

А.А. Савина
О.А. Воронина
С.Ю. Зайцев ✉

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

✉ s.y.zaitsev@mail.ru

Поступила в редакцию:
29.02.2024

Одобрена после рецензирования:
12.07.2024

Принята к публикации:
28.07.2024

Anastasia A. Savina
Oksana A. Voronina
Sergey Yu. Zaitsev ✉

L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry, Dubrovitsy, Moscow region, Russia

✉ s.y.zaitsev@mail.ru

Received by the editorial office:
29.02.2024

Accepted in revised:
12.07.2024

Accepted for publication:
28.07.2024

Активность каталазы в молоке и ее корреляции с молочной продуктивностью коров в зависимости от срока лактации

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Цели данной работы — изучение активности каталазы в молоке здоровых коров с различным уровнем продуктивности и нахождение корреляции между изучаемыми показателями в разные периоды лактации, что является важным и актуальным в плане оценки антиоксидантной активности молока коров.

Методы. Анализ биохимических показателей коровьего молока провели с помощью системы CombiFoss 7 (Дания). Анализ суммарного количества водорастворимых антиоксидантов (СКВА) выполнен на приборе «Цвет-Яуза 01-АА». Статистическую обработку полученных результатов проводили в программах Microsoft Excel при помощи пакета «Анализ данных», в программе R (пакет Psych). Пробы молока получали от коров черно-пестрой породы в течение целого года.

Результаты. Вся выборка животных (N = 280) разбита на 6 групп по дням лактации: 11–30, 31–60, 61–90, 91–120, 121–180 и 180–300 дней (группы 1–6-я). В первые 11–30 дней лактации (группа 1-я) значение СКВА значительно выше (17,2 мг/мл), чем в последующие месяцы. Причем значения СКВА достаточно сильно колеблются. Существенные изменения наблюдались для активности каталазы: от 1,41 и 1,32 отн. ед. (группы 1-я и 6-я) до 0,44 отн. ед. (группа 3-я). В период раздоя и спада лактации (1-я и 6-я группы) наблюдаются наивысшие коэффициенты корреляции между каталазой и жиром — 0,51 и 0,57 соответственно. Для всех сроков лактации отмечается отрицательная корреляция каталазы с истинным белком. Таким образом, изучена активность каталазы в молоке здоровых коров в разные сроки лактации и найдены корреляции между изучаемыми показателями.

Ключевые слова: молоко коров, биохимия, антиоксиданты, каталаза, удой, срок лактации

Для цитирования: 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; 385(8): 118–123.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-385-8-118-123>

© Савина А.А., Воронина О.А., Зайцев С.Ю.

Catalase activity in milk and its correlation with milk productivity of cows depending on the duration of lactation

ABSTRACT

Relevance. The purpose of this work is to study the activity of catalase in the milk of healthy cows with different levels of productivity and to find a correlation between the studied indicators, which is important and relevant in terms of assessing the antioxidant activity of cows' milk.

Methods. The analysis of biochemical parameters of cow's milk was carried out using the "CombiFoss 7" system (Denmark). The analysis of the total amount of water-soluble antioxidants (TAWSA) was performed on the device "Tsvet-Yauza 01-AA". Statistical processing of the obtained results was carried out in the Microsoft Excel programs using the "Data Analysis" package, the "R" program ("Psych" package). Milk samples were obtained from black-and-white cows during a whole year.

Results. The entire sample of animals (N = 280) is divided into 6 groups by lactation days: 11–30, 31–60, 61–90, 91–120, 121–180 and 180–300 days (groups 1–6). In the first 11–30 days of lactation (group 1), the value of SKVA is significantly higher (17.2 mg/ml) than in the following months. Moreover, the values of the SKVA fluctuate quite strongly. Significant changes were observed for catalase activity: from 1.41 and 1.32 rel. units (groups 1 and 6) to 0.44 rel. units (group 3). During the period of bloating and lactation decline (groups 1 and 6), the highest correlation coefficients between catalase and fat are observed — 0.51 and 0.57, respectively. For all periods of lactation, there is a negative correlation of catalase with true protein. Thus, the activity of catalase in the milk of healthy cows at different periods of lactation was studied and correlations between the studied indicators were found.

Key words: cow's milk, biochemistry, antioxidants, catalase, milk yield

For citation: Savina A.A., Voronina O.A., Zaitsev S.Yu. Catalase activity in milk and its correlation with milk productivity of cows depending on the duration of lactation. *Agrarian science*. 2024; 385(8): 118–123 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-385-8-118-123>

© Savina A.A., Voronina O.A., Zaitsev S.Yu.

