

О.А. Воронина ✉
Н.С. Колесник
А.А. Савина
Р.А. Рыков
С.Ю. Зайцев

Федеральный исследовательский центр
животноводства — ВИЖ им. академика
Л.К. Эрнста, пос. Дубровицы, Подольск,
Московская обл., Россия

✉ voroninaok-senia@inbox.ru

Поступила в редакцию:
24.07.2023

Одобрена после рецензирования:
25.12.2023

Принята к публикации:
10.01.2024

Research article

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-378-1-81-85

Oksana A. Voronina ✉
Nikita S. Kolesnik
Anastasia A. Savina
Roman A. Rykov
Sergei Yu. Zaitsev

Federal Research Center for Animal
Husbandry named after Academy Member
L.K. Ernst

✉ voroninaok-senia@inbox.ru

Received by the editorial office:
24.07.2023

Accepted in revised:
25.12.2023

Accepted for publication:
10.01.2024

Антиоксидантная активность козьего молока с вариантами множественной регрессионной модели

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Козье молоко имеет большой потенциал для создания функциональных продуктов питания, в том числе с высокой антиоксидантной активностью, что повышает их лечебно-профилактическую значимость. Для оценки антиоксидантной активности козьего молока предложена математическая модель.

Методы. Анализ биохимических показателей козьего молока провели с помощью системы MilkoScan 7 / Fossomatic 7 DC (Дания). Анализ суммарного количества водорастворимых антиоксидантов выполнен на приборе «ЦветЯуза 01-AA». Статистическую обработку результатов проводили в программе Microsoft Excel при помощи пакета «Анализ данных», в программе R (пакет Psych). Достоверность различий оценивали по U-критерию Манна — Уитни. Пробы молока получали от коз альпийской породы в летний период 2022 и 2023 годов.

Результаты. Антиоксидантная активность козьего молока установлена на уровне $21,99 \pm 1,48$ мг/г (2022 г.) и $22,30 \pm 1,91$ мг/г (2023 г.). Лучшая полученная модель регрессионного уравнения характеризуется высоким коэффициентом множественной корреляции (0,947) и значима по F-критерию (0,01). В предложенной модели для предварительной оценки антиоксидантной активности козьего молока необходимо использовать только один параметр биохимического анализа — казеины. Данная модель позволяет провести предварительную оценку антиоксидантной активности молока коз. Достоверных различий между данными, полученными в эксперименте, и данными, полученными с использованием регрессионного уравнения по t-критерию, не установлено.

Ключевые слова: молоко коз, антиоксидантная активность, козы, регрессионный анализ

Для цитирования: Воронина О.А., Колесник Н.С., Савина А.А., Рыков Р.А., Зайцев С.Ю. Антиоксидантная активность козьего молока с вариантами множественной регрессионной модели. *Аграрная наука*. 2024; 378(1): 81–85. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-378-1-81-85>

© Воронина О.А., Колесник Н.С., Савина А.А., Рыков Р.А., С.Ю. Зайцев

Antioxidant activity of goat's milk with variants of multiple regression model

ABSTRACT

Relevance. Goat's milk has great potential for creating functional food products, including those with high antioxidant activity, which increases their therapeutic and preventive significance. A mathematical model has been proposed to evaluate the antioxidant activity of goat's milk.

Methods. The biochemical parameters of goat's milk were analyzed using the MilkoScan 7 / Fossomatic 7 DC system (Denmark). The analysis of the total amount of water-soluble antioxidants was performed on the device "Tsveyauza 01-AA". Statistical processing of the results was carried out in the Microsoft Excel program using the Data Analysis package, in the R program ("Psych" package). The reliability of the differences was assessed using the Mann — Whitney U-test. Milk samples were obtained from Alpine goats in the summer of 2022 and 2023.

Results. The antioxidant activity of goat's milk was established at the level of 21.99 ± 1.48 mg/g (2022) and 22.30 ± 1.91 mg/g (2023). The best obtained regression equation model is characterized by a high multiple correlation coefficient (0.947) and is significant by the F-criterion (0.01). In the proposed model, for a preliminary assessment of the antioxidant activity of goat's milk, it is necessary to use only one parameter of biochemical analysis — caseins. This model allows for a preliminary assessment of the antioxidant activity of goat milk. There are no significant differences between the data obtained in the experiment and the data obtained using the regression equation according to the t-criterion.

