

УДК: 636.2.034+637.07

DOI:10.52419/issn2072-2419.2025.4.377

ВЛИЯНИЕ КОЛИЧЕСТВА ЛАКТАЦИЙ КОРОВ НА ПОКАЗАТЕЛИ БИОХИМИЧЕСКОГО И АНТИОКСИДАНТНОГО ПРОФИЛЯ ПАСТЕРИЗОВАННОГО И НЕПАСТЕРИЗОВАННОГО МОЛОКА

Савина А.А. – науч. сотр, гр. аналитической биохимии (ORCID 0000-0003-0257-1643); **Воронина О.А.** – канд. биол. наук, ст. науч. сотр. гр. аналитической биохимии (ORCID 0000-0002-6774-4288); **Зайцев С.Ю.*** – д-р хим. наук, д-р биол. наук., вед. науч. сотр., руководитель группы аналитической биохимии (ORCID 0000-0003-1533-8680)

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр животноводства - ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста»

* s.y.zaitsev@mail.ru

Ключевые слова: молоко коров, пастеризация молока, компонентный состав, антиоксидантная активность.

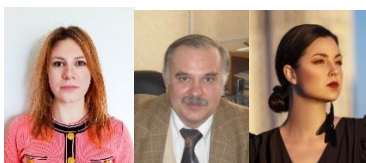
Key words: cow's milk, milk pasteurization, component composition, antioxidant activity.

Финансирование: Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках выполнения государственного задания (регистрационный номер ЕГИСУ темы НИР FGGN-2024-0016).

Поступила: 25.09.2025

Принята к публикации: 05.12.2025

Опубликована онлайн: 26.12.2025



РЕФЕРАТ

Молоко, как и продукты на его основе, богаты веществами, способными проявлять антиоксидантную активность и содержит несколько антиоксидантных систем. В данной работе рассмотрены аспекты изменения антиоксидантного статуса молока, проанализированного амперометрическим методом, в контексте изменения биохимического состава молока в разных лактациях. Обнаружены тенденции увеличения суммарной концентрации водорастворимых антиоксидантов (СКВА) при пастеризации молока. В первые три лактации у коров голштинской породы значение СКВА растет вместе с увеличением средних значений суточного удоя и количества соматических клеток (КСК) в молоке. Так СКВА не пастеризованного молока у коров первой лактации составило $15,85 \pm 0,66$ мг/л, у коров второй лактации $17,03 \pm 2,18$ мг/л, что на 6,9 % больше, у коров третьей лактации уже на 18,0% больше, чем у второй – $20,77 \pm 2,91$ мг/л. Внутри групп так же наблюдается одинаковая тенденция увеличения СКВА при пастеризации молока: 1) на +27,3%; 2) на +27,9%; 3) на +21,65%. При этом сохраняется динамика роста СКВА пастеризованного молока и между группами: 1) $22,11 \pm 0,33$ мг/л; 2) $23,63 \pm 2,21$ мг/л; 3) $26,51 \pm 2,31$ мг/л. Различия

СКВА являются не только значимыми, но и достоверными, $p \leq 0,05$. Одновременно происходит незначительное снижение содержания жира и белка в молоке, при этом количество лактозы достоверно не изменяется. Для выводов о статистической достоверности межгрупповых различий были выполнены расчёты по U критерию Манна-Уитни. При условии, что $U_{\text{эсп.}} \leq U_{\text{эмп.}}$ ($U_{\text{эмп.}} = 27$ для $n=10$, при $\alpha=0,05$; $U_{\text{эмп.}} = 19$ для $n=10$, при $\alpha=0,01$).

ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

Молоко, как и продукты на его основе, богаты веществами, способными проявлять антиоксидантную активность, содержит несколько антиоксидантных систем. Наряду с такими известными антиоксидантами, как витамины и ферменты, также велика роль антиоксидантной активности молочных белков и их гидролизатов, липидов и других компонентов молока, особенно после его пастеризации. В работе Pihlanto, A. (2006) [1] сообщается, что остатки гидролизатов белков молока, образующихся при переваривании, обладают антиоксидантной активностью. Часто это короткие из 5–11 аминокислот пептиды, в составе которых обнаружены гидрофобные аминокислоты, пролин, гистидин, тирозин или триптофан. Таким образом, протеолиз молочных белков с одной стороны снижает способность казеина и сывороточных альбуминов ингибировать перекисное окисление липидов [2,3], с другой стороны даёт большее число активных коротких пептидов с антиоксидантной активностью. Независимо от концентрации гидролизаты казеина проявляют антиоксидантную активность за счёт высвобождения функциональных групп аминокислот с антиоксидантными свойствами, из нативной структуры казеинов. Свободные радикалы дезактивируются короткими пептидами, содержащими гидрофобные аминокислоты (пролин, триптофан) и избранными свободными аминокислотами (тирозин и цистеин) [4]. Их антиоксидантная обусловлена как прямым ингибированием окислительных реакций, так и способностью связывать ионы металлов, которые могут инициировать эти процессы. Так же они снижают уровень гидропероксидов, предотвращают реакции образования радикалов или нейтрализуют последствия реакций радикального окисления. [5,6]. Как правило,

эти белковые фракции сыворотки богаты тирозином, триптофаном, метионином, лизином, цистеином и гистидином — аминокислотами, обладающими антиоксидантной активностью [5]. Гидролизаты молочных белков могут быть использованы в качестве природных антиоксидантов для усиления антиоксидантных свойств функциональных продуктов питания и предотвращения реакций окисления в процессе переработки пищевых продуктов [7,8]. Необходимы дальнейшие исследования для выяснения роли антиоксидантных пептидов в защитной функции человека [9]. Данная информация послужила основанием предположить, что молоко неодинаковое по своим параметрам, будет отличаться и по значению такого интегрального показателя как суммарная концентрация водорастворимых антиоксидантов (СКВА) и после пастеризации.

Цель работы – исследовать влияние количества лактационных периодов на интегральную величину показателя антиоксидантной активности молока коров в образцах нативного и пастеризованного молока во взаимосвязи с компонентным составом молока.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

База для исследований и формирование репрезентативной выборки. Исследования выполнены на базе племенного завода Ладожский (Краснодарский край), на протяжении 2025 года (с января по май). По результатам контрольной дойки из дойного стада были сформированы три группы клинически здоровых коров первой, второй и третьей лактации – соответственно. В каждую группу вошло по 10 коров голштинской породы, с аналогичными показателями суточного удоя и длительности лактации. Средние показатели удоя составили $22,07 \pm 1,84$, $28,67 \pm 1,47$ и $32,13 \pm 3,47$ л/голову в сутки,

среднее число дней лактации 298 ± 41 , 281 ± 36 , 253 ± 39 дней для первой, второй и третьей групп соответственно.

Подготовка образцов. Условия хранения во время транспортировки соответствовали требованиям ГОСТ 26809.1-2014. Нативные образцы исследовали без дополнительной подготовки, пастеризацию молока проводили путём нагревания образцов в водяной бане до $72-75\text{ }^\circ\text{C}$ в течение 15 секунд. Контроль температуры молока в пробирке производился ртутным термометром. Перед измерением молоко остужали до комнатной температуры.

Оборудование для анализа. Подсчет соматических клеток, измерение массовой доли жира, массовой доли белка и лактозы в образцах молока проводили на автоматическом анализаторе молока CombiFoss 7 DC (FOSS, Дания) в отделе популяционной генетики и генетических основ разведения животных ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста.

Измерение интегрального показателя СКВА проводили на проточно-инжекционной системе с амперометрическим детектированием «ЦветЯуза-01», производства Химавтоматика (Россия). В качестве стандарта для определения антиоксидантной активности использовали галловую кислоту. СКВА определяли по измерению силы электрического тока, возникающего при окислении молекул на поверхности рабочего электрода при определённом потенциале. В качестве стандарта при измерении СКВА образцов использовали «рабочие растворы» галловой кислоты (100 мг/дм^3) с массовой концентрацией от 0,2 до $4,0\text{ мг/дм}^3$, что детально описано в работах. В качестве элюента использовали раствор ортофосфорной кислоты $2,2\text{ ммоль/дм}^3$. Сигнал от анализируемых образцов молока отображается в виде пиков на графике, для дальнейшего пересчёта используется площадь пика (нА/с). В случае анализа биологических жидкостей, в том числе молока, сигнал превышает сигнал раствора ($4,0\text{ мг/дм}^3$ галловой кислоты), поэтому образцы мо-

лока предварительно разбавляли в 20 раз бидистиллированной водой.