Введение/Introduction

Ряд ферментов молока обладают выраженной антиоксидантной активностью. Каталаза — один из наиболее ярких представителей класса оксидоредуктаз (КФ¹ 1.11.1.6), чьим субстратом выступает перекись водорода (H₂O₂) [1], основными источниками которой в молоке служат реакции окисления гипоксантина и ксантина ксантинооксидазами (КФ 1.1.3.22) [2], реакции, катализируемые сульфгидроксидазой (КФ 1.8.3.2) [3], супероксиддисмутазой (КФ 1.15.1.1), реакции естественного окисления липидов молока [4, 5], реакции аэробного метаболизма [6].

Примечательно, что в 1937 году каталаза бычьей печени стала первым кристаллизованным белком в своем классе, на данный момент ее 3D-структура хорошо изучена и подробно описана в ряде работ [7, 8]. Основными источниками каталазы в молоке становятся секреторные клетки молочной железы, лейкоциты и микроорганизмы. В эксперименте с различными режимами температурного воздействия каталаза демонстрирует термостабильность, и это довольно неожиданно для гомотетрамера, стабилизированного нековалентными взаимодействиями, что детально рассмотрено в [9].

Что касается эволюции каталитически активных ферментов в отношении H₂O₂, она привела к появлению трех семейств металлоферментных генов: типичных гем-каталаз (монофункциональных), гем-каталаза-пероксидаз (бифункциональных) и марганцевых каталаз (негемовых) [6]. Монофункциональные гем-каталазы распространены во всех царствах с высокой структурной сохранностью. Наибольшего разнообразия достигли каталазы прокариотических и эукариотических микроорганизмов, которые играют важную роль в патогенезе ряда заболеваний. Положительные по каталазе бактерии (*Staphylococcus*, *Micrococcus*, *Bacillus* и *Enterobacteriaceae* [10]) могут дольше выживать, с успехом нейтрализуя достаточно эффективную неспецифическую линию защиты в виде H₂O₂, расщепляя ее до H₂O и O₂ [10].

Среди симбиотической микрофлоры вымени и молока обнаружены поддерживающие синтез каталазы микроорганизмы. В работе О.Б. Павленко [10] из симбиотической микрофлоры секрета молочных желез здоровых было выделено 52 штамма микроорганизмов (стафилококков, стрептококков, кишечных палочек) [11]. Показано, что каталазной активностью (в разной степени) обладают все стафилококки, изолированные от телок, и 72,7% стафилококков молочной железы здоровых коров [11].

Непрерывный поиск — выделение, характеристика и идентификация новых штаммов бактерий из молока с пробиотическими свойствами демонстрируют следующие результаты в отношении каталаза-позитивных микроорганизмов: «...из выявленных шести изолятов один обладает каталазой активностью» и содержит новый штамм *Mammaliococcus sciuri* GMN0, близкородственный *Staphylococcus spp.* [12].

Важные для пищевой промышленности молочнокислые бактерии, классифицированные как общепризнанные безопасные микроорганизмы, являются каталаза-отрицательными [13, 14].

Активность каталаз в сыром молоке имеет видовую и породную специфичность и может существенно различаться между отдельными животными [15]. Каталазы психотрофных бактерий молока (микрострококков, энтерококков, стафилококков и споровых аэробных палочек) снижают его сыропригодность, их инактивация повышает качество молока и сыров [16].

Цели данной работы — изучение активности каталазы в молоке здоровых животных с различным уровнем продуктивности и нахождение корреляции между изучаемыми показателями.

В предыдущих работах была установлена активность каталазы в молоке на уровне 0,58–2,54 ед. [17]. По данным А.П. Цацулина с соавт., активность каталазы в молоке здоровых животных составляет 7 ед., тогда как у больных маститом она повышается [18] в 10 и более раз [3]. При определении активности каталазы в сыром молоке полярографическим методом активность фермента составляет 195 ед/мл, кроме того, установлены сезонные колебания ее активности [19].

Отдельно стоит заметить, что ни один из методов определения каталазы в молоке не является «золотым стандартом» для лабораторий по всему миру [20]. Поэтому при изучении данного фермента большое значение имеет не только способ определения активности, но и условия эксперимента, продолжительность наблюдений.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Отбор образцов производили у здоровых коров второй лактации черно-пестрой породы из ФГБУ ПЗ «Ладожский» (Краснодарский край, Россия) в 2022–2023 гг. Содержание привязное с выгулами в летнем лагере. В общей сложности ежемесячно в случайную выборку для исследования отбирали 25% дойного стада. При этом учитывали физиологическое состояние, в том числе данные о количестве лактации, дате отела, информации о суточном удое и числе дойных дней.

Во время контрольных доек отбирали среднюю пробу молока согласно ГОСТ 26809.1². Анализ полученных проб производили на протяжении года в лабораториях Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр животноводства — ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста».

После предварительной оценки и обработки первичных данных часть результатов исключили из выборки и анализа, и общее число животных, вошедших в группы, составило 280 голов.

