберігання яєць, за винятком додеканової і гептадеканової, рівень яких не змінювався і тетрадеканової кислоти, частка якої знижувалась порівняно зі свіжознесеними яйцями (табл. 3.13). Дана доза лікопіну не впливала на рівень таких мононенасичених жирних кислот як цис-9-тетрадеценова і цис-10-гептадеценова за одночасного зниження частки транс-3-гексадеценової на 0,66 % і підвищення частки цис-11-ейкозенової на 0,04 % у жовтках за обох режимів зберігання порівняно зі свіжознесеними яйцями.

Серед  $\omega$  3 жирних кислот у жовтках яєць курей, яким згодовували лікопін у дозі 60 мг/кг комбікорму, виявлено зниження частки 4,7,10,13,16,19-докозагексаєнової на 0,07 % та 0,08 % на фоні збільшення частки 9,12,15-



октадекатрієнової кислоти на 0,06 % за обох режимів зберігання порівняно зі свіжознесеними яйцями. За таких умов виявлено перерозподіл часток  $\omega$  б жирних кислот в жовтках курячих яєць, який характеризувався зникненням на хроматограмах піків 6,9,12-окадекатрієнової і цис-8,11,14-ейкозатрієнової кислот і зниження частки 5,8,11,14-ейкозатетраєнової на 0,73 % за одночасного підвищення рівня 9,12-октадекадієнової на 1,54 % та 1,49 % і цис-11,14-ейкозадієнової на 0,01% за обох режимів зберігання порівняно зі свіжознесеними яйцями.

Таблиця 3.13

**Вплив лікопіну в дозі 60 мг/кг комбікорму на вміст жирних кислот у жовтках курячих яєць за різних режимів зберігання, %,  $\bar{x} \pm SD$ , n = 9**

Кислота	Режими зберігання яєць		
	Свіжознесені	4 $\pm$ 0,5°C	12 $\pm$ 0,5°C
1	2	3	4
Додеканова, 12:0	0,02 $\pm$ 0,006	0,01 $\pm$ 0,005	0,01 $\pm$ 0,005
Тетрадеканова, 14:0	0,33 $\pm$ 0,010	0,23 $\pm$ 0,010*	0,23 $\pm$ 0,020*
Цис-9-тетрадеценнова, 14:1	0,03 $\pm$ 0,006	0,02 $\pm$ 0,006	0,02 $\pm$ 0,006
Пентадеканова, 15:0	0,02 $\pm$ 0,006	0,05 $\pm$ 0,006*	0,04 $\pm$ 0,006*
Гексадеканова, 16:0	26,40 $\pm$ 0,220	28,23 $\pm$ 0,086*	28,25 $\pm$ 0,195*
Транс-3-гексадеценнова, 16:1	2,77 $\pm$ 0,035	2,11 $\pm$ 0,006*	2,11 $\pm$ 0,038
Гептадеканова, 17:0	0,11 $\pm$ 0,006	0,13 $\pm$ 0,006	0,13 $\pm$ 0,015
Цис-10-гептадеценнова, 17:1	0,02 $\pm$ 0,006	0,02 $\pm$ 0,006	0,01 $\pm$ 0,006
Октадеканова, 18:0	10,90 $\pm$ 0,055	11,70 $\pm$ 0,140*	11,70 $\pm$ 0,101*
Цис-9-октадеценнова, 18:1n9c	38,80 $\pm$ 0,231	36,41 $\pm$ 0,070*	36,48 $\pm$ 0,058*
9,12-октадекадієнова, 18:2n6c	12,82 $\pm$ 0,101	14,36 $\pm$ 0,127*	14,31 $\pm$ 0,134*
6,9,12-октадекатрієнова, 18:3n6	-	-	-
9,12,15-октадекатрієнова, 18:3n3	0,35 $\pm$ 0,006	0,41 $\pm$ 0,006*	0,41 $\pm$ 0,015*

Ейкозанова, 20:0	0,12±0,006	0,14±0,010*	0,14±0,015*
Цис-11-ейкозенова, 20:1	0,02±0,006	0,06±0,006*	0,06±0,010*
Цис-11,14-ейкозадієнова, 20:2n6	0,12±0,006	0,13±0,005*	0,13±0,006*
Цис-8,11,14-ейкозатрієнова, 20:3n6	-	-	-
5,8,11,14-ейкозатетраєнова, 20:4n6	5,12±0,017	4,39±0,140*	4,39±0,070*

Продовження табл. 3.13

1	2	3	4
5,8,11,14,17- ейкозапентаєнова, 20:5n3	0,17±0,028	0,10±0,007*	0,09±0,004*
Докозанова, 22:0	0,16±0,006	0,20±0,006*	0,19±0,006*
4,7,10,13,16,19- докозагексаєнова, 22:6n3	1,68±0,089	1,28±0,046*	1,25±0,015*
НЖК	38,05±0,186	40,68±0,060*	40,69±0,246*
ННЖК	61,95±0,186	59,32±0,060*	59,31±0,246*
МНЖК	41,63±0,276	38,64±0,087*	38,67±0,078*
ПНЖК	20,33±0,091	20,67±0,040*	20,63±0,182*
ω3 ПНЖК	2,27±0,055	1,84±0,040*	1,81±0,017*
ω6 ПНЖК	18,05±0,116	18,88±0,026*	18,82±0,196*
ω3/ω6 ПНЖК	7,95±0,231	10,28±0,212*	10,40±0,197*

Примітка:\* –  $p \leq 0,05$  порівняно зі свіжознесеними яйцями, \*\* –  $p \leq 0,05$  порівняно з яйцями за зберігання за температури  $4 \pm 0,5^\circ\text{C}$

Використання лікопіну в дозі 60 мг/кг комбікорму для курей-несучок таким чином сприяло підвищенню частки НЖК відносно ННЖК у жовтках яєць за обох режимів їх зберігання. Зниження частки ННЖК у жовтках курячих яєць під впливом лікопіну в даному випадку відбувалося лише за

рахунок МНЖК на 2,99 % та 2,96 %. Підвищення частки ПНЖК на 0,34 % та 0,3 % у жовтках відзначали за обох режимів зберігання курячих яєць і воно було обумовлено підвищенням вмісту  $\omega 6$  ПНЖК на 0,83 % та 0,77 %, що в кінцевому результаті привело до підвищення коефіцієнта  $\omega 3/\omega 6$  ПНЖК на 2,33 та 2,45 одиниці в структурі ліпідів.

Згодовування курям-несучкам добавки астаксантину в дозі 10 мг/кг комбікорму не впливало на вміст таких насичених жирних кислот як додеканова і пентадеканова, але знижувало частку октадеканової на 2,24 % та 2,27 %, ейкозанової – на 0,04 % і докозанової – на 0,03 % на фоні підвищення частки гексадеканової кислоти на 0,05 % та 0,53 % в жовтках за обох режимів зберігання порівняно зі свіжознесеними яйцями. Що стосується гептадеканової кислоти, то її рівень збільшувався на 0,02 % в жовтках курячих яєць лише за зберігання в умовах  $4 \pm 0,5$  °C порівняно зі свіжознесеними яйцями (табл. 3.14). Астаксантинова добавка до раціону курей-несучок у вище зазначеній дозі сприяла підвищенню частки всіх мононенасичених жирних кислот, за винятком цис-10-гептадецененової, рівень якої був стабільним у жовтках за обох режимів зберігання яєць.

Використання астаксантину в дозі 10 мг/кг комбікорму для курей-несучок сприяло змінам співвідношення окремих  $\omega 3$  ПНЖК, а саме підвищенню частки 9,12,15-октадекатрієнової кислоти на 0,02 %, тоді як рівень 4,7,10,13,16,19-докозагексаєнової кислот знизився на 1,95 % у жовтках за обох режимів зберігання порівняно зі свіжознесеними яйцями. Ще більший вплив астаксантину у вище вказаній дозі було виявлено на рівень  $\omega 6$  ПНЖК, який характеризувався зникненням на хроматограмі піку 6,9,12-октадекатрієнової кислоти з одночасним зниженням частки цис-11,14-ейкозатрієнової на 0,11 %, цис-8,11,14-ейкозатрієнової на 0,02 % і 5,8,11,14-ейкозатетраєнової – на 1,95 % в жовтках за обох режимів зберігання порівняно зі свіжознесеними яйцями. Таким чином, астаксантин в дозі 10 мг/кг комбікорму для курей-несучок сприяв зниженню частки НЖК на користь НЖК. Це відбувалося за рахунок підвищення частки МНЖК на 3,03 % та 3,02

% в структурі ліпідів жовтків курячих яєць. Попри низький вміст астаксантину в раціоні курей-несучок він також сприяв зниженню частки ПНЖК на 1,15 % та 1,29 %, яке обумовлено зниженням як частки як  $\omega 3$  ПНЖК на 0,52 %, так і  $\omega 6$  ПНЖК – на 0,8 % та 0,78 % в жовтках курячих яєць під час зберігання за обох температурних режимів. Внаслідок такого перерозподілу ненасичених жирних кислот у жовтках курячих яєць під впливом астаксантину підвищився коефіцієнт  $\omega 3/\omega 6$  ПНЖК на 2,22 та 2,21 одиниці порівняно зі свіжознесеними яйцями.

Таблиця 3.14

**Вплив астаксантину в дозі 10 мг/кг комбікорму на вміст жирних кислот у жовтках курячих яєць за різних режимів зберігання, %,  $x \pm SD$ ,  $n = 9$**

Кислота	Режими зберігання яєць		
	Свіжознесені	4±0,5 °C	12±0,5 °C
1	2	3	4
Додеканова, 12:0	0,02±0,006	0,03±0,006	0,02±0,006
Тетрадеканова, 14:0	0,23±0,006	0,29±0,006*	0,29±0,006*
Цис-9-тетрадеценава, 14:1	0,03±0,006	0,06±0,006*	0,06±0,005*
Пентадеканова, 15:0	0,07±0,006	0,07±0,006	0,06±0,006
Гексадеканова, 16:0	27,00±0,055	27,50±0,055*	27,53±0,115*
Транс-3-гексадеценава, 16:1	2,03±0,017	2,13±0,006*	2,13±0,015*
Гептадеканова, 17:0	0,20±0,006	0,22±0,006*	0,21±0,010
Цис-10-гептадеценава, 17:1	0,06±0,006	0,06±0,006	0,06±0,006
Октадеканова, 18:0	12,88±0,012	10,64±0,253*	10,61±0,211*
Цис-9-октадеценава, 18:1n9c	32,57±0,023	35,40±0,064*	35,39±0,176*
9,12-октадекадієнова, 18:2n6c	16,67±0,115	17,96±0,116*	17,98±0,136*
6,9,12-октадекатрієнова, 18:3n6	-	-	-

9,12,15-октадекатрієнова, 18:3n3	0,47±0,006	0,49±0,012*	0,49±0,006*
Ейкозанова, 20:0	0,05±0,006	0,01±0,006*	0,01±0,006*
Цис-11-ейкозенова, 20:1	0,42±0,012	0,50±0,006*	0,50±0,010*
Цис-11,14-ейкозадієнова, 20:2n6	0,26±0,010	0,15±0,006*	0,15±0,006*
Цис-8,11,14-ейкозатрієнова, 20:3n6	0,29±0,010	0,27±0,010*	0,27±0,010*

Продовження табл. 3.14

1	2	3	4
5,8,11,14-ейкозатетраєнова, 20:4n6	4,79±0,050	2,84±0,130*	2,84±0,030*
5,8,11,14,17- ейкозапентаєнова, 20:5n3	0,21±0,010	0,18±0,006*	0,18±0,010*
Докозанова, 22:0	0,09±0,006	0,06±0,006*	0,06±0,006*
4,7,10,13,16,19- докозагексаєнова, 22:6n3	1,69±0,035	1,17±0,020*	1,17±0,010*
НЖК	40,52±0,036	38,81±0,200*	38,79±0,104*
ННЖК	59,48±0,036	61,19±0,200*	61,21±0,104*
МНЖК	35,11±0,052	38,14±0,079*	38,13±0,169*
ПНЖК	24,37±0,020	23,22±0,365*	23,08±0,169*
ω3 ПНЖК	2,36±0,032	1,84±0,036*	1,84±0,015*
ω6 ПНЖК	22,01±0,051	21,21±0,253*	21,23±0,155*
ω3/ω6 ПНЖК	9,31±0,147	11,53±0,125*	11,52±0,046*

Примітка: \* –  $p \leq 0,05$ , порівняно зі свіжознесеними яйцями, \*\* –  $p \leq 0,05$ , порівняно з яйцями за зберігання за температури  $4 \pm 0,5^\circ\text{C}$

Підвищення дози астаксантину в раціоні курей-несучок до 20 мг/кг не впливало на співвідношення у жовтках таких насичених жирних кислот як додеканова та пентадеканова, однак підвищувало частку гексадеканової, гептадеканової і ейкозанової і докозанової кислот на фоні зниження часток тетрадеканової і октадеканової кислот за обох режимів зберігання яєць порівняно зі свіжознесеними (табл. 3.15). Збагачення раціону курей-несучок астаксантином у вказаній дозі не впливало на вміст таких мононенасичених жирних кислот як цис-9-тетрадецена і цис-10-гептадецена, але підвищувало рівень транс-3-гексадецена, цис-9-октадецена і цис-11-ейкозена за обох режимів зберігання яєць порівняно зі свіжознесеними.

Таблиця 3.15

**Вплив астаксантину в дозі 20 мг/кг комбікорму на вміст жирних кислот у жовтках курячих яєць за різних режимів зберігання, %,  $x \pm SD$ , n = 9**

Кислота	Режими зберігання яєць		
	Свіжознесені	4±0,5°C	12±0,5°C
1	2	3	4
Додеканова, 12:0	0,02±0,006	0,02±0,006	0,02±0,006
Тетрадеканова, 14:0	0,30±0,006	0,27±0,006*	0,27±0,006*
Цис-9-тетрадецена, 14:1	0,03±0,006	0,05±0,006	0,05±0,010
Пентадеканова, 15:0	0,03±0,006	0,02±0,006	0,02±0,006
Гексадеканова, 16:0	26,23±0,430	28,37±0,147*	28,14±0,468*
Транс-3-гексадецена, 16:1	2,11±0,015	2,60±0,096*	2,59±0,097*
Гептадеканова, 17:0	0,15±0,006	0,18±0,006*	0,18±0,006*
Цис-10-гептадецена, 17:1	0,02±0,005	0,02±0,006	0,02±0,006
Октадеканова, 18:0	12,23±0,169	10,12±0,113*	10,21±0,075*,**
Цис-9-октадецена, 18:1n9c	36,80±0,352	38,01±0,667*	38,21±0,460*
9,12-октадекадієнова, 18:2n6c	17,28±0,277	15,32±0,604*	15,49±0,192*

6,9,12-октадекатрієнова, 18:3n6	-	-	-
9,12,15-октадекатрієнова, 18:3n3	0,51±0,006	0,53±0,006*	0,50±0,026 <sup>*,**</sup>
Ейкозанова, 20:0	0,15±0,006	0,21±0,006*	0,20±0,006*
Цис-11-ейкозенова, 20:1	0,09±0,006	0,21±0,006*	0,19±0,006*
Цис-11,14-ейкозадієнова, 20:2n6	0,16±0,006	0,19±0,006*	0,18±0,006 <sup>*,**</sup>

Продовження табл. 3.15

1	2	3	4
Цис-8,11,14-ейкозатрієнова, 20:3n6	-	-	-
5,8,11,14-ейкозатетраєнова, 20:4n6	2,21±0,006	2,26±0,010*	2,21±0,045**
5,8,11,14,17- ейкозапентаєнова, 20:5n3	0,27±0,015	0,22±0,006*	0,20±0,010 <sup>*,**</sup>
Докозанова, 22:0	0,21±0,006	0,25±0,015*	0,22±0,020**
4,7,10,13,16,19- докозагексаєнова, 22:6n3	1,21±0,188	1,20±0,138	1,11±0,021
НЖК	39,32±0,323	39,42±0,199	39,25±0,422
ННЖК	60,68±0,323	60,58±0,199	60,75±0,422
МНЖК	39,05±0,332	40,88±0,611*	41,06±0,490*
ПНЖК	21,63±0,478	19,70±0,566*	19,68±0,238*
ω3 ПНЖК	1,99±0,204	1,94±0,131	1,81±0,055
ω6 ПНЖК	19,64±0,275	17,76±0,601*	17,88±0,210*
ω3/ω6 ПНЖК	9,95±0,842	9,19±0,817	9,90±0,280

Примітка:\* –  $p \leq 0,05$ , порівняно зі свіжознесеними яйцями, \*\* –  $p \leq 0,05$ , порівняно з яйцями за зберігання за температури  $4 \pm 0,5^\circ\text{C}$

На вміст окремих  $\omega$ 3 ПНЖК у жовтках яєць астаксантин в дозі 20 мг/кг впливав залежно від температурного режиму зберігання. Так, вміст 9,12,15-октадекатрієнової кислоти в жовтках підвищувався на 0,03 % за температури  $4\pm 0,5$  °C, але за температури  $12\pm 0,5$  °C він незначно знижувався порівняно зі свіжознесеними яйцями.

Ще більш виражені зміни у складі  $\omega$  6 ПНЖК виявлено у жовтках курячих яєць за зберігання за різних температурних режимів під впливом астаксантину. Вони характеризувалися зникненням на хроматограмі піків 6,9,12-октадекатрієнової і цис-8,11,14-ейкозатрієнової кислот у жовтках як свіжознесених яєць, так і за зберігання їх в умовах різних температурних режимів. Одночасно виявляли на фоні зниження вмісту 9,12-октадекадієнової на 1,96 % та 1,79 % незнане підвищення рівня цис-11,14-ейкозадієнової кислоти у жовтках яєць за обох режимів їх зберігання порівняно зі свіжознесеними. Слід зазначити, що в даному випадку співвідношення НЖК і ННЖК залишалось стабільним у жовтках курячих яєць за обох режимів їх зберігання. Однак застосування курям-несучкам астаксантину в дозі 20 мг/ кг комбікорму спричинило перерозподіл у структурі НЖК часток ПНЖК і МНЖК на користь останніх. При цьому частка ПНЖК знижувалася на 1,93 % та 1,95 % за рахунок зниження рівня  $\omega$ 6 ПНЖК на 1,88 % та 1,76 % в структурі ліпідів жовтків курячих яєць, хоча співвідношення  $\omega$ 3/ $\omega$ 6 ПНЖК залишалось без змін.