Key words: goat milk, antioxidant activity, goats, regression analysis

For citation: Voronina O.A., Savina A.A., Kolesnik N.S., Rykov R.A., Zaitsev S.Yu. Antioxidant activity of goat's milk and whey with variants of multiple regression model. *Agrarian science*. 2024; 378(1): 81–85 (In Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-378-1-81-85>

© Voronina O.A., Kolesnik N.S., Savina A.A., Rykov R.A., Zaitsev S.Yu.

Введение/Introduction

Статистические данные Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединенных Наций (ФАО)¹ показывают, что козье молоко является третьим в мире видом молока по величине объемов производства после коровьего и буйволиного. В 2016 году во всем мире насчитывалось около 1 млрд коз. Интерес потребителей к козьему молоку и молочным продуктам на его основе постоянно растет и связан с особыми свойствами этих продуктов [1].

Несмотря на схожий с коровьим молоком состав по содержанию белков, жиров и лактозы, между ними существуют различия, влияющие на их усвояемость и пищевую ценность. Различия между аминокислотным составом, вторичной структурой молочных белков и химическими свойствами козьего молока помогают снизить его аллергенный потенциал по сравнению с коровьим молоком, что также делает его отличным основным продуктом питания для младенцев и пожилых людей [2, 3]. В этом смысле козье молоко также является отличной матрицей для разработки широкого спектра инновационных продуктов, способствующих укреплению здоровья, и функциональных пищевых продуктов [4].

Молоко, а также молочные продукты — неотъемлемая часть питания человека. Они считаются носителями белков «высшей» биологической ценности, кальция, незаменимых жирных кислот, аминокислот, жиров, водорастворимых витаминов и других биологически активных соединений (БАС), имеющих большое значение для ряда биохимических и физиологических процессов, в том числе антиоксидантной защиты [1, 5].

Антиоксиданты — это химические вещества, которые могут нейтрализовать и удалять свободные радикалы, которые постоянно вырабатываются в организме [1, 6]. Живому организму для протекания биологических процессов необходимо производство энергии, которое происходит за счет окисления биомолекул. Однако окислительный стресс может нанести серьезный ущерб биологическим системам. Неконтролируемая выработка свободных радикалов в организме может привести к окислительному стрессу с последующим разрушением необходимых для жизнедеятельности биологически активных веществ, таких как белки, липиды, ДНК и пр. Это, в свою очередь, ускоряет канцерогенез, а также значительно увеличивает риск появления атеросклероза, диабета, ускоренного старения, сердечно-сосудистых заболеваний, нарушений в работе иммунной системы [1, 7, 8].

Антиоксидантная активность молока и молочных продуктов обусловлена комплексом биологически активных компонентов: витаминами А, С, Е, каротиноидами, ферментными системами, белками, пептидами, серосодержащими аминокислотами и рядом веществ небелковой природы [9, 10].

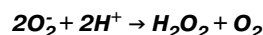
Аскорбиновая кислота — один из основных водорастворимых природных антиоксидантов в составе молока. Она поглощает различные радикалы, такие как супероксидные анионные радикалы, алкоксильные радикалы и синглетный кислород, супероксид, оксид железа, оксид азота [8, 11]. По данным [12], фотоокислительная стабильность молока значительно увеличивается при добавлении витамина С и токоферола, так же как и сохранение его органолептических свойств.

Стоит отметить, что аскорбиновая кислота может быть и прооксидантом за счет регенерации

перферрильного радикала в процессе инициации перекисного окисления липидов. При невысоком содержании аскорбиновой кислоты в молоке она действует как прооксидант, а при высоком (более 5 мг%) — как антиоксидант [13]. Витамины А и Е считаются первичными липидорастворимыми антиоксидантами. Основная задача этих витаминов — в защите полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК) и связанных с ними биохимических соединений от перекисного окисления [1]. Витамин Е может ингибировать активность плазматина, а также может напрямую удалять свободные радикалы [14].

Каротиноиды являются жирорастворимыми соединениями, которые имеют свойство накапливаться в мембранах, а также липопротеинах. Среди различных антиоксидантных систем молока данные соединения действуют как поглотители активных форм кислорода и пероксильных радикалов [15, 16]. Стоит отметить, что концентрация каротиноидов в молочных продуктах, таких как сыр и масло, выше по сравнению с цельным молоком [17].

Ферменты. Супероксиддисмутаза (СОД) катализирует удаление супероксидных свободных радикалов (O_2^-) и защищает клетки от вредного воздействия с помощью следующей реакции:



Каталаза, глутатионпероксидаза или другие восстановители, в свою очередь, превращают H_2O_2 в H_2O [1, 18]. Цитозольная Cu/Zn-СОД, митохондриальная Mn-СОД и внеклеточная EC-СОД являются основными формами СОД. СОД может ингибировать перекисное окисление липидов [19].

