ISSN 2074-9414 (Print)
ISSN 2313-1748 (Online)

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2443
https://elibrary.ru/QLXETR

Оригинальная статья
https://fptt.ru

Влияние эссенциальных микроэлементов на протеомный профиль белковой части мышечной ткани баранины

Т. М. Гиро*, А. В. Куликовский, А. В. Гиро**

Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова, Саратов, Россия

Поступила в редакцию: 12.09.2022
Принята после рецензирования: 03.10.2022
Принята к публикации: 08.11.2022

**Т. М. Гиро: girotm@sgau.ru, https://orcid.org/0000-0003-3039-1324*
***А. В. Куликовский: kulikovsky87@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-9140-5390*
А. В. Гиро: https://orcid.org/0000-0001-8659-1566

© Т. М. Гиро, А. В. Куликовский, А. В. Гиро, 2023

Аннотация.
Протеомные технологии позволяют оценивать состав и процессы, происходящие на этапах формирования мясного сырья. Протеомные исследования мышечной ткани баранины и расширение научных знаний о влиянии эссенциальных микроэлементов органического происхождения на механизмы взаимодействия мышечных белков ткани баранины являются актуальными. Цель исследования заключалась в идентификации и количественном анализе белков мышечной ткани баранины от молодняка овец, выращенных с применением обогащенных эссенциальными микроэлементами рационов.
Объект исследования – баранина от молодняка овец эдильбаевской породы в возрасте 7 месяцев, получавшего в составе рациона кормовые добавки Йоддар-Zn и ДАФС-25. Опытно-хозяйственный эксперимент осуществлялся в течение 105 суток. Микроэлементный состав мышечной ткани баранины исследовали методом атомно-абсорбционной спектрометрии. Идентификацию протеомного профиля баранины проводили методом двумерного гель-электрофореза (2-DE) по О'Фарреллу с изоэлектрофокусированием в амфолиновом (IEF-PAGE).
В исследуемых образцах баранины от молодняка овец, получавшего в течение 105 суток кормовые добавки Йоддар-Zn и ДАФС-25, идентифицировали алюминий, йод, кремний, селен и цинк. Выявили мажорные белковые фракции: 8 фракций с диапазоном молекулярной массы 12–15 кДа, 42 фракции – 16–30 кДа, 45 фракций – 35–110 кДа (pI от 5,0 до 8,0). Отметили представленность фермента глутатион-S-трансферазы, отвечающего за процесс биотрансформации токсических соединений и поддержания внутриклеточного гомеостаза и стрессоустойчивости в опытных образцах баранины. Во всех опытных образцах фортифицированной баранины представлена триозофосфатизомераза (фермент гликолиза). Установили наличие фермента супероксиддисмутазы, катализирующего супероксидный радикал в пероксиды и кислород, что защищает клетки организма от свободных кислородных радикалов.
Получили данные о влиянии инновационных кормовых добавок на молекулярные механизмы, происходящие в мышечной ткани баранины и вызывающие изменения протеомного профиля белковой части и электрофоретической активности баранины. Подтвердили эффективность обогащения рационов молодняка овец кормовыми добавками, содержащими органические микроэлементы. Результаты исследования могут быть использованы для моделирования и направленной корректировки процесса автолиза с целью получения баранины с необходимыми технологическими характеристиками посредством обогащения рационов кормления

Ключевые слова. Протеомика, мелкий рогатый скот, эдильбаевская порода, молодняк овец, баранина, рацион, кормовые добавки, эссенциальные микроэлементы, качество мясного сырья

Финансирование. Работа выполнена на базе Саратовского государственного университета генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова в рамках гранта Российского научного фонда (РНФ) 19-76-10013 П «Разработка и внедрение технологии производства и хранения экологически безопасной баранины, обогащенной эссенциальными микроэлементами».

Для цитирования: Гиро Т. М., Куликовский А. В., Гиро А. В. Влияние эссенциальных микроэлементов на протеомный профиль белковой части мышечной ткани баранины // Техника и технология пищевых производств. 2023. Т. 53. № 2. С. 396–403. https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2443

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2443
https://elibrary.ru/QLXETR

Original article
Available online at https://fptt.ru/en

Effect of Essential Microelements on Proteomic Profile of Lamb Muscle Tissue Protein

Tatiana M. Giro*, Andrey V. Kulikovsky, Anna V. Giro**

N.I. Vavilov Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering, Saratov, Russia

Received: 12.09.2022
Revised: 03.10.2022
Accepted: 08.11.2022

**Tatiana M. Giro: girotm@sgau.ru, https://orcid.org/0000-0003-3039-1324*
***Andrey V. Kulikovsky: kulikovsky87@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-9140-5390*
Anna V. Giro: https://orcid.org/0000-0001-8659-1566