Згодовування курям-несучкам добавки астаксантину в дозі 30 мг/кг комбікорму ще сильніше впливало на жирнокислотний профіль ліпідів жовтків як свіжознесених, так і за різних режимів зберігання яєць порівняно з дозами 10 та 20 мг/кг (табл. 3.16). Виявлено, що таке збільшення вмісту астаксантину в раціоні курей-несучок спричинило зникнення на хроматограмі піків двох насичених жирних кислот: додеканової і тетрадеканової і знижувало частки гексадеканової і октадеканової кислот, але не впливало на вміст пентадеканової, гептадеканової, ейкозанової і докозанової кислот у жовтках за різних режимів зберігання яєць порівняно з свіжознесеними. Серед



мононенасичених кислот жовтків курячих яєць також було виявлено під впливом астаксантину зникнення на хроматограмі піку цис-9-тетрадецеєнової кислоти і зниження рівня цис-11-ейкозенової кислоти на фоні збільшення вмісту транс-3-гексадецеєнової, цис-10-гептадецеєнової і цис-9-октадецеєнової кислот за обох режимів зберігання яєць порівняно зі свіжознесеними.

Астаксантин у дозі 30 мг/кг комбікорму проявляв більш виражений вплив на рівень  $\omega$  6 ПНЖК у жовтках яєць, який характеризувався зникненням на хроматограмі піків 6,9,12-окадекатрієнової і цис-8,11,14-ейкозатрієнової кислот як свіжознесених, так і яєць, які зберігалися за обох температурних режимів.

**Таблиця 3.16**

**Вплив астаксантину в дозі 30 мг/кг комбікорму на вміст жирних кислот у жовтках курячих яєць за різних режимів зберігання, %,  $x \pm SD$ ,  $n = 9$**

Кислота	Режими зберігання яєць		
	Свіжознесені	4 $\pm$ 0,5 $^{\circ}$ C	12 $\pm$ 0,5 $^{\circ}$ C
1	2	3	4
Додеканова, 12:0	0,01 $\pm$ 0,010	-	-
Тетрадеканова, 14:0	0,30 $\pm$ 0,006	-	-
Цис-9-тетрадецеєнова, 14:1	-	-	-
Пентадеканова, 15:0	0,03 $\pm$ 0,006	0,02 $\pm$ 0,006	0,01 $\pm$ 0,006
Гексадеканова, 16:0	26,49 $\pm$ 0,165	24,31 $\pm$ 0,010*	24,31 $\pm$ 0,191*
Транс-3-гексадецеєнова, 16:1	2,09 $\pm$ 0,020	3,28 $\pm$ 0,035*	3,28 $\pm$ 0,159*
Гептадеканова, 17:0	0,15 $\pm$ 0,006	0,16 $\pm$ 0,006	0,16 $\pm$ 0,017
Цис-10-гептадецеєнова, 17:1	0,02 $\pm$ 0,006	0,05 $\pm$ 0,006*	0,06 $\pm$ 0,006*

Октадеканова, 18:0	12,19±0,035	8,57±0,304*	8,57±0,592*
Цис-9-октадеценава, 18:1n9c	36,47±0,295	42,19±0,192*	42,07±0,195*
9,12-октадекадієнова, 18:2n6c	17,29±0,180	15,49±0,085*	15,75±0,794*
6,9,12-окадекатрієнова, 18:3n6	-	-	-

Продовження табл. 3.16

1	2	3	4
9,12,15- октадекатрієнова, 18:3n3	0,51±0,006	0,47±0,010	0,46±0,010
Ейкозанова, 20:0	0,15±0,010	0,17±0,006	0,16±0,006
Цис-11-ейкозенова, 20:1	0,08±0,006	0,02±0,006*	0,02±0,005 <sup>*,**</sup>
Цис-11,14-ейкозадієнова, 20:2n6	0,16±0,006	0,17±0,006	0,16±0,006
Цис-8,11,14- ейкозатрієнова, 20:3n6	-	-	-
5,8,11,14- ейкозатетраєнова, 20:4n6	2,21±0,006	3,17±0,083*	3,09±0,036*
5,8,11,14,17- ейкозапентаєнова, 20:5n3	0,27±0,015	0,21±0,006*	0,20±0,006*
Докозанова, 22:0	0,21±0,006	0,22±0,010	0,21±0,010
4,7,10,13,16,19- докозагексаєнова, 22:6n3	1,35±0,272	1,51±0,045	1,50±0,072
НЖК	39,53±0,140	33,44±0,30*	33,42±0,75*
ННЖК	60,47±0,140	66,56±0,30*	66,58±0,752*
МНЖК	38,69±0,320	45,55±0,23*	45,42±0,338*
ПНЖК	21,78±0,460	21,02±0,074	21,16±0,806

ω3 ПНЖК	2,13±0,291	2,19±0,046	2,16±0,068
ω6 ПНЖК	19,65±0,170	18,83±0,101	19,00±0,805
ω3/ω6 ПНЖК	9,35±1,187	8,60±0,214	8,82±0,465

Примітка:\* –  $p \leq 0,05$ , порівняно зі свіжознесеними яйцями, \*\* –  $p \leq 0,05$ , порівняно з яйцями за зберігання за температури  $4 \pm 0,5^\circ\text{C}$

Одночасно з цим було виявлено зниження частки 9,12-октадекадієнової на 1,8 % та 54 % та підвищення частки 5,8,11,14-ейкозатетраєнової кислот на 0,96 % та 0,88 % у жовтках курячих яєць за обох режимів зберігання порівняно зі свіжознесеними яйцями.

Такі зміни співвідношення окремих жирних кислот у жовтках курячих яєць у свою чергу спричинили зниження частки ННЖК на користь НЖК. Причиною таких змін балансу виявилось підвищення частки МНЖК на 6,86 % та 6,73 % в структурі ліпідів жовтків курячих яєць за обох режимів зберігання порівняно зі свіжознесеними яйцями. Також слід зазначити, що згодовування курям-несучкам астаксантину в дозі 30 мг/кг комбікорму не впливало на баланс ПНЖК, зокрема, на ω3 ПНЖК і ω6 ПНЖК у жовтках за різних режимів зберігання яєць.

Таким чином, температурні режими зберігання харчових яєць  $4 \pm 0,5^\circ\text{C}$  та  $12 \pm 0,5^\circ\text{C}$  однаково впливають на жирнокислотний склад жовтків яєць, отриманих від курей, яким згодовували добавки лікопіну в дозах 30, 40 та 60 мг/кг чи астаксантину в дозах 10, 20 та 30 мг/кг комбікорму впродовж 30 діб, порівняно зі свіжознесеними яйцями. Зі збільшенням дози лікопіну від 20 до 60 мг/кг чи астаксантину від 10 до 30 мг/кг в раціоні курей-несучок в жовтках свіжознесених і яєць, а також за обох температурних режимів їх зберігання знижується частка ω6 ПНЖК: цис-8,11,14-ейкозатрієнової та 6,9,12-окадекатрієнової кислот аж до повного їх зникнення. Добавка астаксантину до раціону курей-несучок характеризується значно сильнішим впливом на співвідношення насичених і ненасичених жирних кислот у жовтках курячих яєць під час їх зберігання, ніж добавка лікопіну. Згодовування астаксантину

курам-несучкам більшою мірою знижує і стабілізує співвідношення  $\omega_3/\omega_6$  ПНЖК у жовтках за зберігання яєць, ніж добавка лікопіну до раціону курей. Отримані результати досліджень можуть бути основою для вибору режиму зберігання збагачених каротиноїдами харчових курячих яєць з урахуванням корекції жирнокислотного профілю ліпідів жовтків.

Матеріали цього підрозділу опубліковано [57, 187].

### **3.5. Вплив лікопіну та астаксантину на бактеріальне обсіменіння харчових курячих яєць за різних режимів зберігання**

За зберігання яєць курей контрольної групи впродовж 30 діб було встановлено, що за температури  $4\pm 0,5$  °C і відносної вологості 80–85 % кількість МАФAM на поверхні шкаралупи збільшилася на 7,3 %, а за температури  $12\pm 0,5$  °C та вологості 70–75% – на 12,9 %, порівняно із свіжознесеними яйцями. Також відзначається підвищення чисельності мезофільних аеробних і факультативно анаеробних мікроорганізмів на поверхні курячих яєць за  $12\pm 0,5$  °C і вологості 70–75% на 6 %, порівняно зі зберіганням за  $4\pm 0,5$  °C і відносній вологості 80–85 % (табл. 3.17).

Додавання добавок лікопіну в дозі 20 мг/кг не впливало на чисельність МАФAM шкаралупи свіжознесених курячих яєць, порівняно з контролем. Зберігання яєць курей, що отримували добавки лікопіну в дозі 20 мг/кг комбікорму, за температури  $4\pm 0,5$  °C сприяло підвищенню кількості МАФAM на 3,80 %, а  $12\pm 0,5$  °C – на 8,8 %, порівняно зі свіжознесеними яйцями. Крім того, різниця чисельності МАФAM на шкаралупі яєць за температури зберігання  $4\pm 0,5$  °C і  $12\pm 0,5$  °C складає 5,7 %.

Також виявлено зростання кількості МАФAM у жовтках курячих яєць контрольної групи, які зберігалися впродовж 30 діб за температури  $4\pm 0,5$  °C та відносній вологості 80–85 %, порівняно із свіжознесеними яйцями, на 4,47 %, а за температури  $12\pm 0,5$  °C і вологості 70–75 % – на 24,1 %. Підвищується кількість мезофільних аеробних і факультативно анаеробних мікроорганізмів

у жовтках курячих яєць у разі їх зберігання за  $12\pm 0,5$  °C і вологості 70–75 % на 20,6 %, порівняно зі зберіганням за умов  $4\pm 0,5$  °C і відносній вологості 80–85 % та (табл. 3.17).

Згодовування астаксантину в дозі 10 мг/кг корму не впливало на обсіменіння мезофільними аеробними і факультативно анаеробними мікроорганізмами свіжознесених курячих яєць, порівняно з контролем (табл. 3.17). Зберігання яєць курей, що отримували добавки астаксантину в дозі 10 мг/кг комбікорму, за температури  $4\pm 0,5$  °C сприяло підвищенню кількості МАФАНМ на поверхні шкаралупи на 5,21 %, а за зберігання в умовах  $12\pm 0,5$  °C – на 10,41 %, порівняно зі свіжознесеними яйцями. За зберігання яєць в умовах  $12\pm 0,5$  °C кількість мезофільних аеробних і факультативно анаеробних мікроорганізмів на шкаралупі яєць на 5,47 % вище, порівняно зі зберіганням в умовах  $4\pm 0,5$  °C .

Таблиця 3.17

**Вплив лікопіну в дозі 20 мг/кг та астаксантину в дозі 10 мг/кг комбікорму на чисельність МАФАНМ курячих яєць,  $x \pm SD$ ,  $n = 5$**

Група	Свіжознесених	Умови зберігання	
		$4\pm 0,5$ °C	$12\pm 0,5$ °C
	Поверхня шкаралупи, lg КУО/см <sup>2</sup>		
Контрольна	$3,17\pm 0,034$	$3,42\pm 0,010^*$	$3,64\pm 0,009^{*,**}$
Дослідна:			
1	$3,31\pm 0,030$	$3,44\pm 0,015^*$	$3,63\pm 0,012^{*,**}$
2	$3,27\pm 0,013$	$3,45\pm 0,013^*$	$3,65\pm 0,009^{*,**}$
Жовток, lg КУО/г			
Контрольна	$2,35\pm 0,013$	$2,46\pm 0,010^*$	$3,10\pm 0,005^{*,**}$
Дослідна			
1	$2,37\pm 0,008$	$2,49\pm 0,030^*$	$3,10\pm 0,003^{*,**}$
2	$2,38\pm 0,019$	$2,50\pm 0,024^*$	$3,11\pm 0,004^{*,**}$

Примітка: \* –  $p \leq 0,05$ , порівняно зі свіжознесеними яйцями, \*\* –  $p \leq 0,05$ , порівняно зі зберіганням яєць за  $4\pm 0,5$ °C

У разі згодовування комбікорму з додаванням добавки лікопіну в дозі 20 мг/кг виявлено підвищення кількості МАФAM у жовтках курячих яєць, які зберігалися протягом 30 діб за температури  $4\pm 0,5$  °C та відносній вологості 80–85 % на 4,81 %, порівняно із свіжознесеними яйцями, а за температури  $12\pm 0,5$  °C та вологості 70–75 % кількість МАФAM збільшилась на 23,5 %. Відбувається зменшення чисельності мезофільних аеробних і факультативно анаеробних мікроорганізмів в жовтках курячих яєць за зберігання в умовах  $4\pm 0,5$  °C і відносній вологості 80–85 % на 19,6 %, порівняно зі зберіганням яєць за  $12\pm 0,5$  °C і вологості 70–75 %.

Після згодовування астаксантину в дозі 10 мг/кг відбулося зростання чисельності МАФAM у жовтках курячих яєць які зберігалися протягом 30 діб за температури  $4\pm 0,5$  °C і відносній вологості 80–85 % на 4,8 %, порівняно з контролем, а за температури  $12\pm 0,5$  °C і вологості 70–75 % – на 23,4 %. Чисельність мезофільних аеробних і факультативно анаеробних мікроорганізмів в жовтках курячих яєць за їх зберігання в умовах  $4\pm 0,5$  °C і відносній вологості 80–85 % на 19,6% менша, порівняно зі зберіганням яєць за  $12\pm 0,5$  °C і вологості 70–75 %.

Встановлено, що згодовування курям-несучкам комбікорму з вмістом лікопіну 40 мг/кг корму впродовж 30 діб не впливало на кількість мезофільних аеробних і факультативно анаеробних мікроорганізмів, порівняно з контрольною групою. За зберігання яєць від цих курей протягом 30 діб за температури  $4\pm 0,5$  °C і відносній вологості 80–85 % на поверхні шкаралупи кількість МАФAM збільшувалася на 1,23 %, а у разі зберігання за температури  $12\pm 0,5$  °C і вологості 70–75 % – на 9,0 %, порівняно із свіжознесеними. Виявлено підвищення чисельності мезофільних аеробних і факультативно анаеробних мікроорганізмів на поверхні курячих яєць за  $12\pm 0,5$  °C та вологості 70–75 % на 7,9 %, порівняно зі зберіганням за  $4\pm 0,5$  °C і відносній вологості 80–85 % та (табл. 3.18).

Крім того, відзначено зростання МАФAM у жовтках курячих яєць контрольної групи, які зберігалися протягом 30 діб за температури  $4\pm 0,5$  °C та

відносній вологості 80–85 % на 8,3 %, а за температури  $12\pm 0,5$  °C та вологості 70–75 % – на 21,4 %, порівняно з контролем. Чисельність мезофільних аеробних і факультативно анаеробних мікроорганізмів в жовтках курячих яєць, які зберігалися впродовж 30 діб за температури  $12\pm 0,5$  °C та вологості 70–75 % була на 14,3 % вищою, порівняно із зберіганням цих же яєць за  $4\pm 0,5$  °C і відносній вологості 80–85 %.

Таблиця 3.18

**Вплив лікопіну в дозі 40 мг/кг та астаксантину в дозі 20 мг/кг комбікорму на чисельність МАФAM курячих яєць,  $\bar{x} \pm SD$ , n = 5**

Показники	Свіжознесені	Умови зберігання	
		4±0,5°C	12±0,5°C
	Поверхня шкаралупи, lg КУО/см <sup>2</sup>		
Контрольна	3,21±0,013	3,25±0,015*	3,53±0,018*,**
Дослідна			
1	3,23±0,012	3,29±0,041	3,50±0,02*,**
2	3,40±0,155	3,31±0,028	3,53±0,009
	Жовток, lg КУО/г		
Контрольна	2,41±0,023	2,63±0,033*	3,07±0,026*,**
Дослідна			
1	2,40±0,018	2,63±0,021*	3,09±0,034*,**
2	2,38±0,015	2,60±0,015*	3,11±0,054*,**

Примітка: \* –  $p \leq 0,05$ , порівняно зі свіжознесеними яйцями, \*\* –  $p \leq 0,05$ , порівняно зі зберіганням яєць за  $4\pm 0,5$  °C

Додавання добавок лікопіну в дозі 40 мг/кг не впливало на чисельність МАФAM шкаралупи яєць курей за температури  $4\pm 0,5$  °C, а за  $12\pm 0,5$  °C збільшилась на 8,8 % порівняно зі свіжознесеними яйцями, а також виявлена різницю кількості МАФAM за температури 4 і 12 °C, яка становить 6 %.

Також виявлено зростання кількості МАФАМ у жовтках яєць курей, які отримували добавки лікопіну в дозі 40 мг/кг і зберігалися протягом 30 діб за температури  $4\pm 0,5$  °С та відносній вологості 80-85 % порівняно із контрольною групою на 8,7 %, а за температури  $12\pm 0,5$  °С та вологості 70–75 % кількість МАФАМ підвищилась на 14,8 % порівняно з контрольною групою. Зміни чисельності мезофільних аеробних і факультативно анаеробних мікроорганізмів в жовтках курячих яєць за  $12\pm 0,5$  °С та вологості 70–75 % були в бік зростання на 22,3 %, порівняно зі зберіганням  $4\pm 0,5$  °С і відносній вологості 80–85 % (табл. 3.18).

Додавання курям-несучкам комбікорму з вмістом астаксантину в дозі 20 мг/кг не впливало на контамінацію МАФАМ свіжознесених курячих яєць. Зберігання цих яєць як за температури  $4\pm 0,5$  °С, так і за  $12\pm 0,5$  °С не впливало на мікробне обсіменіння їх шкаралупи.

Проте після згодовування астаксантину курям-несучкам в дозі 20 мг/кг відбувалось зростання чисельності МАФАМ у жовтках курячих яєць, які зберігалися впродовж 30 діб за температури  $4\pm 0,5$  °С та відносній вологості 80–85 %, на 8,4 %, а у разі зберігання за температури  $12\pm 0,5$  °С і відносній вологості 70–75 % – на 23,4 %, порівняно з контролем. Кількість мезофільних аеробних і факультативно анаеробних мікроорганізмів у жовтках курячих яєць у разі їх зберігання за  $4\pm 0,5$  °С була на 16,3 % нижча, порівняно із зберіганням в умовах  $12\pm 0,5$  °С.