Статистическая обработка результатов проводилась в программе Microsoft Excel. В качестве описательной статистики приводим по тексту и на графиках средние значения и среднеквадратичное отклонение от среднего значения. Вывод о достоверности межгрупповых различий делали на основании расчётов по U критерию Манна-Уитни. При условии, что $U_{\text{эмп.}} \leq U_{\text{табл.}}$ ($U_{\text{табл.}} = 27$ для $n=10$, при $\alpha=0,05$; $U_{\text{табл.}} = 19$ для $n=10$, при $\alpha=0,01$) то установленные различия статистически значимы. Достоверная разница межгрупповых различий выражена как процент и абсолютное значение.

РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

В ранее опубликованной нами статье [10] рассматривался вопрос количественного изменения показателей антиоксидантной системы организма в зависимости от уровня молочной продуктивности. В рамках данной работы мы акцентировали внимание на изучение влияния пастеризации молока на величину суммарной концентрации водорастворимых антиоксидантов (СКВА) в молоке коров с разным количеством лактаций. Полученные результаты подтвердили, что такие факторы как возраст и период лактации коров оказывают достоверное влияние на биохимический состав молока.

На верхнем графике **рисунка 1** отражена тенденция увеличения СКВА пастеризованного молока, нижний график построен по данным исследования образцов не пастеризованного молока. При оценке степени изменений каждая предыдущая величина принималась за 100%. Выявлено, что с увеличением количества лактаций показатель СКВА нативного молока увеличивается. Разница между первой ($15,85 \pm 0,66\text{ мг/л}$) и второй ($17,03 \pm 2,18\text{ мг/л}$) лактацией составила 6,9% ($1,18\text{ мг/л}$, $U=32$, $p \geq 0,05$), между второй и третьей ($20,77 \pm 2,91\text{ мг/л}$) лактацией 18,0% ($3,74\text{ мг/л}$, $U=20$, $p \leq 0,05$).

С каждой последующей лактацией так же увеличивается значение СКВА и пастеризованного молока. У коров первой

лактации оно составило $22,11 \pm 0,33$ мг/л, второй $23,63 \pm 2,21$ мг/л (больше на 6,8% (1,52 мг/л), $U=14$, $p \leq 0,01$), третьей $26,51 \pm 2,31$ мг/л (больше на 12,2% (2,88 мг/л), $U=17$, $p \leq 0,01$).

При этом модулирующий эффект пастеризации молока у коров с разным ко-

личеством лактации оказался одинаковым. Так у коров первой лактации значение СКВА после пастеризации выросло на 28,3% (6,26 мг/л, $U=10$, $p \leq 0,01$), у коров второй лактации - на 27,9% (6,60 мг/л, $U=0$, $p \leq 0,01$) и третьей - на 21,7% (5,74 мг/л, $U=9,5$; $p \leq 0,01$).

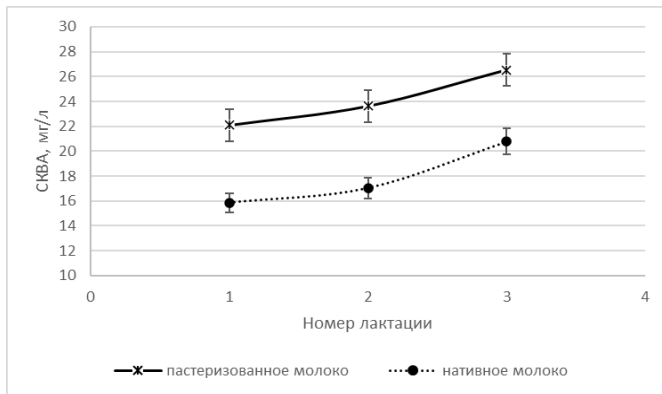


Рисунок 1 – Суммарная концентрация водорастворимых антиоксидантов молока в зависимости от количества лактационных периодов.

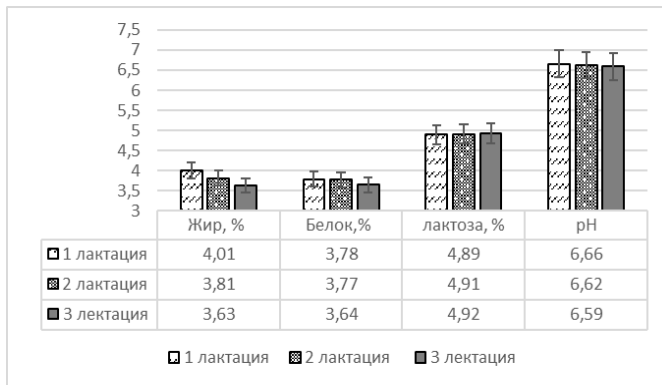


Рисунок 2 – Изменение биохимического состава молока коров голштинской породы в зависимости от номера лактации.