Чтобы иметь возможность наблюдать исследуемых животных в условиях одного сезона (исключить влияние температуры, влажности, качества корма), было принято решение сформировать 6 групп параллельно:

- ✓ 11–30 дней лактации,
- ✓ 31–60 дней лактации,
- ✓ 61–90 дней лактации,
- ✓ 91–120 дней лактации,
- ✓ 121–180 дней лактации,
- ✓ 181–300 дней лактации.

Анализировали удой по результатам контрольных доек, биохимические показатели молока коровьего определяли на приборе CombiFoss 7 (Дания)³ (жир,

¹ <https://www.enzyme-database.org/about.php#:~:text=ExplorEnz%20is%20an%20open-access%2C%20manually,by%20the%20Reactions%20they%20Catalyse>

² ГОСТ 26809.1-2014 Молоко и молочная продукция. Правила приемки, методы отбора и подготовка проб к анализу. Ч. 1. Молоко, молочные, молочные составные и молкосодержащие продукты.

³ Карликова Г.Г., Лашнева И.А., Сермягин А.А. Анализ взаимосвязи компонентного состава молока и биомаркеров крови голштинизированных коров. Аграрная наука. 2023; 1(8): 41–47. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-373-8-41-47>

белок истинный, белок общий, лактозу, сухой обезжиренный молочный остаток (СОМО), сухое вещество (СВ), анализ суммарного количества водорастворимых антиоксидантов (СКВА) на приборе «ЦветЯуза 01-АА» (НПО «Химваوماتика», Россия)⁴. Определение каталазы подробно описано в материалах публикации А.А. Савиной с соавт⁵.

Статистическую обработку полученных результатов проводили в программе Microsoft Excel (США). При помощи пакета «Анализ данных» рассчитаны данные описательной статистики, выполнен расчет корреляций, включая корреляции между каталазой и СКВА в зависимости от дней лактации. Достоверность различий между группами проверяли с помощью U-теста Манна — Уитни.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

В результате исследования установлено, что количество водорастворимых антиоксидантов и активность каталазы в молоке коров зависели от сроков лактации. В раннем молоке первого месяца раздоя содержится наибольшее количество водорастворимых антиоксидантов. Пики активности каталазы установлены в начале и конце лактации. Это можно объяснить физиологическими изменениями, связанными с серьезными метаболическими переходами периода раздоя и близостью периода запуска (табл. 1).

В результате исследования установлено, что для первых 11–30 дней лактации (группа 1-я) установлена максимальная активность СКВА 17,2 мг/мл, далее показатель снижается на 19,2% (3,3 мг/мл), 37,8% (6,5 мг/мл), 16,3% (2,8 мг/мл, $p < 0,05$), 36,0% (6,2 мг/мл), 25,6% (4,4 мг/мл) в каждой следующей группе по отношению к 1-й соответственно (табл. 1). Максимальная активность каталазы установлена для 1-й и 6-й групп (табл. 1).

В группах 2–5-я происходит снижение активности каталазы на 50,8% (2,8 отн. ед.), 66,7% (3,7 отн. ед.), 56,8% (3,12 отн. ед.), 55,3% (3,03 отн. ед.) по отношению к 1-й группе соответственно (табл. 1). В 6-й группе активность каталазы повышается относительно 1-й на 6,8% (0,4 отн. ед.). Повышение активности каталазы на последнем этапе лактации, вероятно, объясняется тем, что начинается разрушение секреторных клеток молочной железы, вместе с чем происходит повышенный выход фермента в молоко [21].

Таким образом, наблюдаемые зависимости изменения антиоксидантных параметров от сроков лактации (то есть от выделенных авторами периодов лактации в течение года) не являются линейными. Поэтому были рассчитаны корреляционные взаимосвязи антиоксидантных параметров с биохимическим составом и физиологическими показателями.

Однако перед анализом корреляционных связей необходимо охарактеризовать и динамику изменения удоев коров, и биохимических показателей молока в ходе лактации, чтобы с помощью этих данных составить представление о выявленных корреляциях (рис. 1)

Таблица 1. Статистические показатели для молока коров черно-пестрой породы по группам 1–6-я (ноябрь 2022 г. – сентябрь 2023 г.)

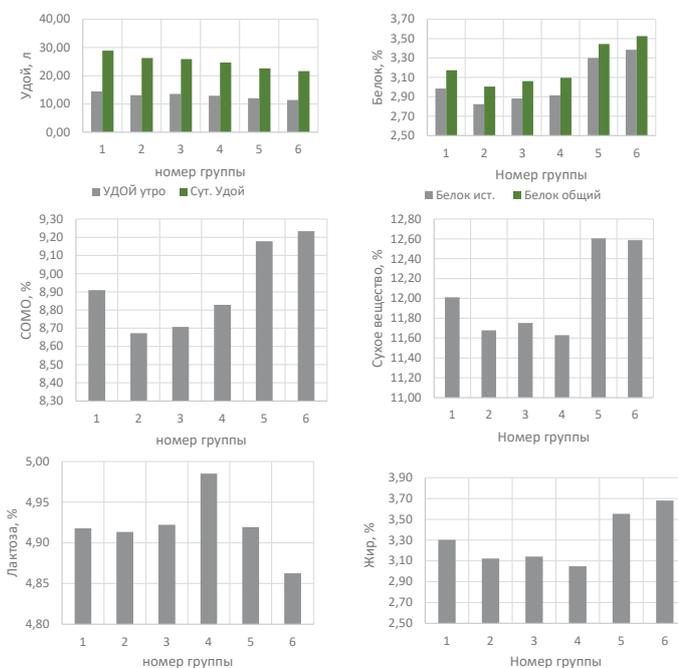
Table 1. Statistical indicators for the milk of black-and-white cows in groups 1-6 (November 2022 – September 2023)