Глутатионпероксидаза (GSHPx) — селенсодержащий фермент, который обеспечивает защиту от перекисного окисления липидов. Она катализирует разложение H_2O_2 и органических гидропероксидов (R-OOH) глутатионом. Каталаза вызывает дисмутацию H_2O_2 (химическая реакция, в которой H_2O_2 вызывает окисление других молекул H_2O_2 , следовательно, одна превращается в O_2 , а две другие — в две молекулы H_2O) [1].

Казеины, основные белки молока, также обладают антиоксидантной активностью. В антиоксидантной системе молока казеиновая фракция играет роль ловушки различных активных форм кислорода. Казеины препятствуют аутоокислению липидов [20].

Основной вклад в антиоксидантную активность белковой фракции молока вносят сывороточные белки. Механизм их антиоксидантной активности основан на хелатировании переходных металлов лактоферрином и удалении свободных радикалов за счет наличия серосодержащих аминокислот [21]. Лактоферрин, связывая железо, препятствует превращению H_2O_2 в гидроксильный радикал. Он способен связывать и липополисахариды, что препятствует образованию из них свободных радикалов [22]. Сывороточные белки повышают уровень глутатионпероксидазы, которая считается одной из наиболее важных водорастворимых антиоксидантных систем [23].

Детальный анализ перечисленных компонентов имеет высокую стоимость и не всегда целесообразен, зато их «общий фон» в пробе можно выразить через показатель суммарной антиоксидантной активности [8, 13, 24].

Цели работы — изучение антиоксидантной активности козьего молока и применение математической модели для ее оценки по данным биохимического анализа.

¹ <https://www.fao.org/statistics/ru/>

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Отбор проб козьего молока производили в Воскресенском районе Московской области специалистами личных хозяйств в соответствии с ГОСТ 26809.1-2014². Периоды взятия образцов — июнь 2022 года ($n = 18$) и июнь 2023 года ($n = 18$). Пробы молока получали от коз альпийской породы с учетом состояния здоровья, сроков окота, возраста, длительности проживания в условиях конкретной территории.

Анализ биохимических показателей козьего молока выполнен в центре коллективного пользования научным оборудованием «Биоресурсы и биоинженерия сельскохозяйственных животных» ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста. Аналитическая система MilkoScan 7 / Fossomatic 7 DC (Дания) и MilkoScan 7 (Foss Analytical A/S, Дания) — спектрофотометр³.

Анализ суммарного количества водорастворимых антиоксидантов (СКВА) молока и молочной сыворотки выполнен по методике, описанной в работе А.А. Савиной с соавт.⁴ на приборе «ЦветЯуза 01-АА» (НПО «Химавтоматика», Россия).

Построение множественной регрессионной модели осуществляли в программе R (пакет анализа Psych) (разработчики — Росс Ихака и Роберт Гентлман, Австрия)⁵. Между ожидаемым значением СКВА молока коз и каждой из независимых переменных, в качестве которых использовали следующие данные: массовая доля жира (МДЖ), массовая доля белка истинного (МДБи), массовая доля белка общего (МДБо), казеины, лактоза, сухой обезжиренный молочный остаток (СОМО), сухое вещество (СВ), точка замерзания (ТЗ), кислотность (рН), ацетон, мочевины, бета-гидроксibuтират (БГБ). Существующая линейная зависимость между изучаемыми показателями позволяет вывести модель множественной линейной регрессии следующего вида:

$$СКВА = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + \dots + b_n \cdot x_n,$$

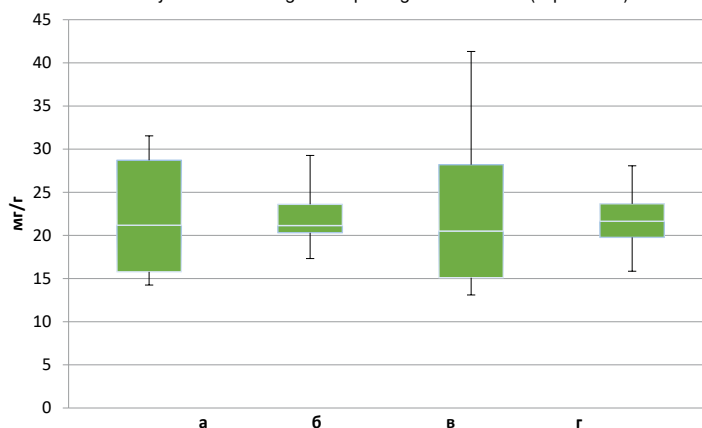
где b_0 — сдвиг, b_{1-n} — коэффициенты отклонения для переменных x_{1-n} .