За зберігання яєць курей контрольної групи протягом 30 діб за температури  $4\pm 0,5$  °С і вологості 80–85 % кількість МАФАМ на поверхні шкаралупи збільшилась на 2,16 %, а за температури  $12\pm 0,5$  °С та вологості 70–75 % – на 11,7 %, порівняно із свіжознесеними яйцями. Також відзначаємо підвищення чисельності мезофільних аеробних і факультативно анаеробних мікроорганізмів на поверхні курячих яєць за їх зберігання в умовах  $12\pm 0,5$  °С на 9,77 %, порівняно зі зберіганням за  $4\pm 0,5$  °С.

У разі додавання до комбікорму курям-несучкам добавки лікопіну в дозі 60 мг/кг кількість МАФАМ на поверхні шкаралупи свіжознесених яєць не



відрізнялася від контролю. За зберігання яєць курей, що отримували добавки лікопіну в дозі 60 мг/кг комбікорму за температури  $4\pm 0,5$  °C і вологості 80–85 % кількість МАФам на поверхні шкаралупи яєць підвищилась на 1,23 %, а зберігання яєць за температури  $12\pm 0,5$  °C і вологості 70–75 % призвело до підвищення МАФам на поверхні шкаралупи на 10 %, порівняно з контрольною групою. Крім того, за зберігання яєць, отриманих від курей-несучок, які отримували комбікорм з добавкою лікопіну в дозі 60 мг/кг, за температури  $12\pm 0,5$  °C і вологості 70–75 % кількість МАФам на поверхні шкаралупи яєць на 8,9 % вища, ніж за температури зберігання  $4\pm 0,5$  °C і вологості 80–85 %.

Згодовування астаксантину в дозі 30 мг/кг комбікорму не впливало на чисельність МАФам на поверхні шкаралупи свіжознесених курячих яєць, порівняно з контролем. Зберігання яєць курей, що отримували добавку астаксантину в дозі 30 мг/кг комбікорму, за температури  $4\pm 0,5$  °C призвело до підвищення кількості МАФам на поверхні шкаралупи на 2,14 %, а у разі зберігання яєць за температури  $12\pm 0,5$  °C – на 10,6 %, порівняно з контрольною групою. Встановлено, що чисельність МАФам на поверхні шкаралупи яєць, отриманих від курей-несучок, які споживали з комбікормом добавку астаксантину в дозі 30 мг/кг зберігалися і за температури  $4\pm 0,5$  °C і вологості 80–85 % на 8,6 % нижча, ніж за зберігання цих же яєць за температури  $12\pm 0,5$  °C і відносній вологості 70–75 %.

Також відзначено зростання МАФам у жовтках курячих яєць, отриманих від курей-несучок, які споживали повнораціонний комбікормом (контроль) і зберігалися впродовж 30 діб за температури  $4\pm 0,5$  °C і відносній вологості 80–85 % на 12 %, а у разі зберігання за температурі  $12\pm 0,5$  °C і вологості 70–75 % – на 21,2 %, порівняно з контролем. Чисельність мезофільних аеробних і факультативно анаеробних мікроорганізмів в жовтках курячих яєць у разі зберігання за  $4\pm 0,5$  °C на 10,4 % нижче, ніж за зберігання в умовах  $12\pm 0,5$  °C (табл. 3.19).

Виявлено зростання МАФAM у жовтках курячих яєць, отриманих від курей-несучок, яким у комбікорм додавали добавку лікопіну в дозі 60 мг/кг і зберігали протягом 30 діб за температури  $4\pm 0,5$  °C і вологості 80–85 % на 9,6 %, а за температури  $12\pm 0,5$  °C – на 20,4 %, порівняно з контролем. Кількість мезофільних аеробних і факультативно анаеробних мікроорганізмів в жовтках курячих яєць, отриманих від курей-несучок, яким у комбікорм додавали добавку лікопіну в дозі 60 мг/кг і зберігали впродовж 30 діб за  $4\pm 0,5$  °C на 12,0 % нижча, порівняно із зберіганням яєць за  $12\pm 0,5$  °C.

Таблиця 3.19

**Вплив лікопіну в дозі 60 мг/кг та астаксантину в дозі 30 мг/кг комбікорму на чисельність МАФAM курячих яєць,  $\bar{x} \pm SD$ , n = 5**

Показники	Свіжознесені	Умови зберігання	
		$4\pm 0,5$ °C	$12\pm 0,5$ °C
	Поверхня шкаралупи, lg КУО/см <sup>2</sup>		
Контрольна	$3,16\pm 0,006$	$3,23\pm 0,002^*$	$3,58\pm 0,015^{*,**}$
Дослідна			
1	$3,21\pm 0,010$	$3,25\pm 0,018^*$	$3,57\pm 0,015^{*,**}$
2	$3,19\pm 0,026$	$3,26\pm 0,025^*$	$3,57\pm 0,018^{*,**}$
	Жовток, lg КУО/г		
Контрольна	$2,41\pm 0,016$	$2,74\pm 0,025^*$	$3,06\pm 0,019^{*,**}$
Дослідна			
1	$2,45\pm 0,018$	$2,71\pm 0,071^*$	$3,08\pm 0,015^{*,**}$
2	$2,41\pm 0,037$	$2,73\pm 0,016^*$	$3,11\pm 0,016^{*,**}$

Примітка: \* –  $p\leq 0,05$ , порівняно зі свіжознесеними яйцями, \*\* –  $p\leq 0,05$ , порівняно зі зберіганням яєць за  $4\pm 0,5$  °C

Після згодовування курям-несучкам астаксантину в дозі 30 мг/кг корму відбулось зростання МАФAM у жовтках курячих яєць, які зберігались протягом 30 діб за температури  $4\pm 0,5$  °C та вологості 80–85 % на 11,7 %, а за температури  $12\pm 0,5$  °C – на 20,4 %, порівняно з контролем.

порівняно з контролем, а у разі зберігання яєць за температури  $12\pm 0,5$  °С та вологості 70–75 % – на 22,5 %. Чисельність мезофільних аеробних і факультативно анаеробних мікроорганізмів в жовтках курячих яєць, отриманих від курей-несучок, яким у комбікорм додавали добавку астаксантину в дозі 30 мг/кг корму за зберігання в умовах  $4\pm 0,5$  °С на 12,2 % нижча, порівняно зі зберіганням яєць за  $12\pm 0,5$  °С (табл. 3.19).

Таким чином, можна зробити висновок, що згодовування курям-несучкам добавок лікопіну в дозах 20, 40 та 60 мг/кг комбікорму чи астаксантину в дозах 10, 20 та 30 мг/кг комбікорму протягом 30 діб поспіль не впливало як на чисельність МАФAM на поверхні шкаралупи свіжознесених яєць, так і в жовтках. Зберігання курячих яєць, збагачених різними дозами лікопіну чи астаксантину в умовах  $4\pm 0,5$  °С та  $12\pm 0,5$  °С протягом 30 діб підвищувало контамінацію поверхні шкаралупи та жовтка яєць МАФAM порівняно зі свіжознесеними яйцями. Зберігання курячих яєць як контрольної групи, так і збагачених різними дозами лікопіну чи астаксантину за температури  $4\pm 0,5$  °С характеризується нижчою чисельністю МАФAM як на поверхні шкаралупи, так і в жовтках, порівняно зі зберіганням яєць за  $12\pm 0,5$  °С.

Матеріали цього підрозділу опубліковано [168, 171].

## РОЗДІЛ 4

### АНАЛІЗ І УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Куряче яйце є одним з найбільш необхідних продуктів. Воно має особливий хімічний склад, в основному білки з засвоюваністю 90%, амінокислоти, жиророзчинні вітаміни (А і D), водорозчинні вітаміни (В<sub>2</sub>, В<sub>6</sub> і В<sub>12</sub>), селен, йод, залізо і цинк і містить лізоцим, які є перспективним засобом для лікування запальних захворювань кишечника [75].

Якість харчових яєць залежить від багатьох факторів, зокрема від гігієни утримання курей, дотримання санітарних вимог під час виробництва, збирання, сортування, зберігання, транспортування та реалізації.

Зберігання яєць викликає зневоднення через втрату води. Рекомендується зберігати харчові яйця за низьких температур, щоб уникнути проблем зі втратою якості білка.

Яйця, призначені для споживання людиною, не повинні мати видимих тріщин, бруду, ознак гниття або згустків крові, і їх слід зберігати в оптимальних умовах, щоб мінімізувати втрату води. У цьому випадку температура описана як найбільш визначальний фактор. Повідомляється, що температура вище 20°C може спричинити різкі зміни якості яєць, порівняно з яйцями, що зберігаються за низьких температур. Також деякі автори описали, що температура, відносна вологість, рух повітря та тривалість зберігання негативно впливають на внутрішню частину яйця, що призводить до зниження якості та меншої привабливості для споживача.

Проведеними дослідженнями було вивчено вплив барвників жовтків лікопіну та астаксантину на морфологічні показники курячих яєць під час їх зберігання за температури  $4\pm 0,5$  °C і відносної вологості 80–85 % та  $12\pm 0,5$  °C і відносної вологості 80–85 % впродовж 30 діб.

Встановлено, що якість яєць за показниками їх морфологічного складу знижувалася зі збільшенням температури зберігання до  $12\pm 0,5$  °C порівняно з

аналогічними показниками за температури  $4\pm 0,5$  °C впродовж 30 діб зберігання.

Слід зазначити, що міцність яєчної шкаралупи є важливим показником якості яєць. На міцність яєчної шкаралупи, в основному, впливає засвоєння кальцію та фосфору з раціону курей [69]. У наших дослідженнях рівень лікопіну та астаксантину в комбікормі курей не впливали на масу шкаралупи яєць, порівняно з контролем.

Швидкість втрати маси яєць під час їх зберігання є важливим показником для визначення оцінки свіжості яєць, яка безпосередньо пов'язана з їх економічною цінністю [152]. У попередніх дослідженнях було показано, що термін зберігання та температура помітно впливають на втрату маси яєць [53, 130]. Крім того, зі збільшенням часу зберігання за  $12\pm 0,5$  °C втрата маси яєць збільшувалася, а маса жовтка та шкаралупи не змінювалися. У проведеному нами дослідженні втрата маси яєць зростала в процесі зберігання як під впливом лікопіну, так і астаксантину за температури  $12\pm 0,5$  °C.

Проведені нами дослідження показали, що під час зберігання яєць за  $4\pm 0,5$  °C і  $12\pm 0,5$  °C маса жовтка та шкаралупи залишалися незмінними, а втрата маси яєць збільшувалася за рахунок білка, що узгоджується з результатами досліджень інших авторів [151, 152]. Більше того, попередні дослідження інших авторів засвідчили, що додавання до корму лікопіну та астаксантину не впливає на якість яєць, за винятком кольору жовтка [149]. Наші ж результати показали, що додавання до комбікорму курей-несучок лікопіну та астаксантину не впливало на масу жовтка та шкаралупи яєць.

Цікаво, що зберігання яєць за  $4\pm 0,5$  °C у разі згодовування курям-несучкам як лікопіну, так і астаксантину не призводило до змін якості яєць стосовно морфологічних показників. Відомо, що лікопін та астаксантин успішно використовують для поліпшення пігментації яєчних жовтків або м'яса птиці [142, 149]. Крім того, лікопін та астаксантин можуть поглинати вільні радикали шляхом самоокиснення, що пов'язано з деградацією каротиноїдів через перенесення збуджених електронів синглетного кисню в

каротиноїдний ланцюг [40, 70]. Підвищення активності антиоксидантних ферментів, наприклад, глутатіонпероксидази в жовтку та білку може покращити антиоксидантні властивості яєць [106]. У цьому дослідженні затримка зниження маси жовтка могла бути частково пов'язана зі збільшенням стійкості та зменшенням деформації мембрани вітелліну, спричиненої, в свою чергу, наявністю кінцевого кільця каротиноїдів, що зв'язується з клітинною мембраною [49]. Причиною різниці маси яєць за зберігання за температурного режиму  $12 \pm 0,5$  °C може бути їх внутрішнє окиснення, яке відбувається швидше за більш високих температур, а лікопін та астаксантин не можуть ефективно запобігти цьому процесу.

Під час зберігання яєць маса жовтка залишається незмінною через поглинання води з білка або перекисного окиснення ліпідів поліненасичених жирних кислот [151]. У проведених нами дослідженнях маса жовтка яєць не збільшувалася впродовж всього терміну зберігання, що узгоджується з результатами дослідження інших авторів [149].

Однак виявлено, що добавки лікопіну та астаксантину до комбікорму не впливають на морфологічні показники курячих яєць під час їх зберігання за  $4 \pm 0,5$  °C, що може бути пов'язано з тим, що каротиноїди, в основному, відкладаються в жовтку [146].

Ці результати можуть бути пов'язані з антиоксидантною здатністю лікопіну та астаксантину. Однак механізм, що лежить в основі цієї взаємодії між каротиноїдами, терміном зберігання та впливу їх на харчові яйця вимагає подальшого вивчення.

Таким чином, було продемонстровано, що добавки лікопіну та астаксантину до комбікорму курей-несучок суттєво не впливали на якість свіжознесених яєць, зокрема, їх морфологічні показники. Дослідження також показали, що лікопін та астаксантин не впливають на морфологічні показники курячих яєць під час зберігання за температури  $4 \pm 0,5$  °C впродовж 30 діб, але змінюються під час їх зберігання за температури  $12 \pm 0,5$  °C. На підставі отриманих результатів дослідження рекомендуємо використання добавок

лікопіну та астаксантину в раціонах для курей-несучок з метою поліпшення забарвлення жовтків харчових яєць, але зберігати такі харчові яйця, збагачені лікопіном чи астаксантином, бажано за температури  $4\pm 0,5$  °C впродовж 30 діб.

На тривалість зберігання харчових яєць впливає значна кількість факторів, зокрема, температурно-вологісний режим та хімічний склад яєць. До біологічно активних сполук, які входять до складу яєць, і здатні впливати на тривалість їх зберігання відносяться вітаміни та каротиноїди, особливо барвники жовтків такі як лікопін та астаксантин.

Хімічний склад – це показник, що визначає якість курячих яєць. З урахуванням втрати вологи під час зберігання яєць за температури  $12\pm 0,5$  °C та вологості 70–75 % відбувається підвищення втрати води через пори шкаралупи [166] і, в свою чергу, призводить до зменшення маси яйця. Втрати, як видно з отриманих результатів досліджень, корелюють із даними проведених досліджень [38], які підтверджують, що на зберігання яєць впливають температура, швидкість руху і відносна вологість повітря в камері для зберігання.

Результати досліджень вказують на взаємозв'язок між змінами хімічного складу і тривалістю зберігання яєць, що узгоджується з результатами, отриманими іншими дослідниками [89]. Крім того, останній виявив зв'язок між масою яйця і пігментацією жовтка.

В процесі зберігання всередині яйця відбуваються як фізичні, так і хімічні зміни [77]. Однак інтенсивність цих змін залежить, в основному, від температури і часу зберігання. Як правило, коли яйця зберігаються впродовж тривалого часу, відбувається витончення білка і підвищення величини рН внаслідок викиду  $\text{CO}_2$  через пори шкаралупи [7]. Крім того, білок містить великий відсоток води (88 %) і власне білка, особливо, овомуцину, що надає білку в'язкості, еластичності та природної консистенції [60]. Отже, втрата води є наслідком тривалого зберігання і високої температури, що знижує вміст альбуміну і термін зберігання яєць [77]. Цього не відбувалося в яйцях, що зберігаються за контрольованої низької температури. У цьому сенсі згідно з

наведеними з результатами, виявлене поступове зниження показників, пов'язаних зі свіжістю яєць. Ці результати підтверджують, що за контрольованої температури ( $4\pm 0,5$  °C) і 30-добовому зберіганні в яйцях відбуваються помітні зміни, але набагато менші, ніж за температури  $12\pm 0,5$ °C. Ці яйця не зазнали значних несприятливих змін навіть за зберігання впродовж 30 діб і залишалися свіжими.

Крім результатів, представлених окремими дослідниками [5, 132], які співпадають з отриманими нами даними, необхідно звернути увагу на інші показники яєць, що зберігаються за контрольованих низьких температур, і можуть стати відправною точкою для розуміння того, як температура зберігання впливає на пігментацію жовтка. Ці дані можливо використати для прогнозування втрати пігментів і вітаміну А в яйці в процесі зберігання. Однак для перевірки цієї гіпотези потрібні додаткові дослідження.

Отримані нами дані свідчать про незначне зниження вмісту вологи в яйцях, оскільки температура як основний параметр навколишнього середовища залишається стабільною і не перевищує  $4\pm 0,5$  °C [77]. В цих дослідженнях показано, що погіршення якості яєць, що зберігаються за контрольовано низької температури ( $4\pm 0,5$  °C) менш серйозне, порівняно з їх зберіганням за температури  $12\pm 0,5$  °C.

Отже, встановлено, що умови зберігання впливають на якість яєць. Вплив тривалості і типу зберігання яєць може бути пов'язано із втратою води, білка, маси яйця і, загалом, його свіжості [149]. Таким чином, кормові добавки можуть бути корисні для покращення якості під час зберігання яєць.

Вміст сухої речовини в білку також використовується в якості індикатора свіжості яєць і пов'язана з розрідженням білка. У цьому дослідженні нами було визначено вплив температури і терміну зберігання на вміст сухої речовини. Вміст сухої речовини в білку збільшується з часом зберігання в результаті розрідження білка. Процес розрідження білка може бути посилений взаємодією між лізоцимом і овомуцином.



Використання каротиноїдів як барвників жовтків харчових яєць обумовлено надходженням їх в організм курей несучок та впливом на метаболічні процеси у тканинах організму [113]. В нашому експерименті добавки лікопіну до комбікорму курей-несучок в дозах від 20 до 60 мг/кг, а також астаксантину в дозах від 10 до 30 мг/кг суттєво не впливали на зберігання яєць курей, що отримували добавки лікопіну чи астаксантину в різних дозах, як в умовах 4 °С, так і за 12 °С протягом 30 діб суттєво не впливало на вміст вітаміну А в жовтках. Цей факт має важливе значення, особливо для споживачів азіатських [67] або європейських [68] країн, що можуть купувати яйця, які зберігаються за кімнатної температури від різних виробників (фермери, місцеві ринки чи магазини).