© T.M. Giro, A.V. Kulikovsky, A.V. Giro, 2023

Abstract.
Proteomic technologies make it possible to evaluate the composition of meat raw materials at different stages of processing. Proteomic studies of lamb muscle tissue help to expand scientific knowledge about the effect of essential organic microelements on the interaction of lamb muscle tissue proteins. The research objective was to identify and quantify lamb muscle tissue proteins from young sheep grown on feed additives fortified with microelements.
The research featured meat from young sheep of the Edilbaev breed aged 7 months that consumed additives Yoddar-Zn and DAFS-25 as part of their diet. The experiment lasted 105 days. The microelement composition of lamb muscle tissue underwent atomic absorption spectrometry. The proteomic profile was identified using O'Farrell's two-dimensional gel electrophoresis (2-DE) with isoelectrofocusing in ampholine (IEF-PAGE).
Aluminum, iodine, silicon, selenium, and zinc were identified in lamb samples from young sheep that received feed additives Yoddar-Zn and DAFS-25 for 105 days. Major protein fractions included eight with a molecular weight of 12–15 kDa, 42 with 16–30 kDa, and 45 with 35–110 kDa (pI 5.0–8.0). The samples contained glutathione-S-transferase, which is responsible for biotransformation of toxic compounds, maintenance of intracellular homeostasis, and stress resistance. All the experimental samples had triose phosphate isomerase (glycolysis enzyme). The tests also revealed superoxide dismutase, which catalyzes the superoxide radical into peroxides and oxygen, thus protecting body cells from free oxygen radicals.
The research provided relevant data on the effect of innovative feed additives on the molecular mechanisms that occur in mutton muscle tissue and affect the proteomic profile of meat proteins and electrophoretic activity. The feed additives with organic microelements proved efficient. The results can be used to model and adjust autolysis in order to obtain meat with the necessary technological properties.

Keywords. Proteomics, small ruminants, Edilbaev breed, young sheep, lamb, diet, feed additives, essential microelements, raw meat quality

Funding. The research was performed on the premises of N.I. Vavilov Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering and supported by the Russian Science Foundation (RSF) 19-76-10013 P: Production and storage technologies for organic lamb, fortified with essential micronutrients.

For citation: Giro TM, Kulikovsky AV, Giro AV. Effect of Essential Microelements on Proteomic Profile of Lamb Muscle Tissue Protein. Food Processing: Techniques and Technology. 2023;53(2):396–403. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2443

Введение

Решению проблемы сохранения здоровья россиян способствует создание функциональных продуктов направленного действия из отечественного мясного сырья, обогащенного органическими микроэлементами как важнейшими структурными компонентами иммунной системы, которые обладают физиологически значимыми эффектами (Указ Президента РФ от 07.05.2018 № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития РФ на период до 2024 г.») [1, 2]. Перспективным сырьем для производства таких продуктов может стать баранина от животных, выращенных с использованием метода прижизненной оптимизации химического состава за счет коррекции рационов питания эссенциальными нутриентами. Преимущество

баранины как сырьевого источника для производства отечественных функциональных продуктов обосновано рядом положительных свойств: высокое содержание витаминов (B_1, B_2, B_3, B_5, B_6, E) и жира с большим количеством стеаринового комплекса, а также физиологически активных пептидов, способствующих регуляции биоактивности организма [3].

В последние десятилетия в мясной промышленности начали активно применяться омиксные технологии. Развитие этих методов изменило экспериментальные подходы в науке о пищевых продуктах. Протеомные технологии позволяют оценить состав и происходящие процессы на этапах формирования мясного сырья. Однако протеомные исследования по мышечной ткани баранины в литературе представлены мало [4–7]. Протеомный подход был использован для изучения влияния сезонной потери веса, деградации миофибриллярных белков в процессе созревания мяса и изменений белкового состава, в зависимости от способа забоя и термообработки, на модификацию белков в ягнятине, а также поиска видоспецифичных маркеров мяса животных, в том числе баранины, и белков-маркеров предикторов изменения цвета мяса при посмертном хранении [8, 9]. Еще одно направление исследований было направлено на изучение роли использования разных добавок в кормовую базу сельскохозяйственных животных и птицы. Рацион питания показал качественные изменения в наборе массы и конечном качестве мяса [10, 11]. В работе A. D. Malva и др. протеомными технологиями было исследовано влияние пищевых добавок в рационе льняного семени и/или киноа на нежность и протеом мяса ягненка [11]. В одной группе протеомный анализ выявил деградацию комплекса белков десмина и тропонина Т и наличие большого количества пятен и фосфорилированных изоформ быстрых легких цепей миозина 2. Мясо, полученное при другом рационе, показало незначительное влияние на инструментальную оценку его нежности и увеличение количества фракций саркоплазматических белков.