Значения коэффициентов регрессии найдены по методу наименьших квадратов⁶.

Статистическую обработку результатов проводили в программах Microsoft Excel при помощи пакета «Анализ данных» (Microsoft, США), R при помощи пакета Psych. Оценка достоверности различий между группами по U-критерию Манна — Уитни. При условии, что U экспериментальное \leq U эмпирического, установленные различия считались статистически значимыми⁷. U эмпирическое для $n = 18 - 109$.

Рис. 1. Результаты эксперимента: а, в — СКВА проб молока, полученных в 2022 г. и 2023 г. соответственно; б, г — СКВА, рассчитанное по данным биохимического анализа молока с использованием множественной регрессионной модели (уравнение 2).

Fig. 1. The results of the experiment: a, b — the number of milk samples obtained in 2022 and 2023, respectively; c, d — the number calculated according to the biochemical analysis of milk using a multiple regression model (equation 2).



Результаты и обсуждение / Results and discussion

На рисунке 1 представлены результаты анализа антиоксидантной активности на приборе «ЦветЯуза 01-АА» в козьем молоке по данным 2022 г. (рис. 1а) и 2023 г. (рис. 1в). Средние значения показателя СКВА составили $21,99 \pm 1,48$ и $22,30 \pm 1,91$ мг/г в 2022 и 2023 гг. соответственно. Достоверных различий между пробами, полученными в июне 2022 г. и в июне 2023 г., нет (U экспериментальное — 149, $z = 0,44$, $p = 0,362$).

При построении полной регрессионной модели для вычисления СКВА в козьем молоке были учтены все данные биохимического анализа козьего молока, даже если они не оказывали существенного влияния на интересующий показатель СКВА. Таким образом, показатель значения СКВА рассчитывался как линейная комбинация параметров МДЖ, МДБи, казеинов, лактозы и т. д.

В результате построения регрессионной модели сформировано несколько регрессионных уравнений. Уравнение 1 учитывает все полученные результаты:

$$СКВА = 89,23 - 8,71 \times МДЖ - 10,79 \times МДБи + 55,87 \times МДБо - 52,73 \times Л + 61,99 \times СОМО + 8,62 \times СВ - 135,14 \times К - 56,89 \times А + 63,26 \times БГБ - 0,20 \times М - 0,40 \times ТЗ - 0,82 \times рН, \quad (1),$$

где МДЖ — массовая доля жира, МДБи — массовая доля белка (истинного), МДБо — массовая доля белка (общего), СОМО — сухой обезжиренный молочный остаток, СВ — сухое вещество, Л — лактоза, К — казеины, А — ацетон, БГБ — бета-гидроксibuтират, М — мочевины, ТЗ — точка замерзания, рН — кислотность.

Уравнение (1) имеет низкий коэффициент множественной корреляции (0,674) и незначимо по F-критерию. Кроме того, полученные коэффициенты для МДЖ,

² ГОСТ 26809.1-2014 Молоко и молочная продукция.

³ Schwarz D. Quality assurance tools in milk-testing laboratories — the view of an instrument manufacturer. ICAR Technical Series. 2018; (23): 23–29.

⁴ Savina A.A. et al. Amperometric detection of antioxidant activity of model and biological fluids. Moscow University Chemistry Bulletin. 2020; 75: 340–346. <https://doi.org/10.3103/S0027131420060061>

⁵ R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2014. — URL <http://www.R-project.org/>

⁶ Кондрат А.Ф., Игнатова Л.П. Многофакторный регрессионный анализ показателей типа телосложения коров-первотелок черно-пестрой голштинизированной породы Подмосковья. Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2020; 4(52): 226–231. DOI 10.18286/1816-4501-2020-4-226-231

⁷ Фадейкина О.В., Волкова Р.А., Карпова Е.В. Статистическая обработка результатов аттестации биологических стандартных образцов: применение критерия Манна — Уитни. Химико-фармацевтический журнал. 2019;53(7): 54–58. <https://doi.org/10.30906/0023-1134-2019-53-7-54-58>

МДБи, МДБо, СОМО, СВ, лактозы, казеинов, ацетона, БГБ, мочевины, ТЗ, рН не являются значимыми по t-критерию Стьюдента, а скорректированное значение R^2 принимает отрицательное значение.

