2020 Т. 50 № 4 / Техника и технология пищевых производств / Food Processing: Techniques and Technology
ISSN 2074-9414 (Print)
ISSN 2313-1748 (Online)
https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-4-670-680
УДК 543.9:636
Оригинальная статья
http://fptt.ru

Исследования биохимических и микроструктурных особенностей щитовидной железы баранчиков специального откорма

Т. М. Гиро[1], А. В. Куликовский[1,*], А. С. Князева[2], И. Ю. Домницкий[1], А. В. Гиро[1]

[1] *Саратовский государственный аграрный университет им. Н. И. Вавилова, Саратов, Россия*

[2] *Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова, Москва, Россия*

Дата поступления в редакцию: 23.09.2020
Дата принятия в печать: 25.12.2020

**e-mail: a.kulikovskii@fncps.ru*

© Т. М. Гиро, А. В. Куликовский, А. С. Князева, И. Ю. Домницкий, А. В. Гиро, 2020

Аннотация.
Введение. Настоящая статья посвящена изучению биохимических и микроструктурных особенностей щитовидной железы баранчиков, выращенных с использованием рационов, обогащенных эссенциальными элементами. Представлена характеристика важнейшего физиологически активного микроэлемента – йода, используемого для синтеза гормонов щитовидной железы – тироксина и трийодтиронина, играющих важную роль в регуляции метаболических процессов.
Объекты и методы исследования. Щитовидная железа от ягнят эдильбаевской породы в возрасте 7 месяцев, получавших кормовые добавки «Йоддар-Zn» и «ДАФС-25», обогащенные белково-углеводным комплексом и минеральной подкормкой «Коретрон», содержащие в своем составе органические источники микроэлементов и минералов (йода, селена, кремния). Для проведения опыта были сформированы четыре группы ягнят эдильбаевской породы по 10 голов в каждой.
Результаты и их обсуждение. Выявлены микроструктурные особенности щитовидной железы у баранчиков эдильбаевской породы, выращенных с использованием рационов, обогащенных йодом и селеном. На основании комплексного морфологического исследования строения щитовидной железы установлено, что использование кормовых добавок «Йоддар-Zn» и «ДАФС-25» в рационе экспериментальных животных не имеет отрицательных последствий для структуры ткани щитовидной железы, вызывая функциональную активизацию органа. Определены характерные особенности в морфологических показателях щитовидной железы баранчиков, указывающие на породные отличия, которые должны быть учтены при оценке продуктивности животных. По результатам исследований выявлено, что концентрация йода в щитовидной железе, полученной от баранчиков опытной группы, выше, чем в контрольной, в 5–6 раз.
Выводы. Обогащение рационов мелкого рогатого скота кормовыми добавками на основе «ДАФС-25» и «Йоддар-Zn», растительного кремния и белково-углеводного комплекса не оказывает отрицательного влияния на структуру ткани щитовидной железы и приводит к накоплению в щитовидной железе йода в органической форме (в виде йодтирозинов).

Ключевые слова. Молодняк животных, железы животных, биохимические особенности, кормовые добавки, эссенциальные микроэлементы, микроструктурные исследования

Финансирование. Работа выполнена на базе ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н. И. Вавилова» (Саратовский ГАУ) в рамках гранта Российского научного фонда (РНФ) № 19-76-10013 «Разработка и внедрение технологии производства и хранения экологически безопасной баранины, обогащенной эссенциальными микроэлементами».

Для цитирования: Исследования биохимических и микроструктурных особенностей щитовидной железы баранчиков специального откорма / Т. М. Гиро, А. В. Куликовский, А. С. Князева [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2020. – Т. 50, № 4. – С. 670–680. https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-4-670-680.

Original article
Available online at http://fptt.ru/eng

Biochemical and Microstructural Profile of the Thyroid Gland from Lambs Raised on Experimental Diets

Tatiana M. Giro[1], Andrey V. Kulikovsky[1,*], Alexandra S. Knyazeva[2], Ivan Yu. Domnitsky[1], Anna V. Giro[1]

[1] N.I. Vavilov Saratov State Agrarian University, Saratov, Russia

[2] V.M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of RAS, Moscow, Russia

*e-mail: a.kulikovskii@fncps.ru

Received: September 23, 2020
Accepted: December 25, 2020

© T.M. Giro, A.V. Kulikovsky, A.S. Knyazeva, I.Yu. Domnitsky, A.V. Giro, 2020

Abstract.
Introduction. The present research featured biochemical and microstructural features of thyroid glands obtained from lambs raised on various feeds enriched with essential elements. The article focuses on iodine as the most important physiologically active microelement. Iodine participates in the synthesis of thyroid hormones, namely thyroxine and triiodothyronine, which are known to regulate metabolic processes. Iodine deficiency may impair reproductive function and cause such diseases as endemic goiter.
Study objects and methods. The study involved thyroid glands from lambs of the Edilbaev breed aged seven months. The lambs were divided into four experimental groups, ten animals in each. The lambs received several feed additives. Ioddar-Zn and DAFS-25 had a balanced protein and carbohydrate content, while the mineral feed of Coretron brand contained such trace elements and minerals as iodine, selenium, and silicon.
Results and discussion. The experiment made it possible to describe the microstructural profile of the thyroid glands extracted from seven-month-old lambs raised on feeds enriched with iodine and selenium. Ioddar-Zn and DAFS-25 did not harm the structure of the thyroid tissue, while causing its functional activation in some cases. The morphological parameters of the thyroid glands indicated some breed differences. The iodine concentration in the thyroid glands obtained from the experimental animals was five or six times higher than that in the control group. The content of mono- and diiodotyrosine depended on the accumulation profile of organic iodine.
Conclusion. Diets enforced with DAFS-25, Ioddar-Zn, silicon, and a protein-carbohydrate complex produced no negative effect on the structure of the thyroid tissue. It fact, the diet increased the organic iodine content in the thyroid glands in the form of iodotyrosines. The gland structure revealed some cubic epithelium or follicular cells. The mass spectrometric studies confirmed the presence of covalently bound iodine in the form of mono- and diiodotyrosine. Thus, the abovementioned feed additives can be recommended for industrial use.

Keywords. Young animals, animal glands, biochemical characteristics, feed additives, essential trace elements, microstructural studies

Funding. The research was performed on the premises of N.I. Vavilov Saratov State Agrarian University (Saratov SAU) and funded by the Russian Science Foundation (RSF), grant No. 19-76-10013 “Development and implementation of technology for the production and storage of ecologically safe lamb meat enriched with essential microelements”.

For citation: Giro TM, Kulikovsky AV, Knyazeva AS, Domnitsky IYu, Giro AV. Biochemical and Microstructural Profile of the Thyroid Gland from Lambs Raised on Experimental Diets. Food Processing: Techniques and Technology. 2020;50(4):670–680. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-4-670-680.