Генетическая информация остается статической в течение жизни животного, а белковый состав динамично меняется в зависимости от факторов, влияющих на синтез или деградацию белка. Исследование протеома дает возможность не только изучить молекулярные механизмы, происходящие в тканях на более глубоком уровне, но и спрогнозировать интересующие свойства мясного сырья [10, 11].

Создание функциональных мясных продуктов заключается в рассмотрении мышечных белков как пищевой матрицы, в которую включены биоактивные компоненты. В связи с этим изучение механизма взаимодействия протеомного профиля мышечных белков фортифицированной баранины с эссенциальными микроэлементами позволит использовать такое сырье в производстве функциональных мясных продуктов направленного действия (ТР ТС 034/2013).

Объекты и методы исследования

Объектами исследования являлась баранина от молодняка мелкого рогатого скота эдильбаевской породы в возрасте 7 месяцев, получавшего в составе рациона кормовые добавки Йоддар-Zn и ДАФС-25, которые содержат органические источники йода, селена и кремния [3].

Научно-хозяйственные опыты проведены на 4 группах животных (возраст 4 месяца) по 10 повторов на каждую контрольную и опытные группы. Рацион животных контрольной группы включал только кормовую смесь СК ОК-81-2 (СК) в количестве 300 г. К стандартному рациону животные опытных групп один раз в сутки получали добавки Йоддар-Zn и ДАФС-25:

– контроль: стандартный рацион – 300 г;
– образец № 1: стандартный рацион + добавка Йоддар-Zn – 300 г в сутки;
– образец № 2: стандартный рацион + добавка ДАФС-25 – 300 г в сутки + 0,5 мг в сутки;
– образец № 3: стандартный рацион + добавки Йоддар-Zn + ДАФС-25 – 300 г в сутки + 0,5 мг в сутки.

Опытно-хозяйственный эксперимент осуществлялся в течение 105 суток. Забой экспериментальных баранчиков осуществляли в соответствии с требованиями ТР ТС 034/2013.

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

Идентификацию йода в органической форме осуществляли методом ВЭЖХ с масс-детектором Agilent 6410B по ГОСТ 33422-2015. Органический йод в форме аминокислотных остатков моно- и дийодтирозина идентифицировали с предварительным ферментативным гидролизом протеазой и последующей тонкой очисткой на патронах ТФЭ (октадецил). Для перевода аминокислотных остатков (МИТ и ДИТ) в летучие формы проводили дериватизацию бутанолом и ацетилхлоридом [4]. Определение органической формы селена проводили инновационным методом, разработанным в ФГНУ «ФНЦ пищевых систем им. В. М. Горбатова», по МИ-06-2021.

Идентификацию органической формы селена в виде селенометионина (Se-Met) проводили на системе ВЭЖХ Sciex Exion LC с гибридным масс-спектрометром с активированной ионной ловушкой Sciex QTRAP 5500. Пробы предварительно подвергали гидролизу протеолитическими ферментами (протеаза, папаин). Гидролизат очищали на патронах ТФЭ (октадецил) с последующей дериватизацией анализируемых аналитов смесью бутанола и ацетилхлорида (4:1).

Идентификацию протеомного профиля баранины проводили методом двумерного гель-электрофореза (2-DE) по О'Фарреллу с изоэлектрофокусированием в амфолиновом (IEF-PAGE) [18]. Детекцию белков на двумерных электрофореграммах проводили окрашиванием кумасси голубым R-250 (CBB R-250), а затем последовательно азотнокислым серебром [19]. Для проведения компьютерной денситометрии использовали двумерные электрофореграммы, находившиеся во влажном состоянии. При определении количества белка использовалось не менее 3-х электрофореграмм с равным нанесением [17].

Результаты и их обсуждение

На первом этапе исследования определили содержание микроэлементов в баранине от животных мелкого рогатого скота, в рационе которых использовали добавки йода и селена в органической форме (рис. 1).

Химический состав содержания эссенциальных микроэлементов в баранине контрольной и опытных групп показал, что в ней идентифицированы алюминий, йод, кремний, селен и цинк. Максимальное содержание органической формы селена выявлено в образцах № 1 и 4 – 286,3 ± 100,2 и 300,2 ± 105,1 мкг/кг соответственно. Наибольшее содержание йода отмечено в образцах № 2 и 4 – 54,6 ± 6,8 и 61,5 ± 9,6 мкг/кг соответственно, что в 1,7 и 1,9 раза больше, чем в контрольной группе.