Рисунок 3 – Изменение молочной продуктивности и количества соматических клеток (КСК) молока коров голштинской породы в зависимости от номера лактации.

Предположительно, при пастеризации происходит частичная денатурация белков молока и изменение конформации жировых шариков путём дестабилизации их структуры и оболочки под воздействием тепла, что в свою очередь повышает количество экспонированных «во вне» остатков ароматических аминокислот, которые среди прочих дают наивысший сигнал при детектировании амперометрией. Стоит отметить, что для коров некоторых пород наблюдается идентичная динамика изменения количества удоя, связанного со сроком лактации, до третьей лактации суточный удой увеличивается, далее идёт снижение [11].

На рисунке 2 нами отмечены биохимические изменения в составе молока при увеличении суточного удоя. Так, в сравнении с первой лактацией, во время второй лактации удой увеличился на 29,9% (на 6,6 л, $U=12$, $p \leq 0,01$), помимо этого отмечено снижение содержания жира на 5,0% ($U=23$, $p \leq 0,05$) и недостоверное увеличение количества лактозы на 1,7% $4,89 \pm 0,05\%$ (на 0,02%, $U=57$, $p \geq 0,05$). В сравнении со второй в третью лактацию удой увеличился на 12,1% (на 3,46 л $U=26$, $p \leq 0,05$), однако в молоке уменьшилось содержание жира на 4,7% (на 0,63%, $U=28$, $p \geq 0,05$), и белка - на 3,4% (на 0,13%). Значимых изменений показателей лактозы и рН не выявлено, хотя можно отметить наличие слабовыраженного положительного вектора изменений между СКВА, удоём и лактозой и отрицательной тенденцией между СКВА, жиром и рН. В данной ситуации более детальное рассмотрение компонентного состава, в том числе белковых фракций и низкомолекулярных веществ может помочь прояснить наблюдаемый феномен. В том числе, ранее [11] нами была обнаружена закономерность изменения СКВА в зависимости от активности ферментативных систем и количества витамина С для нативного молока.

На рисунке 3 нами отмечено, что с увеличением количества лактаций достоверно ($p < 0,01$) повышается не только суточный удой и СКВА, но и содержание

соматических клеток в молоке, которое соответственно составило: $253 \pm 116,13$, $485 \pm 34,35$ и $743 \pm 62,48$. Выявленная нами закономерности взаимосвязи продуктивности, КСК и биохимии согласуются с данными, полученными нашими коллегами [12] и зарубежными исследователями [13]. Увеличение числа соматических клеток в молоке с каждой последующей лактацией связывают с возрастными изменениями молочной железы, в том числе, вероятно, и наличием хронического воспаления. При этом высока вероятность, что деструктивные изменения и повышенный износ тканей вымени приводит к десквамации (отслаиванию) эпителиальных клеток, а также к возрастанию активности и численности лейкоцитов. По характеру эти возрастные изменения аналогичны тем, которые происходят у животных на поздней стадии лактации, или при превышении нормального срока лактации в 305 дней.

ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Обнаружены тенденции увеличения суммарной концентрации водорастворимых антиоксидантов при пастеризации молока. В первые три лактации у коров голштинской породы наблюдается однонаправленное изменение средних значений СКВА, суточного удоя и количества соматических клеток (КСК) в молоке. Одновременно происходит незначительное снижение содержания жира и белка в молоке, при этом количество лактозы достоверно не изменяется. Таким образом, интегральный показатель антиоксидантной активности изменяется с количеством лактаций, число которых в свою очередь, существенно влияет на молочную продуктивность и биохимический состав молока. Все вышесказанное свидетельствует о возможности использования показателя суммарной концентрации водорастворимых антиоксидантов (СКВА) для оценки качества молока и продуктивного потенциала при условии набора достаточной выборки и определения референсных значений.

