

ОСОБЛИВОСТІ АНТИОКСИДАНТНОГО ВПЛИВУ ВІТАМІНУ Е НА ОКИСНІ ПРОЦЕСИ У М'ЯСІ ГУСЕЙ

Г. В. Рубан¹, О. В. Яковійчук¹, Т. І. Галько¹, О. О. Данченко²
nndea@ukr.net

¹Мелітопольський державний педагогічний університет ім. Богдана Хмельницького,
вул. Гетьманська, 20, м. Мелітополь, 72311, Україна

²Таврійський агротехнологічний університет,
пр. Богдана Хмельницького, 18, м. Мелітополь, 72315, Україна

З'ясовано особливості впливу подвоєної дози вітаміну Е в раціоні гусей у передзабійний період на якість їхнього м'яса та окисні процеси під час його низькотемпературного зберігання. Впродовж усього періоду постнатального розвитку гусей контрольної групи утримували на стандартному раціоні, збалансованому за обмінною енергією, протеїном і вітамінами. Раціон гусей дослідної групи з 42-ої до 63-ої доби відрізнявся вдвічі більшим (40 мг/кг) вмістом вітаміну Е. Забій птиці проводили у 63-добовому віці. Після забою з тушок вирізали м'ясо грудинки, яке заморожували повільним способом до температури -18°C . Для низькотемпературного зберігання використано м'ясо гусей двох зразків. М'ясо контрольного зразка отримане від гусей контрольної групи, дослідного зразка — від гусей дослідної групи.

Інтенсивність процесів пероксидного окиснення ліпідів у м'ясі гусей оцінювали за вмістом продуктів пероксидації, які реагують з 2-тіобарбітуровою кислотою — ТБКАП. Визначення цих продуктів проводили в гомогенатах м'яса (ТБКАП_{вих}) та за ініціації пероксидного окиснення Fe^{2+} (ТБКАП_{інік}). Окрім того, у м'ясі гусей визначали вміст вітамінів А, Е і β -каротину.

Встановлено, що введення до раціону гусей вітаміну Е в дозі 40 мг/кг корму в цей період сприяє вірогідному гальмуванню ($P \leq 0,05-0,001$) процесів ліпопероксидації у їхньому м'ясі під час низькотемпературного зберігання. М'ясо цих гусей характеризується вірогідно вищим вмістом вітаміну Е ($P \leq 0,05-0,01$) впродовж усього експерименту і на 29,1 % ($P \leq 0,01$) вищим вмістом β -каротину наприкінці досліду. Отже, удвічі збільшена доза вітаміну Е в передзабійний період не тільки покращує якість парного м'яса, але й гальмує його окисне псування.

Ключові слова: М'ЯСО, ПЕРЕДЗАБІЙНИЙ ПЕРІОД, НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНЕ ЗБЕРІГАННЯ, ОКИСНІ ПРОЦЕСИ, ВІТАМІН Е, ВІТАМІН А, β -КАРОТИН

FEATURES OF VITAMIN E ANTIOXIDANT EFFECT ON OXIDATIVE DAMAGE OF GEESE MEAT

G. V. Ruban¹, A. V. Yakoviichuk¹, T. I. Galko¹, O. A. Danchenko²
nndea@ukr.net

¹Melitopol State Pedagogical University named after Bohdan Khmelnytsky,
20 Hetmanska str., Melitopol 72311, Ukraine

²Tavria State Agrotechnological University,
18 B. Khmelnytsky Ave., Melitopol 72315, Ukraine

Features of influence of doubled dose of vitamin E in the diet of geese during pre-slaughter period on the quality of geese meat and its oxidative damage during its low-temperature storage were established. During the entire period of postnatal development, the geese in the control group were kept on a standard diet, balanced on exchange energy, protein and vitamins. The diet of the geese in the experimental group from 42 to 63 days differed by doubled up vitamin E content (40 mg/kg). Bird slaughter was carried out at 63-day old age. After the slaughter from the carcasses, the meat of the breast was cut out and frozen in a slow way to a temperature -18°C . For the low-temperature storage, geese meat of two samples was used. The meat of the control sample was obtained from the geese of the control group, and the meat of the experimental sample was from the geese of the experimental group.