Отримані нами дані свідчать також про вищу інтенсивність забарвлення жовтків яєць за збагачення дієти курей добавками астаксантину, порівняно з лікопіном. За використання в раціоні курей кукурудзи в базовій дієті доза астаксантину 20 мг/кг корму дозволяє підвищити забарвлення жовтка з 6 до 14 балів, тоді як добавка лікопіну навіть у дозі 60 мг/кг підвищує цей показник лише до 10 балів за 15-бальною шкалою. Аналіз загального вмісту каротиноїдів у жовтках свіжознесених яєць курей, що отримували добавки лікопіну в дозі 20, 40 та 60 мг/кг корму, показав відсутність вірогідної різниці між ними. Не виявлено також суттєвої різниці в загальному вмісті каротиноїдів у жовтках яєць курей, яким згодовували добавки астаксантину 10, 20 та 30 мг/кг корму. Це може бути пов'язано з ефектом насичення, оскільки лікопін та астаксантин в наростаючих дозах надходили в раціон курей-несучок протягом 90 діб. Наші результати досліджень узгоджуються з даними проведеного регресійного аналізу, [98], який показав, що 420 мг лікопіну на 1 кг корму повинен забезпечити оптимальне включення його до яєчного жовтка, однак насичення механізмів всмоктування в кишечнику, ймовірно, знизило ефективність поглинання. Кількість лікопіну, що потрапляє в яєчний жовток, становила приблизно 4,5% за дози 65 мг/кг корму і зменшувалася до 0,6 % за збільшення вмісту лікопіну до 650 мг/кг корму.

Зберігання яєць курей, що отримували добавки лікопіну та астаксантину в різних дозах, протягом 30 діб в умовах 4 °С та за 12 °С не впливало на загальний вміст каротиноїдів у жовтках, що узгоджується з результатами досліджень [101], які використовували добавки лляного насіння та томатно-червоної перцевої суміші в годівлі курей. Оптимальний термін зберігання каротиноїдів у жовтках становить до 6 тижнів за зберігання в охолодженому стані [94].

Відомо також, що зберігання яєць впродовж 35 діб за температурного режиму 26,5 °С знижує загальний вміст каротиноїдів у жовтках з 28,55 до 22,09 мкг/г, а за температури 7,9 °С – з 28,55 до 23,57 мкг/г [15]. В іншому випадку зберігання яєць протягом 8 тижнів за температури 2 °С не впливало на загальний вміст каротиноїдів в яєчному жовтку, а після 15 тижнів зберігання їх загальний рівень знижувався з 28,55 до 27,03 мкг/г [45]. Це дозволяє зробити висновок про залежність терміну зберігання каротиноїдів у жовтках як від їх виду, концентрації та співвідношення з іншими компонентами раціону курей, так і температури та тривалості зберігання яєць.

Одним із важливих факторів, що визначають біологічну цінність курячих яєць, є вміст насичених та ненасичених жирних кислот у жовтках, а також співвідношення різних груп поліненасичених жирних кислот [33]. Крім того нині існує велика кількість досліджень, присвячених збагаченню курячих яєць поліненасиченими жирними кислотами, які дозволяють регулювати в жовтках  $\omega 3/\omega 6$  ПНЖК [48].

Отримані результати досліджень свідчать, що температурні режими зберігання курячих яєць  $4\pm 0,5$  °С і  $12\pm 0,5$  °С суттєво не відрізняються за впливом на співвідношення жирних кислот у жовтках. Аналогічні результати отримано в дослідженні [32], які не виявляли значної різниці у співвідношенні  $\alpha$ -ліноленової кислоти, арахідонової та докозагексаєнової кислот у жовтках за зберігання яєць від 4 °С до 20 °С протягом 6 тижнів.

Відомо, що під час зберігання харчових яєць в жовтках відбуваються зміни, характерні для окиснення ліпідів і окремих жирних кислот, а, отже,

зниження їх абсолютного вмісту [87]. Окиснення ліпідів – це процес, який впливає на їх стабільність у яєчному жовтку під час зберігання. Це може змінити якість харчових яєць і призвести до погіршення смаку, аромату та кольору, а також до утворення токсичних речовин у яйцях [150]. Одним із факторів, що характеризує інтенсивність окиснення ліпідів, є рівень малонового диальдегіду у жовтках яєць. Виявили [108], що концентрація малонового диальдегіду в жовтках яєць зростала після зберігання за 4°C протягом 60 та 90 діб. Збагачення жовтків курячих яєць  $\omega_3$  та  $\omega_6$  жирними кислотами теж стимулювало процес утворення малонового диальдегіду за зберігання в умовах 4°C протягом 30 та 60 днів [123], що також свідчить про процес автоокиснення ліпідів у жовтках. Цей же факт підтверджено в дослідженнях [20, 23], які повідомляли про зниження загального вмісту  $\omega_3$  жирних кислот в жовтках яєць курей, яких годували рибацьким жиром або оливковим листям, після 60 днів зберігання за 4 ° C.

Таке руйнування жирних кислот у жовтках у нашому досліді відбувалося під час зберігання яєць впродовж 30 діб як в умовах за  $4 \pm 0,5$  °C, так і  $12 \pm 0,5$  °C та сприяло зменшенню частки НЖК в основному за рахунок двох основних насичених жирних кислот – гексадеканової і октадеканової. Попри це в жовтках яєць частка ННЖК підвищувалася в основному за рахунок МНЖК, що певною мірою нормалізувало співвідношення НЖК до НЖК, яке набуло бажаного для ліпідів харчових продуктів і досягло межі 1:1 [87]. Серед ННЖК під час зберігання харчових яєць відбувається руйнування  $\omega_3$  ПНЖК, тоді як частка  $\omega_6$  ПНЖК на цьому фоні дещо підвищується, що збільшує зсув  $\omega_3/\omega_6$  ПНЖК майже на 5 одиниць за обох режимів зберігання яєць.

Запобігання автоокисненню жирних кислот у жовтках курячих яєць можна досягти за допомогою добавок антиоксидантів у корми для курей, таких як вітамін Е [18], джерел натуральних флавоноїдів, а також каротиноїдів [51].

Згодовування курям-несучкам добавок лікопіну в нашому експерименті суттєво впливало на профіль жирних кислот у жовтках харчових яєць за обох режимів зберігання. При цьому більшість жирних кислот, які входили до

структури ліпідів жовтка яєць, зазнавали змін. З урахуванням того факту, що всі жирні кислоти жовтка курячих яєць, які зберігалися за різних температурних режимів, могли піддаватися лише екзогенним впливам, можна стверджувати лише про зміну їх співвідношення з позиції стійкості до окислення за різних доз лікопіну в раціоні курей, а, отже, і в самих яйцях [127]. Таким чином, згодовування курям-несучкам добавки лікопіну в дозі 20 мг/кг комбікорму сприяло поліпшенню збереженості в жовтках яєць вмісту однієї з основних насичених кислот – гексадеканової, однак це не стосувалося октадеканової кислоти частка якої знижувалася, що не впливало на баланс НЖК під час їх зберігання. При цьому частка МНЖК підвищувалася, а ПНЖК знижувалась у жовтках яєць за рахунок  $\omega 3$  ПНЖК та  $\omega 6$  ПНЖК.

Застосування лікопіну в дозі 40 мг/кг комбікорму для курей-несучок попереджувало окиснення основних насичених жирних кислот жовтків яєць, а також окремих  $\omega 3$  ПНЖК та  $\omega 6$  ПНЖК, але як і доза 60 мг/кг в кінцевому результаті це сприяло зсуву співвідношення  $\omega 3$  ПНЖК/ $\omega 6$  ПНЖК на користь останніх. Зі збільшенням дози лікопіну до 40 та 60 мг/кг комбікорму зміни профілю жирних кислот у жовтках курячих яєць за обох режимів зберігання посилювалися, що виражалось у зникненні піків двох  $\omega 6$  ПНЖК – 6,9,12-октадекатрієнової і цис-8,11,14-ейкозатрієнової, які не є основними, тоді як частка 9,12-октадекадієнової, яка є основною  $\omega 6$  ПНЖК в жовтках, підвищувалася. Це може бути пов'язано як з впливом лікопіну на активність процесів синтезу даних жирних кислот в організмі [13], так і з процесом антиоксидантного захисту їх від руйнування під час зберігання [14].

Як показано в дослідженні [100, 101] включення в раціон курей антиоксидантів, зокрема, джерел лікопіну (сушені томати, червоний перець) може певним чином впливати на окиснювальну стабільність ліпідів жовтків яєць під час зберігання. При цьому дієта з лляним насінням (4,5 %) у поєднанні з солодким червоним перцем та сумішшю томатів (2 %) обумовлювала вищу окисну стабільність ліпідів, ніж дієта з лляним насінням. Зберігання яєць знизило антиоксидантну активність жовтків, але не знижувало стабільність

ліпідів до окиснення. В іншому дослідженні [3] показано, що концентрації лікопіну,  $\beta$ -каротину, лютеїн і вітаміну А сироватки крові та яєчного жовтка зростали на фоні зниження концентрації малонового діальдегіду за використання в комбікормі для курей-несучок томатного порошку в дозах 5 і 10 г/кг корму.

Загалом як свідчать дані, отримані в нашому експерименті, чіткої закономірності щодо впливу дози лікопіну на жирнокислотний профіль жовтків курячих яєць під час зберігання не простежується, однак зміни співвідношення жирних кислот як насиченого, так і ненасиченого рядів майже не відрізнялися за обох температурних режимів.

Використання астаксантину в раціоні курей-несучок обумовлено його здатністю не лише забарвлювати жовтки, але й антиоксидантними властивостями. Відомо, що в основі механізму дії астаксантину є його здатність поглинати вільні радикали шляхом автоокислення з наступною деградацією цього каротиноїду [40, 70]. Крім того астаксантин *H. Pluvialis* підвищує активність ферментів антиоксидантного захисту таких як супероксиддисмутаза, глутатіонпероксидаза та загальна антиоксидантна здатність на фоні зниження рівня малонового діальдегіду у плазмі крові, печінці курей-несучок та яєчному жовтку [44].

Використання в нашому експерименті в годівлі курей-несучок астаксантину *H. Pluvialis* дозозалежним чином впливало на профіль жирних кислот у ліпідах жовтків яєць як свіжознесених, так і під час зберігання за різних температурних режимів (див. табл. 3.11-3.16). При цьому серед насичених жирних кислот жовтків під час зберігання яєць відбувся перерозподіл таким чином: частка гексадеканової кислоти збільшувалась у структурі ліпідів жовтків яєць лише до досягнення дози астаксантину 20 мг/кг комбікорму, а за дози 30 мг/кг її значення вірогідно знижувалось, тоді як частка другої з основних насичених кислот жовтків яєць – октадеканова зазнавала зниження за всіх доз астаксантину в раціоні курей. В цей же період основна мононенасичена кислота жовтків курячих яєць цис-9-октадецена

демонструвала підвищення частки в структурі ліпідів. У жовтках яєць під час зберігання добавка астаксантину в дозі 10 мг/кг раціону курей-несучок сприяла збільшенню частки основної  $\omega 6$  ПНЖК 9,12-октадекадієнової, тоді як у вищих дозах відмічено зниження її частки в структурі ліпідів жовтків. Крім цього доза астаксантину 10 мг/кг спричиняла зникнення піку на хроматограмі жовтків лише однієї  $\omega 6$  ПНЖК 6,9,12-октадекатрієнової, тоді як за дози астаксантину 20 мг/кг в раціоні курей зникала ще й цис-8,11,14-ейкозатрієнова, а доза 30 мг/кг раціону спричиняла додатково зникнення ще трьох коротколанцюгових кислот додеканової і тетрадеканової, а також цис-9-тетрадецененової під час зберігання яєць. Ці зміни у складі жирних кислот жовтків за обох режимів зберігання яєць можуть бути обумовлені ліполізом та окисненням ліпідів [150]. Під час зберігання яєць ліпіди можуть гідролізуватися ендогенними ферментами у жовтку з вивільненням вільних жирних кислот, а процес перекисного окислення ліпідів може сприяти утворенню і накопиченню гідропероксидів та вторинних продуктів окислення.

Одержані нами дані щодо коливання МНЖК у жовтках при зберіганні яєць за використання добавок лікопіну чи астаксантину в раціоні курей-несучок узгоджуються з даними [110] щодо розподілу жирних кислот у жовтках збагачених  $\omega 3$  ПНЖК за зберігання в умовах 4 °С.

Зникнення і перерозподіл ряду насичених та ненасичених жирних кислот у жовтках свіжознесених курячих яєць в нашому експерименті, ймовірно, може свідчити про вплив різних доз астаксантину на активність десатурази  $\Delta^6$  у тканинах курей, а також складний механізм конкуренції за цей же фермент незамінних поліненасичених жирних кислот у процесі пролонгації вуглецевого ланцюга [29]. У свою чергу зникнення окремих насичених жирних кислот у жовтках під впливом різних доз астаксантину під час зберігання курячих яєць потребує подальших досліджень. Порівняти отримані нами результати досліджень з даними інших вчених досить складно, оскільки в літературі дуже обмаль такої інформації [56]. Більшість дослідників для

модифікації жирнокислотного складу ліпідів жовтків харчових яєць використовували джерела різних олій [139].

Як видно з отриманих результатів досліджень, зберігання харчових курячих яєць, збагачених лікопіном чи астаксантином [126], за обох температурних режимів сприяє досягненню співвідношення НЖК до МНЖК в межах 1:1, яке відповідає фізіологічним параметрам для людини [87].

Отримані результати досліджень свідчать, що зберігання харчових яєць, отриманих від курей, яким не згодовували добавки каротиноїдів, сприяє підвищенню співвідношення  $\omega 3/\omega 6$  ПНЖК з 1:12,76 до 1: 17.57, 17.34 залежно від температурного режиму, що є не бажаним для здоров'я споживачів. Тоді як згодовування курям-несучкам добавки лікопіну в дозі 60 мг/кг корму може забезпечити це співвідношення у свіжознесених яйцях на рівні 1:7.95, а протягом періоду зберігання – 1:10.28, 1:10.40 (табл. 3.13). Ще краще у цьому відношенні діє добавка астаксантину в раціоні для курей-несучок: вже починаючи з дози 20 мг/кг комбікорму можна досягти співвідношення  $\omega 3/\omega 6$  ПНЖК у жовтках свіжознесених яєць на рівні 1:9.95 у, а в дозі 30 мг/кг корму – відповідно 1:9.35. При цьому важливим є збереження цього співвідношення за обох режимів зберігання яєць (табл. 3.14-3.16). Дослідники сходяться на думці, що оптимальне співвідношення  $\omega 3/\omega 6$  ПНЖК не повинно перевищувати 1:2–1:4. Це пов'язано з тим, що харчовий дисбаланс у поліненасичених жирних кислотах (надлишок  $\omega 6$  і дефіцит  $\omega 3$ ) є основною причиною багатьох хронічних захворювань, включаючи серцево-судинні захворювання, рак, запальні захворювання, аутоімунні захворювання та багато фізіологічних порушень у людини [16].

Якість столових яєць оцінюють за мікробіологічними показниками. Свіжознесені яйця, як правило, мають найвищу якість, яка знижується під час їх зберігання. Швидкість змін залежить від умов зберігання, зокрема, тривалості, температури і відносної вологості. Зберігання яєць у холодильнику визначає збереження показників якості [63]. Інші дослідження показали, що оптимальною температурою зберігання яєць є 4 °C [21, 52].

Розміщення яєць на полицях торговельної мережі за кімнатної температури після холодильного зберігання може призвести до конденсації води на шкаралупі і, таким чином, створити сприятливі умови для розвитку мікроорганізмів. Тому, якщо можливо, яйця слід зберігати та транспортувати за постійної температури і їх не слід охолоджувати перед реалізацією кінцевим споживачам [25].

Немаловажну роль під час зберігання яєць відіграють мікроорганізми, наявність яких погіршують не тільки якість, але і безпечність білка та жовтка [34, 11].

Оскільки під час зберігання захисні механізми яєць втрачаються, тому бактерії та гриби можуть проникати через шкаралупу та підшкаралупні оболонки [144]. На поверхні яєчної шкаралупи можна виявити бактерії родів *Salmonella*, *Shigella*, *Proteus* і *Escherichia* [47]. Мікрофлора яйця також містить такі роди бактерій як *Pseudomonas*, *Proteus*, *Alcaligenes*, *Serratia*, *Acinetobacter*, *Moraxella* та *Citrobacter* spp., що спричиняє гниття, невластиві зміни кольору білка та жовтка і гнильний запах [27].

Окрім бактерій, мікроскопічні гриби *Alternaria*, *Chaetomium*, *Fusarium*, *Stemphylium*, *Mucor*, *Rhizopus* також є важливими мікроорганізмами, які можна виявити в столових яйцях [144]. Вони виробляють мікотоксини (афлатоксин, охратоксин, трихотецени типу А і В, моніліформін, зеараленон, фумонізін), які негативно впливають на безпечність харчових яєць [30, 31].

Необхідно зазначити, що згодовування курям-несучкам комбікорму з вмістом лікопіну та астаксантину у різних дозах практично не впливало на мікробне обсіменіння як шкаралупи, так і жовтків свіжознесених яєць, так і в процесі їх зберігання впродовж 30 діб.

Результати досліджень мікробіологічних показників яєць під час їх зберігання впродовж 30 діб свідчить про те, що яйця, які зберігалися за температури  $12 \pm 0,5$  °С, мали вище мікробне обсіменіння як шкаралупи, так і жовтка, ніж яйця, які зберігалися за температури  $4 \pm 0,5$  °С (температура охолодження). Це пов'язано з тим, що муцинова оболонка на поверхні



шкаралупи яєць, що зберігаються за температури  $12 \pm 0,5$  °C, так як і температури навколишнього середовища, швидше висихає і починає скорочуватися, що призводить до збільшення кількості пор шкаралупи, полегшує проникнення мікроорганізмів всередину і вихід із шкаралупи. В даному питанні наші дослідження узгоджуються з дослідженнями інших вчених, які проводили свої дослідження з використанням різних сероваріантів сальмонел. Ці дослідження свідчать, що контамінація мікроорганізмами поверхні і вмістимого яєць залежить від температури їх зберігання. Зокрема, за низької (6 °C) і кімнатної температур (25 °C) сероваріант *S. enterica* Virchow не виявлявся на яєчній шкаралупі через 2 тижні, тоді як сероваріант *S. enterica* Enteritidis можна було виявити лише спорадично за температури 25 °C. В яйцях сероваріант *S. enterica* Virchow виживав до 6 тижнів за температури 6°C, і його чисельність суттєво збільшувалась до 10 КУО/мл від 2 до 8 тижнів після інокуляції за температури 25 °C. Результати досліджень показують, що за температури 6 °C зберігання *S. enterica* Virchow може досягати 6 тижнів, а за кімнатної температури ці бактерії можуть розмножуватися в яйцях і досягати високих концентрацій [80].

