

**ВЕТЕРИНАРНО-САНИТАРНАЯ  
ОЦЕНКА ПОЛНОЦЕННОСТИ  
ПИЩЕВОЙ ПРОДУКЦИИ**

**VETERINARY SANITARY ASSESSMENT  
FULLNESS OF FOOD PRODUCTS**

УДК: 542.943–92

DOI:10.31677/2072-6724-2021-34-4-7-18

**ВЛИЯНИЕ ИНТОКСИКАЦИИ СВИНЦОМ И КАДМИЕМ  
НА АНТИОКСИДАНТНЫЙ СТАТУС ЦЫПЛЯТ-БРОЙЛЕРОВ  
И ЕГО КОРРЕКЦИЯ СИНТЕТИЧЕСКИМИ ПРЕПАРАТАМИ**

**Ю.И. Коваль**, кандидат биологических наук, доцент  
Новосибирский государственный аграрный университет  
E-mail: [chemi\\_ngau@mail.ru](mailto:chemi_ngau@mail.ru)

**Ключевые слова:** антропогенные загрязнители, кадмий, свинец, перекисное окисление липидов, цыплята-бройлеры, антиоксиданты.

**Реферат.** *Приводятся результаты изучения особенностей воздействия длительной (1,5 МДУ) и кратковременной (5, 10 и 15 МДУ) интоксикации тяжелыми металлами на антиоксидантный статус цыплят-бройлеров. Установлено, что добавление в рацион повышенных концентраций токсикантов приводит к их аккумуляции в мышечной, жировой тканях и коже птицы: содержание свинца возрастает в 2,25, кадмия – в 6,50 раза. Введение антиоксидантов оказало детоксикационное действие. Наиболее выраженным детоксикационным эффектом в условиях хронической интоксикации обладали липофильные соединения Тиофан и Тиофан М, среди гидрофильных (уступающих липофильным) – Фантокс 11-1. Аккумуляция тяжелых металлов в организме привела к снижению антиоксидантного статуса птицы, происходило ускорение окислительных процессов при длительном экспериментальном токсикозе до 3,10, при кратковременном – до 21,00 раза. Добавление к рациону с 7,5 мг свинца и 0,75 мг кадмия на 1 кг корма 100 мг липофильных антиоксидантов на 1 кг живой массы привело к снижению скорости реакций окисления. Присутствие ионов свинца и кадмия в тканях птицы вызвало сокращение периодов индукции при термостатировании проб до 90 %. Обогащение рациона Тиофаном и Фантоксом 11-1 привело к увеличению данного показателя до 12,40 раза. Выраженным действием характеризовался гидрофильный антиоксидант Фантокс 11-1 в дозировке 15 мг на 1 кг живой массы. Его введение в рацион позволит скорректировать нехватку эндогенных антиоксидантов и повысить антиоксидантный статус организма в условиях воздействия тяжелых металлов.*

## EFFECTS OF LEAD AND CADMIUM INTOXICATION ON ANTIOXIDANT STATUS OF BROILER CHICKENS AND ITS CORRECTION WITH SYNTHETIC PREPARATIONS

**Yu.I. Koval**, PhD in Biological Sciences, Associate Professor  
Novosibirsk State Agrarian University

**Key words:** *anthropogenic pollutants, cadmium, lead, lipid peroxidation, broiler chickens, antioxidants.*

**Abstract.** *The authors present the results of a study of the effects of long-term (1.5 MPa) and short-term (5, 10 and 15 MPa) intoxication with heavy metals on the antioxidant status of broiler chickens. The authors found that the addition of increased concentrations of toxicants to the diet leads to their accumulation in poultry's muscle, fat tissues, and skin. According to the study, lead content increases by 2.25 times, cadmium content increases by 6.5 times. Lipophilic compounds Tiofan and Tiofan M have the most pronounced detoxifying effect in chronic intoxication. Fantox 11-1 is the most pronounced detoxifying effect among hydrophilic compounds, which are inferior to lipophilic ones. Accumulation of heavy metals in the body led to a decrease in the antioxidant status of poultry. There was an acceleration of oxidative processes in long-term experimental toxicosis up to 3.10, up to 21.00 times in the short-term. The addition of 100 mg of lipophilic antioxidants per 1 kg of live weight to the diet with 7.5 mg of lead and 0.75 mg of cadmium per 1 kg of feed resulted in a decrease in the rate of oxidation reactions. The presence of lead and cadmium ions in the tissues of poultry caused a reduction of induction periods in the temperature-stabilized samples to 90%. Enrichment of the diet with Thiophan and Fantox 11-1 increased this indicator up to 12.40 times. The hydrophilic antioxidant Fantox 11-1 dosage of 15 mg per 1 kg of live weight had a pronounced effect. Its introduction into the diet will correct the lack of endogenous antioxidants and increase the body's antioxidant status under the influence of heavy metals.*

Воздействие агрессивных факторов окружающей среды, таких как повышенные концентрации тяжелых металлов (свинца и кадмия), оказывает угнетающее влияние на все системы живого организма [1–3].

В результате кратковременного воздействия соединений свинца и кадмия происходит нарушение обменных процессов – снижаются концентрации белковых фракций и углеводов, активность ферментов [4, 5].

