

УДК 636.2.034+636.08

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2022-365-12-45-50

С.Ю. Зайцев, ✉  
А.А. Савина,  
Н.В. Боголюбова

Федеральный исследовательский центр  
животноводства –  
ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста,  
Московская область,  
Подольск, Российская Федерация

✉ s.y.zaitsev@mail.ru

Поступила в редакцию:  
11.08.2022

Одобрена после рецензирования:  
10.10.2022

Принята к публикации:  
10.11.2022

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2022-365-12-45-50

Sergei Y. Zaitsev, ✉  
Anastasia A. Savina,  
Nadezhda V. Bogolyubova

Federal Research Center for Animal  
Husbandry named after Academy  
Member L.K. Ernst, Podolsk,  
Moscow region, Russian Federation

✉ s.y.zaitsev@mail.ru

Received by the editorial office:  
11.08.2022

Accepted in revised:  
10.10.2022

Accepted for publication:  
10.11.2022

## Изменение суммарного количества антиоксидантов в молоке коров разового удоя на пике лактации

### РЕЗЮМЕ

**Актуальность.** В молоке находится большое число биологически активных соединений (в том числе антиоксидантов), и оно заслуженно считается одним из главных продуктов питания как в исходном виде, так и после технологической переработки.

**Материалы и методы.** Измерения общего количества антиоксидантов (ОКАО) в пробах молока коров (из племенного хозяйства «Ладозжское») на пике лактации проводили амперометрическим методом, а параметры молока при утренней и вечерней дойке оценивали классическими методами.

**Результаты.** В результате исследования получены новые данные по ОКАО для 38 образцов молока коров черно-пестрой породы 5 групп в зависимости от периода лактации: 1) 151–165 дней; 2) 166–180 дней; 3) 181–210 дней; 4) 211–225 дней; 5) 226–240 дней соответственно. Получены умеренные и сильные корреляции между данными ОКАО и разовыми удоями (утреннее и вечернее доение), которые являются не только принципиально новыми, но и важными для оценки общей антиоксидантной активности в определенные периоды лактации. Поскольку уровень антиоксидантов существенно влияет на сроки хранения, пищевую ценность и многие другие параметры молока, то авторами предлагается использовать уровень ОКАО как дополнительный параметр в общей оценке качества молока. Полученные данные имеют важное значение при оценке физиолого-биохимического статуса, включая состояние системы антиоксидантной защиты организма коров.

**Ключевые слова:** молоко коров, удои, качество молока, антиоксидантная защита, биохимия молока, амперометрическое детектирование

**Для цитирования:** Зайцев С.Ю., Савина А.А., Боголюбова Н.В. Изменение суммарного количества антиоксидантов в молоке коров разового удоя на пике лактации. *Аграрная наука*. 2022; 365 (12): 45–50. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-365-12-45-50>

© Зайцев С.Ю., Савина А.А., Боголюбова Н.В.

## Changes in the total amount of antioxidants in cow milk with milking time at the peak of lactation

### ABSTRACT

**Relevance.** Milk contains a large number of biologically active compounds (including antioxidants) and is deservedly considered one of the main food products both in its original form and after technological processing.

**Materials and methods.** In this work, the measurements of the total amount of antioxidants (TOA) in milk samples of cows (from the «Ladozhskoye» breeding farm) at the peak of lactation were carried out by the amperometric method, and milk parameters during morning and evening milking were assessed by classical methods.

**Results.** As a result of the study, new data of TOA were obtained for 38 milk samples of Black-and-White breed cows of 5 groups depending on the lactation period: 1) 151–165 days; 2) 166–180 days; 3) 181–210 days; 4) 211–225 days; 5) 226–240 days, respectively. Moderate and strong correlations were obtained between TOA data and single milk yields (morning and evening milking), which are not only fundamentally new, but also important for assessing the total antioxidant activity in certain periods of lactation. Since the level of antioxidants significantly affects the shelf life, nutritional value, and many other parameters of milk, the authors suggest using the TOA level as an additional parameter in the overall assessment of milk quality. The data obtained are of great importance in assessing the physiological-biochemical status, including the state of the system of antioxidant defense of the body of cows.

**Key words:** cow milk, milk yield, milk quality, antioxidant protection, milk biochemistry, amperometric detection

**For citation:** Zaitsev S.Yu., Savina A.A., Bogolyubova N.V. Changes in the total amount of antioxidants in cow milk with milking time at the peak of lactation. *Agrarian science*. 2022; 365 (12): 45–50. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2022-365-12-45-50> (In Russian).