Аналогічні дані були отримані і під час дослідження сероваріанту *Salmonella enterica* у яйцях. Яйця, які зберігалися за температур 10 °C і 20 °C, показали незначний або відсутній ріст бактерій цього сероваріанту протягом 6 тижнів, тоді як зберігання за температури 30°C збільшило відсоток яєць, які містили  $>10^6$  КУО через 3 тижні. Таким чином, зберігання яєць за температур 10 °C і 20 °C може контролювати ріст *Salmonella enterica*, хоча також слід брати до уваги температуру під час транспортування яєць з ферми до столу.

Таким чином, можна заключити, що більшість досліджень щодо впливу температури зберігання на якість та безпечність яєць присвячено патогенним мікроорганізмам, зокрема різним сероваріантам *Salmonella*, тоді як вплив біологічно активних добавок таких як каротиноїди – лікопін та астаксантин в цьому відношенні вивчені не достатньо повно.

Тому отримані результати досліджень мають важливе значення для теорії і практики, особливо щодо режимів зберігання збагачених каротиноїдами харчових яєць.

## ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі зроблено санітарно-гігієнічну оцінку використання добавок лікопіну та астаксантину курям-несучкам для збагачення харчових яєць каротиноїдами та посилення забарвлення жовтків за різних режимів їх зберігання. На підставі отриманих даних доведено, що лікопін та астаксантин не впливають на морфологічні характеристики, хімічний склад, вміст вітаміну А та мікробне обсіменіння свіжознесених яєць та під час їх зберігання за різних температурних режимів на фоні поліпшення їх каротиноїдного складу та забарвлення жовтків. Доведено вплив каротиноїдів на жирнокислотний склад жовтків яєць за різних режимів зберігання, науково обгрунтовано оптимальні дози застосування лікопіну та астаксантину в раціоні курей-несучок та температурно-вологісні режими зберігання збагачених каротиноїдами харчових яєць.

1. Зберігання харчових яєць, одержаних від курей-несучок, яким згодовували лікопін в дозах 20, 40, 60 мг/кг та астаксантин в дозах 10, 20, 30 мг/кг за  $4\pm 0,5$  °С і вологості 80–85% суттєво не впливає на вміст сухої речовини, вологи, сирого протеїну, сирого жиру, сирого золи, загального фосфору і кальцію та морфологічні показники.
2. Згодовування курям-несучкам добавок лікопіну в дозах 20, 40, 60 мг/кг чи астаксантину в дозах 10, 20, 30 мг/кг сприяє зниженню маси яєць за рахунок зменшення маси білка впродовж 30 діб їх зберігання за температури  $12\pm 0,5$  °С і відносної вологості 70–75 %.
3. Лікопін в дозах 20, 40 та 60 мг/кг та астаксантин в дозах 10, 20 та 30 мг/кг комбікорму не впливають на вміст вітаміну А в жовтках свіжознесених яєць, а також за зберігання їх за температур 4 °С та 12 °С впродовж 30 діб.
4. Лікопін в дозах від 20 до 60 мг/кг комбікорму забезпечує збагачення жовтків курячих яєць каротиноїдами і поліпшення їх забарвлення в межах

від 7,6 до 10,0 балів за 15 бальною кольоровою шкалою, яке не залежить від температурного режиму їх зберігання.

5. Астаксантин в дозах від 10 до 30 мг/кг комбікорму збагачує жовтки курячих яєць каротиноїдами значно ефективніше, ніж лікопін і створює кольорову шкалу жовтків свіжознесених яєць від 11,0 до 14,2 балів за 15 бальною кольоровою шкалою і не змінює її за різних режимів їх зберігання.
6. Зберігання харчових яєць за  $4\pm 0,5$  °C і відносної вологості 80–85 % та  $12\pm 0,5$  °C і відносної вологості 70–75 % однаково впливають на жирнокислотний склад жовтків яєць, отриманих від курей, яким згодовували добавки лікопіну в дозах 30, 40 та 60 мг/кг чи астаксантину в дозах 10, 20 та 30 мг/кг комбікорму впродовж 30 діб.
7. Збільшення дози лікопіну від 20 до 60 мг/кг чи астаксантину від 10 до 30 мг/кг в раціоні курей-несучок сприяє зниженню частки  $\omega_6$  ПНЖК: цис-8,11,14-ейкозатрієнової та 6,9,12-окадекатрієнової кислот аж до повного їх зникнення в жовтках свіжознесених і яєць за обох температурних режимів зберігання. Астаксантин в раціоні курей-несучок більшою мірою знижує і стабілізує співвідношення  $\omega_3/\omega_6$  ПНЖК у жовтках за зберігання яєць, ніж добавка лікопіну.
8. Згодовування курям-несучкам добавок лікопіну в дозах 20, 40 та 60 мг/кг чи астаксантину в дозах 10, 20 та 30 мг/кг комбікорму впродовж 30 діб не впливає на кількість МАФAM на поверхні шкаралупи і в жовтках свіжознесених яєць.
9. Зберігання курячих яєць, збагачених лікопіном чи астаксантином за температури  $4\pm 0,5$  °C та  $12\pm 0,5$  °C протягом 30 діб підвищувало контамінацію поверхні шкаралупи та жовтка яєць МАФAM, порівняно зі свіжознесеними яйцями. Під час зберігання курячих яєць, збагачених різними дозами лікопіну чи астаксантину за температури  $12\pm 0,5$  °C підвищується чисельність МАФAM на поверхні шкаралупи і в жовтках, порівняно з їх значенням за температури  $4\pm 0,5$  °C.

## ПРОПОЗИЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

1. Для збагачення курячих яєць каротиноїдами та забезпечення стабільного забарвлення жовтків під час зберігання за  $4\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  і відносної вологості 80–85 % та  $12\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  і відносної вологості 70–75 % впродовж 30 діб необхідно вводити в комбікорм курей-несучок лікопін в дозах від 20 до 60 мг/кг, а також астаксантин – від 10 до 30 мг/кг комбікорму. Добавка лікопіну в комбікорм для курей-несучок забезпечує забарвлення жовтків у межах від 7,6 до 10,0 балів, а астаксантину – від 11,0 до 14,2 балів за 15 бальною кольоровою шкалою.
2. Зберігати харчові яйця, збагачені лікопіном чи астаксантином доцільно за температури  $4\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ , що більшою мірою дозволяє стабілізувати морфологічні, хімічні (зокрема вміст вологи, білку, загальний вміст каротиноїдів і вітаміну А) показники та обсіменіння яєць мікроорганізмами.
3. Для зниження і стабілізації співвідношення  $\omega_3/\omega_6$  ПНЖК у жовтках за зберігання яєць більш ефективним є згодовування курям-несучкам астаксантину, ніж лікопіну.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Agarwal, S., & Rao, A. V. (2000). Tomato lycopene and its role in human health and chronic diseases. *Canadian Medical Association Journal*, 163(6), 739–744.
2. Ahn, D. U., Sell, J. L., Jo, C., Chamruspollert, M., & Jeffrey, M. (1999). Effect of dietary conjugated linoleic acid on the quality characteristics of chicken eggs during refrigerated storage. *Poultry Science*, 78(6), 922–928. doi:10.1093/ps/78.6.922
3. Akdemir, F., Orhan, C., Sahin, N., Sahin, K., & Hayirli, A. (2012). Tomato powder in laying hen diets: effects on concentrations of yolk carotenoids and lipid peroxidation. *British Poultry Science*, 53(5), 675–680). doi:10.1080/00071668.2012.729142
4. Akyurek, H., & Okur, A.A. (2009). Effect of storage time, temperature and hen age on egg quality in free-Range layer hens. *Animal and Veterinary Advances*, 8(10), 1953-1958.
5. Alay, T., & Karadas, F. (2016). The effects of carotenoids in quail breeder diets on egg yolk pigmentation and breeder performance. Section A Animal science. *Acta Agriculturae Scandinavica*, 66, 206-214. doi: 10.1080/09064702.2017.1330360.
6. Al-Hajo, N. N., Zangana, B. S., Al-Janabi, L. A., & Al-Khalani, F. M. H. (2012). Effect of coating materials (gelatin) and storage time on internal quality of chicken and quail eggs under refrigerated storage. *Egyptian Poultry Science Journal*, 32(1), 107-115.
7. Alsobayel, A.A., & Albadry, M.A. (2011). Effect of storage period and strain of layer on internal and external quality characteristics of eggs marketed in Riyadh area. *Saudi Society of Agricultural Sciences*, 10, 41-45. doi: 10.1016/j.jssas.2010.04.001.

8. Amaya, D. B. (2004). *Harvestplus Handbook for Carotenoids Analysis*. International Food Policy Research Institute (IFPRI) and International Center for Tropical Agriculture (CIAT); Washington, DC, USA.
9. An, B.-K., Choo, W.-D., Kang, C.-W., Lee, J., & Lee, K.-W. (2019). Effects of dietary lycopene or tomato paste on laying performance and serum lipids in laying hens and on malondialdehyde content in egg yolk upon storage. *Poultry Science*, 56 (1), 52–57. doi:10.2141/jpsa.0170118
10. Asensio-Grau, A., Peinado, I., Heredia, A., & Andrés, A. (2018). Effect of cooking methods and intestinal conditions on lipolysis, proteolysis and xanthophylls bioaccessibility of eggs. *Functional Foods*, 46, 579–586. doi:10.1016/j.jff.2018.05.025
11. Attia, Y.A., Al-Harhi, M.A., Korish, M.A., & Shiboob, M.M. (2017). Fatty acid and cholesterol profiles, hypocholesterolemic, atherogenic, and thrombogenic indices of broiler meat in the retail market. *Lipids in Health and Disease*, 16(40), 1–11. doi:10.1186/s12944-017-0423-8.
12. Aydin, R. (2006). Effect of storage temperature on the quality of eggs from conjugated linoleic acid-fed laying hens. South African Journal of Animal Science. 36 (1), 13-19. doi:10.4314/sajas.v36i1.3979
13. A-Young Kim, A. Kim, Yong-Jin Jeong, Y. Jeong, Yong Bok Park, Y. Bok Park, Mi-Kyung Lee, M. Lee, Seon-Min Jeon, S. Jeon, Robin A. McGregor, R. A. McGregor, & Myung-Sook Choi, M. Choi. (2012). Dose dependent effects of lycopene enriched tomato-wine on liver and adipose tissue in high-fat diet fed rats. *Food Chemistry*, 130, 42-48. doi:10.1016/j.foodchem.2011.06.050
14. Bacanlı, M., Başaran, N., & Başaran, A. A. (2017). Lycopene: Is it Beneficial to Human Health as an Antioxidant? *Turkish Journal of Pharmaceutical Sciences*, 14(3), 311–318. doi:10.4274/tjps.43043
15. Barbosa, V. C., Gaspar, A., Calixto, L. F. L., & Agostinho, T. S. P. (2011). Stability of the pigmentation of egg yolks enriched with omega-3 and carophyll stored at room temperature and under refrigeration. *Revista*

- Brasileira de Zootecnia, 40(7). 1540-1544. doi: 10.1590/S1516-35982011000700020.
16. Baucells, M. D., Crespo, N., Barroeta, A. C., López-Ferrer, S., & Grashorn, M. A. (2000). Incorporation of different polyunsaturated fatty acids into eggs. *Poultry Science*, 79(1), 51–59. doi:10.1093/ps/79.1.51
  17. Blesso, C.N. (2015). Egg phospholipids and cardiovascular health. *Nutrients*, 7, 2731–2747. doi:10.3390/nu7042731
  18. Boruta, A., & Niemiec, J. (2005). The effect of diet composition and length of storing eggs on changes in the fatty acid profile of egg yolk. *Animal and Feed Sciences*, 14(1), 427-430. doi:10.22358/jafs/70698/2005
  19. Botsoglou, E., Govaris, A., Fletouris, D., & Iliadis, S. (2013). Olive leaves (*Olea europea* L.) and  $\alpha$ -tocopheryl acetate as feed antioxidants for improving the oxidative stability of  $\alpha$ -linolenic acid-enriched eggs. *Animal Physiology and Animal Nutrition*, 97(4), 740–753. doi:10.1111/j.1439-0396.2012.01316.x
  20. Botsoglou, E., Govaris, A., Pexara, A., & Fletouris, D. (2012). Effect of processing and storage on the fatty acid composition of n-3 or n-6 fatty acid-enriched eggs. *Food Science and Technology* .47, 2388–2396.
  21. Campo, J. L., Garcia Gil, M., Munoz, I., & Alonso, M. (2000). Effects of breed, hen age, and egg storage on the indirect prediction of the albumen quality. *Archiv für Geflügelkunde*, 64(3), 109-114.
  22. Carrillo, S., Ávila, E., Vásquez, C., Calvo, C., Carranco, M., & Pérez-Gil, F. (2012). Modificación en la composición de ácidos grasos del huevo al incluir aceite de sardina y ácido linoleico conjugado en dietas para gallinas ponedoras. *Archivos de Medicina Veterinaria*, 44(3), 243–251. SciELO Agencia Nacional de Investigacion y Desarrollo (ANID). doi:10.4067/s0301-732x2012000300006
  23. Cherian, G., Gonzalez, D., Ryu, K.S., & Goeger, M.P. (2007). Long-term feeding of conjugated linoleic acid and fish oil to laying hens: effects on hepatic histopathology, egg quality, and lipid components. *Applied Poultry*



- Research, 16(3), 420-428. doi:10.1093/japr/16.3.420.
24. Christive, W. W. (1982). *Lipid Analysis: Isolation, Separation, Identification and Structural Analysis of Lipids*. 2nd edn. Oxford, Pergamon Press.
25. Commission Regulation (EC) No 589/2008 of 23 June 2008 laying down detailed rules for implementing Council Regulation (EC) No 1234/2007 as regards marketing standards for eggs <http://data.europa.eu/eli/reg/2008/589/oj>
26. Corrales-Retana, L., Ciucci, F., Conte, G., Casarosa, L., Mele, M., & Serra, A. (2020). Profile of fatty acid lipid fractions of omega-3 fatty acid-enriched table eggs. *Animal Physiology and Animal Nutrition*, 105(2), 326–335. doi:10.1111/jpn.13462
27. Corry, J. E. L. (2007). *Microbiological analysis of eggs and egg products*. Department of Clinical Veterinary Science, University of Bristol Langford, Bristol, BS40 5DU, UK, 183-201.
28. da S., Oliveira, G., Dos Santos, V. M., Rodrigues, J. C., & Santana, Â. P. (2020). Conservation of the internal quality of eggs using a biodegradable coating. *Poultry Science*, 99(12), 7207–7213. doi:10.1016/j.psj.2020.09.057
29. Delgado-Lista, J., Perez-Martinez, P., Lopez-Miranda, J., & Perez-Jimenez, F. (2012). Long chain omega-3 fatty acids and cardiovascular disease: a systematic review. *British Journal of Nutrition*, 107(2), S201–S213. doi:10.1017/S0007114512001596
30. Desjardins, A. E. (2006). *Fusarium Mycotoxins: Chemistry, Genetics and Biology*. St Paul, USA, 260.
31. Desjardins, A. E., & Proctor, R. H. (2007). Molecular biology of *Fusarium mycotoxins*. *International Journal of Food Microbiology*. 119(1-2), 47-50. doi:10.1016/j.ijfoodmicro.2007.07.024.
32. Douny, C., El Khoury, R., Delmelle, J., Brose, F., Degand, G., Moula, N., Farnir, F., Clinquart, A., Maghuin-Rogister, G., & Scippo, M. L. (2015). Effect of storage and cooking on the fatty acid profile of omega-3 enriched eggs and pork meat marketed in Belgium. *Food Science & Nutrition*, 3(2), 140–152. doi:10.1002/fsn3.197

33. Ehr, I. J., Persia, M. E., & Bobeck, E. A. (2017). Comparative omega-3 fatty acid enrichment of egg yolks from first-cycle laying hens fed flaxseed oil or ground flaxseed. *Poultry Science*, 96 (6), 1791–1799. [doi:10.3382/ps/pew462](https://doi.org/10.3382/ps/pew462)
34. Eke, M. O., Olaitan, N. I., & Ochefu, J. H. (2013). Effect of storage conditions on the quality attributes of shell (table) eggs. *Nigerian Food Journal*, 31(2), 18-24.
35. European Commission European Union Register of Feed Additives pursuant to Regulation (EC) No 1831/2003. Annex I: List of additives. Edition 10/2020 (288) [(accessed on 3 January 2021)]; 2019 Available online: [https://ec.europa.eu/food/sites/food/files/safety/docs/animal-feed-eu-reg-comm\\_register\\_feed\\_additives\\_1831-03.pdf](https://ec.europa.eu/food/sites/food/files/safety/docs/animal-feed-eu-reg-comm_register_feed_additives_1831-03.pdf)
36. European Council Directive. Certain Marketing Standards for Eggs. Commission European Communities; Brussels, Belgium: 2006. Chapter II: Grades of eggs. Article 7: Grading of Grade A Eggs of Regulation (EC) No 2295/2003.
37. European Parliament, Council of the European Union . Directive 2010/63/EU of the European Parliament and of the Council of 22 September 2010 on the Protection of Animals Used for Scientific Purposes. Council of Europe; Strasbourg, France: 2010.
38. Feddern, V., Pra, M.C.D., Mores, R., Nicoloso, R.D.S., Coldebella, A., & Abreu, P.G.D. (2017). Egg quality assessment at different storage conditions, seasons and laying hen strains. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 10, 41-45. [doi: 10.1590/1413-70542017413002317](https://doi.org/10.1590/1413-70542017413002317)
39. Figueiredo, T.C., Cançado, S.V., & Viegas, R.P. (2011). Qualidade de ovos comerciais submetidos a diferentes condições de armazenamento (Quality of commercial eggs submitted to different storage conditions) *Journal Zootecnia e Tecnologia e Inspeção de Produtos de Origem Animal*, 63, 712-720. [doi:10.1590/S0102-09352011000300024](https://doi.org/10.1590/S0102-09352011000300024).
40. Fleischmann, C., Bar-Ilan, N., Horowitz, M., Bruchim, Y., Deuster, P., & Heled, Y. (2020). Astaxanthin supplementation impacts the cellular HSP

- expression profile during passive heating. *Cell Stress & Chaperones*, 25(3), 549–558. doi:10.1007/s12192-019-01061-4 N
41. Folch, J., Lees, M., & Sloane-Stanley, G. H. (1957). A simple method for the isolation and purification of total lipides from animal tissues. *Biological Chemistry*, 226(1), 497–509. doi:10.1016/s0021-9258(18)64849-5
42. Gammone, M. A., Riccioni, G., & D'Orazio, N. (2015). Carotenoids: potential allies of cardiovascular health? *Food & Nutrition Research*, 59, 26762. doi:10.3402/fnr.v59.26762
43. Gantois, I., Ducatelle, R., Pasmans, F., Haesebrouck, F., Gast, R., Humphrey, T. J., & Van Immerseel, F. (2009). Mechanisms of egg contamination by *Salmonella Enteritidis*. *FEMS Microbiology Reviews*, 33(4), 718–738. doi:10.1111/j.1574-6976.2008.00161.x
44. Gao, S., Li, R., Heng, N., Chen, Y., Wang, L., Li, Z., Guo, Y., Sheng, X., Wang, X., Xing, K., Ni, H., & Qi, X. (2020). Effects of dietary supplementation of natural astaxanthin from *Haematococcus pluvialis* on antioxidant capacity, lipid metabolism, and accumulation in the egg yolk of laying hens. *Poultry Science*, 99(11), 5874–5882. doi:10.1016/j.psj.2020.08.029
45. Gawrecki, K., Awecki, K., Potkanmski, A., Lipinska, H. (1977). Effect of carophyll yellow and carophyll red added to comercial feeds for laying hens on yolk colour and its stability during short-term refrigeration. *Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu*, 94, 85–93.
46. Gervasi, T., Pellizzeri, V., Benameur, Q., Gervasi, C., Santini, A., Cicero, N., & Dugo, G. (2018). Valorization of raw materials from agricultural industry for astaxanthin and  $\beta$ -carotene production by *Xanthophyllomyces dendrorhous*. *Natural Product Research*, 32(13), 1554–1561. doi:10.1080/14786419.2017.1385024
47. Gondek, M., Szkucik, K., & Bełkot, Z. (2013). Presence of pathogenic microorganisms on the surface of eggs from different hen-housing systems. *Medycyna Weterynaryjna*, 69(6), 374-377.