The intensity of lipid peroxidation processes in geese meat was evaluated by the content of peroxidation products which react with 2-thiobarbituric acid (TBAAP). The determination of these products was carried out

in meat homogenates (TBAAP_{in}) and on the initiation of peroxide oxidation of Fe²⁺ (TBAAP_{init}). In addition, the content of vitamins A, E and β -carotene was determined in geese meat.

It has been established that the introduction of vitamin E in the diet of geese in a dose of 40 mg/kg of feed during this period contributes to reliable inhibition of lipoperoxidation processes in their meat during low-temperature storage. The meat of these geese is characterized by a significantly higher content of vitamin E throughout the experiment and by 29.1 % higher content in β -carotene at the end of the experiment. Thus, the doubled dose of vitamin E before slaughter not only improves the quality of paired meat, but also inhibits its oxidative damage.

Keywords: MEAT, PRE-SLAUGHTER PERIOD, LOW-TEMPERATURE STORAGE, OXIDATIVE DAMAGE, VITAMIN E, VITAMIN A, β -CAROTENE

ОСОБЕННОСТИ АНТИОКСИДАНТНОГО ВЛИЯНИЯ ВИТАМИНА Е НА ОКИСЛИТЕЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ В МЯСЕ ГУСЕЙ

А. В. Рубан¹, А. В. Яковийчук¹, Т. И. Галько¹, Е. А. Данченко²
nndea@ukr.net

¹Мелитопольський державний педагогічний університет ім. Б. Хмельницького, ул. Гетьманська, 20, г. Мелітополь, 72311, Україна

²Тавричеський агротехнологічний університет, пр. Богдана Хмельницького, 18, г. Мелітополь, 72315, Україна

Установлені особливості впливу удвоєної дози вітаміну Е в раціоні гусей в передубойний період на якість їх м'яса та окислювальні процеси в час його низкотемпературного зберігання. Впродовж всього періоду постнатального розвитку гусей контрольної групи утримували на стандартному раціоні, збалансованому за обмінною енергією, протеїном та вітамінами. Раціон гусей дослідної групи з 42-х до 63-х днів віку відрізнявся вдвічі більшим (40 мг/кг) вмістом вітаміну Е. Забій птахів проводили в 63-добовий вік. Після забою з тушок вирізали м'ясо грудки, яке заморожували поступово до температури –18 °С. Для низкотемпературного зберігання використовували м'ясо гусей двох образців. М'ясо контрольної групи отримано від гусей контрольної групи, дослідного зразка — від гусей дослідної групи.

Інтенсивність процесів перекисного окислення ліпідів в м'ясі гусей оцінювали за вмістом продуктів перекисної реакції, що реагують з 2-тіобарбітуровою кислотою — ТБАП. Визначення цих продуктів проводили в гомогенатах м'яса (ТБАП_{исх}) та при ініціації перекисного окислення Fe²⁺ (ТБАП_{инк}). Крім того, в м'ясі гусей визначали вміст вітамінів А, Е та β -каротину.

Встановлено, що введення в раціон гусей вітаміну Е в дозі 40 мг/кг корму в цей період сприяє достовірному гальмуванню ($P \leq 0,05-0,001$) процесів ліпопероксидації в їх м'ясі в час низкотемпературного зберігання. М'ясо цих гусей характеризується достовірно більшим вмістом вітаміну Е ($P \leq 0,05-0,01$) впродовж всього експерименту та на 29,1 % ($P \leq 0,01$) вищим вмістом β -каротину в кінці досліду. Отже, вдвічі збільшена доза вітаміну Е в передубойний період не тільки покращує якість парного м'яса, але й уповільнює його окислювальну порчу.