© Zaitsev S.Yu., Savina A.A., Bogolyubova N.V.

## Введение / Introduction

Молоко является одним из главных продуктов питания как человека, так и млекопитающих животных, поскольку в нем содержится множество важных биологически активных веществ (БАВ) [1–3]. Рост производства молока в мире составил от 579,5865 млн т. в 2000 г. до 883,2837 млн т в 2019 г. по данным ФАО [4]. Всего в России произведено за январь – май 2022 года товарного молока около 9,9 млн, а за январь – май 2021. – 9,6 млн т, что указывает на стабильный рост его производства в нашей стране [5].

Исключительная структурно-функциональная биохимическая организация молока способствует высокой пищевой ценности этого продукта [6]. Среди БАВ молока особого внимания заслуживают те вещества, которые обладают «антиоксидантной активностью» (антиоксиданты), то есть предотвращают окисление компонентов клеточной структуры и/или разрушают образующиеся активные радикалы [7]. Оценка общего количества антиоксидантов (ОКАО), как и активности отдельных антиоксидантов молока, должна сопровождаться детальными исследованиями его биохимического состава [8, 9]. Это важно как в фундаментальном, так и в прикладном аспектах.

Проблема детального изучения ОКАО в зависимости от других биохимических и зоотехнических показателей (возраст, сроки и периоды лактации коров, общее физиологическое состояние, сроки доеения, кормление и т.п.), а также поиска корреляций между данными показателями является важной и актуальной [10, 11]. Отдельные работы в этих направлениях все более активно проводятся по всему миру [12, 13], однако в них внимание сосредоточено на отдельных антиоксидантах, иногда – в связи с биохимическими и зоотехническими показателями. Например, в работе [14] были установлены высокие степени корреляции активности каталазы (глутатионпероксидазы) с общим числом соматических клеток (с количеством нейтрофилов). Поскольку оба эти фермента (каталаза и глутатионпероксидаза) тесно связаны с процессами окисления – восстановления во всех клетках, то изменение их активности является одним из маркеров «окислительного стресса» в клетках и организме животных в целом [15]. Все перечис-

ленные параметры важны для оценки антиоксидантной составляющей молока и его дальнейшей переработки.

Целью работы было изучение содержания ОКАО в пробах молока коров на пике лактации, включая изменения значений ОКАО при утренней и вечерней дойке.

## Материал и методы / Materials and methods

Опыты проводились на 38 коровах черно-пестрой породы племенного хозяйства «Ладожское», из которых были сформированы пять групп в зависимости от периода лактации: 1) 151–165 дней; 2) 166–180 дней; 3) 181–210 дней; 4) 211–225 дней; 5) 226–240 дней соответственно. Полученные образцы молока указанных коров исследованы в лабораториях Федерального исследовательского центра животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста.

Методы и подходы к анализу основных параметров молока коров и его компонентного состава (массовая доля жира (МДЖ), массовая доля белка (МДБ), лактоза, сухое вещество (СВ) и др.) соответствовали ГОСТ 32255-2013. В данной работе для анализа ОКАО был использован амперометрический метод. Измерения ОКАО выполнены на приборе «ЦветЯуза 01-АА» по методикам, описанным ранее [16–21].

Результаты измерения общей антиоксидантной активности и основных биохимических параметров молока коров статистически обрабатывали в программе «Microsoft Excel». Результаты представлены в виде среднего арифметического значения (М) и стандартной ошибки среднего ( $\pm$ SEM). Различия считали статистически значимыми при  $P \leq 0,05$ .

## Результаты / Results and discussion

На первом этапе анализа были оценены основные показатели для 6 образцов молока коров черно-пестрой породы группы 1 в период лактации от 151 до 165 дней (табл. 1).