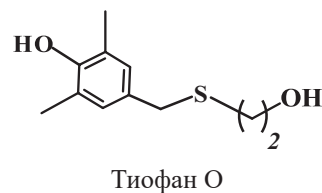
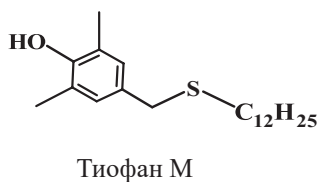
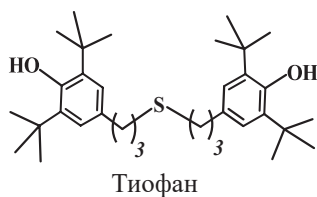
Длительная нагрузка тяжелыми металлами приводит к снижению иммунного статуса организма, ионы свинца и кадмия избирательно аккумулируются в различных органах и тканях, активизируют окислительные процессы в клетках [6, 7].

Литературные данные свидетельствуют о способности тяжелых металлов к накоплению в жировой и мышечной тканях и возможном их каталитическом влиянии на окислительные процессы [8]. Для снижения их скорости, повышения антиоксидантного статуса организма необходимо использование натуральных или синтетических добавок, содержащих соединения, обладающие антиоксидантным действием. Перспективны в этом отношении синтетические фенольные антиоксиданты (рис. 1).

Данные соединения обладают выраженной антиатерогенной и антиканцерогенной активностью, повышают иммунный статус и улучшают общее состояние организма, не оказывают влияния на состояние белкового, углеводного и липидного обмена, не приводя к нарушениям функции и морфологии крови [9–11].

Ранее было установлено, что антиоксиданты проявляют детоксикационные свойства в отношении соединений свинца и кадмия в модельных экспериментах [12, 13].

### Липофильные соединения



### Гидрофильные соединения

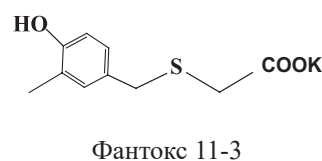
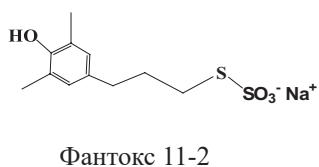
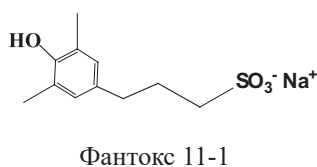


Рис. 1. Структуры соединений, используемых в исследовании

Цель исследования – изучить влияние интоксикации тяжелыми металлами – свинцом и кадмием, на антиоксидантный статус цыплят-бройлеров и возможность его коррекции синтетическими препаратами.

Задачи:

1. Определить содержание свинца и кадмия в гомогенатах из мышечной, жировой тканей и кожи цыплят-бройлеров.
2. Установить особенности кратковременной и длительной интоксикации свинцом и кадмием на скорость перекисного окисления липидов.
3. Изучить воздействие синтетических липо- и гидрофильных антиоксидантов на окислительные процессы в организме сельскохозяйственной птицы в условиях моделирования нагрузки тяжелыми металлами.

Исследования проводились в группах-аналогах цыплят-бройлеров кросса Isa на базе птицефабрики «Бердская» по схемам, представленным в табл. 1, 2.

Цыплята всех групп содержались клеточно. Плотность посадки, микроклимат, условия кормления и поения для всех групп были одинаковы и соответствовали рекомендациям ВНИТИП. Цыплят кормили полнорационными, сбалансированными по содержанию питательных и биологически активных веществ комбикормами. Ацетаты свинца и кадмия и антиоксиданты взвешивали на весах ВЛКТ с точностью до 0,1 мг и вводили в основной рацион методом ступенчатого перемешивания.

Эксперименты завершились убоем всего поголовья.

Для изучения влияния тяжелых металлов и антиоксидантов на процесс окисления липидов у птицы контрольных и опытных групп был произведен забор проб грудной, бедренной мышц, кожи и абдоминального жира, ткани (в соотношении по массе 1 : 1 : 1 : 1) гомогенизировали и замораживали.

Гомогенаты были исследованы на содержание в них ионов кадмия и свинца. Токсиканты определяли на приборе ТА-7 методом инверсионной вольтамперометрии [14].

После 3, 6 и 9 месяцев хранения в условиях заморозки пробы размораживали. Жир вытравливали на водяной бане при 100 °С, фильтровали через бумажный фильтр, охлаждали.

Особенности процессов перекисного окисления липидов изучали по накоплению первичных продуктов окисления, концентрацию которых определяли методом йодометрического титрования и выражали в перекисных числах [15].

Таблица 1

Схема первого эксперимента

Группа (n=20)	Режим кормления (1–49-е сутки)
Контрольная	Основной рацион
Опытные	
1-я	ОР + 7,5 мг свинца / кг корма + 0,75 мг кадмия / кг корма (ТМ)
2-я	ОР + ТМ + 100 мг Тиофана / кг живой массы птицы
3-я	ОР + ТМ + 100 мг Тиофана М / кг живой массы птицы
4-я	ОР + ТМ + 100 мг Тиофана О / кг живой массы птицы
5-я	ОР + ТМ + 10 мг Фантокса 11-1 / кг живой массы птицы
6-я	ОР + ТМ + 10 мг Фантокса 11-2 / кг живой массы птицы
7-я	ОР + ТМ + 10 мг Фантокса 11-3 / кг живой массы птицы