С целью идентификации и количественного анализа изменений протеомного профиля белковой части мышечной ткани методом двумерного электрофореза провели исследования фортифицированной баранины от животных, выращенных с использованием рационов, которые содержали органический йод и селен [7].

В результате проведенных экспериментов были получены типичные 2DE электрофореграммы образцов баранины *Ovis aries*, выращенных на обогащенных рационах кормления (рис. 2).

В каждом образце идентифицировали более 250 белков и пептидов. Методом двумерного электрофореза выявили мажорные белковые фракции (выделено красными прямоугольниками).

Сравнительный анализ позволил установить 8 идентичных белков и пептидов, представляющих структурные белки, которые свойственны для всех анализируемых (рис. 2, красные прямоугольники) и саркоплазматических (рис. 2, фиолетовые прямоугольники) образцов, а также ферменты гликолиза, белки, обладающие антиоксидантной активностью (рис. 2, кирпичные прямоугольники), и изоформы β-енолазы креатинфосфокиназы, альдолазы А и глицеральфосфатдегидрогеназы (рис. 2, салатовые прямоугольники). Как для контрольного образца, так и для опытных образцов (№ 1–3) характерно наличие 8 фракций с диапазоном молекулярной массы 12–15 кДа, 42 фракции – 16–30 кДа, 45 фракций – 35–110 кДа (pI от 5,0 до 8,0). Различия в диапазонах белковых фракций и мажорности белков представлены на рисунке 3. В области миозинов (структурных и фосфорилируемых) наблюдаются различия в образцах № 1 и 3: изоформы миозинов легкой цепи (MLC) в мясе с соответствующими рационами кормления обладали большей мажорностью, чем контроль. Было выявлено, что изоформа MLC 2V в образце № 1 отличается по мажорности от контроля и других образцов. Различий во фракциях α- и b-тропомиозинов не наблюдалось.

Наблюдались различия по интенсивности окраски пятен белков в образце № 3. Была обнаружена электрофоретическая изоформа в β-цепи гемоглобина (фракция 10, рис. 3, фиолетовый прямоугольник), отсутствующая в образцах № 1 и 2. Это может объясняться повышенной степенью окисления мышечных белков из-за большей подвижности животного при данном рационе кормления.

При гиподинамии формируются гликолитические волокна, но при активизации двигательной активности увеличивается количество окислительных волокон. Наличие изоформ MLC может способствовать изменениям в метаболизме волокон, что влияет на технологические и функциональные показатели сырья, в том числе на скорость автолитических процессов. Таким образом, возможно при корректировании рационов кормления направленно добиться изменений в характере процессов автолиза с целью производства сырья с заданными характеристиками.