Параметры	Среднее	Станд. отклон.	Min	Max	Мода	Медиана
1-я группа — 11–30 дней, n = 28						
Дни лактации	21	6	11	30	27	23
СКВА, мг/л	17,2	6,3	4,7	26,5		17
КАТ, отн. ед.	5,48	4,15	0,83	13,78	12,07	3,74
2-я группа — 31–60 дней, n = 34						
Дни лактации	46 [†]	9	31	60	48	48
СКВА, мг/л	13,9	5,6	4,1	23,3		14,9
КАТ, отн. ед.	2,70	2,08	0,42	7,89	1,25	2,49
3-я группа — 61–90 дней, n = 35						
Дни лактации	73 [†]	10	62	90	62	69
СКВА, мг/л	10,7	6,3	2,5	25,1	3,9	9,5
КАТ, отн. ед.	1,83	0,38	0,42	4,98	0,83	0,83
4-я группа — 91–120 дней, n = 56						
Дни лактации	105 [*]	9	91	120	93	105
СКВА, мг/л	14,4 ^{**}	5,9	1,2	29,7	15,4	15,1
КАТ, отн. ед.	2,36	0,46	0,42	7,89	1,25	1,25
5-я группа — 121–180 дней, n = 56						
Дни лактации	151 [*]	7	121	146	136	136
СКВА, мг/л	11,0	4,8	3,3	16,7		10,2
КАТ, отн. ед.	2,45	0,42	0,42	5,40	1,25	2,08
6-я группа — 181–300 дней, n = 72						
Дни лактации	232 [*]	32	182	295	206	226
СКВА, мг/л	12,8	6,2	1,3	23,8		13
КАТ, отн. ед.	5,85	0,92	2,08	4,15	4,57	4,57

Примечание: $p < 0,01^*$, $p < 0,05^{**}$ — различия достоверны по отношению к показателям предыдущей группы.

Рис. 1. Изменение биохимических показателей молока в зависимости от количества дней лактации.

Fig. 1. Changes in biochemical parameters of milk depending on the number of days of lactation.



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 Савина А.А., Воронина О.А., Зайцев С.Ю. Сезонные закономерности изменения антиоксидантных и микроэлементных параметров молока коров черно-пестрой породы. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023; 24(5): 858–867. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.5.858-867>

Так, с увеличением дней лактации наблюдается уменьшение в удое. Значения белка и жира имеют наивысшие значения в период до 60-го дня лактации, затем снижаются и вновь увеличиваются со 120-го дня лактации, а вот уровень лактозы, наоборот, показывает наивысшие значения к середине лактации.

Динамика изменения показателя СОМО наиболее совпадает с изменениями белка, поскольку этот показатель определяется после удаления всех жиров из образца (с остающимися белками). Показатель СВ изменяется пропорционально вслед за изменениями в количестве как белка, так и жира, поскольку он напрямую связан с этими показателями.

Расчет корреляционных коэффициентов (r) был выполнен для каждой группы. Корреляции между показателями антиоксидантной активности молока и данными контрольных доек представлены в таблице 2.

Можно отметить, что для каталазы наблюдается отрицательная корреляционная взаимосвязь разной силы с днями лактации и утренним удоем (кроме 1-й группы). Между СКВА и каталазой наблюдается отрицательная корреляция в 1–4-й группах, для животных, лактирующих более 120 дней, корреляции положительные и даже сильные на спаде лактации для 6-й группы — 0,91 (табл. 2). Авторы считают, что показатели активности каталазы не только являются некоторой частью СКВА, но и зависят от содержания других компонентов молока. Поэтому все корреляции, даже достаточно умеренные, между ними являются значимыми и в дальнейшем будут проанализированы в совокупности с дополнительными зоотехническими показателями коров, которые пока не удалось получить от хозяйства для всех животных в эксперименте.

Если проанализировать изменение корреляций между каталазой и СКВА в зависимости от дней лактации, то видна линейная зависимость (в отрицательной области от 23-го до 105-го дня с переходом в положительную область от 110-го до 226-го дня). Корреляции между показателями антиоксидантной активности молока и данными биохимического анализа представлены в таблице 3.