Таблица 2

Схема второго эксперимента

Группа (n=20)	Режим кормления, день эксперимента	
	1–10-й	11–42-й
Контрольная	Основной рацион (ОР)	
Опытные		
1-я	ОР + 25,0 мг свинца/кг массы + 2,5 мг кадмия/кг массы	ОР
2-я	ОР + 50,0 мг свинца/кг массы + 5,0 мг кадмия/кг массы	
3-я	ОР + 75,0 мг свинца/кг массы + 7,5 мг кадмия/кг массы	
4-я		ОР + 50 мг Тиофана / кг живой массы птицы
5-я		ОР + 150 мг Тиофана / кг живой массы птицы
6-я		ОР + 5 мг Фантокса 11-1 / кг живой массы птицы
7-я		ОР + 15 мг Фантокса 11-1 / кг живой массы птицы

Параллельно процессы образования пероксидных радикалов изучались колориметрическим методом. Гомогенаты после разморозки термостатировали при 37 и 60 °С. Ежедневно отбирали аликвоты жира, обрабатывали их ацетоном, добавляли растворы соли Мора и родонида аммония. Известно, что молекула пероксида окисляет ион  $Fe^{2+}$  в  $Fe^{3+}$ , дающий с роданидом аммония окрашенное комплексное соединение. Интенсивность окраски измеряли с помощью спектрофотометра SPECORD UV VIS в видимой области при длине волны 485 нм. Изменение величины оптической плотности свидетельствовало о накоплении перекисей в образцах. По экспериментально полученным данным строили кинетическую кривую изменения оптической плотности от времени, по которой определяли величину  $\tau$ , равную единице оптической плотности, что соответствует перекисному числу 0,05.

Все полученные цифровые данные обработаны биометрически с помощью пакета прикладных программ SNEDECOR. Достоверность различия между средними значениями двух выборочных совокупностей определяли с помощью критерия Стьюдента.

Одной из задач исследования явилось определение содержания тяжелых металлов, поступающих с рационом, в гомогенатах из мышечной, жировой тканей и кожи цыплят-бройлеров. Результаты анализа представлены в табл. 3, 4.

Уровень токсикантов в контрольных и опытных пробах не превышал санитарно-гигиенические нормы. Однако введение соединений свинца и кадмия привело к их значительному накоплению в жировой, мышечной тканях и коже цыплят-бройлеров, что было установлено при анализе гомогенатов.

Таблица 3

Содержание свинца и кадмия в гомогенатах (первый эксперимент), мг•10<sup>-2</sup>/ кг

Проба (гомогенат)	Свинец	Кадмий
Контрольная	12,00±1,00**	0,10±0,01***
Опытные		
1-я	27,00±1,50	0,66±0,20
2-я	13,60±1,30**	0,12±0,05***
3-я	16,30±0,06**	0,11±0,03***
4-я	20,47±0,60*	0,20±0,08**
5-я	15,40±2,00**	0,30±0,10**
6-я	18,30±1,00*	0,32±0,10**
7-я	19,60±3,00*	0,41±0,10**

\* P<0,05; \*\* P<0,01; \*\*\* P<0,001 (по отношению к 1-й опытной пробе).

Таблица 4

Содержание свинца и кадмия в гомогенатах (второй эксперимент), мг•10<sup>-2</sup>/ кг

Проба (гомогенат)	Свинец	Кадмий
Контрольная	1,00±0,10	0,15±0,01
Опытные		
1-я	1,00±0,10	0,22±0,01**
2-я	1,00±0,10	0,24±0,05**
3-я	2,00±0,10***	0,21±0,04**
4-я	1,00±0,10••	0,20±0,03
5-я	1,00±0,08••	0,17±0,02•
6-я	1,00±0,10••	0,18±0,02
7-я	1,00±0,10••	0,16±0,01•

\* P<0,05; \*\* P<0,01; \*\*\* P<0,001 (по отношению к контрольной пробе);

• P<0,05; •• P<0,01 (по отношению к 3-й опытной пробе).

Хроническая интоксикация тяжелыми металлами вызвала достоверное увеличение уровня свинца – в 2,25, кадмия – в 6,50 раза.

Введение синтетических антиоксидантов оказало детоксикационное действие. Содержание свинца в гомогенатах уменьшалось от 1,27 до 2,00, кадмия – от 2,83 до 5,90 раза при использовании жирорастворимых антиоксидантов в дозировках 100 мг на 1 кг живой массы. Концентрация токсикантов при введении в рацион 10 мг водорастворимых антиоксидантов снижалась в 1,38–1,80 (свинец) и 1,62–2,03 раза (кадмий).

Наиболее выраженным детоксикационным эффектом обладали липофильные антиоксиданты Тиофан и Тиофан М, среди гидрофильных (уступающих липофильным) – Фантокс 11-1.

Кратковременное (в течение 10 суток) поступление соединений свинца и кадмия в организм птицы также привело к увеличению концентраций токсикантов.

Достоверное увеличение уровня свинца в 2,00 раза наблюдалось только при введении в рацион 75 мг свинца и 7,5 мг кадмия на 1 кг корма. Содержание кадмия в 1–3-й опытных пробах возрастало от 1,40 до 1,60 раза.