Ключевые слова: МЯСО, ПРЕДУБОЙНЫЙ ПЕРИОД, НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЕ ХРАНЕНИЕ, ОКИСЛИТЕЛЬНЫЕ ПРОЦЕССЫ, ВИТАМИН Е, ВИТАМИН А, β -КАРОТИН

Найнебезпечнішим агентом, який порушує тваринні клітини при зберіганні м'яса, є Оксиген, а саме його активні форми [10]. У міоцитах багато ферумвмісних білків, які за певних умов здатні перетворювати звичайний Оксиген на небезпечний для м'яса супероксид аніон-радикал. Саме він відіграє роль ініціатора перекисного окиснення ліпідів (ПОЛ) [1, 6, 8, 10, 12, 15]. При зберіганні м'яса в умовах, які унеможливають розвиток мікрофлори, найбільш негативним процесом, що погіршує

його якість, є нагромадження продуктів ліпопероксидації [10, 14]. Для поліпшення якості м'ясної продукції і збільшення термінів її зберігання широко застосовують природні та синтетичні антиоксиданти, серед яких одне з перших місць посідає вітамін Е. Доведено, що збільшення вмісту вітаміну Е в раціоні тварин у передзабійний період сприяє подовженню терміну зберігання м'яса [8, 9, 14]. Однак за останні роки з'явилась достатня кількість експериментальних даних, які доводять необхід-

ність переведення вітаміну Е з розряду «безпечних» і безперечно корисних для людини вітамінів до розряду сполук, які мають високу біологічну активність і залежно від багаточисельних факторів можуть проявляти як позитивний, так і негативний вплив на організм [3, 4]. Наприклад, встановлено, що надлишок токоферолу негативно впливає на метаболізм вітаміну К [16]. Втім, за даними [17], зі збільшенням концентрації вітаміну Е секреція його печінкою стає обмеженішою, більшість його екскретується, а концентрація у плазмі крові не підвищується більше, ніж у 2–4 рази. Автори вважають, що оптимальною є подвоєна доза вітаміну Е. З урахуванням вищенаведеної інформації, доцільність застосування вітаміну Е в дозах, які є в межах фізіологічної норми, набуває особливого значення.

Метою роботи було з'ясування особливостей впливу подвоєної дози вітаміну Е в раціоні гусей у передзайний період на якість їх м'яса та окисне псування під час його низькотемпературного зберігання. М'ясо гусей обрано як таке, що має підвищену здатність до ліпопероксидації через високий вміст ненасичених жирних кислот.

Матеріали і методи

Дослідження проводили на гусях італійської породи. Впродовж усього періоду постнатального розвитку гусей контрольної групи (26 голів) утримували на стандартному раціоні, збалансованому за обмінною енергією, протеїном і вітамінами згідно з рекомендаціями [11, 13]. Раціон гусей дослідної групи (26 голів) з 42-ої до 63-ої доби відрізнявся від раціону гусей контрольної вдвічі більшим (40 мг/кг) вмістом вітаміну Е. Забій птиці проводили у 63-добовому віці. Після забою з тушок вирізали м'ясо грудки, яке охолоджували при температурі +6 °С впродовж 4 годин і заморожували в морозильній камері повільним способом до температури –18 °С. У подальшому м'ясо зберігали в морозильній камері у пластикових контейнерах при температурі –18 °С та вологості повітря 85 %. Відбір зразків м'яса для аналізів здійснювали відповідно до стандарту [7]. Для низькотемпературного зберігання використано

м'ясо гусей двох зразків. М'ясо контрольного зразка отримане від гусей контрольної групи, а дослідного — від гусей дослідної групи.

Інтенсивність ПОЛ у м'ясі оцінювали за вмістом продуктів пероксидації, які реагують з 2-тіобарбітуровою кислотою — ТБКАП [2, 5]. Визначення цих продуктів проводили в гомогенатах м'яса (ТБКАП_{вих}) та за ініціації Fe^{2+} ПОЛ (ТБКАП_{інк}). Вміст вітамінів А, Е і β -каротину в м'ясі гусей визначали за відомими методиками [2]. Математичну обробку експериментальних даних здійснювали методами математичної статистики, у тому числі кореляційного аналізу, з використанням пакету комп'ютерної програми SPSS–13,0 і програми Microsoft Excel 2000.

Результати й обговорення

Аналіз динаміки вмісту вторинних продуктів ліпопероксидації у гомогенаті м'яса гусей контрольного зразка (ТБКАП_{вих}) свідчить (табл. 1), що впродовж перших 90 діб зберігання відбувається гальмування процесів ПОЛ і, відповідно, зменшення вмісту ТБКАП_{вих}.