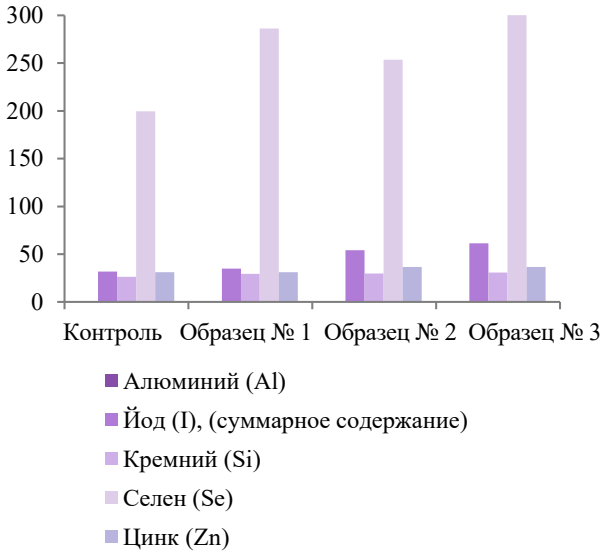


Рисунок 1. Концентрация микроэлементов в образцах баранины, мкг/кг

Figure 1. Concentration of microelements in lamb samples, μg/kg

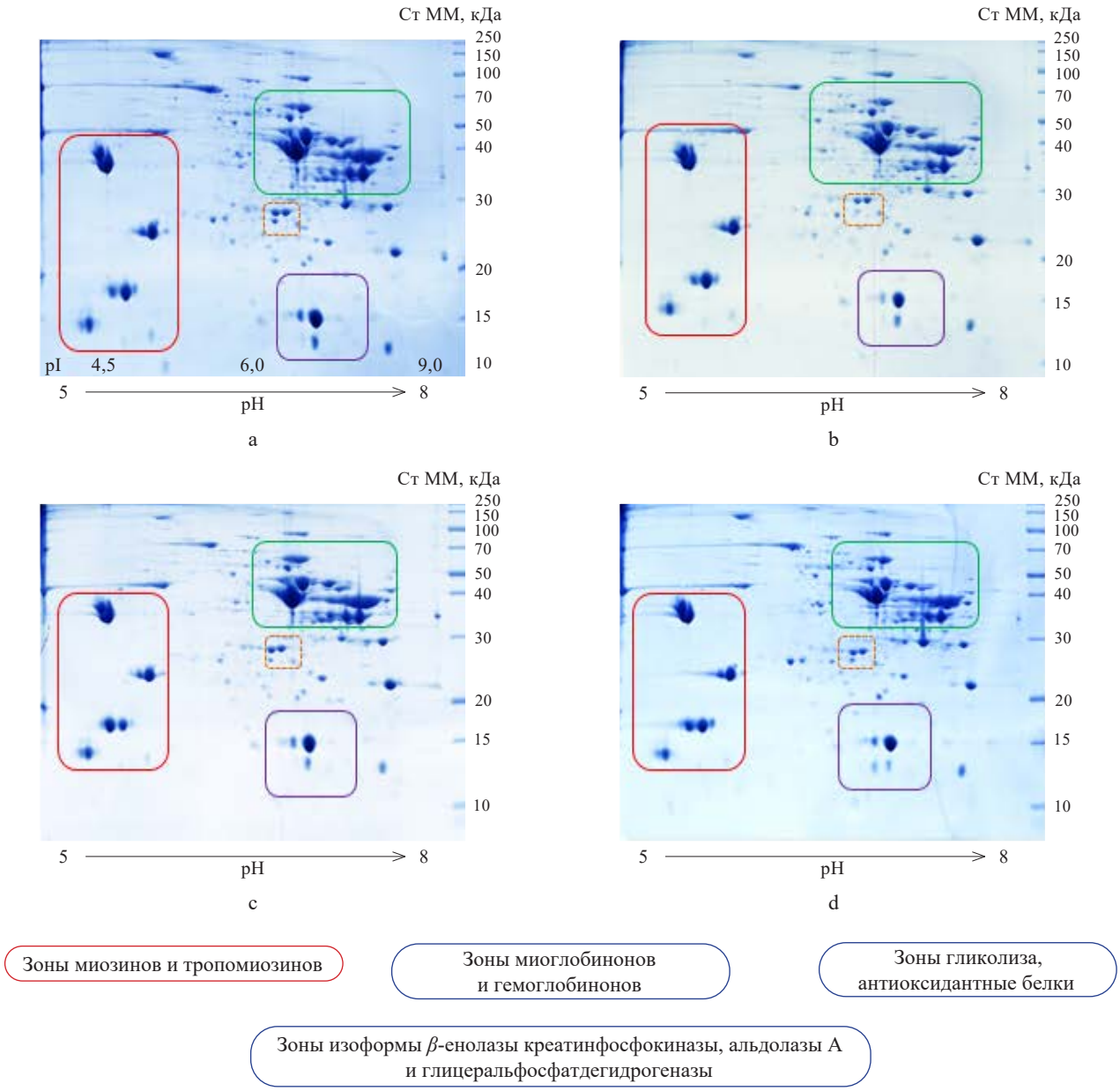


Рисунок 2. 2DE двумерные электрофореграммы баранины: a – контроль; b – образец № 2 (добавка ДАФС-25); c – образец № 1 (добавка Йоддар-Zn); d – образец № 4 (добавки Йоддар-Zn + ДАФС-25)

Figure 2. 2DE electropherograms of lamb: a – control; b – sample 2 (DAFS-25); (c) sample 1 (Yoddar-Zn); d – sample 4 (Yoddar-Zn + DAFS-25)

Стоит отметить представленность в образцах № 1 и 3 фермента глутатион-S-трансферазы (фракция 13, рис. 4), отвечающего за процесс биотрансформации токсических соединений. Данный фермент участвует в поддержании внутриклеточного гомеостаза и стрессоустойчивости. Таким образом, рационы кормления образцов № 1 и 3 формируют предпосылки к устойчивому формированию метаболических процессов в органах и тканях животных, что отразилось на продуктивности и качестве баранины (рис. 4).