Введение

Эффективным методом выращивания биофортифицированной баранины является обогащение рациона мелкого рогатого скота эссенциальными нутриентами. Основным преимуществом прижизненного обогащения баранины является исключение риска отрицательного эффекта превышения потребления рекомендуемых суточных норм [1]. Использование кормовых добавок «ДАФС-25» и «Йоддар-Zn», в основе которых растительный кремний, органический йод и белково-углеводный комплекс, является одним из подходов к повышению продуктивности при выращивании мелкого рогатого скота, а также способствует решению проблемы йоддефицитных заболеваний животных [2].

Щитовидная железа сельскохозяйственных животных является уникальным органом. Она обеспечивает гомеостаз организма за счет биосинтеза тиреоидных гормонов и особого белка – тиреоглобулина – путем конденсации двух молекул дииодтирозина в молекулу тетраиодтиронина [3, 4]. Связываясь со специфическими глобулинами крови, иодтиронины транспортируются клетками организма, где и проявляют свое действие. Иодтиронины влияют на скорость метаболизма и потребление кислорода тканями. Это повышает интенсивность расщепления углеводов, жиров и белков в процессе обмена веществ с освобождением большого количества энергии [5, 6].

Йодированный казеин – активный белок щитовидной железы. Рейнеке и Тернер сообщили о его первом синтезе в 1942 г. [7, 8]. Сегодня йодированный казеин, производимый промышленностью, используется в качестве добавки в корма для животных. Эффекты йодированного казеина доказаны многими исследователями [9, 10]. Когда йодированный казеин попадает в организм животного, то он участвует в основном метаболизме и стимулирует выделение тироксина щитовидной железой [11, 12]. Это приводит к ускорению роста животных и увеличению их продуктивности [13].

Йод используется для синтеза гормонов щитовидной железы – тироксина и трийодтиронина, играющих важную роль в регуляции метаболических процессов [14, 15]. Регуляция обмена йода в организме осуществляется тиреотропным гормоном передней доли гипофиза. Йодная недостаточность проявляется падением продуктивности и развитием эндемического зоба в виде увеличения объема щитовидной железы, а также нарушением воспроизводительной функции [16].

Поскольку йодированный казеин не является чистым соединением, то его прямой анализ в образцах затруднен. Однако гидролиз йодированного казеина может привести к высвобождению гормонов щитовидной железы и других йодоаминокислот. Косвенный мониторинг йодированного казеина с помощью анализа этих характерных соединений прост [17]. Первой йодаминокислотой, выделенной из гидролизата йодированного казеина, был тиреоидный гормон тироксин (T4) [18]. Затем последовали 3,3’,5-трийод-тиронин (T3), 3-монотирозин (МИТ) и 3,5-дииодтирозин (ДИТ) и 3,3’,5’-трийод-тиронин (rT3) и небольшое количество дийодотиронина (T2) [19, 20]. В недавнем исследовании было обнаружено, что содержание МИТ и ДИТ выше. Гидролитическая стабильность этих соединений выше, чем у других йодоаминокислот, высвобождаемых из йодированного казеина [21]. Следовательно, МИТ и ДИТ являются подходящими целевыми аналитами для мониторинга уровней йодированного казеина [22].

Селен является составным компонентом таких ферментов, как глютатионредуктаза и глютатионпероксидаза. Биологическая роль селена обусловлена его участием в регуляции образования антиоксидантов. Существует тесная корреляция между уровнем в организме селена и активностью селен-содержащего фермента глютатионпероксидазы, который предотвращает накопление в клетках перекисных продуктов обмена веществ. Кроме того, селен и витамин Е дополняют эффекты друг друга. Они входят в структуру мембран клеток, где витамин Е связан с арахидоновой килотой фосфолипидов, а селен связан с белками, содержащими «негеминовое железо», предохраняя его от окисления [23]. Селен способствует нейтрализации перекисей жирных кислот за счет активации глютатион-пероксидазы. Витамин Е предохраняет окисление жирных кислот мембран клеток, выполняя роль антиоксиданта.

Цель научной работы – исследование влияния рационов мелкого рогатого скота, обогащенных эссенциальными микроэлементами, на особенности биохимических и микроструктурных характеристик щитовидной железы.

Объекты и методы исследования

Разработаны кормовые добавки «Йоддар-Zn» (ТУ 10.91.10-252-10514645-2019) (табл. 1) и «ДАФС-25» (ТУ 10.91.10-253-10514645-2019) (табл. 2), содержащие эссенциальные микроэлементы. Также кормовые добавки дополнительно обогащены белково-углеводным комплексом и минеральной подкормкой «Коретрон», в состав которых входят органические источники микроэлементов и минералов (йода, селена, кремния). Состав и соотношение компонентов указаны в таблице 1 и таблице 2.

Кормовая добавка «Йоддар-Zn» (Ioddar-Zn) используется для обогащения рационов сельскохозяйственных животных. Она является источником биодоступного йода в органической форме и цинка. «Йоддар-Zn» содержит в своем составе йодированные белки молока в сочетании с соединениями цинка с аминокислотами, а также вспомогательные компоненты: лактоза, крахмал картофельный и стеарат кальция. Эффективность данной кормовой добавки подтверждена свидетельством о государственной регистрации № ПВР-2-10.9/02488 от 29.12.2009 г.

«ДАФС-25» представляет собой органическое вещество – диацетофенонилселенид (ТУ 9337-001-26880895-96, свидетельство о гос. регистрации № ПВР 2.04.0185-96) с массовой долей селена не менее 25 %. Являясь компонентом рациона животных и птиц, способствует повышению общей резистентности организма и продуктивности животных. «ДАФС-25» применяют для профилактики

Таблица 1. Состав кормовой добавки на основе «Йоддар-Zn», растительного кремния и белково-углеводного комплекса

Table 1. Feed additive based on Ioddar-Zn, plant silicon, and a protein-carbohydrate complex

Ингредиент	Содержание
Растительный кремний (диотомит «Коретрон»), %	1,0
Кормовая добавка «Йоддар-Zn», %	1,0
Белково-углеводный комплекс, % в том числе тыквенный жмых	98,00 20,00

Таблица 2. Состав кормовой добавки на основе «ДАФС-25», растительного кремния и белково-углеводного комплекса

Table 2. Feed additive based on DAFS-25, plant silicon, and a protein-carbohydrate complex

Ингредиент	Содержание
Растительный кремний (диотомит «Коретрон»), %	1,0
Ветеринарный препарат «ДАФС-25», мг/100г	0,16
Белково-углеводный комплекс, % в том числе: тыквенный жмых	99,00 20,00

беломышечной болезни, токсической дистрофии печени ягнят, поросят, телят, птицы, экссудативного диатеза цыплят и других болезней, вызванных селенистой недостаточностью.