В период раздоя и спада лактации (1-я и 6-я группы) отмечались наивысшие коэффициенты корреляции между каталазой и жиром — 0,51 и 0,57 соответственно (табл. 3).

Для всех сроков лактации прослеживается отрицательная корреляция каталазы как с истинным белком, так и с общим (табл. 3). Наибольшие коэффициенты корреляции наблюдаются для 1-й (-0,53), 3-й и 4-й (-0,36 и -0,39), а также для 6-й (-0,37) групп. С увеличением количества общего белка активность каталазы не повышается, что может быть связано с отсутствием взаимосвязи синтеза индивидуального белка каталазы относительно увеличения значений общего белка. По-видимому, в организме вырабатывается определенное количество каталазы, которое не зависит от изменений общего белка. При этом в ряде групп нет корреляции между общим белком и СКВА, а если есть, то она является умеренной или даже сильной (1-я и 2-я группы). Разница в коэффициентах корреляции между СКВА с общим и истинным белком, вероятно, связана с небелковым составом азотсодержащих соединений. Отличия в значениях являются минимальными и близкими по направлению.

Для лактозы, СОМО и СВ разброс значений достаточно вариабелен. Высокий коэффициент корреляции между СКВА и лактозой может объясняться ее наивысшим значением в период раздоя [22], особенно в

Таблица 2. Корреляционные коэффициенты между показателями антиоксидантной активности молока и данными контрольных доек коров черно-пестрой породы по группам 1–6-я

Table 2. Correlation coefficients between indicators of antioxidant activity of milk and data from control milkings of black-and-white cows in groups 1–6

	Дни лактации	Утренний удой	Суточный удой
1-я группа — 11–30 дней, n = 28			
СКВА, мг/л	0,47	-0,32	-0,57
КАТ, отн. ед.	-0,18	0,12	0,35
2-я группа — 31–60 дней, n = 34			
СКВА, мг/л	-0,53	-0,13	-0,18
КАТ, отн. ед.	-0,25	-0,33	-0,35
3-я группа — 61–90 дней, n = 35			
СКВА, мг/л	0,67	-0,38	-0,4
КАТ, отн. ед.	-0,58	-0,41	-0,28
4-я группа — 91–120 дней, n = 56			
СКВА, мг/л	-0,47	0,31	0,13
КАТ, отн. ед.	0,5	-0,33	0,07
5-я группа — 121–180 дней, n = 55			
СКВА, мг/л	-0,22	0,21	-0,02
КАТ, отн. ед.	-0,31	-0,22	-0,01
6-я группа — 181–300 дней, n = 72			
СКВА, мг/л	0,08	-0,01	-0,04
КАТ, отн. ед.	-0,44	-0,23	-0,32

Рис. 2. Изменение корреляций между каталазой и СКВА от дней лактации

Fig. 2. Changes in correlations between catalase and TAWSA from days of lactation

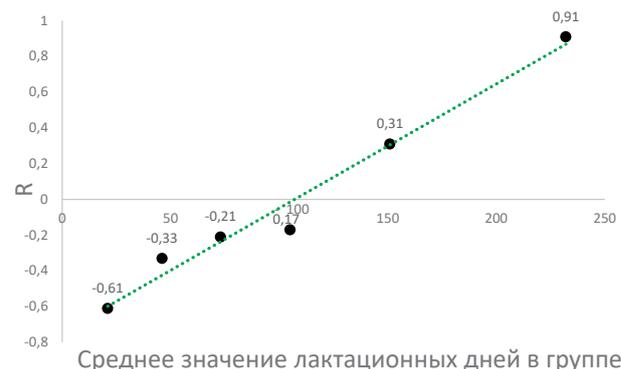


Таблица 3. Корреляционные коэффициенты между антиоксидантными и биохимическими параметрами молока коров черно-пестрой породы по 1–6-й группам

Table 3. Correlation coefficients between antioxidant and biochemical parameters of milk from black-and-white cows in groups 1–6

	Жир, %	Белок истинный, %	Белок общий, %	Лактоза, %	СОМО, %	СВ, %
1-я группа — 11–30 дней, n = 28						
СКВА, мг/л	0,08	0,47	0,43	0,61	0,48	0,29
КАТ, отн. ед.	0,51	-0,53	-0,50	-0,77	-0,56	0,12
2-я группа — 31–60 дней, n = 34						
СКВА, мг/л	0,45	0,62	0,60	0,79	0,25	0,48
КАТ, отн. ед.	0,17	-0,13	-0,11	-0,73	-0,35	0,1
3-я группа — 61–90 дней, n = 35						
СКВА, мг/л	-0,13	-0,03	-0,03	0,01	-0,04	-0,16
КАТ, отн. ед.	-0,02	-0,36	-0,35	-0,09	-0,33	-0,08
4-я группа — 91–120 дней, n = 56						
СКВА, мг/л	-0,29	-0,03	-0,03	-0,02	-0,31	-0,4
КАТ, отн. ед.	-0,32	-0,39	-0,38	0,03	-0,33	-0,42
5-я группа — 121–180 дней, n = 55						
СКВА, мг/л	0,02	-0,04	-0,05	0,05	0,03	0,03
КАТ, отн. ед.	-0,09	0,02	0,03	0,07	0,12	-0,06
6-я группа — 181–300 дней, n = 72						
СКВА, мг/л	0,3	-0,06	-0,05	-0,11	-0,12	0,15
КАТ, отн. ед.	0,57	-0,37	-0,37	0,11	-0,21	0,44