Чтобы оптимизировать модель в уравнении 1, приняли константу, равную 0, и получили уравнение 2 следующего вида:

$$\begin{aligned} \text{СКВА} = & 4,63 \times \text{МДЖ} - 40,38 \times \text{МДБи} + 72,46 \times \\ & \times \text{МДБо} - 61,67 \times \text{Л} + 80,73 \times \text{СОМО} - 3,09 \times \text{СВ} - \\ & - 128,34 \times \text{К} - 48,81 \times \text{А} + 33,98 \times \text{БГБ} - 0,16 \times \text{М} - \\ & - 0,18 \times \text{ТЗ} - 6,93 \times \text{рН}, \end{aligned} \quad (2),$$

Уравнение (2) имеет высокий коэффициент множественной корреляции (0,9663) и значимо по F-критерию. Однако полученные коэффициенты для МДЖ, МДБи, МДБо, СОМО, СВ, лактозы, казеинов, ацетона, БГБ, мочевины, ТЗ, рН не являются значимыми по t-критерию Стьюдента. Тем не менее скорректированное значение R^2 принимает высокое значение (0,67), что можно считать удовлетворительным результатом.

Чтобы оптимизировать и сократить полученное уравнение, провели ряд последовательных вычислений и путем подбора пришли к уравнению 3 следующего вида:

$$\text{СКВА} = 8,22 \times \text{К}, \quad (3),$$

где К — казеины.

Уравнение (3) имеет высокий коэффициент множественной корреляции (0,947) и значимо по F-критерию. Полученный коэффициент для казеинов ($p \leq 0,001$) является значимым по t-критерию Стьюдента, а скорректированное значение $R^2 = 0,84$, что можно считать хорошим результатом.

Воспользовавшись уравнением 3, были рассчитаны значения СКВА для проб, полученных в июле 2022 г. (рис. 1б) и в июле 2023-го (рис. 1г). Средние значения при использовании регрессионной модели составили $22,00 \pm 0,72$ и $21,79 \pm 0,71$ мг/г соответственно. Статистически значимых различий между средними результатами, полученными на приборе и при использовании уравнения множественной линейной регрессии, нет. Далее проверили разницу для каждого образца между показанием СКВА прибора и СКВА, рассчитанного с использованием полученного уравнения множественной регрессии. Из 36 расчетных по формуле значений в 5 случаях разница с результатами измерения составила 5%, что сопоставимо с погрешностью измерения прибора. В среднем разница с измеренными значениями составляла приблизительно 35%.

Таким образом, полученная модель регрессионного уравнения позволяет удовлетворительно описать среднее значение СКВА в популяции изучаемых животных, однако она требует доработки, чтобы получать индивидуальный результат, сопоставимый с погрешностью измерения прибора в 5%.

Выводы/Conclusion

Цельное козье молоко — ценный продукт питания с антиоксидантной активностью на уровне 22,0–22,3 мг/г. Предложенная модель регрессионного уравнения (3), которая включает в себя только казеины, имеет хорошую предсказательную ценность при оценке среднего значения показателя СКВА козьего молока в группе или выборке. Полученный с ее помощью результат $22,0\text{--}21,8 \pm 0,7$ мг/г сопоставим со средними значениями, полученными на приборе «ЦветЯуза 01-АА».

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные.

Все авторы внесли равный вклад в работу.

Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат.

Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data.

All authors made an equal contribution to the work.

The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism.

The authors declare no conflict of interest.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Материалы подготовлены в рамках регионального конкурса Российского научного фонда 2021 года «Проведение фундаментальных научных исследований и поисковых научных исследований малыми отдельными научными группами» (соглашение от 29.12.2021 № 22-26-00189).