«Коретрон» – порошок серого цвета, состоящий из аморфного кремнезема биогенного происхождения. Представляет собой минеральную добавку, применяемую при производстве комбикормов и премиксов для разных видов сельскохозяйственных животных и птиц. Она выступает в качестве антислеживающего агента (адсорбента микотоксинов) и является источником водорастворимого кремния (органическая форма), необходимого для стабильной работы гладкой мускулатуры желудочно-кишечного тракта животных и птиц и улучшения усвоения кальция. Также отмечено его положительное влияние при систематическом употреблении на сокращение количества гельминтной инвазии из-за насыщения организма аморфным кремнием [16].

Исследования по определению эффективности скармливания кормовой добавки проводили на поголовье молодняка овец эдильбаевской породы в условиях УПП «Экспериментальное животноводство» ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н. И. Вавилова» (Саратовская область, Краснокутский район, г. Красный Кут). Для проведения опыта на поголовье молодняка овец были сформированы 4 группы баранчиков по 10 голов в каждой (контроль и опыт). Выращивание баранчиков осуществляли с 4-х до 7-ми месяцев.

Подбор животных осуществляли по методу пар-аналогов. Все животные получали общехозяйственный рацион (ОР). Животные опытной группы дополнительно к ОР получали предлагаемые кормовые добавки в количестве 1 %. Соотношение добавок в рационе при совместном использовании «Йодар-Zn» и «ДАФС-25» составляло 1 к 1 или по 1 % от массы корма. Продолжительность опыта составляла 105 дней, а именно числе подготовительный период (10 дней), переходный (5 дней), главный (90 дней). Животные всех групп содержались в одинаковых условиях.

Щитовидные железы извлекались методом тонкого препарирования. Были изучены их биохимические особенности, строение и изменения гистологической структуры от баранчиков четырех групп в зависимости от рациона.

Микроэлементный состав исследовали по ГОСТ EN 31707-2012 методом атомно-абсорбционной спектрометрии.

Определение органической формы йода проводили по ГОСТ 33422-2015 методом ВЭЖХ с масс-спектрометрическим детектированием. Для определения иодированных аминокислот (МИТ и ДИТ) был использован метод жидкостной квадрупольный масс-спектрометрии с ионизацией электроспрей. Исследования проводили на системе ВЭЖХ «Agilent 1200» с масс-спектрометрическим детектором «Agilent 6410». Подготовка проб включала гидролиз протеолитическими ферментами и очистку гидролизата твердофазной экстракцией (ТФЭ). Перед проведением приборной идентификации проводилась предколоночная дериватизация с бутанолом и ацетилхлоридом [24].

Для проведения микроструктурных исследований щитовидные железы фиксировали в 10 %-ном водном растворе нейтрального формалина (100 мл 40 % формальдегида, 900 мл воды, карбонат кальция в избытке). Процесс осуществляли при комнатной температуре в течение двух суток. После чего железы промывали проточной водой в течение двух суток, обезвоживали спиртом восходящей концентрации (начиная с 50 до 96 %) и заливали в парафиновые блоки. Срезы желез размером 5 мкм производили с помощью санного микротома, освобождали от парафина и окрашивали гематоксилином Эрлиха и эозином с последующим микроскопированием [25, 26].

Результаты и их обсуждение

Дана комплексная оценка биохимических и микроструктурных характеристик щитовидной железы молодняка овец эдильбаевской породы, выращенных с использования рационов, включающих кормовые добавки на основе «ДАФС-25» и «Йоддар-Zn», растительного кремния и белково-углеводного комплекса.

Микроэлементный состав баранины от животных различных рационов откорма в возрасте 7 месяцев представлен в таблице 3.

В баранине опытных животных, получавших добавку «ДАФС-25», наибольшее содержание селена отмечено в I (286,30 ± 100,20 мкг/кг) и III (300,20 ± 105,10 мкг/кг) группах, наименьшее количество – 199,70 ± 69,90 мкг/кг в мясе контрольных животных.

Таблица 3. Количественное содержание микроэлементов в мясе подопытных баранчиков

Table 3. Trace elements in the meat of experimental lambs

Показатель, мкг/кг	Группы			
	Контрольная	I опытная	II опытная	III опытная
Кремний (Si)	26,28 ± 2,61	29,26 ± 2,41	29,75 ± 2,91	30,75 ± 2,91
Селен (Se)	199,70 ± 69,90	286,30 ± 100,20	253,40 ± 88,70	300,20 ± 105,10
Цинк (Zn)	31,15 ± 2,21	31,15 ± 2,21	36,54 ± 3,17	36,54 ± 3,17

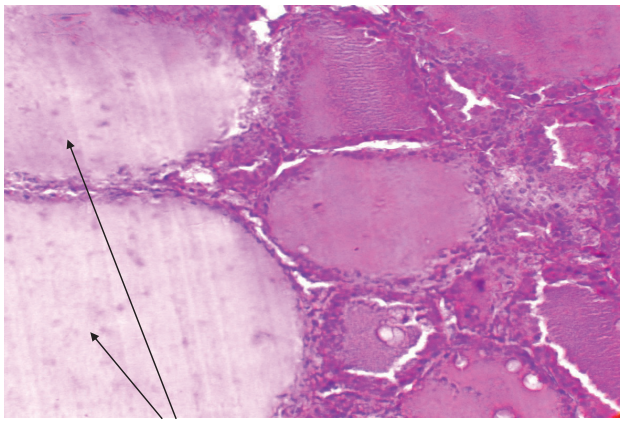

Рисунок 1. Щитовидная железа от животных контрольной группы. Единичные большие фолликулы. Окраска гематоксилином Эрлиха и эозином, ×300

Figure 1. Thyroid gland from control animals: single large follicles; staining with Ehrlich's hematoxylin and eosin, ×300

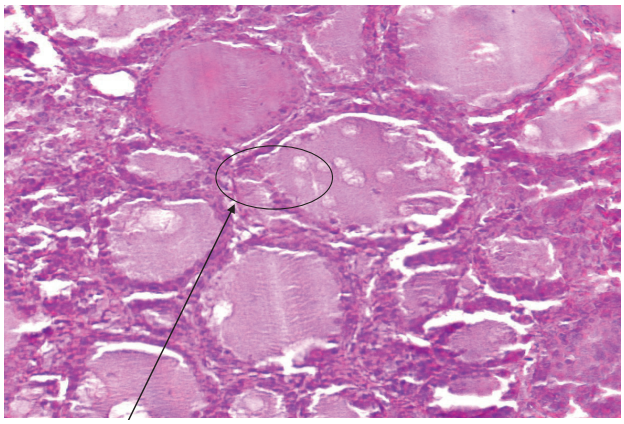

Рисунок 2. Щитовидная железа от животных контрольной группы. Резорбционные вакуоли. Окраска гематоксилином Эрлиха и эозином, ×300

Figure 2. Thyroid gland from control animals: resorptive vacuoles; staining with Ehrlich's hematoxylin and eosin, ×300