Введение в рацион синтетических антиоксидантов Тиофан (50 и 150 мг/кг массы) и Фантокс 11-1 (5 и 15 мг/кг массы) вызвало достоверное снижение уровня свинца в жировой и мышечной тканях птицы до 2,00, кадмия – до 1,25 раза. Причем в отношении ионов кадмия детоксикационные свойства усиливались при увеличении дозировок антиоксидантов.

Таким образом, показано, что моделирование нагрузки свинцом и кадмием на живые системы вызывает накопление токсикантов в тканях птицы и может, вероятно, ослабляя системы антиоксидантной защиты организма, усиливать окислительный стресс.



Экспериментально изучить влияние тяжелых металлов на антиоксидантный статус живого организма можно разными способами: оценивая уровень эндогенных антиоксидантов ферментативного или неферментативного характера, или путем определения концентраций продуктов окисления – конъюгированных диенов, гидроперекисей, пероксидных радикалов, альдегидов, холестерина, липопротеинов низкой плотности и т.д.

Особенности процессов перекисного окисления липидов в первом и втором экспериментах изучали по накоплению первичных продуктов окисления, концентрацию которых выражали в перекисных числах.

Длительное поступление в рацион повышенных концентраций тяжелых металлов вызвало значительное ускорение окислительных процессов (рис. 2), перекисное число 1-й опытной пробы жира после 6 месяцев хранения превосходило значение контрольной пробы практически в 3,08 раза ( $P < 0,01$ ).

Поступая в организм с рационом, антиоксиданты могут накапливаться (преимущественно в печени, жировой ткани), способствовать замедлению скорости окислительных процессов или полностью их блокировать.

Добавление к рациону с токсикантами 100 мг/кг живой массы липофильных антиоксидантов привело к снижению скорости реакций окисления: Тиофана М – до 4,00, Тиофана – до 2,67, Тиофана О – до 1,60 раза ( $P < 0,01–0,05$ ).

Гидрофильные антиоксиданты также оказали ингибирующее действие на образование перекисных радикалов в пробах жира цыплят-бройлеров, получавших тяжелые металлы: Фантокс 11-1 – до 8,00, Фантокс 11-3 – до 4,00, Фантокс 11-2 – до 1,60 раза ( $P < 0,01–0,05$ ).

Наши данные подтверждают полученные ранее [4] о том, что липофильные антиоксиданты в некоторых случаях уступают гидрофильным. В изученном случае это объясняется их меньшей биологической доступностью для организма при скормливание птице в сухом виде.

Во втором эксперименте организм цыплят-бройлеров подвергался кратковременной интоксикации, дозировки свинца и кадмия при этом соответствовали 5, 10 и 15 МДУ.

Результаты, полученные в ходе анализа гомогенатов, свидетельствовали, что уже через 3 месяца хранения перекисное число 2-й и 3-й опытных проб значительно превосходило (в 15–21 раз,  $P < 0,05$ ) соответствующий показатель контрольной пробы (рис. 3).

Ко второму контрольному сроку произошло значительное увеличение концентрации пероксид-радикалов в пробах: в контрольной – в 70,00, в 1-й опытной – в 13,50, во 2-й опытной –

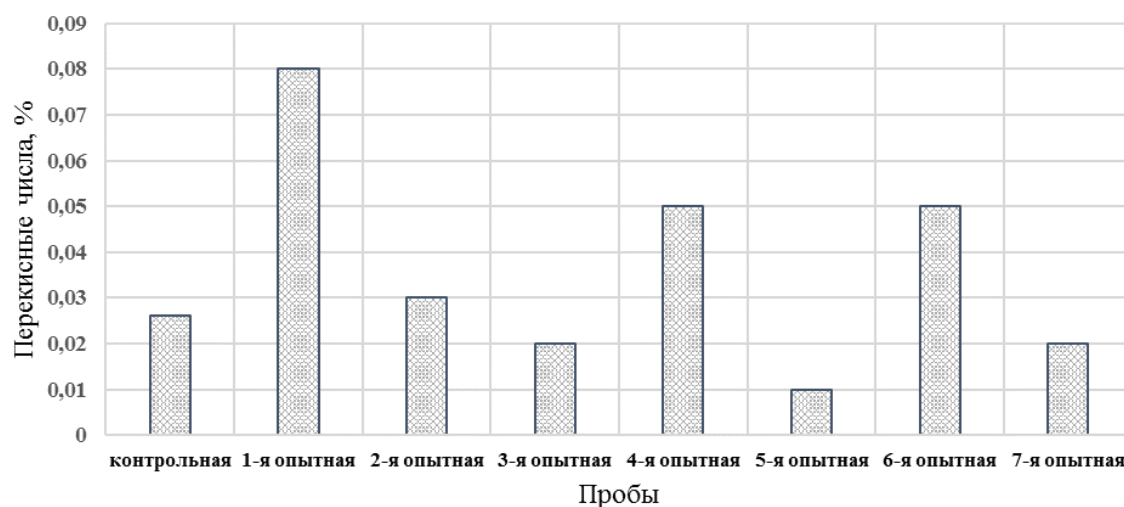


Рис. 2. Перекисные числа липидов (первый эксперимент)