FUNDING

The materials were prepared within the framework of the regional competition of the Russian Science Foundation in 2021 "Conducting fundamental scientific research and exploratory scientific research by small separate scientific groups" (Agreement of 29.12.2021 No. 22-26-00189).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Khan I.T., Nadeem M., Imran M., Ullah R., Ajmal M., Jaspal M.H. Antioxidant properties of Milk and dairy products: a comprehensive review of the current knowledge. *Lipids in Health and Disease*. 2019; 18: 41. <https://doi.org/10.1186/s12944-019-0969-8>
2. Clark S., Garcia M.B.M. A 100-Year Review: Advances in goat milk research. *Journal of Dairy Science*. 2017; 100(12): 10026–10044. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13287>
3. Haenlein G.F.W. Goat milk in human nutrition. *Small Ruminant Research*. 2004; 51(2): 155–163. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2003.08.010>
4. Silanikove N., Leitner G., Merin U., Prosser C.G. Recent advances in exploiting goat's milk: Quality, safety and production aspects. *Small Ruminant Research*. 2010; 89(2–3): 110–124. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2009.12.033>
5. Verruck S., Dantas A., Prudencio E.S. Functionality of the components from goat's milk, recent advances for functional dairy products development and its implications on human health. *Journal of Functional Foods*. 2019; 52: 243–257. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.11.017>
6. Yazdanparast R., Ardestani A. In Vitro Antioxidant and Free Radical Scavenging Activity of *Cyperus rotundus*. *Journal of Medicinal Food*. 2007; 10(4): 667–674. <https://doi.org/10.1089/jmf.2006.090>
7. Kris-Etherton P.M. et al. Bioactive compounds in foods: their role in the prevention of cardiovascular disease and cancer. *The American Journal of Medicine*. 2002; 113(9): 71–88. [https://doi.org/10.1016/S0002-9343\(01\)00995-0](https://doi.org/10.1016/S0002-9343(01)00995-0)
8. Добрян Е.И. Антиоксидантная система молока. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. 2020; 82(2): 101–106. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2020-2-101-106>

REFERENCES

1. Khan I.T., Nadeem M., Imran M., Ullah R., Ajmal M., Jaspal M.H. Antioxidant properties of Milk and dairy products: a comprehensive review of the current knowledge. *Lipids in Health and Disease*. 2019; 18: 41. <https://doi.org/10.1186/s12944-019-0969-8>
2. Clark S., Garcia M.B.M. A 100-Year Review: Advances in goat milk research. *Journal of Dairy Science*. 2017; 100(12): 10026–10044. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13287>
3. Haenlein G.F.W. Goat milk in human nutrition. *Small Ruminant Research*. 2004; 51(2): 155–163. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2003.08.010>
4. Silanikove N., Leitner G., Merin U., Prosser C.G. Recent advances in exploiting goat's milk: Quality, safety and production aspects. *Small Ruminant Research*. 2010; 89(2–3): 110–124. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2009.12.033>
5. Verruck S., Dantas A., Prudencio E.S. Functionality of the components from goat's milk, recent advances for functional dairy products development and its implications on human health. *Journal of Functional Foods*. 2019; 52: 243–257. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.11.017>
6. Yazdanparast R., Ardestani A. In Vitro Antioxidant and Free Radical Scavenging Activity of *Cyperus rotundus*. *Journal of Medicinal Food*. 2007; 10(4): 667–674. <https://doi.org/10.1089/jmf.2006.090>
7. Kris-Etherton P.M. et al. Bioactive compounds in foods: their role in the prevention of cardiovascular disease and cancer. *The American Journal of Medicine*. 2002; 113(9): 71–88. [https://doi.org/10.1016/S0002-9343\(01\)00995-0](https://doi.org/10.1016/S0002-9343(01)00995-0)
8. Dobriyan E.I. Dairy antioxidant system. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2020; 82(2): 101–106 (In Russian). <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2020-2-101-106>