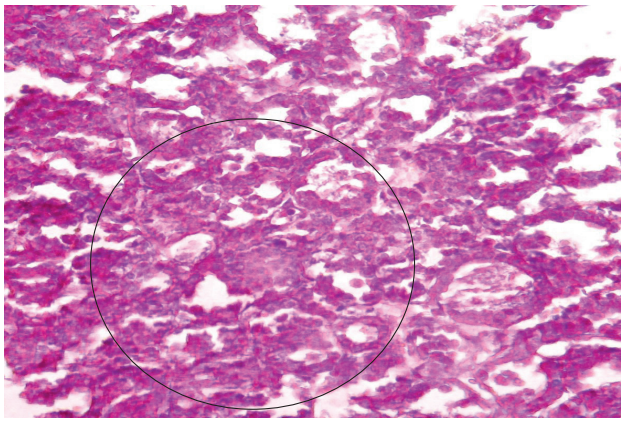

Рисунок 3. Щитовидная железа от животных, получавших добавку «Йоддар-Zn». Снижение количества фолликулов, заполненных коллоидом. Окраска гематоксилином Эрлиха и эозином, ×300

Figure 3. Thyroid gland from experimental animals fed with with Ioddar-Zn: decrease in the number of follicles filled with colloid; staining with Ehrlich's hematoxylin and eosin, ×300

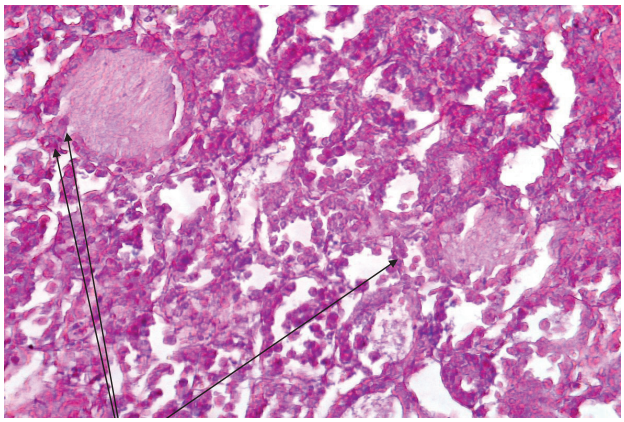

Рисунок 4. Щитовидная железа от животных, получавших добавку «Йоддар-Zn». Резорбционные вакуоли. Окраска гематоксилином Эрлиха и эозином, ×300

Figure 4. Thyroid gland from experimental animals fed with Ioddar-Zn: resorptive vacuoles; staining with Ehrlich's hematoxylin and eosin, ×300

Щитовидная железа играет важную роль в гормонально обусловленном поддержании гомеостаза организма, являясь незаменимым органом, меняющим валентность поступающего в неё йода с последующим синтезом йодсодержащих гормонов. Она сильно зависит от витаминно-микроэлементного состава рационов животных, т. е. от веществ, участвующих в непосредственной регуляции ее функционального состояния (I, Se, Mg, Cu, витамин B_6). Таким образом, функциональное состояние щитовидной железы позволяет судить о полноценности рационов, а сама железа соответствует требованиям объекта подобных исследований.

Были проведены микроструктурные исследования щитовидных желез с последующим микроскопированием. На рисунках 1 и 2 представлена щитовидная железа от животных контрольной группы. Структура щитовидной железы характеризуется наличием единичных больших фолликулов, выстланных кубическим эпителием и заполненных гомогенной розоватой массой – коллоидом (рис. 1).

На рисунке 2 хорошо заметны интерфолликулярные островки, а также резорбционные вакуоли.

На рисунках 3 и 4 представлена щитовидная железа от животных, получавших добавку «Йоддар-Zn».

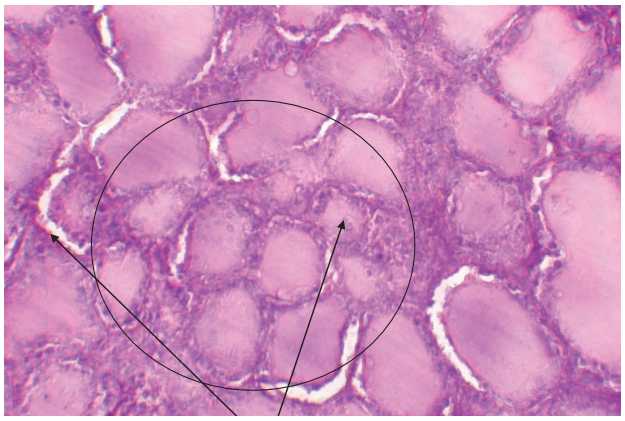

Рисунок 5. Щитовидная железа от животных, получавших добавку «ДАФС-25». Крупные интерфолликулярные островки. Окраска гематоксилином Эрлиха и эозином, ×300

Figure 5. Thyroid gland from experimental animals fed with DAFS-25: large interfollicular clusters; staining with Ehrlich's hematoxylin and eosin, ×300

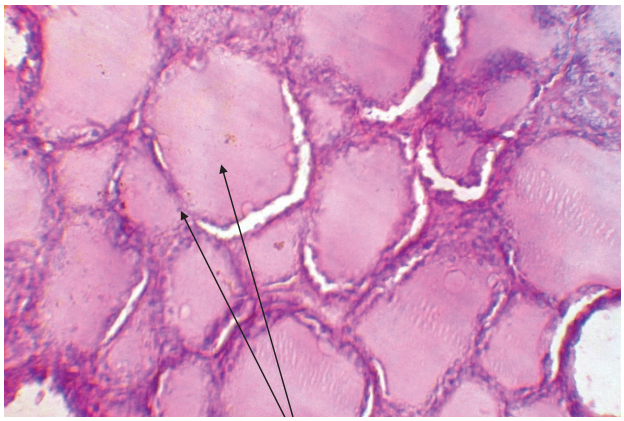

Рисунок 6. Щитовидная железа от животных, получавших добавку «ДАФС-25». Немногочисленные резорбционные вакуоли. Окраска гематоксилином Эрлиха и эозином, ×300

Figure 6. Thyroid gland from experimental animals fed with DAFS-25: few resorption vacuoles; staining with Ehrlich's hematoxylin and eosin, ×300

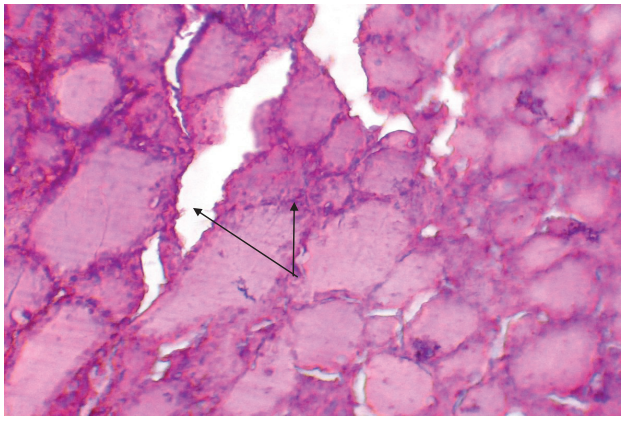

Рисунок 7. Щитовидная железа от животных, получавших добавку «Йоддар-Zn + ДАФС-25». Фолликулярные клетки плотно прилегают к базальной мембране. Окраска гематоксилином Эрлиха и эозином, ×300