Така динаміка цього показника, ймовірно, зумовлена тим, що процеси пероксидації в анаеробних умовах, що виникають у тканинах відразу після забою тварин, через нестачу акцепторів гідрогену гальмуються. Подальша активізація ПОЛ з 90-ої доби пов'язана з накопиченням ендogenousного кисню [10]. У контрольному зразку вірогідна активізація процесів ПОЛ спостерігається вже впродовж четвертого місяця, про що свідчать результати експерименту: вміст вторинних продуктів ліпопероксидації в цьому зразку з 90-ої до 120-ої доби збільшився в 2,05 рази ($P \leq 0,01$). У подальшому накопичення продуктів ПОЛ прискорилося (від 0,90 нмоль/г добу четвертого місяця до 1,30 нмоль/г добу сьомого і через 210 діб вміст ТБКАП_{вих} досягнув значення, яке у 4,78 рази ($P \leq 0,001$) перевищило відповідний вихідний показник.

Збільшення вмісту вітаміну Е в раціоні гусей сприяло подовженню терміну вихідної стабілізації прооксидантно-антиоксидантної рівноваги для м'яса гусей дослідного зразка під час його зберігання. Впродовж 150 діб вміст продуктів ліпопероксидації в ньому з певними

Таблиця 1

Вміст продуктів ліпопероксидації у м'ясі гусей досліджених зразків, нмоль/г ($M \pm m$, $n=6$)
The content of lipid peroxidation products in the meat geese of the samples, nmol/g ($M \pm m$, $n=6$)

Термін зберігання, діб Term of storage, days	Зразки м'яса / Samples of meat			
	контрольний / control		дослідний / experimental	
	ТБКАП _{вих.} ТВААР _{in}	ТБКАП _{инк.} ТВААР _{init}	ТБКАП _{вих.} ТВААР _{in}	ТБКАП _{инк.} ТВААР _{init}
0	32,39±1,08	45,23±0,56	36,52±1,08	49,18±1,73
30	25,37±0,34	36,45±1,72	34,37±0,85*	45,82±2,07*
60	28,36±0,01	43,53±2,00	37,46±0,37*	50,72±2,33
90	26,02±0,27	42,51±1,38	38,12±0,09**	55,46±1,39**
120	53,29±1,75	119,2±4,43	41,53±0,63*	58,93±1,64***
150	78,11±3,72	182,4±8,03	45,23±1,08**	73,41±2,41***
180	115,6±4,33	297,9±8,74	86,70±2,86**	152,9±7,32***
210	154,7±8,13	487,1±5,82	121,7±3,51**	272,5±5,72***

Примітка: тут і далі різниці вірогідні порівняно з контролем: * — $P \leq 0,05$; ** — $P \leq 0,01$; *** — $P \leq 0,001$.

Note: here and further the difference is significant in relation to meat of control sample: * — $P \leq 0,05$; ** — $P \leq 0,01$; *** — $P \leq 0,001$.

коливаннями утримувався на вихідному рівні і тільки зі 150-ої доби активізація процесів пероксидного окиснення призвела до вірогідного накопичення ТБКАП_{вих.}. У цілому вміст вторинних продуктів ліпопероксидації в м'ясі дослідного зразка за 210 діб зберігання зріс у 3,33 разу ($P \leq 0,001$). Додаткове використання вітаміну Е не впливає на загальні закономірності накопичення вторинних продуктів ліпопероксидації. Це підтверджується коефіцієнтом кореляції динаміки ТБКАП_{вих.} у досліджених зразках м'яса на рівні дуже тісного ($r=0,959$; $P \leq 0,01$). Отже, специфічність динаміки цього показника у контрольному і дослідному зразках полягає лише в тривалості стартового періоду прооксидантно-антиоксидантної рівноваги з низьким рівнем ТБКАП_{вих.}.

Рівень продуктів ліпопероксидації, ініційованої Fe (II), характеризує вміст ендogenous антиоксидантів у м'ясі і, відповідно, здатність до гальмування процесів ПОЛ. Для контрольного зразка м'яса цей показник з 90-ої до 210-ої доби підвищився у 11,46 разу ($P \leq 0,01$), що свідчить про вичерпання пулу ендogenous антиоксидантів.