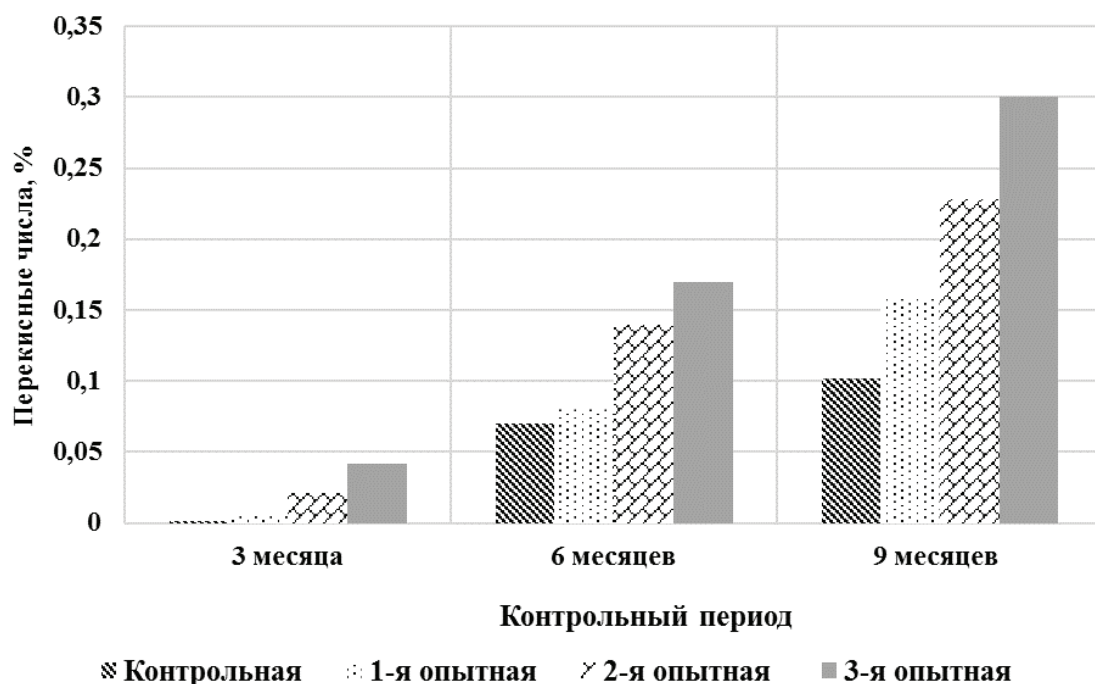


Рис. 3. Динамика изменения перекисных чисел (второй эксперимент)

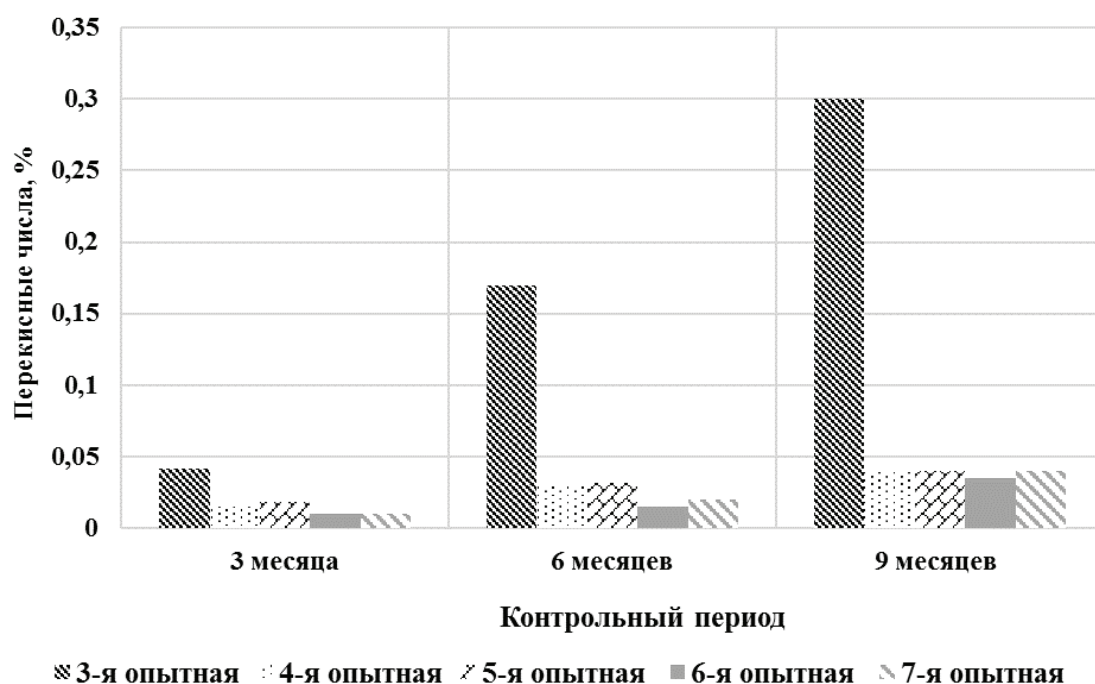


Рис. 4. Динамика изменения перекисных чисел (второй эксперимент)

в 9,13, в 3-й опытной – в 7,48 раза. Перекисные числа 2-й и 3-й опытных проб превосходили показатель контрольной пробы в 1,96–2,24 раза ( $P < 0,01$ ). Достоверных отличий в значениях контрольной и 1-й опытной проб установлено не было.