Figure 7. Thyroid gland from experimental animals fed with Ioddar-Zn and DAFS-25: follicular cells adhere tightly to the basal membrane; staining with Ehrlich's hematoxylin and eosin, ×300

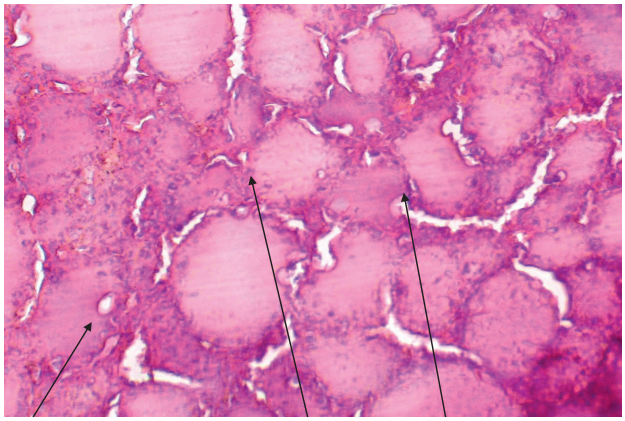

Рисунок 8. Щитовидная железа от животных, получавших добавку «Йоддар-Zn + ДАФС-25». Отдельные резорбционные вакуоли и интерфолликулярные островки. Окраска гематоксилином Эрлиха и эозином, ×300

Figure 8. Thyroid gland from experimental animals fed with Ioddar-Zn and DAFS-25: separate resorption vacuoles and interfollicular clusters; staining with Ehrlich's hematoxylin and eosin, ×300

В щитовидной железе от животных, получавших добавку «Йоддар-Zn» выявляли снижение количества фолликулов, заполненных коллоидом (рис. 3). Фолликулярные тиреоциты несколько увеличены в объеме. В фолликулах, сохранивших коллоид, отмечали крупные резорбционные вакуоли (рис. 4).

Выявленные изменения в щитовидной железе от животных, получавших добавку «Йоддар-Zn», позволяют говорить об определенной функциональной активизации изучаемого органа.

На рисунках 5 и 6 представлена щитовидная железа от животных, получавших добавку «ДАФС-25».

На рисунке 5 показано, что интерфолликулярные островки представлены большими скоплениями камбиальных или С-клеток.

Щитовидная железа от животных, получавших добавку «ДАФС-25», характеризуется наличием значительного количества фолликулов, полностью заполненных коллоидом и имеющих в своем составе немногочисленные резорбционные вакуоли (рис. 6).

На рисунках 7 и 8 представлена щитовидная железа от животных, получавших добавку «Йоддар-Zn + ДАФС-25».

При изучении структуры щитовидной железы от животных, получавших добавку «Йоддар-Zn

Таблица 4. Результаты определения йодтирозинов и массовой доли ковалентно связанного йода в щитовидной железе от животных, выращенных с использованием обогащенннных рационннов

Table 4. Iodotyrosines and mass fraction of covalently bound iodine in thyroid glands from animals raised on experimental diets

Показатель	НД на методику	Контрольная группа	I группа («Йоддар-Zn»)	II группа («ДАФС-25»)	III группа («Йоддар-Zn» + «ДАФС-25»)
3-йодтирозин (МИТ), мкг/кг	ГОСТ 33422-2015	20,3 ± 4,5	78,4 ± 9,5	23,3 ± 3,8	107,8 ± 15,7
3,5-дийодтирозин (ДИТ), мкг/кг		9,0 ± 1,5	52,3 ± 6,7	13,2 ± 2,1	46,2 ± 7,8
Доля ковалентно связанного йода в форме МИТ, мкг/кг	ГОСТ 33422-2015	7,1 ± 1,6	27,4 ± 3,3	8,1 ± 1,3	37,5 ± 5,5
Доля ковалентно связанного йода в форме ДИТ, мкг/кг		4,7 ± 0,8	27,2 ± 3,5	6,9 ± 1,1	24,0 ± 4,1
Йод (суммарное содержание), мкг/кг		11,8 ± 2,4	54,6 ± 6,8	15,0 ± 2,4	61,5 ± 9,6

+ ДАФС-25», установлено наличие кубического эпителия или фолликулярных клеток, плотно прилегающих к базальной мембране каждого фолликула (рис. 7).

Фолликулы имеют не крупные размеры, заполнены коллоидом с отдельными резорбционными вакуолями. Интерфолликулярные островки имеют вид небольших скоплений среди достаточно массивных соединительно-тканных трабекул (рис. 8).

Поведенные исследования позволили подтвердить наличие йодтирозинов в щитовидной железе от животных, выращенных с использованием разработанных добавок. Для определения степени йодирования был использован ферментативный гидролиз комплексом протеолитических ферментов (папаин, панкреатин, протеаза) с последующей масс-спектрометрической идентификацией. По результатам исследований определена массовая доля ковалентно связанного йода в форме моно- и йодтирозинов. Значения количественного содержания представлены в таблице 4.

По результатам исследований выявлено, что наибольшая концентрация йода зафиксирована в I и III группах и составила 54,6 ± 6,8 и 61,5 ± 9,6 мкг/кг соответственно. Это выше, по сравнению с контрольной группой, в 5 и 6 раз. Стоит учесть, что различный профиль накопления органического йода в форме МИТ и ДИТ. В I группе содержание МИТ составило 78,4 ± 9,5 мкг/кг, а в III группе – 107,8 ± 15,7. Содержание ДИТ, в зависимости от группы, находится в пределах погрешности 52,3 ± 6,7 и 46,2 ± 7,8 мкг/кг для I и III групп соответственно.

Доля ковалентно связанного йода в форме МИТ в щитовидной железе животных, получавших в рационах добавку «Йоддар-Zn» составила 27,4 ± 3,3 мкг/кг (выше, по сравнению с контролем, на 20,3 мкг/кг). В баранине от животных, получавших добавку «Йоддар-Zn + ДАФС-25», содержание ковалентно связанного йода было 37,5 ± 5,5 мкг/кг, что выше, чем в контроле, на 30,4 мкг/кг.

Доля ковалентно связанного йода в форме ДИТ в щитовидной железе животных, получавших в рационах добавку «Йоддар-Zn», составила 27,2 ± 3,5 мкг/кг (выше, чем в контроле, на 22,5 мкг/кг). В щитовидной железе животных, получавших добавку «Йоддар-Zn + ДАФС-25», содержание ковалентно связанного йода составило 24,0 ± 4,1 мкг/кг, что выше, чем в контроле, на 19,3 мкг/кг.