Для дослідного зразка гусятини вміст ТБКАП_{инк.} упродовж усього дослідження збільшився у 5,54 разу ($P \leq 0,01$). Найсуттєвіші зміни цього показника відбувались тільки зі 150-ї доби. Середнє значення ТБКАП_{инк.} для контрольного зразка вірогідно перевищує цей показник дослідного зразка м'яса у 1,65 разу ($P \leq 0,01$).

Дані кореляційного аналізу свідчать про збереження узгодженості цього показника в межах досліджених зразків м'яса, проте порівняно з ТБКАП_{вих.} цей зв'язок для дослідного і контрольного зразків м'яса дещо слабший ($r=0,837$; $P \leq 0,01$), оскільки здатність до пероксидації визначається, з одного боку, ненасиченістю жирних кислот ліпідів м'яса, а з іншого — рівнем високо- і низькомолекулярних антиоксидантів, здатних протидіяти АФО і вільним радикалам [6].

Вихідний вміст досліджених вітамінів у м'ясі контрольного зразка свідчить про те, що якість м'ясної продукції, використаної для біохімічних досліджень, відповідає вимогам ДСТУ за вмістом вітаміну А і β -каротину й рекомендаціям Інституту птахівництва НААН за вмістом вітаміну Е. Подальші зміни цих показників визначаються вихідною якістю і термінами зберігання м'яса (табл. 2).

Вміст вітаміну Е в м'ясі гусей контрольного зразка упродовж 120 діб утримувався на сталому рівні. І навіть активізація процесів ліпопероксидації не призвела до вірогідних втрат цього вітаміну на 120-у добу зберігання. На тлі підвищення рівня пероксидного окиснення ліпідів, встановленого в м'ясі у цей період, така стабільність вмісту токоферолу свідчить про існування альтернативних шляхів дезактивації активних форм кисню [20]. Але зі 120-ї доби спостерігалось вірогідне зниження вмісту вітаміну Е на 28,5 % ($P \leq 0,01$). Зниження вміс-

Таблиця 2

Вміст жиророзчинних вітамінів у м'ясі гусей досліджених зразків, мкг/г ($M \pm m$, $n=6$)
The content of fatsoluble vitamins in geese meat of studied samples, mcg /g ($M \pm m$, $n=6$)

Зразок Sample	Термін зберігання, доба Term of storage, day	Вітамін А Vitamin A	Вітамін Е Vitamin E	β-Каротин β-Carotene
контрольний control	1	2,7±0,02	11,9±0,06	8,6±0,04
	120	3,4±0,06	12,3±0,15	7,3±0,08
	210	2,3±0,02	8,5±0,12	5,5±0,05
дослідний experimental	1	2,8±0,08	14,5±0,11**	8,6±0,04
	120	3,7±0,07	14,2±0,13*	8,6±0,05**
	210	2,3±0,03	12,9±0,06**	7,1±0,09**

ту вітаміну Е в цей період, ймовірно, пов'язано з його антиоксидантною функцією, адже відомо, що токоферол проявляє антирадикальний ефект за рахунок здатності утворювати мезомерно стабілізовані радикали.

Вміст вітаміну А в м'ясі гусей контрольного зразка упродовж перших 120 діб збільшився на 25,9 % ($P \leq 0,01$) і досяг максимального значення. Таке підвищення вмісту вітаміну А, можливо, зумовлене активізацією β-каротиндіоксигенази — ензиму, що каталізує трансформацію β-каротину у вітамін А і, за даними [18], зберігає свою активність за низьких температур. Зниження вмісту β-каротину на 15,1 % ($P \leq 0,01$) у цей період свідчить на користь цього припущення. Подальші зміни вмісту вітаміну А і β-каротину у м'ясі контрольного зразка односпрямовані: упродовж наступних 90 діб вміст вітаміну А скорочується на 32,3 % ($P \leq 0,01$), а β-каротину — на 24,7 % ($P \leq 0,01$), що, можливо, пов'язано із дезактивацією β, β-каротин-9',10'-оксигенази або β-каротин-15, 15'-монооксигенази, внаслідок накопичення вторинних продуктів ПОЛ. Відомо, що ці ензими відіграють важливу роль у підтримці антиоксидантного статусу клітин, а їхні дисфункції ведуть до розвитку патологічних станів [18, 19]. Вичерпання пулу цих вітамінів, безумовно, свідчить про погіршення якості м'яса.