После 9 месяцев хранения уровень перекисных радикалов превосходил значения предыдущего периода лишь в 1,47–1,96 раза. Перекисные числа опытных проб были достоверно выше – в 1,54–2,60 раза, чем в контрольной пробе ( $P < 0,01–0,05$ ).

Присутствие в рационе птицы антиоксидантов способствовало снижению скорости окислительных процессов (рис. 4).

Таблица 5

Величина периодов индукции (τ) гомогенатов жира, сут

Образцы	Период индукции	
	37 °C	60 °C
<i>3 месяца хранения</i>		
Контрольный	11,0±0,5	4,0±0,2
Опытные		
1-й	10,0±0,3**	2,5±0,1**
2-й	7,0±0,1**	1,0±0,2**
3-й	2,0±0,2**	0,5±0,1**
4-й	6,0±0,1••	4,5±0,4••
5-й	9,0±0,2••	7,4±0,1••
6-й	11,5±0,3••	6,5±0,3••
7-й	15,0±0,5••	8,0±0,2••
<i>6 месяцев хранения</i>		
Контрольный	10,5±0,5	4,0±0,1
Опытный		
1-й	9,0±0,2**	1,5±0,1**
2-й	4,0±0,2**	0,8±0,1**
3-й	1,0±0,1**	0,3±0,1**
4-й	5,5±0,3••	1,5±0,2••
5-й	7,5±0,6••	2,0±0,3••
6-й	9,5±0,1••	4,4±0,6••
7-й	12,4±0,5••	6,5±0,2••
<i>9 месяцев хранения</i>		
Контрольный	10,0±0,4	3,5±0,2
Опытные		
1-й	7,0±0,5**	0,9±0,2**
2-й	2,0±0,3**	0,3±0,1**
3-й	1,0±0,1**	0,2±0,1**
4-й	3,8±0,1••	1,1±0,1••
5-й	4,2±0,5••	1,7±0,1••
6-й	8,1±0,4••	2,8±0,5••
7-й	10,0±0,2••	4,5±0,2••

\*\* P < 0,01 (достоверно к контрольной пробе внутри периода);

•• P < 0,01 (достоверно к 3-й опытной пробе внутри периода).

Результаты, полученные в ходе анализа гомогенатов жира, показали, что уже через 3 месяца хранения перекисное число 4–7-й опытных проб значительно уступало (в 2,33–4,20 раза, P<0,05) соответствующему показателю 3-й опытной пробы.

Ко второму контрольному сроку перекисные числа 4–7-й опытных проб уступали 3-й пробе в 5,67–11,33 раза (P<0,01).

После 9 месяцев хранения уровень перекисных радикалов 4–7-й опытных проб был достоверно ниже – в 7,50–8,57 раза, чем в 3-й пробе (P<0,01–0,05).

Наименьшим значением перекисных чисел по истечении 9 месяцев хранения в условиях заморозки характеризовался образец, полученный у птицы 7-й опытной группы с применением 15 мг Фантокса 11-1.

Концентрация пероксидных радикалов в 3-й пробе резко возрастала в процессе хранения. В пробах жира птицы, получавшей после экспериментального токсикоза антиоксиданты, такой выраженной закономерности не наблюдалось, более того, за весь период хранения значения перекисного числа, равного 0,05 (прогорклый жир) достигнуто не было.

Параллельно процессы образования пероксидных радикалов во втором эксперименте изучались колориметрическим методом (табл. 5).



Контрольные образцы характеризовались периодами индукции 3,5–11 суток, в зависимости от срока хранения и температуры автоокисления.

В результате термостатирования 1–3-го опытных образцов при 37 °С (хранившихся в условиях заморозки в течение 3 месяцев) установлено, что периоды индукции уступали контрольному значению в аналогичном температурном режиме: на 10,00 (1-й опытный образец), 30,00 (2-й) и 80,00 % (3-й); через 6 месяцев хранения разница с контролем незначительно увеличилась и составила 14,28; 61,90 и 90,48 % соответственно. Далее отмечено снижение значений периода индукции у 1-й и 2-й опытных проб – на 30,00 и 80,00 % соответственно, у 3-й опытной пробы период индукции по сравнению с предыдущим показателем (6 месяцев) не изменился, но уступал контрольному на 90,00 %.

Повышение температуры реакционной системы до 60 °С привело к резкому сокращению показателей периодов индукции во всех анализируемых образцах: у контрольных проб – до 2,85, у 1–3-го опытных – до 7,80 раза.

При сравнении результатов в зависимости от времени хранения установлено, что после 3 месяцев опытные пробы уступали по показателю периода индукции контрольной пробе в 1,60–8,00 раза, после 6 месяцев разница составила 2,67–13,33 раза, после 9 месяцев – 3,89–17,50 %.

Следовательно, каталитический эффект на скорость окислительных процессов оказывают не только тяжелые металлы, но и температура, при которой протекала реакция, а также период хранения.

В результате термостатирования 4–7-го опытных образцов при 37 °С установлено, что периоды индукции превосходили 3-й образец в аналогичном температурном режиме: в 3,00–5,50 (4-й опытный образец), в 4,20–5,75 (5-й), в 5,75–9,50 (6-й) и 7,50–12,40 раза (7-й).

Повышение температуры реакционной системы до 60 °С привело к уменьшению показателей периодов индукции во всех анализируемых образцах: у 3-й опытной пробы – до 5,00, у 4–7-й – до 2,90 раза.