первый месяц. Так, например, разница между содержанием лактозы меняется на 2% относительно предыдущей группы. На поздней стадии лактации происходит изменение проницаемости эпителия молочной железы, что снижает синтез лактозы и, следовательно, секрецию молока или удой коровы.

Известно, что в указанных условиях лактоза окисляется до лактобионовой кислоты и изомеризуется до лактулозы на монометаллических электродах, что объясняет ее вклад в показатель СКВА. Кроме того, возможны окисление С2 спиртовой группы и образование 2-кето-лактобионовой кислоты [23]. Все указанные эффекты приводят к тому, что наблюдаемые зависимости изменения антиоксидантных параметров от сроков лактации не являются линейными.

Выводы/Conclusion

Количество каталазы изменяется от числа лактационных дней, но прямой зависимости не установлено, наивысшие значения активности фермента наблюдались в первый месяц и на спаде лактации.

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.

В большинстве случаев наблюдаются отрицательные корреляции между каталазой и числом лактационных дней, в промежутке 90–120 дней можно говорить об их отсутствии.

Однако если рассматривать не абсолютные величины, а изменение коэффициентов корреляций между каталазой и СКВА с увеличением дней лактации, то наблюдается линейная зависимость (как в отрицательной, так и в положительной области). Чем больше в молоке сухого обезжиренного молочного остатка, тем меньше активность каталазы. Это обычно связано с пониженными показателями жира, а следовательно, меньшим количеством жировых шариков, к которым прикрепляется каталаза.

Соответственно, отмечается сильная связь активности каталазы и показателей жира для ряда групп. В целом наблюдаемые зависимости изменения антиоксидантных параметров от сроков лактации являются нелинейными и требуют постоянного контроля для оценки возможности более длительного хранения сырого молока без потери его качества.

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

Работа выполнена в рамках государственного задания № 124020200032-4 (FGGN-2024-0016).

FUNDING

The research was carried out within the framework of state assignment No. 124020200032-4 (FGGN-2024-0016).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Farman A.A., Hadwan M.H. Simple kinetic method for assessing catalase activity in biological samples. *Methods X*. 2021; 8: 101434. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2021.101434>
- Silanikove N., Merin U., Leitner G. Nitrite and catalase levels rule oxidative stability and safety properties of milk: a review. *RSC Advances*. 2014; 4(50): 26476–26486. <https://doi.org/10.1039/C4RA03851G>
- Lindmark-Månsson H., Åkesson B. Antioxidative factors in milk. *British journal of Nutrition*. 2000; 84(S1): 103–110. <https://doi.org/10.1017/S0007114500002324>
- Ventsova I., Safonov V. Biochemical Screening of Lipid Peroxidation and Antioxidant Protection in Imported Cows During Adaptation. *Advances in Animal and Veterinary Sciences*. 2021; 9(8): 1203–1210. <http://doi.org/10.17582/journal.aavs/2021/9.8.1203.1210>
- Добриян 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>
- Zámocký M., Gasselhuber B., Furtmüller P.G., Obinger C. Molecular evolution of hydrogen peroxide degrading enzymes. *Archives of Biochemistry and Biophysics*. 2012; 525(2): 131–144. <https://doi.org/10.1016/j.abb.2012.01.017>
- Foroughi L.M., Kang Y.-N., Matzger A.J. Sixty years from discovery to solution: crystal structure of bovine liver catalase form III. *Acta Crystallographica Section D: Biological Crystallography*. 2011; 67(9): 756–762. <https://doi.org/10.1107/S0907444911024486>
- Ko T.-P. et al. Structure of human erythrocyte catalase. *Acta Crystallographica Section D: Biological Crystallography*. 2000; 56(2): 241–245. <https://doi.org/10.1107/S0907444999015930>
- Wu Y., Jiang S., Fu Z. Employment of teicoplanin-coated magnetic particles for quantifying gram-positive bacteria via catalase-catalyzed hydrolysis reaction of H₂O₂. *Talanta*. 2020; 211: 120728. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2020.120728>
- Павленко О.Б., Василенко В.Н. Симбионтная микрофлора вымени здоровых коров и телок, ее роль в этиологии мастита. *Ветеринарная патология*. 2011; 4: 132–136. <https://elibrary.ru/owgixp>
- Naqqash T., Wazir N., Aslam K., Shabir G., Tahir M., Shaikh R.S. First report on the probiotic potential of *Mammalicoccus sciuri* isolated from raw goat milk. *Bioscience of Microbiota, Food and Health*. 2022; 41(4): 149–159. <https://doi.org/10.12938/bmfh.2021-022>
- Alharbi N.K., Alsloom A.N. Characterization of Lactic Bacteria Isolated from Raw Milk and Their Antibacterial Activity against Bacteria as the Cause of Clinical Bovine Mastitis. *Journal of Food Quality*. 2021; 1: 6466645. <https://doi.org/10.1155/2021/6466645>
- Taye Y., Degu T., Fesseha H., Mathewos M. Isolation and Identification of Lactic Acid Bacteria from Cow Milk and Milk Products. *The Scientific World Journal*. 2021; 1: 4697445. <https://doi.org/10.1155/2021/4697445>