Во всех рационах кормления представлена триозофосфатизомераза (фракция 14), являющаяся ферментом гликолиза. Стоит отметить мажорность одного из основных ферментов антиоксидантной системы – супероксиддисмутазы, локализованной в митохондриальном матриксе (фракция 15). Супероксиддисмутаза катализирует супероксидный радикал в пероксиды и кислород, что позволяет защитить клетки организма от свободных кислородных радикалов.

Выводы

Полученные результаты позволили сделать вывод о том, что использование кормовых рационов, обогащенных органическим йодом и селеном, оказы-

№ пятна	Наименование белка (символ гена)
1	Миозиновая легкая цепь миозина изоформа 2V (*MYL2V*) – фосфорилируемые
2	Миозиновая легкая цепь 2 изоформа MLC 2B (*MYLPF*) – фосфорилируемые
3	Миозиновая легкая цепь 1 (*MYL1*) – структурные
4	Миозиновая легкая цепь 3 (*MYL3*) – структурные
5	Тропомиозин *β*-2 (*TPM2*)
6	Тропомиозин *α*-1 (*TPM1*)
7	Легкая цепь миозина 1/3, скелетномышечная укороченная электрофоретическая изоформа (*MYL1*)
8	Легкая цепь миозина 1/3, скелетномышечная укороченная изоформа (*MYL1*)
9	Гемоглобин *β*-цепь (*HBB*)
10	Гемоглобин *β*-цепь электрофоретическая изоформа (*HBB*)
11	Миоглобин, электрофоретическая изоформа (*MB*)
12	Миоглобин (*MB*)

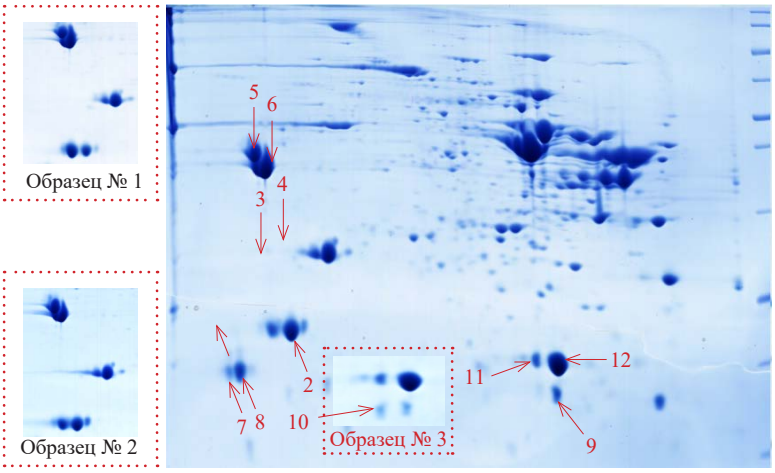
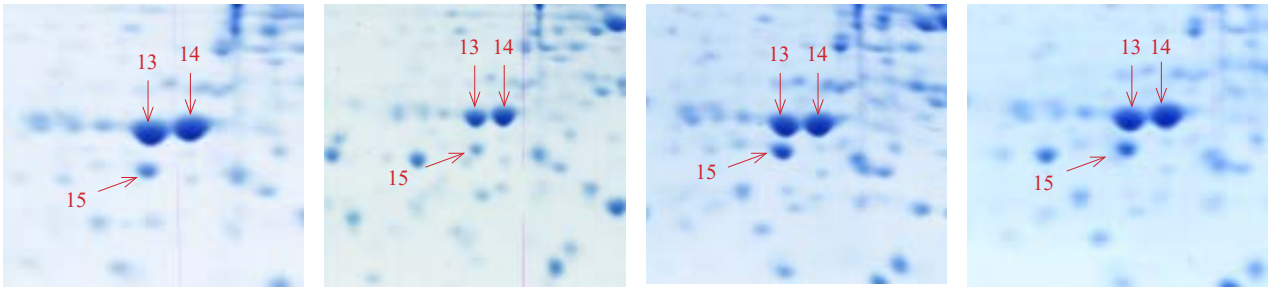


Рисунок 3. 2DE двумерная электрофореграмма образца баранины (красные пунктирные прямоугольники – выделенные области миозинов и тропомиозинов образцов № 1 и 3)

Figure 3. 2DE electrophoregram of lamb: red dotted rectangles are the areas of myosins and tropomyosins, samples 1 and 3



фракция 13 – глутатион-S-трансфераза, изоформа (*GSTM1**)

фракция 14 – триозофосфатизомераза (*TPI1*)

фракция 15 – супероксиддисмутаза, митохондриальная (*SOD2*)

Рисунок 4. Зоны ферментов гликолиза

Figure 4. Zones of glycolysis enzymes

вает изменения протеомного профиля белковой части и электрофоретической активности баранины от мелкого рогатого скота эдильбаевской породы. Методом протеомики отметили представленность фермента глутатион-S-трансферазы, отвечающего за процесс биотрансформации токсических соединений в образцах № 1 и 3, содержащих йод в органической форме. Данный фермент участвует в поддержании внутриклеточного гомеостаза и стрессоустойчивости. Таким образом, рационы кормления образцов № 1 и 3 формируют предпосылки к устойчивому формированию метаболических процессов в органах и тканях животных, что может влиять на продуктивность животных и качество баранины.