Выводы

Анализ проведенных исследований позволяет сделать вывод, что использование в рационах кормовых добавок «ДАФС-25» и «Йоддар-Zn» при выращивании баранчиков не имеет отрицательных последствий для структуры ткани щитовидной железы, вызывая некоторую функциональную активизацию органа. Это подтверждается микроструктурными характеристиками (увеличение числа фолликулов, их размеров, степень заполнения коллоидом), что морфологически характеризует активность железы. Динамика изменений структуры щитовидной железы эдильбаевской породы баранчиков имеет свои особенности.

При изучении структуры щитовидной железы от животных, получавших добавку «Йоддар-Zn + ДАФС-25», установлено наличие кубического эпителия или фолликулярных клеток, плотно прилегающих к базальной мембране каждого фолликула. Это позволяет утверждать о возможности применения указанных кормовых добавок в период промышленного выращивания животных.

По результатам исследований удалось количественно идентифицировать йод в органической форме (в виде йодтирозинов) в биофортифицированном мясном сырье. Именно органическая форма йода позволяет проявлять различные биологические свойства через йодсодержащие гормоны тироксин и трийодтиронин, которые участвуют в регулировании метаболических процессов в живом организме.

Исследованиями подтверждено, что содержание йода и селена в щитовидной железе баранчиков находится в прямой зависимости от содержания этих микроэлементов в рационах. При этом значительная их локализация зафиксирована в щитовидной железе

баранчиков III опытной группы, выращенной с использованием добавки «Йоддар-Zn + ДАФС-25». Использование минеральных добавок в рационах мелкого рогатого скота является перспективным и актуальным и позволяет добиться значительного накопления органических микроэлементов в органах и тканях животных.

Критерии авторства

Т. М. Гиро обеспечивала выполнение исследований лабораторией, контролировала постановку эксперимента по выращиванию животных. А. В. Куликовский руководил проектом, отвечал за анализ полученных данных, написание и редактирование текста публикации. А. С. Князева проводила хромато-масс-спектрометрические исследования. И. Ю. Домницкий проводил консультации по вопросам морфологии и патология животных. А. В. Гиро отвечала за проведение гистологических исследований.

Конфликт интересов

Авторы заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

T.M. Giro was responsible for the laboratory research and supervised the experimental diet experiment. A.V. Kulikovsky was in charge of the project, the data analysis, and the manuscript. A.S. Knyazeva performed the chromatography studies. I.Yu. Domnitsky consulted on the morphology and pathology of the animals. A.V. Giro conducted the histological studies.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this article.

Список литературы

1. Основы государственной политики Российской Федерации в области здорового питания населения на период до 2020 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://rg.ru/2010/11/03/pravila-dok.html. – Дата обращения: 20.08.2020.

2. Инновационные подходы к обогащению мясного сырья органическим йодом / И. Ф. Горлов, М. В. Шарова, Д. А. Ранделин [и др.] // Fleischwirdshaft. – 2012. – № 1. – С. 66–68.

3. Moini, J. Iodine and thyroid hormones / J. Moini, K. Pereira, M. Samsam // Epidemiology of thyroid disorders / J. Moini, K. Pereira, M. Samsam. – Elsevier, 2020. – P. 45–62. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818500-1.00003-7.

4. Toward a better understanding of the effects of endocrine disrupting compounds on health: Human-relevant case studies from sheep models / C. Viguié, E. Chaillou, V. Gayrard [et al.] // Molecular and Cellular Endocrinology. – 2020. – Vol. 505. https://doi.org/10.1016/j.mce.2020.110711.

5. Carvalho, D. P. Thyroid hormone biosynthesis and release / D. P. Carvalho, C. Dupuy // Molecular and Cellular Endocrinology. – 2017. – Vol. 458. – P. 6–15. https://doi.org/10.1016/j.mce.2017.01.038.

6. Sauro, H. M. Dynamic integration: dynamics. Metabolism / H. M. Sauro // Encyclopedia of cell biology. Vol. 4 / R. A. Bradshaw, P. D. Stahl. – Academic Press, 2016. – P. 24–35. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394447-4.40004-0.

7. The quantitative determination of thyroxine in iodinated casein having thyroidal activity / E. P. Reineke, C. W. Turner, G. O. Kohler [et al.] // The Journal of biological chemistry. – 1945. – Vol. 161. – P. 599–611.

8. Targovnik, H. M. Iodide handling disorders (NIS, TPO, TG, IYD) / H. M. Targovnik, C. E. Citterio, C. M. Rivolta // Best Practice and Research: Clinical Endocrinology and Metabolism. – 2017. – Vol. 31, № 2. – P. 195–212. https://doi.org/10.1016/j.beem.2017.03.006.

9. Eales, J. G. The relationship between ingested thyroid hormones, thyroid homeostasis and iodine metabolism in humans and teleost fish / J. G. Eales // General and Comparative Endocrinology. – 2019. – Vol. 280. – P. 62–72. https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2019.04.012.

10. Muzza, M. Thyroglobulin / M. Muzza, L. Fugazzola // Encyclopedia of endocrine diseases / I. Huhtaniemi, L. Martini. – Academic Press, 2018. – P. 439–441. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801238-3.96016-1.

11. Furman, B. L. Thyroid agents / B. L. Furman // xPharm: The comprehensive pharmacology reference / S. J. Enna, D. B. Bylund. – Elsevier, 2007. – P. 1. https://doi.org/10.1016/B978-008055232-3.61060-8.

12. van der Reijden, O. L. Iodine in dairy milk: Sources, concentrations and importance to human health / O. L. van der Reijden, M. B. Zimmermann, V. Galetti // Best Practice and Research: Clinical Endocrinology and Metabolism. – 2017. – Vol. 31, № 4. – P. 385–395. https://doi.org/10.1016/j.beem.2017.10.004.

13. Zheng, Y. Identification and quantitation of iodotyrosines and iodothyronines in hydrolysate of iodinated casein by capillary electrophoresis / Y. Zheng, Y. Sun, J. Ren // Talanta. – 2006. – Vol. 69, № 1. – P. 107–112.

14. Герасимов, Г. А. Йододефицитные заболевания (ЙДЗ) в Российской Федерации: политика в области профилактики и тенденции в эпидемиологической ситуации (1950–2002 г.) / Г. А. Герасимов. – М., 2003. – 50 с.

15. Mahmoud, G. B. Effect of combination of vitamin E and selenium injections on reproductive performance and blood parameters of Ossimi rams / G. B. Mahmoud, S. M. Abdel-Raheem, H. A. Hussein // Small Ruminant Research. – 2013. – Vol. 113, № 1. – P. 103–108. https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2012.12.006.