REFERENCES

- Farman A.A., Hadwan M.H. Simple kinetic method for assessing catalase activity in biological samples. *Methods X*. 2021; 8: 101434. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2021.101434>
- Silanikove N., Merin U., Leitner G. Nitrite and catalase levels rule oxidative stability and safety properties of milk: a review. *RSC Advances*. 2014; 4(50): 26476–26486. <https://doi.org/10.1039/C4RA03851G>
- Lindmark-Månsson H., Åkesson B. Antioxidative factors in milk. *British journal of Nutrition*. 2000; 84(S1): 103–110. <https://doi.org/10.1017/S0007114500002324>
- Ventsova I., Safonov V. Biochemical Screening of Lipid Peroxidation and Antioxidant Protection in Imported Cows During Adaptation. *Advances in Animal and Veterinary Sciences*. 2021; 9(8): 1203–1210. <http://doi.org/10.17582/journal.aavs/2021/9.8.1203.1210>
- 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>
- Zámocký M., Gasselhuber B., Furtmüller P.G., Obinger C. Molecular evolution of hydrogen peroxide degrading enzymes. *Archives of Biochemistry and Biophysics*. 2012; 525(2): 131–144. <https://doi.org/10.1016/j.abb.2012.01.017>
- Foroughi L.M., Kang Y.-N., Matzger A.J. Sixty years from discovery to solution: crystal structure of bovine liver catalase form III. *Acta Crystallographica Section D: Biological Crystallography*. 2011; 67(9): 756–762. <https://doi.org/10.1107/S0907444911024486>
- Ko T.-P. et al. Structure of human erythrocyte catalase. *Acta Crystallographica Section D: Biological Crystallography*. 2000; 56(2): 241–245. <https://doi.org/10.1107/S0907444999015930>
- Wu Y., Jiang S., Fu Z. Employment of teicoplanin-coated magnetic particles for quantifying gram-positive bacteria via catalase-catalyzed hydrolysis reaction of H₂O₂. *Talanta*. 2020; 211: 120728. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2020.120728>
- Pavlenko O.B., Vasilenko V.N. Symbiotic microflora of the udder of healthy cows and heifers, its role in the etiology of mastitis. *Russian Journal of Veterinary Pathology*. 2011; 4: 132–136 (in Russian). <https://elibrary.ru/owgixp>
- Naqqash T., Wazir N., Aslam K., Shabir G., Tahir M., Shaikh R.S. First report on the probiotic potential of *Mammalicoccus sciuri* isolated from raw goat milk. *Bioscience of Microbiota, Food and Health*. 2022; 41(4): 149–159. <https://doi.org/10.12938/bmfh.2021-022>
- Alharbi N.K., Alsloom A.N. Characterization of Lactic Bacteria Isolated from Raw Milk and Their Antibacterial Activity against Bacteria as the Cause of Clinical Bovine Mastitis. *Journal of Food Quality*. 2021; 1: 6466645. <https://doi.org/10.1155/2021/6466645>
- Taye Y., Degu T., Fesseha H., Mathewos M. Isolation and Identification of Lactic Acid Bacteria from Cow Milk and Milk Products. *The Scientific World Journal*. 2021; 1: 4697445. <https://doi.org/10.1155/2021/4697445>