48. González-Esquerro, R., & Leeson, S. (2001). Alternatives for enrichment of eggs and chicken meat with omega-3 fatty acids. *Canadian Journal of Animal Science*, 81(3), 295–305. [doi:10.4141/a00-092](https://doi.org/10.4141/a00-092)
49. Goto, S., Kogure, K., Abe, K., Kimata, Y., Kitahama, K., Yamashita, E., & Terada, H. (2001). Efficient radical trapping at the surface and inside the phospholipid membrane is responsible for highly potent antiperoxidative activity of the carotenoid astaxanthin. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1512(2), 251–258. [doi: 10.1016/s0005-2736\(01\)00326-1](https://doi.org/10.1016/s0005-2736(01)00326-1)
50. Grashorn, M. Feed additives for influencing chicken meat and egg yolk color. In: Carle R., Schweiggert R., editors. *Handbook on Natural Pigments in Food and Beverages*. Woodhead Publishing; Cambridge, UK: 2016. pp. 283–302.
51. Grčević, M., Kralik, Z., Kralik, G., Galović, D., Radišić, Ž., & Hanžek, D. (2019). Quality and oxidative stability of eggs laid by hens fed marigold extract supplemented diet. In *Poultry Science*, 98(8), 3338–3344. [doi:10.3382/ps/pez134](https://doi.org/10.3382/ps/pez134)
52. Halaj, M., Halaj, P., Golian, J., Valášek, F., Moravčík, F., & Melen, M. (2000). The influence of storage time and temperature on weight loss in eggs and yolk pigmentation. *Acta Fytotechnica et Zootechnica*, 3(2), 52-54.
53. Hammershoj, M., Nebel, C., & Carstens, J.H. (2008). Enzymatic hydrolysis of ovomucin and effect on foaming properties. *Food Research International*, 41(5), 522-531. [doi:10.1016/j.foodres.2008.03.004](https://doi.org/10.1016/j.foodres.2008.03.004).
54. Han, Y.K., Lee, K.T., & Lee, W.I. (2011). Effects of storage temperature and time on the quality of eggs from laying hens at peak production. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 24, 861–868.
55. Hasan, A., & Aylin, A. O. (2009). Effect of storage time, temperature and hen age on egg quality in free-range layer hens. *Animal and Veterinary Advances*, 8, 1953-1958.
56. Heng, N., Gao, S., Guo, Y., Chen, Y., Wang, L., Sheng, X., Wang, X., Xing, K., Xiao, L., Ni, H., & Qi, X. (2020). Effects of supplementing natural astaxanthin from *Haematococcus pluvialis* to laying hens on egg quality

- during storage at 4°C and 25°C. *Poultry Science*, 99(12), 6877–6883. doi:10.1016/j.psj.2020.09.010
57. Honchar, V., Iakubchak, O., Shevchenko, L., Midyk, S., Korniyenko, V., Kondratiuk, V., Rozbytska, T., Melnik, V., & Kryzhova, Y. (2022). The effect of astaxanthin and lycopene on the content of fatty acids in the yolks of chicken eggs under different storage regimes. *Potravinarstvo*. 16. 473-489. doi:10.5219/1774.
58. International Organization for Standardization. ISO 6496:1999 Animal feeding stuffs-determination of moisture and other volatile matter content. International Organization for Standardization; Geneva, Switzerland: 1999.
59. ISO 12966-2:2017 Animal and vegetable fats and oils – Gas chromatography of fatty acid methyl esters – Part 2: Preparation of methyl esters of fatty acids.
60. Ji, S., Ahn, D. U., Zhao, Y., Li, K., Li, S., & Huang, X. (2020). An easy and rapid separation method for five major proteins from egg white: Successive extraction and MALDI-TOF-MS identification. *Food Chemistry*, 315, 126207. doi:10.1016/j.foodchem.2020.126207.
61. Jin, Y., Lee, K., Lee, W., & Han, Y. (2011). Effects of Storage Temperature and Time on the Quality of Eggs from Laying Hens at Peak Production. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 24(2), 279-284. doi:10.5713/ajas.2011.10210
62. Jones, D. R., & Musgrove, M. T. (2005). Effects of extended storage on egg quality factors. *Poultry Science*, 84(11), 1774–1777. doi:10.1093/ps/84.11.1774
63. Jones, D. R., Ward, G. E., Regmi, P., & Karcher, D. M. (2018). Impact of egg handling and conditions during extended storage on egg quality. *Poultry Science*, 97(2), 716-723. doi:10.3382/ps/pex351.
64. Kale, B., Aygün, A. (2022) The effect of eggs obtained from different production systems at different storage temperatures on egg quality. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*.

Online publication date: 3-Jun-2022.

65. Kalt, W. (2005). Effects of production and processing factors on major fruit and vegetable antioxidants. *Food Science*, 70, R11–R19. doi:10.1111/j.1365-2621.2005.tb09053.x
66. Kljak, K., Carović-Stanko, K., Kos, I., Janječić, Z., Kiš, G., Duvnjak, M., Safner, T., & Bedeković, D. (2021). Plant carotenoids as pigment sources in laying hen diets: Effect on yolk color, carotenoid content, oxidative stability and sensory properties of eggs. *Foods*, 10, 721. doi:10.3390/foods10040721.
67. Koppel, K., Suwonsichon, S., Chitra, U., Lee, J., & Chambers IV, E. (2014). Eggs and poultry purchase, storage, and preparation practices of consumers in selected Asian Countries. *Foods (Basel, Switzerland)*, 3(1), 110–127. doi:10.3390/foods3010110.
68. Koppel, K., Timberg, L., Shalimov, R., Vázquez-Araújo, L., Carbonell-Barracchina, A.A., Di Donfrancesco, B. & Chambers IV, E. (2015). Purchase, storage, and preparation of eggs and poultry in selected European countries: A preliminary study. *British Food Journal*, 117(2), 749-765. doi: [10.1108/BFJ-01-2014-0021](https://doi.org/10.1108/BFJ-01-2014-0021)
69. Küçükylmaz, K., Erkek, R., & Bozkurt, M. (2014). The effects of boron supplementation of layer diets varying in calcium and phosphorus concentrations on performance, egg quality, bone strength and mineral constituents of serum, bone and faeces. *British Poultry Science*, 55 (6), 804–816. doi: [10.1080/00071668.2014.975782](https://doi.org/10.1080/00071668.2014.975782)
70. Kumar, A., Dhaliwal, N., Dhaliwal, J., Dharavath, R. N., & Chopra, K. (2020). Astaxanthin attenuates oxidative stress and inflammatory responses in complete Freund-adjuvant-induced arthritis in rats. *Pharmacological Reports: PR*, 72 (1), 104–114. doi: [10.1007/s43440-019-00022-z](https://doi.org/10.1007/s43440-019-00022-z)
71. Lee, C.Y., Lee, B.D., Na, J.C., & An, G. (2010). Carotenoid accumulation and their antioxidant activity in spent laying hens as affected by Polarity and feeding Period. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 23(6), 799-805. doi:10.5713/ajas.2010.90296

72. Lee, J. Y., Kang, S. K., Heo, Y. J., Shin, D. W., Park, T. E., Han, G. G., Jin, G. D., Lee, H. B., Jung, E., Kim, H. S., Na, Y., Kim, E. B., & Choi, Y. J. (2016). Influence of flaxseed oil on fecal microbiota, egg quality and fatty acid composition of egg yolks in laying hens. *Current Microbiology*, 72(3), 259–266. doi:10.1007/s00284-015-0946-z
73. Leeson, S., & Caston, L. (2004). Enrichment of eggs with lutein. *Poultry Science*, 83(10), 1709–1712. doi:10.1093/ps/83.10.1709
74. Li, F., Huang, S., Lu, X., Wang, J., & Cai, M. (2018). Effects of dietary supplementation with algal astaxanthin on growth, pigmentation, and antioxidant capacity of the blood parrot (*Cichlasoma citrinellum* × *Cichlasoma synspilum*). *Journal of oceanology and limnology*, 36, 1851–1859. doi:10.1007/s00343-019-7172-7
75. Li, W. K., Zhang, X. S., Jia, Y. X., & Liu, X. (2017). Quality changes of N-3 PUFAs enriched and conventional eggs under different home storage conditions with wireless sensor network. *Applied Sciences-Basel*, 7(11), 1–14.
76. Liang, K., Zu, H. & Wang, X. (2020). Effect of storage on n-3 PUFA-enriched eggs, Effect of storage on n-3 PUFA-enriched eggs. *CyTA - Journal of Food*, 18:1, 102-107. doi:10.1080/19476337.2020.1713896
77. Liu, Y. C., Chen, T. H., Wu, Y. C., & Tan, F. J. (2017). Determination of the quality of stripe-marked and cracked eggs during storage. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 30(7), 1013–1020. doi: 10.5713/ajas.16.0440/.
78. Loetscher, Y., Kreuzer, M., & Messikommer, R.E. (2014). Late laying hens deposit dietary antioxidants preferentially in the egg and not in the body. *Journal of Applied Poultry Research*, 23, 647–660. doi: 10.3382/japr.2014-00973.
79. Lu, Y., Wang, X., Feng, J., Xie, T., Si, P., & Wang, W. (2019). Neuroprotective effect of astaxanthin on newborn rats exposed to prenatal maternal seizures. *Brain Research Bulletin*, 148, 63–69, doi: 10.1016/j.brainresbull.2019.03.009.

80. Lublin, A., & Sela, S. (2008). The impact of temperature during the storage of table eggs on the viability of *Salmonella enterica* serovars Enteritidis and Virchow in the Eggs. *Poultry Science*, 87(11), 2208–2214. doi:10.3382/ps.2008-00153
81. Luo, W., Xue, H., Xiong, C., Li, J., Tu, Y., & Zhao, Y. (2020). Effects of temperature on quality of preserved eggs during storage. *Poultry Science*, 99(6), 3144–3157. doi:10.1016/j.psj.2020.01.020
82. Marounek, M., & Pebriansyah, A. (2018). Use of carotenoids in feed mixtures for poultry: A review. *Agricultura Tropica et Subtropica*, 51(3), 107–111. doi: 10.2478/ats-2018-0011.
83. Marshall, A.C., Sams, A.R. & Van Elswyk, M.E. (1994). Oxidative stability and sensory quality of stored eggs from hens fed 1.5% menhaden oil. *Food Science*, 59 (3), 561-563.
84. Mayes, F. J., & Takeballi, M. A. (1983). Microbial contamination of the hen's egg: A Review. *Food Protection*, 46(12), 1092–1098. doi:10.4315/0362-028X-46.12.1092
85. Meluzzi, A., Sirri, F., Manfreda, G., Tallarico, N., & Franchini, A. (2000). Effects of dietary vitamin E on the quality of table eggs enriched with n-3 long-chain fatty acids. *Poultry Science*, 79(4), 539–545. doi:10.1093/ps/79.4.539
86. Meynier, A., Leborgne, C., Viau, M., Schuck, P., Guichardant, M., Rannou, C., & Anton, M. (2014). n-3 fatty acid enriched eggs and production of egg yolk powders: An increased risk of lipid oxidation? *Food Chemistry*, 153, 94–100. doi:10.1016/j.foodchem.2013.12.028
87. Mezentsev, S.V. (2015). The change of fatty acid content of market hen eggs during storage. *Vestnik Altajskogo Gosudarstvennogo Agrarnogo Universiteta*, 10 (132), 99-104
88. Mohiti-Asli, M., Shariatmadari, F., Lotfollahian, H., & Mazuji, M. T. (2008). Effects of supplementing layer hen diets with selenium and vitamin E on egg quality, lipid oxidation and fatty acid composition during storage. *Canadian*



- Journal of Animal Science, 88(3), 475–483. doi:10.4141/CJAS07102
89. Monira, K.N., Salahuddin, M., & Miah, G. (2003). Effect of breed and holding period on egg quality characteristics of chicken. International Journal of Poultry Science, 1682-8356, doi:[10.3923/ijps.2003.261.263](https://doi.org/10.3923/ijps.2003.261.263)
90. Murcia, M.A., Martinez-Tome, M., del Cerro, I., Sotillo, F., & Ramirez, A. (1999). Proximate composition and vitamin E levels in egg yolk: losses by cooking in a microwave oven. *Science of Food and Agriculture*, 79, 1550–1556.
91. Naguib, Y. M. (2000). Antioxidant activities of astaxanthin and related carotenoids. *Agricultural and Food Chemistry*, 48 (4), 1150–1154. doi:[10.1021/jf991106k](https://doi.org/10.1021/jf991106k)
92. Nematinia, E., & Mehdizadeh, S.A. (2018). Assessment of egg freshness by prediction of Haugh unit and albumen pH using an artificial neural network. *Food Measurement & Characterization*, 12, 1449-1459. doi: [10.1007/s11694-018-9760-1](https://doi.org/10.1007/s11694-018-9760-1)
93. Nimalaratne, C., Lopes-Lutz, D., Schieber, A., & Wu, J. (2011). Free aromatic amino acids in egg yolk show antioxidant properties. *Food Chemistry*, 129, 155–161. doi:10.1016/j.foodchem.2011.04.058
94. Nimalaratne, C., Schieber, A., & Wu, J. (2016). Effects of storage and cooking on the antioxidant capacity of laying hen eggs. *Food Chemistry*, 194, 111–116. doi:10.1016/j.foodchem.2015.07.116
95. Nimalaratne, C., Wu, J., & Schieber, A. (2013). Egg yolk carotenoids: Composition, analysis, and effects of processing on their stability. In P. Winterhalter & S.E. Ebeler (Eds.), *Carotenoid cleavage products*, chapter 18 (pp. 219–225). Oxford: ACS Publications, Oxford University Press.
96. Ogori, A. F., & Ogori, J. J. (2014). Review on mechanism of food poisoning by microorganisms. *International Journal of Advanced Research in Biological Sciences*, 1(5), 19-32.