При измерении параметров молока группы 1 (табл. 1) были получены достаточно высокие средние значения ОКАО, причем при утреннем доеении они были на 9% выше ( $15,5 \pm 2,4$  мг/г), чем при вечернем доеении ( $14,2 \pm 1,6$  мг/л). Важно подчеркнуть, что величина средних удоев утром почти в 2 раза выше ( $13,3 \pm 1,2$  л),

Таблица 1. Статистическое описание значений ОКАО в образцах коровьего молока в зависимости от времени доеения (утром или вечером) и периода лактации (151–165 дней)

Table 1. Statistical description of the TOA values in cow's milk samples depending on the milking time (morning or evening) and lactation period (151–165 days)

Параметры	ОКАО, мг/л		Удой, л		Суточный удой*, л	Дни лактации
	утро	вечер	утро	вечер		
Среднее	14,15	15,51	13,33	6,50	26,5	157
Стандартная ошибка	1,60	2,40	1,20	0,56	1,93	2,2
Медиана	14,04	14,96	13,50	6,00	26,0	157
Стандартное отклонение	3,92	5,88	2,94	1,38	4,72	5,42
Дисперсия выборки	15,35	34,62	8,67	1,90	22,3	29,37
Экссесс	–0,81	–1,14	1,49	2,35	2,45	–0,67
Минимум	9,79	8,062	9	5	21	151
Максимум	20,124	23,642	18	9	35	165
Уровень надежности (95,0%)	4,11	6,17	3,09	1,45	4,96	5,69

Примечание: \* – в табл. 1 не отражен дневной удой, но он используется для определения суточного

чем вечером (6,5±0,6 л). Таким образом, динамика указанных выше значений ОКАО и удоев (при утреннем и вечернем доении) является разнонаправленной, что наблюдается впервые. Общий удой молока в группе 1 составил около 27 л/сут. (среднее значение), что находится в пределах нормальных значений для среднего периода лактации.

Наиболее интересными являются обнаруженные корреляции между значениями ОКАО молока и разовыми удоями. Значения коэффициентов корреляции Пирсона ( $r$ ) рассчитывали по известному уравнению [12]:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

где  $x_i$  и  $y_i$  — текущие значения из выборки 1 или из выборки 2;  $\bar{x}$  и  $\bar{y}$  — средние значения выборок 1 (по массиву данных 1) и 2 (по массиву данных 2).

Авторами предложено считать слабыми корреляциями значения до 0,19; средними — от 0,20 до 0,49; сильными — от 0,50 до 0,74; очень сильными — от 0,75 до 1,00 (теоретический максимум).

Обнаружены слабые отрицательные значения коэффициентов корреляции –0,03 (–0,19) между значениями ОКАО и утренним (вечерним) удоем соответственно. Полученные небольшие значения не стоит обсуждать, хотя какая-то линейная взаимосвязь между ОКАО и разовым удоем (особенно — вечерним) как независимыми переменными присутствует (поскольку  $r \neq 0$ ).

На втором этапе анализа были оценены основные показатели для 8 образцов молока коров черно-пестрой породы группы 2 в период лактации от 166 до 180 дней (табл. 2).

Путем измерения параметров молока для группы 2 (табл. 2) были получены еще большие различия (в 35,5%) в средних значениях ОКАО при утреннем и вечернем доении (12,1±1,8 и 16,4±2,5 мг/л соответственно). Различия между объемом молока при разовом удое отличаются почти на 45% (средние удои 12,9±1,2 и 7,1±0,4 л при утреннем и вечернем доении) при сохра-

нении разнонаправленной динамика указанных выше значений с ОКАО. Впервые обнаружены средние отрицательные значения коэффициентов корреляции –0,45 (–0,10) между значениями ОКАО и утренним (вечерним) удоем соответственно. Общий удой молока в группе 2 составил около 26,6 л/сут., что не отличается от значения группы 1.

На третьем этапе анализа были оценены основные показатели для 12 образцов молока коров черно-пестрой породы группы 3 в период лактации от 181 до 210 дней (табл. 3).

Для группы 3 (табл. 3) были получены близкие средние значения ОКАО 12,2±0,9 и 12,9±0,8 мг/л, хотя величины средних удоев при утреннем и вечернем доении (15,2±0,9 и 7,4±0,4 л) существенно отличаются (на ~51%). Видимо из-за таких близких средних значений ОКАО обнаружена очень слабая положительная корреляция 0,04 (0,14) между этими значениями и утренним удоем (вечерним удоем). Общий удой молока в группе 3 составил около 27 л/сут., что практически соответствует значениям групп 1 и 2.

На четвертом этапе анализа были оценены основные показатели для 6 образцов молока коров черно-пестрой породы группы 4 в период лактации от 211 до 225 дней (табл. 4).