Збільшення концентрації вітаміну Е в раціоні гусей дослідної групи сприяє накопиченню вітаміну Е у скелетних м'язах цієї птиці у передзабійний період, тому й вихідна Е-вітамінна забезпеченість м'яса цього зразка на 21,8 % ($P \leq 0,01$) вища за відповідний контрольний показник. На 120-у добу вміст вітаміну Е і β-каротину в м'ясі дослідного зразка зали-

шився на рівні вихідного. Одночасне збільшення вмісту вітаміну А у цьому зразку на 32,1 % ($P \leq 0,01$), можливо, зумовлене трансформацією інших каротиноїдів у ретинол. Впродовж наступних 90 діб на тлі підвищення рівня ліпопероксидації вміст основного тканинного антиоксиданту вітаміну Е вірогідно знизився, але залишився на 51,8 % ($P \leq 0,01$) вищим порівняно з відповідним показником контрольного зразка. Водночас вміст вітаміну А дослідного зразка зменшився на 37,8 % ($P \leq 0,01$) і досяг рівня відповідного контрольного показника, а вміст β-каротину зменшився на 17,4 % ($P \leq 0,01$), але залишився на 29,1 % ($P \leq 0,01$) вищим за контроль. На тлі активізації процесів ПОЛ така динаміка вітаміну А і β-каротину є додатковим свідченням їх антиоксидантних функцій.

Висновки

Вірогідне накопичення вторинних продуктів ліпопероксидації у м'ясі гусей під час його низькотемпературного зберігання (-18°C) розпочинається з 90-ої доби. Введення до раціону птиці подвоєної дози (40 мг/кг) вітаміну Е у передзабійний період сприяє вірогідному гальмуванню процесів ліпопероксидації у м'ясі під час його низькотемпературного зберігання. Отже, згодовування гусенят подвоєної дози (40 мг/кг) вітаміну Е у передзабійний період сприяє отриманню м'ясної продукції, здатної до тривалішого зберігання.

При зберіганні м'яса гусей, що за вітамінною забезпеченістю відповідає ДСТУ, упродовж 120 діб за температури -18°C вірогідної втрати вітамінів Е, А і β-каротину не спостерігається. Втрати досліджених вітамінів

встановлено впродовж останніх місяців досліджу на тлі інтенсифікації процесів пероксидного окиснення ліпідів. М'ясо дослідного зразка, отримане від гусей, відгодованих на раціоні з подвоєною дозою вітаміну Е, характеризується вірогідно вищим вмістом цього вітаміну упродовж усього досліджу і на 29,1 % ($P \leq 0,01$) вищим умістом β -каротину наприкінці досліджу. Отже, додавання до раціону гусей подвоєної дози (40 мг/кг) вітаміну Е у передзабійний період не тільки покращує якість парного м'яса, але й гальмує його окисне псування.

Перспективи подальших досліджень.

Дослідження впливу різних концентрацій вітаміну Е можливе за використання сучасних методів, що дозволять детальніше з'ясувати переваги і недоліки надлишку вітаміну Е з метою визначення його оптимальних концентрацій для організму цього різновиду птиці. Тому подальші дослідження будуть спрямовані на з'ясування позитивних і негативних наслідків збільшених у декілька разів доз вітаміну Е на розвиток птиці і в тому числі на метаболізм вітаміну К.

1. Andreev A. Yu., Kushnareva Yu. E., Starkov A. A. Metabolism of reactive oxygen species in mitochondria. *Biochemistry*, 2005, vol. 70, no. 2, pp. 246–264. (in Russian)

2. Antonov B. I., Antonov B. I., Yakovleva T. F., Deryabin V. I. *Laboratory research in veterinary medicine: biochemical and microbiological*. Moscow, Agropromizdat, 1991, 278 p. (in Russian)

3. Azzi A., Stocker A. Vitamin E: non-antioxidant roles. *Prog. lipid Res.*, 2000, vol. 39, pp. 231–255.

4. Azzi A., Gysin R., Kempná P., Munteanu A., Negis Y., Villacorta L., Visarius T., Zingg J. M. Vitamin E mediates cell signaling and regulation of gene expression. *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, 2004, vol. 1031, pp. 86–95.