97. Oliveira, G. E., Figueiredo, T. C., Souza, M. R., Oliveira, A. L., Cançado, S. V., & Gloria, M. B. (2009). Bioactive amines and quality of egg from Dekalb hens under different storage conditions. *Poultry Science*, 88(11), 2428–2434. doi:10.3382/ps.2009-00028
98. Olson, J. B., Ward, N. E., & Koutsos, E. A. (2008). Lycopene incorporation into egg yolk and effects on laying hen immune function. *Poultry Science*, 87(12), 2573–2580. doi:10.3382/ps.2008-00072
99. Olugbenga, A.O., Akinola, P.O., Mutiu, O.O., & Emem, A.E. (2015). Proximate Composition and physical characteristics of eggs from laying chickens fed different proprietary vitamin-mineral premixes under two rearing systems during storage. *International Journal of Food Science and Nutrition Engineering*. 5, 5(1): 59-67. doi:10.5923/j.food.20150501.08
100. Omri B., Chalghoumi R., Izzo L., Ritieni A., Lucarini M., Durazzo A., Abdouli H., & Santini A. (2019). Effect of dietary incorporation of linseed alone or together with tomato-red pepper mix on laying hens' egg yolk fatty acids profile and health lipid indexes. *Nutrients*, 11, 813. doi:10.3390/nu11040813.
101. Omri, B., Amraoui, M., Tarek, A., Lucarini, M., Durazzo, A., Cicero, N., Santini, A., & Kamoun M. (2019). *Arthrospira platensis* (Spirulina) supplementation on laying hens' performance: Eggs physical, chemical, and sensorial qualities. *Foods*, 8, 386. doi: 10.3390/foods8090386.
102. Otomaru, K., Ogawa, R., Oishi, S., Iwamoto, Y., Hong, H., Nagai, K., Hyakutake, K., Kubota, C., & Kaneshige, T. (2018). Effect of beta-carotene supplementation on the serum oxidative stress biomarker and antibody titer against *Live Bovine Respiratory Syncytial Virus* vaccination in japanese black calves. *Veterinary Sciences*, 5(4), 102. doi:10.3390/vetsci5040102
103. Painsi, C., Hesterberg, K., Lademann, J., Knorr, D., Patzelt, A., Vandersee, S., Meinke, M. C., Richter, H., Bob, A., Knorr, F., Quehenberger, F., & Lange-Asschenfeldt, B. (2019). Influence of Storage and Preservation Techniques on Egg-Derived Carotenoids: A Substantial Source for Cutaneous

- Antioxidants. *Skin Pharmacology and Physiology* 32:65-71. doi: 10.1159/000493147
104. Palozza, P., Catalano, A., Simone, R. E., Mele, M. C., & Cittadini, A. (2012). Effect of lycopene and tomato products on cholesterol metabolism. *Annals of Nutrition & Metabolism*, 61(2), 126–134. doi:10.1159/000342077
105. Panaite, T. D., Nour, V., Vlaicu, P. A., Ropota, M., Corbu, A. R., & Saracila, M. (2019). Flaxseed and dried tomato waste used together in laying hens diet. *Archives of Animal Nutrition*, 73(3), 222–238. doi:10.1080/1745039X.2019.1586500
106. Pappas, A. C., Acamovic, T., Sparks, N. H., Surai, P. F., & McDevitt, R. M. (2005). Effects of supplementing broiler breeder diets with organic selenium and polyunsaturated fatty acids on egg quality during storage. *Poultry Science*, 84 (6), 865–874. doi: 10.1093/ps/84.6.865
107. Pareja, M.M.E., Galeano, L.F., Herrera, M.R., & Restrepo, L.F. (2010). Effect of temperature and turning during storage on commercial egg quality. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. 23. 183-190.
108. Pereira G.V.N. Ph.D. Thesis. Université de Lovaras; Minas Gerais, Brasil: 2005. Inheritance of Acyl-Sugar Contents in Tomato Genotypes and Its Relationship to Foliar Trichomes and Repellence to Spider Mites *Tetranychus Evani*
109. Preisinger R. (2018). Innovative layer genetics to handle global challenges in egg production. *British Poultry Science*, 59(1), 1–6. doi:10.1080/00071668.2018.1401828
110. Puertas, G., & Vázquez, M. (2021). Liquid whole egg fractionation: Effect of centrifugation on physicochemical attributes of quality. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45, 4. doi:10.1080/19476337.2020.1713896
111. Qi, L., Zhao, M.C., Li, Z., Shen, D.H., & Lu J. (2020). Non-destructive testing technology for raw eggs freshness: a review. *SN Applied Sciences*. 2. 1-9. doi: 10.1007/s42452-020-2906-x.

112. Qi, X.L., Wu, S.G., Zhang, H.J., Yue, H.Y., Xu, S.H., Ji, F., & Qi, G.H. (2011). Effects of dietary conjugated linoleic acids on lipid metabolism and antioxidant capacity in laying hens. *Archives of Animal Nutrition*, 65(5), 354-365. doi: 10.1080/1745039X.2011.617546
113. Reboul, E. (2013). Absorption of vitamin A and carotenoids by the enterocyte: Focus on transport proteins. *Nutrients*. 5, 3563–3581. doi: 10.3390/nu5093563
114. Regulation (EC) No 1831/2003 of the European Parliament and of the Council of 22 September 2003 on additives for use in animal nutrition (Text with EEA relevance) This act has been changed. Current consolidated version: 27/03/2021. <http://data.europa.eu/eli/reg/2003/1831/oj>
115. Regulation (EC) No. 853/2004 of the European Parliament and of the Council laying down specific hygiene rules for the hygiene of foodstuffs. *Official Journal of the European Union L 139*, 30 April 2004. <http://faolex.fao.org/docs/pdf/eur63427.pdf>
116. Réhault-Godbert, S., Guyot, N., & Nys, Y. (2019). The Golden Egg: Nutritional Value, Bioactivities, and emerging benefits for human health. *Nutrients*, 11(3), 684. doi:10.3390/nu11030684
117. Rissanen, T., Voutilainen, S., Nyssönen, K., & Salonen, J. T. (2002). Lycopene, atherosclerosis, and coronary heart disease. *Experimental Biology and Medicine*, 227 (10), 900–907. doi:[10.1177/153537020222701010](https://doi.org/10.1177/153537020222701010)
118. Romero, C., Arija, I., Viveros, A., & Chamorro, S. (2022). Productive Performance, Egg Quality and Yolk Lipid Oxidation in Laying Hens Fed Diets including Grape Pomace or Grape Extract. *Animals : an open access journal from MDPI*, 12(9), 1076. doi:10.3390/ani12091076
119. Samli, H.E., Agma, A., Senkoylu, N. (2005). Effects of storage time and temperature on egg quality in old laying hens. *Journal of Applied Poultry Research*. 14. 548–553. doi: 10.1093/japr/14.3.548.
120. Santos-Bocanegra, E., Ospina-Osorio, X., & Oviedo-Rondon, E.O. (2004). Evaluation of xanthophylls extracted from *Tagetes erectus* (Marigold

- flower) and *Capsicum* Sp. (Red pepper paprika) as a pigment for egg-yolks compare with Synthetic pigments. *Poultry Science*, 3, 685–689.
121. Sarada, R., Tripathi, U., & Ravishankar, G.A. (2002). Influence of stress on astaxanthin production in *Haematococcus pluvialis* grown under different culture conditions. *Process Biochemistry*, 37, 623–627.
122. Schieber, A., & Carle, R. (2005). Occurrence of carotenoid cis-isomers in food: Technological, analytical, and nutritional implications. *Trends in Food Science & Technology*, 16, 416–422. doi:10.1016/j.tifs.2005.03.018
123. Shahryar, H.A., Salamatdoust, R., Chekani-Azar, S., Ahadi, F., & Vahdatpour, T. (2010). Lipid oxidation in fresh and stored eggs enriched with dietary  $\omega$ 3 and  $\omega$ 6 polyunsaturated fatty acids and vitamin E and A dosages. *African Journal of Biotechnology*, 9(12), 1827-1832
124. Shan, Y., D. Tang, R. Wang, A. Tu, Y. Yi, X. Wang, B. Liu, Y. Zhou, Q. Huang, X. Lü. (2020). Rheological and structural properties of ovomucin from chicken eggs with different interior quality. *Food Hydrocolloids*. 100. 105393. doi:10.1016/j.foodhyd.2019.105393.
125. Shao, Y., Gu, W., Jiang, L., Zhu, Y., & Gong, A. (2019). Study on the visualization of pigment in *haematococcus pluvialis* by raman spectroscopy technique. *Scientific Reports*, 9(1). doi:10.1038/s41598-019-47208-2
126. Shevchenko, L. V., Davydovych, V. A., Midyk, S. V., & Bezusa, O. O. (2021). Enrichment of chicken table eggs with lycopene and astaxanthin. In *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 12(1), 9–13. doi:10.15421/022102
127. Shevchenko, L. V., Davydovych, V. A., Ushkalov, V. O., Midyk, S. V., & Mykhalska, V. M. (2020). The effect of astaxanthin and lycopene on the content of fatty acids in chicken egg yolks. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*, 11(4), 568–571. doi:10.15421/022088
128. Shevchenko, L. V., Iakubchak, O. M., Davydovych, V. A., Honchar, V. V., Ciorga, M., Hartung, J., Kołacz, R. (2021). Influence of lycopene and astaxanthin in feed on metabolic parameters of laying hens, yolk color of eggs and their content of carotenoids and vitamin A when stored under refrigerated

- conditions. *Polish Journal of Veterinary Sciences*, 24(4), 525–535. doi:[10.24425/pjvs.2021.139977](https://doi.org/10.24425/pjvs.2021.139977).
129. Sila, A., Ghilissi, Z., Kamoun, Z., Makni, M., Nasri, M., Bougatef, A., & Sahnoun, Z. (2015). Astaxanthin from shrimp by-products ameliorates nephropathy in diabetic rats. *European Journal of Nutrition*, 54(2), 301–307. doi:[10.1007/s00394-014-0711-2](https://doi.org/10.1007/s00394-014-0711-2)
130. Silversides, F. G., & Scott, T. A. (2001). Effect of storage and layer age on quality of eggs from two lines of hens. *Poultry Science*, 80 (8), 1240–1245. doi: [10.1093/ps/80.8.1240](https://doi.org/10.1093/ps/80.8.1240)
131. Singh, R., Cheng, K. M., & Silversides, F. G. (2009). Production performance and egg quality of four strains of laying hens kept in conventional cages and floor pens. *Poultry science*, 88(2), 256-264.
132. Soukoulis, C., & Bohn, T. (2018). A comprehensive overview on the micro- and nano-technological encapsulation advances for enhancing the chemical stability and bioavailability of carotenoids. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58(1), 1–36. doi:[10.1080/10408398.2014.971353](https://doi.org/10.1080/10408398.2014.971353).
133. Spada, F. P., Selani, M. M., Coelho, A. A. D., Savino, V. J. M., Rodella, A. A., Souza, M. C., Fischer, F. S., Lemes, D. E. A., & Canniattige-Brazaid, S. (2016). Influence of natural and synthetic carotenoids on the color of egg yolk. *Scientia Agricola*, 73(3), 234–242. doi:[10.1590/0103-9016-2014-0337](https://doi.org/10.1590/0103-9016-2014-0337)
134. Spasevski, N., Čolović, D., Rakita, S., Ikonić, P., Đuragić, O., Banjac, V., & Vukmirović, Đ. (2016). Fatty acid composition and  $\beta$ -carotene content in egg yolk of laying hens fed with linseed, paprika and marigold. *Contemporary Agriculture*, 65(1-2), 15–22. doi:[10.1515/contagri-2016-0003](https://doi.org/10.1515/contagri-2016-0003)
135. Spasevski, N.J., Dragojlović, D.M., Čolović, D.S., Vidosavljević, S.Ž., Peulić, T.A., Rakita, S.M., & Kokić B.M. (2018). Influence of dietary carrot and paprika on egg physical characteristics and yolk color. Influence of dietary carrot and paprika on egg physical characteristics and yolk color, *Food and Feed Research*, 45 (1), 59-66, doi: [10.5937/FFR1801059S](https://doi.org/10.5937/FFR1801059S)

136. Sun, B., Ma, J., Zhang, J., Su, L., Xie, Q., & Bi, Y. (2014). Lycopene regulates production performance, antioxidant capacity, and biochemical parameters in breeding hens. *Czech Journal of Animal Science*, 59, 471-473
137. Surai P.F., Simons P.C.M., Dvorska J.E., Aradas F., Sparks N.H.C. Antioxidant-enriched eggs: Opportunities and limitations. In: Sim J.S., Sunwoo H.H., editors. *The Amazing Egg: Nature's Perfect Functional Food for Health Promotion*. University of Alberta; Edmonton, AB, Canada: 2006. pp. 68–93.
138. Suresh, P. V., Raj, K. R., Nidheesh, T., Pal, G. K., & Sakhare, P. Z. (2015). Application of chitosan for improvement of quality and shelf life of table eggs under tropical room conditions. *Food Science and Technology*, 52(10), 6345–6354. doi:10.1007/s13197-015-1721-7
139. Świątkiewicz, S., Arczewska-Włosek, A., Szczurek, W., Calik, J., Bederska-Łojewska, D., Orczewska-Dudek, S., Muszyński, S., Tomaszewska, E., & Józefiak, D. (2020). Algal Oil as Source of Polyunsaturated Fatty Acids in Laying Hens Nutrition: Effect on Egg Performance, Egg Quality Indices and Fatty Acid Composition of Egg Yolk Lipids. In *Annals of Animal Science*, 20(3), 961–973. doi:10.2478/aoas-2020-0019
140. Sztretye, M., Dienes, B., Gönczi, M., Czirják, T., Csernoch, L., Dux, L., Szentesi, P., & Keller-Pintér, A. (2019). Astaxanthin: A Potential Mitochondrial-Targeted Antioxidant Treatment in Diseases and with Aging. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 3849692. doi:10.1155/2019/3849692
141. Tabidi, M.H. (2011). Impact of storage period and quality composition of table egg. *Advances in Environmental Biology*. 5(5). 856-861
142. Takahashi, K., Watanabe, M., Takimoto, T., & Akiba, Y. (2004). Uptake and distribution of astaxanthin in several tissues and plasma lipoproteins in male broiler chickens fed a yeast (*Phaffia rhodozyma*) with a

- high concentration of astaxanthin. *British Poultry Science*, 45 (1), 133–138.  
[doi: 10.1080/00071660410001668950a](https://doi.org/10.1080/00071660410001668950a)
143. Tan, B. L., & Norhaizan, M. E. (2019). Carotenoids: How Effective Are They to Prevent Age-Related Diseases? *Molecules* (Basel, Switzerland), 24(9), 1801. doi:10.3390/molecules24091801
144. Tomczyk, Ł., Stępień, Ł., Urbaniak, M., Szablewski, T., Cegielska-Radziejewska, R., & Stuper-Szablewska, K. (2018). Characterisation of the mycobiota on the shell surface of table eggs acquired from different egg-laying hen breeding systems. *Toxins*, 10(7), 293. doi:10.3390/toxins10070293.
145. Torrico, D. D., Wardy W., Carabante, K.M., Pujols, K.D. Xu, Z., No, H. K., & Prinyawiwatkul, W. (2014). Quality of eggs coated with oil–chitosan emulsion: combined effects of emulsifier types, initial albumen quality, and storage. *Food Science and Technology*, 57 (1), 35-41, doi:10.1016/j.lwt.2013.12.035
146. Toyas-Vargas, E., Ortega-Pérez, R., Espinoza-Villavicencio, J. L., Arellano-Pérez, M., Civera, R., & Palacios, E. (2018). Effect of marine by-product meals on hen egg production parameters, yolk lipid composition and sensory quality. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 102 (2), 462–473. doi: 10.1111/jpn.1276
147. Vahdati, M., & Tohidi Moghadam, T. (2020). Synthesis and characterization of selenium nanoparticles-lysozyme nanohybrid system with synergistic antibacterial properties. *Scientific Reports*, 10(1), 510. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-57333-7>
148. Vits, A., Weitzenbürger, D., Hamann, H., & Distl, O. (2005). Influence of different small-group-systems on performance traits, egg quality and bone breaking strength of laying hens. 2nd communication: bone breaking strength. *Züchtungskunde*, 77, 355–366.
149. Walker, L. A., Wang, T., Xin, H., & Dolde, D. (2012). Supplementation of laying-hen feed with palm tocos and algae astaxanthin for egg yolk nutrient



- enrichment. *Agricultural and Food Chemistry*, 60 (8), 1989–1999. doi:  
[10.1021/jf204763f](https://doi.org/10.1021/jf204763f)
150. Wang Q., Jin G., Wang N., Jin Y., Ma M., & Guo X. (2017). Lipolysis and oxidation of lipids during egg storage at different temperatures. *Czech Journal of Food Sciences*, 35, 229-235. doi:[10.17221/174/2016-CJFS](https://doi.org/10.17221/174/2016-CJFS)
151. Wang, X. C., Zhang, H. J., Wu, S. G., Yue, H. Y., Wang, J., Li, J., & Qi, G. H. (2015). Dietary protein sources affect internal quality of raw and cooked shell eggs under refrigerated conditions. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 28 (11), 1641–1648. doi: [10.5713/ajas.15.0181](https://doi.org/10.5713/ajas.15.0181)
152. Wardy, W., Torrico, D., Corredor, J.A., No, H., Zhang, X., Xu, Z., & Prinyawiwatkul, W. (2013). Soybean oil-chitosan emulsion affects internal quality and shelf-life of eggs stored at 25 and 4 °C. *International Journal of Food Science and Technology*, 48, 1148-1156. doi:[10.1111/IJFS.12068](https://doi.org/10.1111/IJFS.12068)
153. Westbrook, L. A., & Cherian, G. (2019). Egg quality, fatty-acid composition and gastrointestinal morphology of layer hens fed whole flaxseed with enzyme supplementation. *British Poultry Science*, 60(2), 146–153. doi:[10.1080/00071668.2018.1556783](https://doi.org/10.1080/00071668.2018.1556783)
154. World Health Organization . Joint FAO/WHO Expert Consultation on Fats and Fatty Acids in Human Nutrition. WHO; Geneva, Switzerland: 2008. [(accessed on 10 May 2021)]. Available online: [http://www.who.int/nutrition/topics/FFA\\_interim\\_recommendations/en/](http://www.who.int/nutrition/topics/FFA_interim_recommendations/en/)
155. Yang, L., Cao, Y., & Chen, Z.Y. (2004). Stability of conjugated linoleic acid isomers in egg yolk lipids during frying. *Food Chemistry*, 86 (4), 531-535, doi:[10.1016/j.foodchem.2003.09.006](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.09.006).
156. Yeasmin, A., Awis, Q.S., Hishamuddin, O., Azhar, K. (2014). Effect of storage time and temperature on the quality characteristics of chicken eggs. *Food, Agriculture & Environment*, 12 (3&4), 87-92.