При сравнении результатов в зависимости от времени хранения установлено, что после 3 месяцев 4–7-я опытные пробы уступали по показателю периода индукции 3-й опытной пробе в 5,00–16,00 раз, после 6 месяцев разница составила 5,00–21,66 раза, после 9 месяцев – 5,50–22,50 %.

Наибольшими периодами индукции характеризовались пробы, полученные у птицы 7-й опытной группы с применением 15 мг водорастворимого антиоксиданта Фантокс 11-1.

Таким образом, изучение влияния интоксикации тяжелыми металлами – свинцом и кадмием – на антиоксидантный статус цыплят-бройлеров и возможности его коррекции синтетическими препаратами показало:

1. Введение соединений свинца и кадмия привело к их значительному накоплению в жировой, мышечной тканях и коже цыплят-бройлеров. Хроническая интоксикация тяжелыми металлами вызвала достоверное увеличение уровня свинца – в 2,25, кадмия – в 6,50 раза. Кратковременное поступление токсикантов привело к аккумуляции свинца и повышению его содержания до 2,00, кадмия – до 1,60 раза.

2. Добавление к рациону птицы синтетических антиоксидантов вызвало детоксикационный эффект в отношении ионов тяжелых металлов. При введении антиоксидантов совместно с токсикантами содержание свинца в гомогенатах уменьшалось до 2,00, кадмия – до 5,90 раза. Наиболее выраженным действием характеризовались Тиофан (100 мг/кг живой массы) и Фантокс 11-1 (10 мг/кг живой массы). Введение антиоксидантов Тиофан (в дозировках 50 и 150 мг/кг живой массы) и Фантокс 11-1 (в дозировках 5 и 15 мг/кг живой массы) после кратковременной нагрузки тяжелыми металлами вызвало снижение уровня свинца в жировой и мышечной тканях птицы до 2,00, кадмия – до 1,25 раза.

3. Аккумуляция тяжелых металлов в организме привела к снижению антиоксидантного статуса птицы. Длительное поступление в рацион повышенных концентраций тяжелых металлов вызвало ускорение окислительных процессов до 3,08 раза. Добавление к рациону с токсикантами липофильных антиоксидантов привело к снижению скорости реакций окисления до 4,00, гидрофильных – до 8,0 раза. Непродолжительный экспериментальный токсикоз катализировал окисление липидов, и оно возрастало до 21,00 раза. Добавление Тиофана (в дозировках 50 и 150 мг/кг живой массы) и Фантокса 11-1 (в дозировках 5 и 15 мг/кг живой массы) после прекращения токсикоза вызвало снижение окислительных реакций до 11,33 раза. Присутствие ионов свинца и кадмия в тканях птицы вызвало сокращение периодов индукции при термостатировании проб до 90,00 %. Обогащение рациона синтетическими антиоксидантами Тиофан и Фантокс 11-1 привело к увеличению данного показателя до 12,40 раза.

4. По совокупности анализируемых показателей наиболее выраженным действием характеризовался гидрофильный антиоксидант Фантокс 11-1 в дозировке 15 мг на 1 кг живой массы. Его введение в рацион позволит скорректировать нехватку эндогенных антиоксидантов и повысить антиоксидантный статус организма в условиях воздействия тяжелых металлов.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Химические основы токсического действия тяжелых металлов (обзор)* / С.Г. Скугорева, Т.Я. Ашихмина, А.И. Фокина, Е.И. Лялина // Теоретическая и прикладная экология. – 2016. – № 1. – С. 4–13.
2. *Concentrations and health risks of lead, cadmium, arsenic, and mercury in rice and edible mushrooms in China* / Q. Hu [et al.] // Food Chemistry. – 2014. – Vol. 147. – P. 147–151.
3. *Сульдина Т.И.* Содержание тяжелых металлов в продуктах питания и их влияние на организм // Рациональное питание, пищевые добавки и биостимуляторы. – 2016. – № 1. – С. 136–140.
4. *Желтышева О.С.* Влияние плодово-ягодных гомогенатов на толерантность крыс к антропогенным загрязнителям (свинцу и кадмию): автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Красноярск, 2009. – 17 с.
5. *Тюлюпина Л.И.* Физиологическая оценка организма крыс при действии поллютантов (кадмия и свинца) и использовании растительных экстрактов: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Новосибирск, 2013. – 19 с.
6. *Экологические основы инновационного совершенствования пищевых продуктов: монография* / Т.И. Бокова; Новосиб. гос. аграр. ун-т, СибНИИ переработки с.-х. продукции. – Новосибирск: Изд-во НГАУ, 2011. – 284 с.
7. *Лисунова Л.И., Токарев В.С.* Физиологическое состояние и продуктивность цыплят-бройлеров при повышенных дозах кадмия в рационах // Вестник НГАУ. – 2016. – № 1 (38). – С. 58–62.
8. *Розанцев Э.Г., Шолле В.Д.* Органическая химия свободных радикалов. – М.: Химия, 1979. – 344 с.
9. *Фенольные биоантиоксиданты* / Н.К. Зенков, Н.В. Кандалинцева, В.З. Ланкин, Е.Б. Меньшикова, А.Е. Просенко. – Новосибирск: СО РАМН, 2003. – 328 с.
10. *Серосодержащие фенольные антиоксиданты как хемосенсибилизаторы цитостатиков и их комбинаций* / Т.Н. Богатыренко, Н.В. Кандалинцева, В.Р. Богатыренко, Т.Е. Сашенкова, Д.В. Мищенко // Российский биотерапевтический журнал. – 2017. – Т. 16, № 5. – С. 11–12.
11. *Синтез и антиоксидантная активность новых серо- и селенсодержащих аналогов витамина Е* / С.Е. Ягунов, С.В. Хольшин, Н.В. Кандалинцева, А.Е. Просенко // Биоантиоксидант. – 2015. – С. 211.