14. Lorenzen P.C., Martin D., Clawin-Rädecker I., Barth K., Knappstein K. Activities of alkaline phosphatase, γ -glutamyltransferase and lactoperoxidase in cow, sheep and goat's milk in relation to heat treatment. *Small Ruminant Research*. 2010; 89(1): 18–23. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2009.11.013>
15. Федосова А.Н., Каледина М.В., Волощенко Л.В. Психотрофные бактерии сырого молока в технологии полутвердых сыров. *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2020; 3: 171–180. <https://doi.org/10.36107/spfp.2020.306>
16. Савина А.А., Воронина О.А., Зайцев С.Ю. Сезонные закономерности изменения антиоксидантных и микроэлементных параметров молока коров черно-пестрой породы. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2023; 24(5): 858–867. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.5.858-867>
17. Кляпнев А.В., Великанов В.И., Янковская М.О., Погодина А.В., Клюев Н.В. Сравнительная ветеринарно-санитарная экспертиза молока разных производителей. *Ветеринарный врач*. 2021; 5: 16–24. <https://elibrary.ru/eqjrkru>
18. Цацулина А.П., Бочарова К.В., Ермакова Н.В. Изучение активности каталазы в молоке коров. *Сетевой научный журнал ОрелГАУ*. 2014; 2: 28–29. <https://elibrary.ru/tkquln>
19. Stobiecka M., Król J., Brodziak A. Antioxidant Activity of Milk and Dairy Products. *Animals*. 2022; 12(3): 245. <https://doi.org/10.3390/ani12030245>
20. Щербак Ю.В., Зиганшин Д.Д., Пашина А.С., Ахмадуллина Ф.Ю. Влияние режима пастеризации на каталазную активность молока. *Вестник Казанского технологического университета*. 2014; 17(16): 173–174. <https://elibrary.ru/stiewx>
21. Азимов Г.И. Как образуется молоко. М.: Колос. 1965; 159.
22. Цюпко В.В. Состав молока и закономерности синтеза жира, белка и лактозы в молоке коров. *Вісник Дніпропетровського університету. Біологія. Медицина*. 2012; 3(2): 96–101. <https://elibrary.ru/pxintv>
23. Спринчан Е.Г., Болога М.К., Степурина Т.Г., Болога А.М., Поликарпов А.А. Особенности электрической активации молочной сыворотки. *Электронная обработка материалов*. 2011; 47(1): 77–80. <https://elibrary.ru/qzwmwv>
14. Lorenzen P.C., Martin D., Clawin-Rädecker I., Barth K., Knappstein K. Activities of alkaline phosphatase, γ -glutamyltransferase and lactoperoxidase in cow, sheep and goat's milk in relation to heat treatment. *Small Ruminant Research*. 2010; 89(1): 18–23. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2009.11.013>
15. Fedosova A.N., Kaledina M.V., Voloshchenko L.V. Psychotropic Bacteria of Raw Milk in the Technology of Semi-Hard Cheese. *Storage and Processing of Farm Products*. 2020; 3: 171–180 (in Russian). <https://doi.org/10.36107/spfp.2020.306>
16. Savina A.A., Voronina O.A., Zaitsev S.Yu. Seasonal patterns of changes in antioxidant and microelement parameters of milk from black-and-white cows. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2023; 24(5): 858–867 (in Russian). <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.5.858-867>
17. Klyapnev A.V., Velikanov V.I., Yankovskaya M.O., Pogodina A.V., Klyuev N.V. Comparative veterinary-sanitary examination of milk from different producers. *The Veterinarny Vrach*. 2021; 5: 16–24 (in Russian). <https://elibrary.ru/eqjrkru>
18. Tsatsulina A.P., Bocharova K.V., Ermakova N.V. Study of catalase activity in cow's milk. *Setevoy nauchnyy zhurnal OreIGAU*. 2014; 2: 28–29 (in Russian). <https://elibrary.ru/tkquln>
19. Stobiecka M., Król J., Brodziak A. Antioxidant Activity of Milk and Dairy Products. *Animals*. 2022; 12(3): 245. <https://doi.org/10.3390/ani12030245>
20. Shcherbakova Yu.V., Ziganshin D.D., Pashina A.S., Ahmadullina F.Yu. The effect of the pasteurization regime on the catalase activity of milk. *Herald of Kazan Technological University*. 2014; 17(16): 173–174 (in Russian). <https://elibrary.ru/stiewx>
21. Azimov G.I. How milk is formed. Moscow: Kolos. 1965; 159 (in Russian).
22. Tsyupko V.V. Cows' milk composition and regularities of fat, protein and lactose synthesis. *Visnyk of Dnipropetrovsk University. Biology. Medicine*. 2012; 3(2): 96–101 (in Russian). <https://elibrary.ru/pxintv>
23. Sprinchan E.G., Bologa M.K., Stepurina T.G., Bologa A.M., Polikarpov A.A. Peculiarities of the electric activation of whey. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*. 2011; 47(1): 66–69. <https://doi.org/10.3103/S1068375511010182>

ОБ АВТОРАХ

Анастасия Анатольевна Савина

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

Оксана Александровна Воронина

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

Сергей Юрьевич Зайцев

ведущий научный сотрудник отдела физиологии и биохимии сельскохозяйственных животных доктор биологических наук, доктор химических наук, профессор
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

ABOUT THE AUTHORS

Anastasia Anatolyevna Savina

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

Oksana Alexandrovna Voronina

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

Sergey Yurievich Zaitsev

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

L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry, 60 Dubrovitsy, Podolsk, Moscow Region, 142132, Russia