Результаты исследования, полученные методом протеомики, перспективны для создания функциональных продуктов, пищевая матрица которых обогащена эссенциальными микроэлементами.

Идентификация белков с помощью протеомики будет способствовать усовершенствованию методов выращивания животных и повышению продуктивности поголовья для моделирования и направленной корректировки процесса автолиза с целью получения баранины с необходимыми технологическими характеристиками посредством обогащения рационов кормления.

Данные исследования представляют интерес для животноводства и специалистов по производству продуктов специального назначения, особенно при условии идентификации белков на уровне мышц и/или ткани, имеющих экономическое значение в производстве мяса.

Критерии авторства

Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют, что статья не содержит клеветнических высказываний, не посягает на права (включая без ограничений авторское право или права на патент/торговую марку) других лиц и не содержит материалы или инструкции, которые могут причинить вред или ущерб третьим лицам, а их публикация не приведет к разглашению секретных или конфиденциальных сведений (включая государственную тайну).

Contribution

The authors contributed equally and bear equal responsibility for any potential plagiarism.

Conflict of interest

The authors declare that the article contains no defamatory statements, classified/confidential information (including state secrets), or materials/instructions that may cause harm/damage to third parties. The article does not violate copyright or patent/trademark rights.

References/Список литературы

1. Lisitsyn AB, Chernukha IM, Lunina OI, Fedulova LV. Formation of the composition and properties of animal raw materials *in vivo*. Moscow: Gorbatov Research Center for Food Systems; 2018. 440 p. (In Russ.). [Прижизненное формирование состава и свойств животного сырья / А. Б. Лисицын [и др.]. М.: ФНЦ пищевых систем им. В. М. Горбатова, 2018. 440 с.]. https://elibrary.ru/YNTHCH

2. Chernukha IM, Fedulova LV, Dydykin AS. Safe and useful products as the main factor determining the quality of life. Vsyo o Myase. 2014;(2):20–22. (In Russ.). [Чернуха И. М., Федулова Л. В., Дыдыкин А. С. Безопасные и полезные продукты как главный фактор, определяющий качество жизни // Все о мясе. 2014. № 2. С. 20–22.]. https://elibrary.ru/SCSMWH

3. Gorlov IF, Slozhenkina MI, Giro TM, Kulikovskij AV, Mosolov AA, Starodubova YuV, *et al.* Fodder additive for young sheep. Russia patent RU 2729387C1. 2020. [Кормовая добавка для молодняка овец: пат. 2729387C1 Рос. Федерация. № 22019140759 / Горлов И. Ф. [и др.]; заявл. 09.12.2019; опубл. 06.08.2020; Бюл. № 22. 8 с.].

4. Kulikovskiy AV, Lisitsyn AB, Kuznetsova OA, Vostrikova NL, Gorlov IF. Method of determination organic iodine (iodotyrosines) in food. Problems of Nutrition. 2016;85(4):91–97. (In Russ.). [Методические аспекты определения органического йода (йодтирозинов) в пищевых продуктах / А. В. Куликовский [и др.] // Вопросы питания. 2016. Т. 85. № 4. С. 91–97.]. https://elibrary.ru/UBQVOJ

5. 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

6. Molchanov AV, Egorova KA. Weight growth and slaughter rates of Edilbaev rams of different types of birth. Sheep, Goats, Wool Business. 2017;(4):21–22. (In Russ.). [Молчанов А. В., Егорова К. А. Весовой рост и показатели убоя эдильбаевских баранчиков разного типа рождения // Овцы, козы, шерстное дело. 2017. № 4. С. 21–22.]. https://elibrary.ru/ZXKVHD

7. Shishkin SS, Kovalev LI, Kovaleva MA, Ivanov AV, Eremina LS, Sadykhov EG. The application of proteomic technologies for the analysis of muscle proteins of farm animals used in the meat industry (review). Applied Biochemistry and Microbiology. 2014;50(5):453–465. (In Russ.). https://doi.org/10.7868/S0555109914050110