5. Danchenko O. O., Paschenko J. P., Danchenko M. M., Zdorovtseva L. M. Support mechanisms prooxidant-antioxidant balance in the tissues of the liver of geese in conditions of hypo- and hyperoxia. *Ukr. Biochem. Zh.*, 2012, vol. 84, no. 6, pp. 109–114. (in Ukrainian)

6. Danchenko O. O., Ruban G. V., Boroday V. P. The specificity of oxidative damage and changes in fatty acid composition of lipids meat geese during its low-temperature storage. *Modern poultry*, 2013, no. 4, pp. 27–29. (in Ukrainian)

7. Danchuk V. V., Danchuk O. V., Tsepko N. L. Oxidativ stress — pathology or adaptation? *Livestock in Ukraine*, 2004, no. 4, pp. 21–23. (in Ukrainian)

8. Decker E., Crum A. α -Tocopherol and meat quality. *J. Food Sci.*, 1991, vol. 56, pp. 11–79.

9. Dmitrieva M. A., Rozanev E. G. Quality of meat and free radicals. *Meat Industry*, 2006, no. 12, pp. 52–54. (in Russian)

10. Gunczak A. V., Ratych I. B., Andreeva L. V., Sirko Ja. M., Stojanowska G. M. Role of vitamin E in the poultry nutrition. *The Animal Biology*, 2007, vol. 9, no. 1–2, pp. 70–82. (in Ukrainian)

11. Putilina F. E., Galkina O. V., Eshchenko N. D., Krosovska G. P. *Free radical oxidation. A textbook*. Moscow, Kolos, 2008, 172 p. (in Russian)

12. Sakhatsky M. I., Ivko I. I., Ionov I. A., Melnik V. O., Karkach P. M., Reznikovskiy V. K., Pydov V. Y., Chaplugin E. M. *Reference poultry*. Ed. E. Sakhatsky. Kharkiv, 2001, 160 p. (in Ukrainian)

13. *Recommendations for the normalization of feeding poultry*. Ed. Y. O. Ryabokon. Tags, Poultry Research Institute, 2005, 101 p. (in Ukrainian).

14. Ruban G. V., Zdorovtseva L. M., Danchenko O. O. Effect of vitamin E on lipid changes in fatty acid composition of meat geese during its low-temperature storage. *Poultry*, 2012, vol. 68, pp. 391–396. (in Ukrainian)

15. Łuczaj W., Gęgotek A., Skrzydlewska E. Antioxidants and HNE in redox homeostasis [Electronic resource]. *Free Radic Biol Med.*, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2016.11.033>.

16. Traber M. G., Leonard S. W., Bobe G., Fu X., Saltzman E., Grusak M. A., Booth S. L. α -Tocopherol disappearance rates from plasma depend on lipid concentrations: studies using deuterium-labeled collard greens in younger and older adults. *Am. J. Clin. Nutr.*, 2015, vol. 101, pp. 752–759.

17. Watts E. J., Shen Y., Lansky E. P., Nevo E., Bobe G., Traber M. G. High environmental stress yields greater tocotrienol content while changing vitamin E profiles of wild emmer wheat seeds. *J. Med. Food.*, 2015, vol. 18, pp. 216–223.

18. Wu L., Guo X., Hartson S. D., Davis M. A., He H., Medeiros D. M., Wang W., Clarke S. L., Lucas E. A., Smith B. J., Lintig J., Lin D. Lack of β , β -carotene-9', 10'-oxygenase 2 leads to hepatic mitochondrial dysfunction and cellular oxidative stress in mice [Electronic resource]. *Mol. Nutr. Food Res.*, 2016. Available at: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/mnfr.201600576/full>.

19. Wu L., Guo X., Wang W., Medeiros D. M., Clarke S. L., Lucas E. A., Smith B. J. Molecular aspects of β , β -carotene-9', 10'-oxygenase 2 in carotenoid metabolism and diseases. *Exp. Biol. Med.* (Maywood), 2016, vol. 241, pp. 1879–1887.