9. Abbring S., Hols G., Garssen J., van Esch B.C.A.M. Raw cow's milk consumption and allergic diseases — The potential role of bioactive whey proteins. *European Journal of Pharmacology*. 2019; 843: 55–65. <https://doi.org/10.1016/j.ejphar.2018.11.013>
10. Usta B., Yılmaz-Ersan L. Sütün Antioksidan Enzimleri ve Biyolojik Etkileri. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*. 2013; 27(2): 123–130.
11. Choe E., Min D.B. Mechanisms of Antioxidants in the Oxidation of Foods. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2009; 8(4): 345–358. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2009.00085.x>
12. Vargas-Bello-Pérez E., Márquez-Hernández R.I., Hernández-Castellano L.E. Bioactive peptides from milk: animal determinants and their implications in human health. *Journal of Dairy Research*. 2019; 86(2): 136–144. <https://doi.org/10.1017/S0022029919000384>
13. Шидловская В.П., Юрова Е.А. Антиоксиданты молока и их роль в оценке его качества. *Молочная промышленность*. 2010; (2): 24–26. <https://elibrary.ru/kzuqif>
14. Politis I. Reevaluation of vitamin E supplementation of dairy cows: bioavailability, animal health and milk quality. *Animal*. 2012; 6(9): 1427–1434. <https://doi.org/10.1017/S1751731112000225>
15. Stahl W., Sies H. Antioxidant activity of carotenoids. *Molecular Aspects of Medicine*. 2003; 24(6): 345–351. [https://doi.org/10.1016/S0098-2997\(03\)00030-X](https://doi.org/10.1016/S0098-2997(03)00030-X)
16. Young A.J., Lowe G.M. Antioxidant and Prooxidant Properties of Carotenoids. *Archives of Biochemistry and Biophysics*. 2001; 385(1): 20–27. <https://doi.org/10.1006/abbi.2000.2149>
17. Panfili G., Manzi P., Pizzoferrato L. Influence of thermal and other manufacturing stresses on retinol isomerization in milk and dairy products. *Journal of Dairy Research*. 1998; 65(2): 253–260. <https://doi.org/10.1017/S0022029997002811>
18. Simos Yu. *et al.* Antioxidant and anti-platelet properties of milk from goat, donkey and cow: An in vitro, ex vivo and in vivo study. *International Dairy Journal*. 2011; 21(11): 901–906. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2011.05.007>
19. Shields H.J., Traa A., Van Raamsdonk J.M. Beneficial and Detrimental Effects of Reactive Oxygen Species on Lifespan: A Comprehensive Review of Comparative and Experimental Studies. *Frontiers in Cell and Developmental Biology*. 2021; 9: 628157. <https://doi.org/10.3389/fcell.2021.628157>
20. Донская Г.А. Антиоксидантные свойства молока и молочных продуктов: обзор. *Пищевая промышленность*. 2020; (12): 86–91. <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2020-10150>
21. Pogorzelska-Nowicka E. *et al.* Sage extracts obtained with cold plasma improves beef quality. *Meat Science*. 2022; 194: 108988. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2022.108988>
22. Garau V., Manis C., Scano P., Caboni P. Compositional Characteristics of Mediterranean Buffalo Milk and Whey. *Dairy*. 2021; 2(3): 469–488. <https://doi.org/10.3390/dairy2030038>
23. Redha A.A., Valizadenia H., Siddiqui S.A., Maqsood S. A state-of-art review on camel milk proteins as an emerging source of bioactive peptides with diverse nutraceutical properties. *Food Chemistry*. 2022; 373(A): 131444. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131444>
24. Савина А.А., Воронина О.А., Игнатова Л.П., Боголюбова Н.В., Зайцев С.Ю. Взаимосвязь между антиоксидантной активностью и компонентным составом молока коров черно-пестрой породы в зимне-стойловый период содержания. *Ветеринария, зоотехния и биотехнология*. 2021; (5): 86–96. <https://doi.org/10.36871/vet.zoo.bio.202105012>

ОБ АВТОРАХ

Оксана Александровна Воронина

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник отдела физиологии и биохимии сельскохозяйственных животных
voroninaok-senia@inbox.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6774-4288>

Никита Сергеевич Колесник

младший научный сотрудник отдела физиологии и биохимии сельскохозяйственных животных
kominisiko@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4267-5300>

Анастасия Анатольевна Савина

младший научный сотрудник отдела физиологии и биохимии сельскохозяйственных животных
kirablackfire@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0257-1643>

Роман Анатольевич Рыков

старший научный сотрудник отдела физиологии и биохимии сельскохозяйственных животных
brukw@bk.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0228-8901>

Сергей Юрьевич Зайцев

доктор биологических наук, доктор химических наук, профессор, ведущий научный сотрудник отдела физиологии и биохимии сельскохозяйственных животных
s.y.zaitsev@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1533-8680>

Федеральный исследовательский центр животноводства — ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста, пос. Дубровицы, 60, г. о. Подольск, Московская обл., 142132, Россия

9. Abbring S., Hols G., Garssen J., van Esch B.C.A.M. Raw cow's milk consumption and allergic diseases — The potential role of bioactive whey proteins. *European Journal of Pharmacology*. 2019; 843: 55–65. <https://doi.org/10.1016/j.ejphar.2018.11.013>

10. Usta B., Yılmaz-Ersan L. Antioxidant Enzymes of Milk and Their Biological Effects. *Journal of Agricultural Faculty of Uludag University*. 2013; 27(2): 123–130 (In Turkish).