16. Use of new supplement feeds based on organic iodine in rations of lactating cows / I. F. Gorlov, N. I. Mosolova, E. Yu. Zlobina [et al.] // American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences. – 2014. – Vol. 14, № 5. – P. 401–406.

17. Avoiding the pitfalls when quantifying thyroid hormones and their metabolites using mass spectrometric methods: The role of quality assurance / K. Richards, E. Rijntjes, D. Rathmann [et al.] // Molecular and Cellular Endocrinology. – 2017. – Vol. 458. – P. 44–56. https://doi.org/10.1016/j.mce.2017.01.032.

18. Mischler, T. W. Thyroid hormone analysis of thyroactive iodinated casein / T. W. Mischler, E. P. Reineke // Journal of Dairy Science. – 1970. – Vol. 53, № 2. – P. 233–238. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(70)86185-9.

19. Gika, H. G. Development of a validated HPLC method for the determination of iodotyrosines and iodothyronines in pharmaceuticals and biological samples using solid phase extraction / H. G. Gika, V. F. Samanidou, I. N. Papadoyannis // Journal of Chromatography B: Analytical Technologies in the Biomedical and Life Sciences. – 2005. – Vol. 814, № 1. – P. 163–172. https://doi.org/10.1016/j.jchromb.2004.10.025.

20. HPLC-MS analysis of iodotyrosines produced by sample hydrolysis: A simple method for monitoring iodinated casein in feed premixes / Z. Wang, L. Zhang, P. He [et al.] // Journal of Chromatography B: Analytical Technologies in the Biomedical and Life Sciences. – 2009. – Vol. 877, № 32. – P. 4175–4179. https://doi.org/10.1016/j.jchromb.2009.11.007.

21. High-performance liquid chromatographic analysis of iodoamino acids produced by hydrolysis of iodinated casein with barium hydroxide / Z. Wang, M. Lv, D. Li [et al.] // Acta Chromatographica. – 2008. – № 20. – P. 59–69. https://doi.org/10.1556/achrom.20.2008.1.5.

22. Production, milk iodine, and nutrient utilization in Jersey cows supplemented with the brown seaweed *Ascophyllum nodosum* (kelp meal) during the grazing season / N. T. Antaya, M. Ghelichkhan, A. B. D. Pereira [et al.] // Journal of Dairy Science. – 2019. – Vol. 102, № 9. – P. 8040–8058. https://doi.org/10.3168/jds.2019-16478.

23. Morpho-functional state of the liver of the rats fed the rations with meat of the pigs grown with antimicrobials / S. N. Belik, I. F. Gorlov, M. I. Slozhenkina [et al.] // Pakistan Veterinary Journal. – 2015. – Vol. 35, № 3. – P. 325–328.

24. Determination of Iodotyrosines in Food / A. V. Kulikovskii, A. B. Lisitsyn, I. M. Chernukha [et al.] // Journal of Analytical Chemistry. – 2016. – Vol. 71, № 12. – P. 1215–1219. https://doi.org/10.1134/S1061934816100087.

25. Хвыля, С. И. Оценка качества и биологической безопасности мяса и мясных продуктов микроструктурными методами / С. И. Хвыля, Т. М. Гиро. – Саратов : Буква, 2015. – 240 с.

26. Johnson, R. A. Statistics. Principles and methods, 6th edition / R. A. Johnson, G. K. Bhattacharyya. – John Wiley & Sons, 2010. – 706 p.

References

1. Osnovy gosudarstvennoy pofftfkf RF v obfastf zdorovogo pftanfya nasefenfya na perfod do 2020 goda [Basfc State Poffcy of the Russfan Federatfon fn the fefd of heafthy nutrftfon for the perfod up to 2020] [Internet]. [cited 2020 Aug 20]. Available from: https://rg.ru/2010/11/03/pravila-dok.html.

2. Gorlov IF, Sharova MV, Randelin DA, Giro TM. Innovatsionnye podkhody k obogashcheniyu myasnogo syr′ya organicheskim yodom [Innovative approaches to the enrichment of raw meat with organic iodine]. Fleischwirdshaft; 2012(1):66–68. (In Russ.).

3. Moini J, Pereira K, Samsam M. Iodine and thyroid hormones. In: Moini J, Pereira K, Samsam M, editors. Epidemiology of thyroid disorders. Elsevier; 2020. pp. 45–62. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818500-1.00003-7.

4. Viguié C, Chaillou E, Gayrard V, Picard-Hagen N, Fowler PA. Toward a better understanding of the effects of endocrine disrupting compounds on health: Human-relevant case studies from sheep models. Molecular and Cellular Endocrinology. 2020;505. https://doi.org/10.1016/j.mce.2020.110711.

5. Carvalho DP, Dupuy C. Thyroid hormone biosynthesis and release. Molecular and Cellular Endocrinology. 2017;458:6–15. https://doi.org/10.1016/j.mce.2017.01.038.

6. Sauro HM. Dynamic integration: dynamics. Metabolism. In: Bradshaw RA, Stahl PD. Encyclopedia of cell biology. Vol. 4. Academic Press; 2016. pp. 24–35. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394447-4.40004-0.

7. Reineke EP, Turner CW, Kohler GO, Hoover RD, Beezley MB. The quantitative determination of thyroxine in iodinated casein having thyroidal activity. The Journal of biological chemistry. 1945;161:599–611.

8. Targovnik HM, Citterio CE, Rivolta CM. Iodide handling disorders (NIS, TPO, TG, IYD). Best Practice and Research: Clinical Endocrinology and Metabolism. 2017;31(2):195–212. https://doi.org/10.1016/j.beem.2017.03.006.

9. Eales JG. The relationship between ingested thyroid hormones, thyroid homeostasis and iodine metabolism in humans and teleost fish. General and Comparative Endocrinology. 2019;280:62–72. https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2019.04.012.

10. Muzza M, Fugazzola L. Thyroglobulin. In: Huhtaniemi I, Martini L, et al. Encyclopedia of endocrine diseases. Academic Press; 2018. pp. 439–441. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801238-3.96016-1.

11. Furman BL. Thyroid agents. In: Enna SJ, Bylund DB, editors. xPharm: The comprehensive pharmacology reference. Elsevier; 2007. pp. 1. https://doi.org/10.1016/B978-008055232-3.61060-8.

12. van der Reijden OL, Zimmermann MB, Galetti V. Iodine in dairy milk: Sources, concentrations and importance to human health. Best Practice and Research: Clinical Endocrinology and Metabolism. 2017;31(4):385–395. https://doi.org/10.1016/j.beem.2017.10.004.

13. Zheng Y, Sun Y, Ren J. Identification and quantitation of iodotyrosines and iodothyronines in hydrolysate of iodinated casein by capillary electrophoresis. Talanta. 2006;69(1):107–112.