INFLUENCE OF THE NUMBER OF COW LACTATIONS ON THE BIOCHEMICAL AND ANTIOXIDANT PROFILE OF PASTEURIZED AND UNPASTEURIZED MILK

Savina A.A. – Junior Researcher, of the Analytical Biochemistry Group (ORCID 0000-0003-0257-1643); **Voronina O.A.** – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher of the Analytical Biochemistry Group (ORCID 0000-0002-6774-4288); **Zaitsev S.Yu.*** – Doctor of Chemical Sciences, Doctor of Biological Sciences, Leading researcher, Head of the Analytical Biochemistry Group (ORCID 0000-0003-1533-8680)

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

* *s.y.zaitsev@mail.ru*

Financing: *The work was carried out with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation as part of the state assignment (EGISU registration number of the research topic FGGN-2024-0016).*

ABSTRACT

Milk and milk-based products are rich in substances capable of exhibiting antioxidant activity and contain several antioxidant systems. This paper examines aspects of changes in the antioxidant status of milk, analyzed by the amperometric method, in the context of changes in the biochemical composition of milk in different lactations. Tendencies for an increase in the total concentration of water-soluble antioxidants (TAWSA) during milk pasteurization were found. In the first three lactations, an increase in TAWSA in Holstein cows correlates with an increase in average daily milk yield and somatic cell count (SCC) in milk. Thus, the TAWSA of unpasteurized milk in cows of the first lactation was 15.85 ± 0.66 mg/L, in cows of the second lactation 17.03 ± 2.18 mg/L, which is 6.9% more, in cows of the third lactation it was already 18.0% more than in the second – 20.77 ± 2.91 mg/L. Within the groups, the same tendency of increasing TAWSA during

milk pasteurization is also observed: 1) by +27.3%; 2) by +27.9%; 3) by +21.65%. At the same time, the dynamics of growth of TAWSA of pasteurized milk is preserved between the groups: 1) 22.11 ± 0.33 mg/L; 2) 23.63 ± 2.21 mg/L; 3) 26.51 ± 2.31 mg/L. The differences in TAWSA are not only significant, but also reliable, $p \leq 0.05$. At the same time, there is an insignificant decrease in the fat and protein content in milk, while the amount of lactose does not change reliably. To draw conclusions about the statistical significance of intergroup differences, calculations were performed using the Mann-Whitney U test. Under the condition that $U_{exp.} \leq U_{em.}$ ($U_{em.} = 27$ for $n=10$, with $\alpha=0.05$; $U_{em.} = 19$ for $n=10$, with $\alpha=0.01$).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Pihlanto, A. Antioxidative peptides derived from milk proteins // International dairy journal. – 2006. – Т. 16, № 11. – С. 1306–1314.
2. Idris, A., Lassouane, N. Étude de l'activité anti-oxydante des hydrolysats pepsiques et pancréatiques issus des protéines du lait de chèvre et de brebis : PhD-theses (дис. ... канд. техн. наук). – Tizi-Ouzou : Université Mouloud Mammeri, 2022. – 64 с.
3. Derdah, D., Himeur, N. Comparaison des activités antioxydantes des hydrolysats des protéines totales de lait de chamelle et de lait de vache traités par la pepsine et la pancréatine : PhD-theses (дис. ... канд. техн. наук). – Tizi-Ouzou : Université Mouloud Mammeri, 2022. – 70 с.
4. Grażyna, C. et al. Natural antioxidants in milk and dairy products // International Journal of Dairy Technology. – 2017. – Т. 70, № 2. – С. 165–178.
5. San Julián L. et al. The Role of Dairy in Human Nutrition: Myths and Realities // Nutrients. – 2025. – Т. 17. – №. 4. – С. 646.
6. Domínguez, R. et al. Protein oxidation in muscle foods: A comprehensive review // Antioxidants. – 2021. – Т. 11, № 1. – С. 60.
7. Lund, M.N., Baron, C.P. Protein oxidation in foods and food quality // Chemical Deterioration and Physical Instability of Food and Beverages / Eds. Skibsted L.H., Risbo J., Andersen M.L. – Sawston, UK: Woodhead

Publishing, 2010. – P. 33–69.

8. Peña-Ramos, E. A., Xiong, Y. L. Whey and soy protein hydrolysates inhibit lipid oxidation in cooked pork patties // *Meat Science*. – 2003. – Т. 64. – №. 3. – С. 259-263.

9. Estévez, M., Luna, C. Dietary protein oxidation: A silent threat to human health? // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. – 2017. – Т. 57, № 17. – С. 3781–3793.