11. Choe E., Min D.B. Mechanisms of Antioxidants in the Oxidation of Foods. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2009; 8(4): 345–358. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2009.00085.x>

12. Vargas-Bello-Pérez E., Márquez-Hernández R.I., Hernández-Castellano L.E. Bioactive peptides from milk: animal determinants and their implications in human health. *Journal of Dairy Research*. 2019; 86(2): 136–144. <https://doi.org/10.1017/S0022029919000384>

13. Shidlovskaya V.P., Yurova E.A. Antioxidants in milk and their role in assessing milk quality. *Dairy Industry*. 2010; (2): 24–26 (In Russian). <https://elibrary.ru/kzuqif>

14. Politis I. Reevaluation of vitamin E supplementation of dairy cows: bioavailability, animal health and milk quality. *Animal*. 2012; 6(9): 1427–1434. <https://doi.org/10.1017/S1751731112000225>

15. Stahl W., Sies H. Antioxidant activity of carotenoids. *Molecular Aspects of Medicine*. 2003; 24(6): 345–351. [https://doi.org/10.1016/S0098-2997\(03\)00030-X](https://doi.org/10.1016/S0098-2997(03)00030-X)

16. Young A.J., Lowe G.M. Antioxidant and Prooxidant Properties of Carotenoids. *Archives of Biochemistry and Biophysics*. 2001; 385(1): 20–27. <https://doi.org/10.1006/abbi.2000.2149>

17. Panfili G., Manzi P., Pizzoferrato L. Influence of thermal and other manufacturing stresses on retinol isomerization in milk and dairy products. *Journal of Dairy Research*. 1998; 65(2): 253–260. <https://doi.org/10.1017/S0022029997002811>

18. Simos Yu. *et al.* Antioxidant and anti-platelet properties of milk from goat, donkey and cow: An in vitro, ex vivo and in vivo study. *International Dairy Journal*. 2011; 21(11): 901–906. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2011.05.007>

19. Shields H.J., Traa A., Van Raamsdonk J.M. Beneficial and Detrimental Effects of Reactive Oxygen Species on Lifespan: A Comprehensive Review of Comparative and Experimental Studies. *Frontiers in Cell and Developmental Biology*. 2021; 9: 628157. <https://doi.org/10.3389/fcell.2021.628157>

20. Donskaya G.A. Antioxidant properties of milk and dairy products: review. *Food Processing Industry*. 2020; (12): 86–91 (In Russian). <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2020-10150>

21. Pogorzelska-Nowicka E. *et al.* Sage extracts obtained with cold plasma improves beef quality. *Meat Science*. 2022; 194: 108988. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2022.108988>

22. Garau V., Manis C., Scano P., Caboni P. Compositional Characteristics of Mediterranean Buffalo Milk and Whey. *Dairy*. 2021; 2(3): 469–488. <https://doi.org/10.3390/dairy2030038>

23. Redha A.A., Valizadenia H., Siddiqui S.A., Maqsood S. A state-of-art review on camel milk proteins as an emerging source of bioactive peptides with diverse nutraceutical properties. *Food Chemistry*. 2022; 373(A): 131444. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131444>

24. Savina A.A., Voronina O.A., Ignatieva L.P., Bogolyubova N.V., Zaitsev S.Yu. The relationship between antioxidant activity and the component composition of milk of black-and-white cows in the winter-stall period. *Veterinary, Zootechnics and Biotechnology*. 2021; (5): 86–96 (In Russian). <https://doi.org/10.36871/vet.zoo.bio.202105012>

ABOUT THE AUTHORS

Oksana Alexandrovna Voronina

Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher of the Department of Physiology and Biochemistry of Farm Animals
voroninaok-senia@inbox.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6774-4288>

Nikita Sergeevich Kolesnik

Junior Researcher of the Department of Physiology and Biochemistry of Farm Animals
kominisiko@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-4267-5300>

Anastasia Anatolyevna Savina

Junior Researcher of the Department of Physiology and Biochemistry of Farm Animals
kirablackfire@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0257-1643>

Roman Anatolevich Rykov

Senior Researcher of the Department of Physiology and Biochemistry of Farm Animals
brukw@bk.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0228-8901>

Sergey Yurievich Zaitsev

Doctor of Biological Sciences, Doctor of Chemical Sciences, Professor, Leading Researcher of the Department of Physiology and Biochemistry of Farm Animals
s.y.zaitsev@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1533-8680>

Federal Research Center of Animal Husbandry — VIZ named after academician L.K. Ernst, 60 Dubrovitsy, Podolsk Municipal District, Moscow Region, 142132, Russia