14. Gerasimov GA. Yododefitsitnye zabolevaniya (YDZ) v Rossiyskoy Federatsii: politika v oblasti profilaktiki i tendentsii v ehpidemiologicheskoy situatsii (1950–2002 g.) [Iodine deficiency disorders in the Russian Federation: Prevention policies and epidemiological trends (1950–2002)]. Moscow; 2003. 50 p. (In Russ.).

15. Mahmoud GB, Abdel-Raheem SM, Hussein HA. Effect of combination of vitamin E and selenium injections on reproductive performance and blood parameters of Ossimi rams. Small Ruminant Research. 2013;113(1):103–108. https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2012.12.006.

16. Gorlov IF, Mosolova NI, Zlobina EYu, Korotkova AA, Prom NA. Use of new supplement feeds based on organic iodine in rations of lactating cows. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences. 2014;14(5):401–406.

17. Richards K, Rijntjes E, Rathmann D, Köhrle J. Avoiding the pitfalls when quantifying thyroid hormones and their metabolites using mass spectrometric methods: The role of quality assurance. Molecular and Cellular Endocrinology. 2017;458: 44–56. https://doi.org/10.1016/j.mce.2017.01.032.

18. Mischler TW, Reineke EP. Thyroid hormone analysis of thyroactive iodinated casein. Journal of Dairy Science. 1970;53(2):233–238. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(70)86185-9.

19. Gika HG, Samanidou VF, Papadoyannis IN. Development of a validated HPLC method for the determination of iodotyrosines and iodothyronines in pharmaceuticals and biological samples using solid phase extraction. Journal of Chromatography B: Analytical Technologies in the Biomedical and Life Sciences. 2005;814(1):163–172. https://doi.org/10.1016/j.jchromb.2004.10.025.

20. Wang Z, Zhang L, He P, Li M, Yang W. HPLC-MS analysis of iodotyrosines produced by sample hydrolysis: A simple method for monitoring iodinated casein in feed premixes. Journal of Chromatography B: Analytical Technologies in the Biomedical and Life Sciences. 2009;877(32):4175–4179. https://doi.org/10.1016/j.jchromb.2009.11.007.

21. Wang Z, Lv M, Li D, Zhou Z, Zhang L, Yang W. High-performance liquid chromatographic analysis of iodoamino acids produced by hydrolysis of iodinated casein with barium hydroxide. Acta Chromatographica. 2008;(20):59–69. https://doi.org/10.1556/achrom.20.2008.1.5.

22. Antaya NT, Ghelichkhan M, Pereira ABD, Soder KJ, Brito AF. Production, milk iodine, and nutrient utilization in Jersey cows supplemented with the brown seaweed *Ascophyllum nodosum* (kelp meal) during the grazing season. Journal of Dairy Science. 2019;102(9):8040–8058. https://doi.org/10.3168/jds.2019-16478.

23. Belik SN, Gorlov IF, Slozhenkina MI, Zlobina EY, Pavlenko AS. Morpho-functional state of the liver of the rats fed the rations with meat of the pigs grown with antimicrobials. Pakistan Veterinary Journal. 2015;35(3):325–328.

24. Kulikovskii AV, Lisitsyn AB, Chernukha IM, Gorlov IF, Savchuk SA. Determination of Iodotyrosines in Food. Journal of Analytical Chemistry. 2016;71(12):1215–1219. https://doi.org/10.1134/S1061934816100087.

25. Khvylya SI, Giro TM. Otsenka kachestva i biologicheskoy bezopasnosti myasa i myasnykh produktov mikrostrukturynmi metodami [Assessing the quality and biological safety of meat and meat products by microstructural methods]. Saratov: Bukva; 2015. 240 p. (In Russ.).

26. Johnson RA, Bhattacharyya GK. Statistics. Principles and methods, 6th edition. John Wiley & Sons; 2010. 706 p.

Сведения об авторах

Гиро Татьяна Михайловна
д-р техн. наук, профессор кафедры технологии производства и переработки продукции животноводства, ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н. И. Вавилова», 410012, Россия, г. Саратов, Театральная пл., 1, тел.: +7 (960) 342-30-16, e-mail: girotm@sgau.ru
https://orcid.org/0000-0003-3039-1324

Куликовский Андрей Владимирович
канд. техн. наук, ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н. И. Вавилова», 410012, Россия, г. Саратов, Театральная пл., 1, тел.: +7 (495) 676-79-61, e-mail: a.kulikovskii@fncps.ru
https://orcid.org/0000-0002-9140-5390

Information about the authors

Tatiana M. Giro
Dr.Sci.(Eng.), Professor of the Department of the Technology of Production and Processing of Livestock Products, N.I. Vavilov Saratov State Agrarian University, 1, Teatralnaya square, Saratov, 410012, Russia, phone: +7 (960) 342-30-16, e-mail: girotm@sgau.ru
https://orcid.org/0000-0003-3039-1324

Andrey V. Kulikovsky
Cand.Sci.(Eng.), N.I. Vavilov Saratov State Agrarian University, 1, Teatralnaya square, Saratov, 410012, Russia, phone: +7 (495) 676-79-61, e-mail: a.kulikovskii@fncps.ru
https://orcid.org/0000-0002-9140-5390

Князева Александра Сергеевна
младший научный сотрудник лаборатории научно-методических работ, биологических и аналитических исследований, ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН, 109316, Россия, г. Москва, ул. Талалихина, 26, тел.: +7 (495) 676-79-61, e-mail: a.knyazeva@fncps.ru

Домницкий Иван Юрьевич
д-р вет. наук, доцент, профессор кафедры морфологии, патологии животных и биологии, ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н. И. Вавилова», 410012, Россия, г. Саратов, Театральная пл., 1, тел.: +7 (917) 215-59-14, e-mail: domnitskiy09@yandex.ru

Гиро Анна Валерьевна
канд. био. наук, ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н. И. Вавилова», 410012, Россия, г. Саратов, Театральная пл., 1, тел.: +7 (937) 026-28-22, e-mail: giroannasgau@gmail.com

Alexandra S. Knyazeva
Junior Researcher of the Laboratory of the Scientific and Methodical Work, Biological and Analytical Research, V.M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of RAS, 26, Talalikhina Str., Moscow, 109316, Russia, phone: +7 (495) 676-79-61, e-mail: a.knyazeva@fncps.ru

Ivan Yu. Domnitsky
Dr.Sci.(Vet.), Associate Professor, Professor of the Department of the Morphology, Pathology of Animals and Biology, N.I. Vavilov Saratov State Agrarian University, 1, Teatralnaya square, Saratov, 410012, Russia, phone: +7 (917) 215-59-14, e-mail: domnitskiy09@yandex.ru

Anna V. Giro
Cand.Sci.(Bio.), N.I. Vavilov Saratov State Agrarian University, 1, Teatralnaya square, Saratov, 410012, Russia, phone: +7 (937) 026-28-22, e-mail: giroannasgau@gmail.com