8. Yu T-Y, Morton JD, Clerens S, Dyer JM. Proteomic investigation of protein profile changes and amino acid residue level modification in cooked lamb *longissimus thoracis et lumborum*: The effect of roasting. Meat Science. 2016;119:80–88. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.04.024

9. Naveena BM, Jagadeesh DS, Babu AJ, Rao TM, Kamuni V, Vaithivanathan S, *et al.* OFFGEL electrophoresis and tandem mass spectrometry approach compared with DNA-based PCR method for authentication of meat species from raw and cooked ground meat mixtures containing cattle meat, water buffalo meat and sheep meat. Food Chemistry. 2017;233:311–320. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.04.116

10. Paredi G, Raboni S, Bendixen E, de Almeida AM, Mozzarelli A. “Muscle to meat” molecular events and technological transformations: The proteomics insight. Journal of Proteomics. 2012;75(14):4275–4289. https://doi.org/10.1016/j.jprot.2012.04.011

11. della Malva A, Marino R, Santillo A, Annicchiarico G, Caroprese M, Sevi A, *et al.* Proteomic approach to investigate the impact of different dietary supplementation on lamb meat tenderness. Meat Science. 2017;131:74–81. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.04.235

12. Zamaratskaia G, Li S. Proteomic in meat science – current status and future perspective. Theory and Practice of Meat Processing. 2017;2(1):18–26. (In Russ.). https://doi.org/10.21323/2414-438X-2017-2-1-18-2

13. 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

14. Chernukha I, Fedulova L, Akhremko A, Kotenkova E. A comparative study of *Sus scrofa m. Longissimus dorsi* with different changes in quality. Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences. 2017;11(1):398–402. https://doi.org/10.5219/769

15. Chernukha I, Fedulova L, Kotenkova E. Hypolipidemic action of the meat product: *In vivo* study. Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences. 2018;12(1):566–569. https://doi.org/10.5219/959

16. Vasilevskaya ER, Akhremko AG. Proteomic study of pig's spleen. Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences. 2019;13(1):314–317. https://doi.org/10.5219/1093

17. Zolotarev NA, Fedotova OB, Agarkova EYu, Akhremko AG, Sokolova OV. Directional proteolysis of secondary raw. News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series Chemistry and Technology. 2020;5(443): 77–84. https://doi.org/10.32014/2020.2518-1491.83

18. Akhremko A, Vasilevskaya E, Fedulova L. Adaptation of two-dimensional electrophoresis for muscle tissue analysis. Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences. 2020;14:595–601. https://doi.org/10.5219/1380

19. Akhremko A, Fedulova L. Comparative study of weaning pigs' muscle proteins using two-dimensional electrophoresis. Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences. 2021;15:52–57. https://doi.org/10.5219/1449

20. Akhremko A. The study of the main porcine muscle proteins and its modifications. FEBS OPEN BIO. 2021;11:161.

21. Kulikovskii AV, Vostrikova NL, Chernukha IM, Khvostov DV. Quantitative identification of muscle tissue by means of biomarker peptides by using method of multiple reaction monitoring. Oriental Journal of Chemistry. 2019;35(4):1327–1331. https://doi.org/10.13005/ojc/350411

22. Khvostov D, Vostrikova N, Chernukha I. Comparison of heat-stable peptides using a multiple-reaction monitoring method to identify beef muscle tissue. Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences. 2020;14:149–155. https://doi.org/10.5219/1317

23. Khvostov D, Vostrikova N, Chernukha IM. PSV-25 Detection of heart and aorta tissue peptide markers by the multiple-reaction monitoring method. Journal of Animal Science. 2020;98(4):362–363. https://doi.org/10.1093/jas/skaa278.636

24. Khvostov DV, Vostrikova NL, Chernukha IM, Kulikovskii AV. Identifying the proportion of muscle tissue by biomarker peptides using quadrupole chromatography-mass spectrometry. Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennye Nauki. 2019;161(3):490–499. (In Russ.). https://doi.org/10.26907/2542-064X.2019.3.490-499

25. Khvostov DV, Vostrikova NL, Zherdev AV, Zvereva EA, Kurzova AA. Quantitative identification of muscular tissue by the means of protototic peptides using the multiple reaction monitoring method. Analytics and Control. 2019;23(4):580–586. (In Russ.). https://doi.org/10.15826/analitika.2019.23.4.012

26. Zhou B, Shen Z, Liu Y, Wang C, Shen QW. Proteomic analysis reveals that lysine acetylation mediates the effect of antemortem stress on postmortem meat quality development. Food Chemistry. 2019;293:396–407. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.04.122