10. Савина, А. А., Воронина, О. А., Зайцев, С. Ю. Активность каталазы в молоке и ее корреляции с молочной продуктивностью коров в зависимости от срока лактации // *Аграрная наука*. – 2024. – Т. 1. – №. 8. – С. 118-123.

11. Савина А. А., Воронина О. А., Зайцев С. Ю. Сезонные закономерности изменения антиоксидантных и микроэлементных параметров молока коров чернопестрой породы // *Аграрная наука Северо-Востока*. – 2023. – Т. 24. – №. 5. – С. 858-867.

12. Сермягин, А. А., Сельцов, Н. В., Сивкин, Н. В. Методическое руководство по использованию показателей персистенции лактации в селекции молочного скота по комплексу признаков. – Дубровицы: ВИЖ им. Л.К. Эрнста, 2017. – 70 с.

13. Stobiecka M., Król J., Brodziak A. Antioxidant potential of milk obtained from Holstein-Friesian cows with regard to the subsequent lactations and stage of lactation // *Mljekarstvo: časopis za unaprjeđenje proizvodnje i prerade mlijeka*. – 2023. – V. 73. – No. 2. – P. 95-104.

REFERENCES

1. Pihlanto, A. Antioxidative peptides derived from milk proteins // *International dairy journal*. – 2006. – Т. 16, № 11. – С. 1306–1314.

2. Idris, A., Lassouane, N. Étude de l'activité anti-oxydante des hydrolysats pepsiques et pancréatiques issus des protéines du lait de chèvre et de brebis : PhD-theses (дис. ... канд. техн. наук). – Tizi-Ouzou : Université Mouloud Mammeri, 2022. – 64 с.

3. Derdah, D., Himeur, N. Comparaison des activités antioxydantes des hydrolysats des protéines totales de lait de chamelle et de lait de vache traités par la pepsine et la pancré-

atine : PhD-theses (дис. ... канд. техн. наук). – Tizi-Ouzou : Université Mouloud Mammeri, 2022. – 70 с.

4. Grażyna, C. et al. Natural antioxidants in milk and dairy products // *International Journal of Dairy Technology*. – 2017. – Т. 70, № 2. – С. 165–178.

5. San Julián L. et al. The Role of Dairy in Human Nutrition: Myths and Realities // *Nutrients*. – 2025. – Т. 17. – №. 4. – С. 646.

6. Domínguez, R. et al. Protein oxidation in muscle foods: A comprehensive review // *Antioxidants*. – 2021. – Т. 11, № 1. – С. 60.

7. Lund, M.N., Baron, C.P. Protein oxidation in foods and food quality // *Chemical Deterioration and Physical Instability of Food and Beverages* / Eds. Skibsted L.H., Risbo J., Andersen M.L. – Sawston, UK : Woodhead Publishing, 2010. – P. 33–69.

8. Peña-Ramos, E. A., Xiong, Y. L. Whey and soy protein hydrolysates inhibit lipid oxidation in cooked pork patties // *Meat Science*. – 2003. – Т. 64. – №. 3. – С. 259-263.

9. Estévez, M., Luna, C. Dietary protein oxidation: A silent threat to human health ? // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. – 2017. – Т. 57, № 17. – С. 3781–3793.

10. Savina, A. A., Voronina, O. A., Zaitsev, S. Yu. Catalase activity in milk and its correlation with milk productivity of cows depending on the lactation period // *Agrarian science*. - 2024. - Vol. 1. - No. 8. - P. 118-123.

11. Savina A. A., Voronina O. A., Zaitsev S. Yu. Seasonal patterns of changes in antioxidant and microelement parameters of milk of Black-and-White cows // *Agrarian Science of the Euro-North-East*. - 2023. - V. 24. - No. 5. - P. 858-867.

12. Sermyagin, A. A., Seltsov, N. V., Sivkin, N. V. Methodological guidelines for the use of lactation persistence indicators in the selection of dairy cattle based on a set of traits. - Dubrovitsy: All-Russian Research Institute of Animal Husbandry named after L. K. Ernst, 2017. - 70 p.

13. Stobiecka M., Król J., Brodziak A. Antioxidant potential of milk obtained from Holstein-Friesian cows with regard to the subsequent lactations and stage of lactation // *Mljekarstvo: časopis za unaprjeđenje proizvodnje i prerade mlijeka*. – 2023. – V. 73. – No. 2. – P. 95-104.