157. Yeum, K. J., & Russell, R. M. (2002). Carotenoid bioavailability and bioconversion. *Annual Review of Nutrition*, 22, 483–504. doi:[10.1146/annurev.nutr.22.010402.102834](https://doi.org/10.1146/annurev.nutr.22.010402.102834)
158. Young, A.J., & Lowe, G.L. (2018). Carotenoids–antioxidant properties. *Antioxidants*, 7(28). doi: [10.3390/antiox7020028](https://doi.org/10.3390/antiox7020028).
159. Yu, Z., Wang, N., Ahn, D. U., & Ma, M. (2019). Long term egg yolk consumption alters lipid metabolism and attenuates hyperlipidemia in mice fed a high-fat diet based on lipidomics analysis. *European Journal of Lipid Science and Technology*. 121(8), 1800496. doi:[10.1002/ejlt.201800496](https://doi.org/10.1002/ejlt.201800496)
160. Yüceer, M., Aday, M. S., & Caner, C. (2016). Ozone treatment of shell eggs to preserve functional quality and enhance shelf life during storage. *Science of Food and Agriculture*, 96(8), 2755–2763. doi: [10.1002/jsfa.7440](https://doi.org/10.1002/jsfa.7440)
161. Zaheer, K. (2017). Hen egg carotenoids (lutein and zeaxanthin) and nutritional impacts on human health: a review. *CyTA – Food*, 15(3), 474-487. doi: [10.1080/19476337.2016.1266033](https://doi.org/10.1080/19476337.2016.1266033)
162. Zdrojewicz, Z., Herman, M., & Starostecka, E. (2016). Hen's egg as a source of valuable biologically active substances. *Postepy Higieny i Medycyny Doswiadczalnej (Online)*, 70(0), 751–759. doi:[10.5604/17322693.1208892](https://doi.org/10.5604/17322693.1208892)
163. Zhang, J., Zhang, S., Bi, J., Gu, J., Deng, Y., & Liu, C. (2017). Astaxanthin pretreatment attenuates acetaminophen-induced liver injury in mice. *International Immunopharmacology*, 45, 26–33. doi: [10.1016/j.intimp.2017.01.028](https://doi.org/10.1016/j.intimp.2017.01.028)
164. Zhao, X., Zhang, X., Liu, H., Zhu, H., & Zhu, Y. (2019). Enzyme-assisted extraction of astaxanthin from *Haematococcus pluvialis* and its stability and antioxidant activity. *Food Science and Biotechnology*, 28 (6), 1637–1647. doi: [10.1007/s10068-019-00608-6](https://doi.org/10.1007/s10068-019-00608-6)
165. Zheng, H., Zhang, Q., Liu, H., Liu, W., Sun, Z., Li, S., & Zhang, T. (2012). Cloning and expression of vitellogenin (Vg) gene and its correlations with total carotenoids content and total antioxidant capacity in noble scallop

- Chlamys nobilis* (Bivalve: Pectinidae). *Aquaculture*. 366-367, 46–53. doi:10.1016/j.aquaculture.2012.08.031.
166. Zita, L., Tumova, E., & Štolc, L. (2009). Effects of genotype, age and their interaction on egg quality in brown-egg laying hens. *Acta Veterinaria Brno*, 78(1), 85-91. doi:10.2754/avb200978010085
167. Гончар В. В., Якубчак О. М. Вплив барвників жовтків яєць на їх безпечність і якість. Всеукраїнська науково-практична конференція. Сучасні тенденції ветеринарної освіти та науки, 9 жовтня 2019 р. м. Київ: тези доповіді. 2019. С. 48.
168. Гончар В. В., Якубчак О. М. Мікробне обсіменіння харчових курячих яєць за зберігання» Міжнародна наукова конференція «Єдине здоров'я – 2022» 22-24 вересня 2022 р., м. Київ. С. 177-179.
169. Гончар В. В., Якубчак О. М. Хімічний склад яєць за згодовування курам астаксантину і лікопіну. Сучасні аспекти лікування і профілактики хвороб тварин: матеріали IV Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції, 15–16 жовтня, 2020 р. Полтава, 2020. С. 199. [електронне видання]
170. Гончар В.В., Давидович В.А., Якубчак О.М., Шевченко Л.В. Вплив астаксантину та лікопіну на вміст каротиноїдів і вітаміну А в жовтках яєць. «Наукові передумови оптимізації органічного бізнесу» в рамках V Міжнародного Конгресу «Органічна Україна 2021». Інтернет-конференція, м. Київ, 17 квітня 2021 р. Видавництво «Органічна Україна». 2021. С. 53–56.
171. Гончар В.В., Якубчак О. М. Вплив кормових добавок лікопіну та астаксантину на мікробне обсіменіння харчових курячих яєць за зберігання. *Сучасне птахівництво*. 2022. № 5-6. С. 22-28.
172. Гончар В.В., Якубчак О.М. Вплив лікопіну та астаксантину на морфологічні показники харчових курячих яєць за різних режимів зберігання. *Сучасне птахівництво*. 2021. №7–8. С. 7–13. doi:10.31548/poultry2021.07-08.007.

173. Гончар В.В., Якубчак О.М. Морфологічні показники харчових курячих яєць за згодовування лікопіну та астаксантину на за різних режимів зберігання» Міжнародна наукова конференція «Глобальні виклики ветеринарної медицини 21 століття» 11 листопада 2021 року Факультет ветеринарної медицини і Науково-дослідний інститут здоров'я тварин. Київ. С. 35-38.
174. Гончар В.В., Якубчак О.М., Кудрявченко О.П. Вплив астаксантину та лікопіну на хімічний склад курячих харчових яєць за різних режимів зберігання. Сучасне птахівництво. 2020. № 5–6. С. 18-25.
175. ГОСТ 30364.1-97. Продукты яичные. Методы физико-химического контроля. [Введен от 1999-01-01]. К.: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1999. 18 с.
176. Давидович В. А., Гончар В. В., Шевченко Л. В., Якубчак О. М. Вплив лікопіну і астаксантину на вміст каротиноїдів у свіжознесених яйцях харчових та за зберігання в умовах холодильника. Proceedings of XI International Scientific and Practical Conference Kyiv, Ukraine 11-13 July 2021, SPC – Sci-conf.com.ua, Kyiv, Ukraine. 2021. С. 51–56.
177. Давидович В.А., Гончар В.В., Шевченко Л.В., Якубчак О.М. Науково-практичні рекомендації «Збагачення харчових курячих яєць лікопіном та астаксантином». 2022. К. ЦП. Компринт. 18 с. (Затверджено і прийнято до впровадження в практику ветеринарної медицини Науково-методичною радою Державної служби України з питань безпеки харчових продуктів та захисту споживачів (протокол № 2 від 29.12. 2021 р.)
178. Давидович, В.А., Шевченко, Л.В., & Михальська, В.М. (2021). Продуктивність курей-несучок і морфологічні параметри яєць за впливу астаксантину та лікопіну. Сучасне птахівництво, 5-6, 19–23. [doi:10.31548/poultry2021.05-06.019](https://doi.org/10.31548/poultry2021.05-06.019)

179. ДСТУ 4687:2006. Комбікорми, премікси, вітамінні препарати, продукція птахівництва. методи визначення вітаміну А, Е, В<sub>2</sub> та каротиноїдів [Чинний від 2007-07-01]. К.: Держсподивстандарт України, 2006. 19 с. (Стандарти України).
180. ДСТУ 5028:2008. Яйця курячі харчові. Технічні умови. [Чинний від 2010-06-01]. К.: Держспоживстандарт України, 2009. 19 с. (Стандарти України).
181. ДСТУ 8104:2015. Яйця харчові, продукти яєчні. Методи визначання мікробіологічних показників [Чинний від 2017-01-01]. К.: Держспоживстандарт України, 2017. 37 с. (Стандарти України).
182. ДСТУ EN 12824:2004 Мікробіологія харчових продуктів і кормів для тварин Горизонтальний метод виявлення *Salmonella* (EN 12824:1997, IDT) [Чинний від 2005-01-01]. К.: Держспоживстандарт України, 2005. 9 с. (Стандарти України).
183. ДСТУ ISO 18593:2006 Мікробіологія харчових продуктів і кормів для тварин. Мікробіологічний аналіз із використанням відбитків і змивів з поверхонь (ISO 18593:2004, IDT) [Чинний від 2007-07-01]. К.: Держспоживстандарт України, 2008. 7 с. (Стандарти України).
184. ДСТУ ISO 4833:2006 Мікробіологія харчових продуктів і кормів для тварин. Горизонтальний метод підрахунку мікроорганізмів. Техніка підрахування колоній за температури 30 °С (ISO 4833:2003, IDT) [Чинний від 2007-10-01]. К.: Держспоживстандарт України, 2008. 19 с. (Стандарти України).
185. ДСТУ ISO 6888-1:2003 Мікробіологія харчових продуктів та кормів для тварин. Горизонтальний метод підраховування коагулазо-позитивних стафілококів (*Staphylococcus aureus* та інших видів). Частина 1. Метод з використанням агарового середовища Беард-Паркера (ISO 6888-1:1999, IDT) [Чинний від 2004-01-01]. К.: Держспоживстандарт України, 2005. 9 с. (Стандарти України).
186. Кононенко, В.К., Ібатуллін, І.І., Патров, В.С. (2000). Практикум з

основ наукових досліджень у тваринництві. К. 96 с.

187. Якубчак О.М., Гончар В.В. Вміст жирних кислот у жовтках курячих харчових яєць за впливу лікопіну та астаксантину 9–10 червня 2022 року. Житомир: Поліський національний університет, 2022. С. 258.

ДОДАТКИ

**СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ****Статті у наукових фахових виданнях України**

1. **Гончар В. В.**, Якубчак О. М., Кудрявченко О. П. Вплив астаксантину та лікопіну на хімічний склад курячих харчових яєць за різних режимів зберігання. Сучасне птахівництво. 2020. № 5–6. С. 18–25. *(Здобувачем проведено дослідження, проаналізовано хімічний склад яєць та підготовлено матеріал до друку).*

2. **Гончар В. В.**, Якубчак О. М. Вплив лікопіну та астаксантину на морфологічні показники харчових курячих яєць за різних режимів зберігання. Сучасне птахівництво. 2021. № 7–8. С. 7–13. *(Здобувачем проведено дослідження, проаналізовано морфологічні параметри харчових яєць та підготовлено матеріал до друку).*

3. Гончар В. В., Якубчак О. М. Вплив кормових добавок лікопіну та астаксантину на мікробне обсіменіння харчових курячих яєць за зберігання. Сучасне птахівництво. 2022. № 5–6. С. 22–28. *(Здобувачем проведено дослідження, визначено мікробне обсіменіння харчових яєць та підготовлено матеріал до друку).*

**Статті у наукових виданнях,****включених до міжнародних наукометричних баз даних****Scopus та/або Web of Science Core Collection**

4. Shevchenko L. V., Iakubchak O. M., Davydovych V. A., **Honchar V. V.**, Ciorga M., Hartung J., Kołacz R. Influence of lycopene and astaxanthin in feed on metabolic parameters of laying hens, yolk color of eggs and their content of carotenoids and vitamin A when stored under refrigerated conditions. Polish Journal of Veterinary Sciences. 2021. Vol. 24. № 4. P. 525–535. *(Здобувачем визначено вміст в жовтках харчових яєць каротиноїдів та вітаміну А за різних режимів зберігання).*

5. **Honchar V.**, Iakubchak O., Shevchenko L., Midyk S., Korniyenko V., Kondratiuk V. Rozbytska T., Melnik V., Kryzhova Y. The effect of astaxanthin and



lycopene on the content of fatty acids in the yolks of chicken eggs under different storage regimes. *Potravinarstvo*. 2022. Vol. 16. P. 473–489. *(Здобувачем проведено дослідження, проаналізовано вміст жирних кислот в жовтках яєць за зберігання, оформлено результати та підготовлено матеріал до друку).*

### **Науково-практичні рекомендації**

6. Давидович В. А., **Гончар В. В.**, Шевченко Л. В., Якубчак О. М. Збагачення харчових курячих яєць лікопіном та астаксантином: науково-практичні рекомендації. Київ, 2022. 18 с. *(Затверджено й прийнято до впровадження в практику ветеринарної медицини Науково-методичною радою Державної служби України з питань безпеки харчових продуктів та захисту споживачів, протокол № 2 від 29.12.2021 р. Здобувачем проведено аналіз мікробного обсіменіння яєць, зроблено аналіз отриманих даних, підготовлено тези доповіді).*

### **Тези наукових доповідей**

7. **Гончар В. В.**, Якубчак О. М. Вплив барвників жовтків яєць на їх безпеку і якість. Сучасні тенденції ветеринарної освіти та науки: Всеукраїнська науково-практична конференція, м. Київ, 9 жовтня 2019 року: тези доповіді. Київ, 2019. С. 48. *(Здобувачем проведено дослідження, взято участь в узагальненні результатів і підготовці тез доповіді).*

8. **Гончар В. В.**, Якубчак О. М. Хімічний склад яєць за згодовування курям астаксантину і лікопіну. Сучасні аспекти лікування і профілактики хвороб тварин: IV Всеукраїнська науково-практична інтернет-конференція, м. Полтава, 15–16 жовтня 2020 року: тези доповіді. Полтава, 2020. С. 199. *(Здобувачем проведено дослідження, визначено хімічний склад яєць і підготовлено тези доповіді).*

9. **Гончар В. В.**, Давидович В. А., Якубчак О. М., Шевченко Л. В. Вплив астаксантину та лікопіну на вміст каротиноїдів і вітаміну А в жовтках яєць. Наукові передумови оптимізації органічного бізнесу: V Міжнародний конгрес «Органічна Україна 2021», м. Київ, 17 квітня 2021 року: тези доповіді. Київ, 2021. С. 53–56. *(Здобувачем проведено дослідження вмісту каротиноїдів*

*і вітаміну А в жовтках яєць, узагальнено результати і підготовлено тези доповіді).*

10. Давидович В. А., **Гончар В. В.**, Шевченко Л. В., Якубчак О. М. Вплив лікопіну і астаксантину на вміст каротиноїдів у свіжознесених яйцях харчових та за зберігання в умовах холодильника. XI International Scientific and Practical Conference Kyiv, 11–13 July 2021. Kyiv, 2021. С. 51–56. *(Здобувачем проведено дослідження вмісту лікопіну і астаксантину в курячих яйцях за зберігання в умовах холодильника, підготовлено тези доповіді).*

11. **Гончар В. В.**, Якубчак О. М. Морфологічні показники харчових курячих яєць за згодовування лікопіну та астаксантину на за різних режимів зберігання. Глобальні виклики ветеринарної медицини ХХІ століття: Міжнародна наукова конференція, м. Київ, 11 листопада 2021 року: тези доповіді. Київ, 2021. С. 35–38. *(Здобувачем проведено дослідження, взято участь в узагальненні результатів і підготовці тез доповіді).*

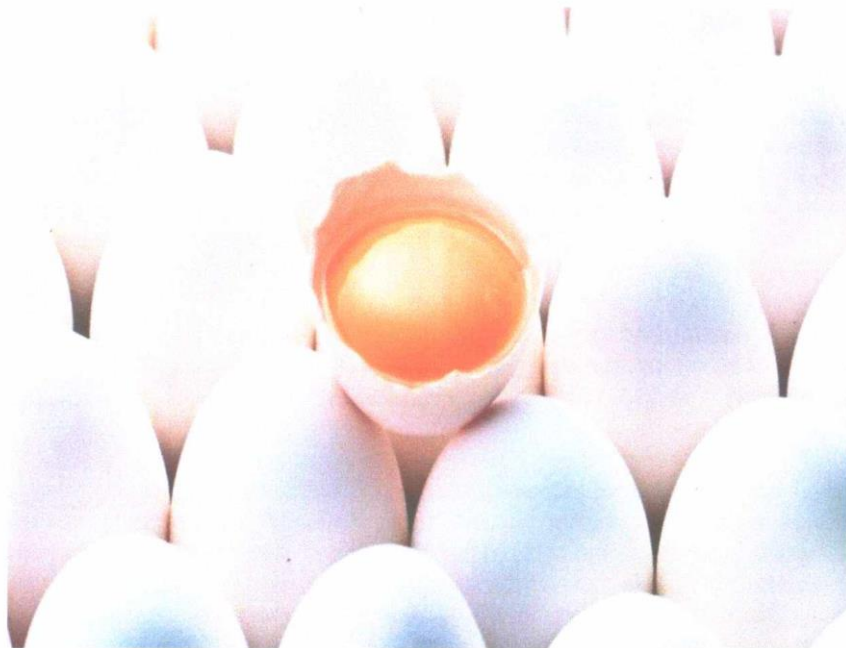
12. Якубчак О. М., **Гончар В. В.** Вміст жирних кислот у жовтках курячих харчових яєць за впливу лікопіну та астаксантину. Ветеринарна медицина: сучасні виклики і актуальні проблеми науки, освіти та продовольчої безпеки: Всеукраїнська науково-практична інтернет-конференція, м. Житомир, 9–10 червня 2022 року: тези доповіді. Житомир, 2022. С. 258. *(Здобувачем проведено дослідження вмісту жирних кислот в жовтках курячих яєць, узагальнено отримані результати).*

13. **Гончар В. В.**, Якубчак О. М. Мікробне обсіменіння харчових курячих яєць за зберігання. Єдине здоров'я – 2022: Міжнародна наукова конференція, м. Київ, 22–24 вересня 2022 року: тези доповіді. Київ, 2022. С. 177–179. *(Здобувачем проведено аналіз мікробного обсіменіння яєць, зроблено аналіз отриманих даних, підготовлено тези доповіді).*

**ДЕРЖАВНА СЛУЖБА УКРАЇНИ З ПИТАНЬ БЕЗПЕЧНОСТІ  
ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ ТА ЗАХИСТУ СПОЖИВАЧІВ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

**ЗБАГАЧЕННЯ ХАРЧОВИХ КУРЯЧИХ ЯЄЦЬ ЛІКОПІНОМ ТА  
АСТАКСАНТИНОМ**

(НАУКОВО-ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ)



Київ 2022

**УДК 637.4:612.015.4**

Науково-практичні рекомендації «Збагачення харчових курячих яєць лікопіном та астаксантином» розглянуто й схвалено на засіданні Вченої ради Української лабораторії якості і безпеки продукції АПК Національного університету біоресурсів і природокористування України, протокол № 3 від 28 квітня 2021 р., на засіданні Вченої ради Національного університету біоресурсів і природокористування України, протокол № 2 від 29 вересня 2021 р.

Розглянуто, затверджено і прийнято до впровадження в практику ветеринарної медицини Науково-методичною радою Державної служби України з питань безпечності харчових продуктів та захисту споживачів (протокол № 2 від 29.12.2021 р.).

**Розробники:** Давидович В.А., Гончар В.В., Шевченко Л.В., Якубчак О.М.,

**Рецензенти:**

Фотіна Т.І. – докторка ветеринарних наук, професор, завідувач кафедри ветсанекспертизи, мікробіології, зоогієни та безпеки і якості продуктів тваринництва Сумського національного аграрного університету;

Яценко І.В. – доктор ветеринарних наук, професор, завідувач кафедри ветеринарно-санітарної експертизи та судової ветеринарної медицини Харківської зооветеринарної академії;

Томчук В.А. – доктор ветеринарних наук, професор, академік Академії наук вищої освіти України, завідувач кафедри біохімії і фізіології тварин ім. акад. М.Ф. Гулого Національного університету біоресурсів і природокористування України.

Науково-практичні рекомендації «Збагачення харчових курячих яєць лікопіном та астаксантином» / [В.А. Давидович, В.В. Гончар, Л.В. Шевченко, О.М. Якубчак]. – Київ: «НУБіП України», 2022. – 18 с.

Наведені науково-практичні рекомендації «Збагачення харчових курячих яєць лікопіном та астаксантином» можуть бути основою для розробки технології виробництва харчових курячих яєць збагачених каротиноїдами природного походження лікопіном чи астаксантином із заданою кольоровою шкалою жовтків. Рекомендації розроблені на основі результатів науково-дослідної роботи.