12. Коваль Ю.И. Влияние соединений с антиоксидантными свойствами на аккумуляцию свинца и кадмия в органах и тканях цыплят-бройлеров: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Новосибирск, 2011. – 16 с.
13. Коваль Ю.И. О повышении пределов толерантности цыплят-бройлеров к экотоксикантам // Экология, окружающая среда и здоровье человека: XXI век. сб. ст. по материалам II Международ. науч.-практ. конф. – 2016. – С. 106–112.
14. ГОСТ 51301-99. Продукты пищевые и продовольственное сырье. Инверсионно-вольтамперометрические методы определения содержания токсических элементов (Cd, Pb, Cu, Zn). – М.: Госстандарт России, 1999.
15. ГОСТ 8285-91. Жиры животные топленые. Правила приемки и методы испытания. – М.: Госстандарт России, 1991.

## REFERENCES

1. Skugoreva S.G., Ashihmina T.Ya., Fokina A.I., Lyalina E.I., Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya, 2016, No. 1, pp. 4-13. (In Russ.)
2. Fang Y., Sun X., Yang W., Ma N., Xin Z., Fu J., Liu X., Liu M., Mariga A.M., Zhu X., Hu Q., Food Chemistry, 2014, Vol. 147, P. 147–151.
3. Sul'dina T.I. Racional'noe pitanie, pishchevye dobavki i biostimulyatory, 2016, No. 1, pp. 136-140. (In Russ.)
4. Zheltysheva O.S. Vliyanie plodovo-yagodnyh gomogenatov na to-lerantnost' krysa k antropogennym zagryaznitelyam (svincu i kadmiyu) (The effect of fruit and berry homogenates on the tolerance of rats to anthrogenic pollutants (lead and cadmium)), Extended abstract of candidate's thesis, Krasnoyarsk, 2009, 17 p. (In Russ.)
5. Tyulyupina L.I. Fiziologicheskaya ocenka organizma krysa pri dejstvii pollyutantov (kadmiya i svinca) i ispol'zovaniya rastitel'nykh ekstraktov (Physiological assessment of the rat organism under the action of pollutants (cadmium and lead) and the use of plant extracts), Extended abstract of candidate's thesis, Novosibirsk, 2013, 19 p. (In Russ.)
6. Bokova T.I. Ekologicheskie osnovy innovacionnogo sovershenstvovaniya pi-shchevykh produktov (Ecological foundations of innovative improvement of food products), Novosibirsk: NGAU, 2011, 284 p.
7. Lisunova L.I., Tokarev V.S., Vestnik NGAU, 2016, No. 1 (38), pp. 58-62. (In Russ.)
8. Rozancev E.G., Sholle V.D., Organicheskaya himiya svobodnykh ra-dikalov (Organic chemistry of free radicals), Moscow, 1979, 344 p.
9. Zenkov N.K., Kandalinceva N.V., Lankin V.Z., Men'shikova E.B., Prosenko A.E., Fenol'nye bioantioksidanty (Phenolic bioantioxidants), Novosibirsk, SB RAMS, 2003, 328 p.
10. Bogatyrenko T.N., Kandalinceva N.V., Bogatyrenko V.R., Sashenkova T.E., Mishchenko D.V., Rossijskij bioterapevticheskij zhurnal, 2017. – Vol. 16, No. 5, pp. 11-12. (In Russ.)
11. Yagunov S.E., Hol'shin S.V., Kandalinceva N.V., Prosenko A.E., Bioantioksidant, 2015, p. 211. (In Russ.)
12. Koval' Yu.I. Vliyanie soedinenij s antioksidantnymi svojstvami na akumulyaciyu svinca i kadmiya v organah i tkanyah cyplyat-brojlerov (The effect of compounds with antioxidant properties on the accumulation of lead and cadmium in the organs and tissues of broiler chickens), Extended abstract of candidate's thesis, Novosibirsk, 2011, 6 p. (In Russ.)
13. Koval' Yu.I. Ekologiya, okruzhayushchaya sreda i zdorov'e cheloveka (Ecology, environment and human health), Proceedings of the 2nd International Scientific and Practical Conference, 2016, pp. 106-112. (In Russ.)

14. GOST (State Standard) 51301-99 Produkty pishchevye i prodovol'stvennoe syr'e. Inversionno-vol'tamperometricheskie metody opredeleniya sodержaniya toksicheskikh elementov Cd, Pb, Cu, Zn (Food products and food raw materials. Inversion-voltammetric methods for determining the content of toxic elements Cd, Pb, Cu, Zn), Moscow, Gosstandart of Russia, 1999.
15. GOST (State Standard) 8285-91 Zhiry zhivotnye toplenye. Pravila priemki i metody ispytaniya (Animal fats are melted. Acceptance rules and test methods), Moscow, Gosstandart of Russia, 1991.