Для группы 4 (табл. 4) были получены существенно отличающиеся средние значения ОКАО (на 14,7%) при утреннем и вечернем доении (15,6±2,5 и 17,9±1,3 мг/л) с тенденцией, которая прослеживалась и для групп 1 и 2. Интересно, что величина средних удоев утром почти на 58% выше (13,8±2,5 л), чем вечером (5,8±1,0 л). Таким образом, динамика указанных выше значений ОКАО и удоев (при утреннем и вечернем доении) является разнонаправленной, что прослеживалось и для групп 1 и 2. Общий удой молока в группе 1 составил около 27 л/сут. (среднее значение), что находится в пределах нормальных значений для среднего периода лактации.

Важно, что для этой группы (№ 4) обнаружены средние и сильные отрицательные значения коэффициентов корреляции –0,49 (–0,70) между значениями ОКАО и утренним (вечерним) удоем соответственно. Общий удой молока в группе 4 составил около 25 л/сут., что несколько ниже, чем во всех изученных группах.

Таблица 2. Статистическое описание значений ОКАО в образцах коровьего молока в зависимости от времени доения (утром или вечером) и периода лактации (166–180 дней)

Table 2. Statistical description of the TOA values in cow's milk samples depending on the milking time (morning or evening) and lactation period (166–180 days)

Параметры	ОКАО, мг/л		Удой, л		Суточный удой*, л	Дни лактации
	утро	вечер	утро	вечер		
Среднее	12,13	16,41	12,88	7,13	26,6	172
Стандартная ошибка	1,79	2,47	1,17	0,44	1,87	1,77
Медиана	12,24	15,71	12,5	7,0	26,5	170
Стандартное отклонение	5,08	6,98	3,31	1,25	5,29	5,0
Дисперсия выборки	25,88	48,78	10,98	1,56	27,98	25,07
Экссесс	–1,10	0,81	0,97	0,15	1,05	–0,41
Минимум	5,23	8,33	8	5	18	167
Максимум	19,91	29,77	19	9	36	180
Уровень надежности (95,0%)	4,25	5,84	2,77	1,04	4,43	4,19

Примечание: \* — в табл. 2 не отражен дневной удой, но он используется для определения суточного

Таблица 3. Статистическое описание значений ОКАО в образцах коровьего молока в зависимости от времени доения (утром или вечером) и периода лактации (181–210 дней)

Table 3. Statistical description of the TOA values in cow's milk samples depending on the time of milking (morning or evening) and lactation period (181–210 days)

Параметры	ОКАО, мг/л		Удой, л		Суточный удой*, л	Дни лактации
	утро	вечер	утро	вечер		
Среднее	12,15	12,85	15,17	7,35	27,42	195
Стандартная ошибка	0,91	0,77	0,94	0,40	2,28	3,02
Медиана	11,72	13,63	15,0	8,0	30,0	196
Стандартное отклонение	3,46	2,66	3,27	1,37	7,93	10,46
Дисперсия выборки	11,99	7,06	10,7	1,88	62,81	109,4
Экссесс	–1,52	–1,11	–3,04	–0,51	2,87	2,66
Минимум	7,58	7,37	7	5	8	169
Максимум	17,45	8,84	20	9	36	207
Уровень надежности (95,0%)	2,20	1,69	2,08	0,87	5,04	6,64

Примечание: \* – в табл. 3 не отражен дневной удой, но он используется для определения суточного

Таблица 4. Статистическое описание значений ОКАО в образцах коровьего молока в зависимости от времени доения (утром или вечером) и периода лактации (211–225 дней)

Table 4. Statistical description of the TOA values in cow's milk samples depending on the time of milking (morning or evening) and lactation period (211–225 days)

Параметры	ОКАО, мг/л		Удой, л		Суточный удой*, л	Дни лактации
	утро	вечер	утро	вечер		
Среднее	15,64	17,93	13,80	5,80	25,0	217
Стандартная ошибка	2,50	2,62	2,52	1,02	4,28	1,30
Медиана	14,95	16,27	15,0	6,0	27,0	218
Стандартное отклонение	5,59	5,86	5,63	2,28	9,57	2,92
Дисперсия выборки	31,29	34,35	31,7	5,2	91,5	8,5
Экссесс	2,63	–1,57	0,06	–2,51	–1,16	–1,59
Минимум	9,38	10,34	6	3	12	213
Максимум	24,72	24,68	21	8	36	220
Уровень надежности (95,0%)	6,95	7,27	6,99	2,83	11,88	3,62

Примечание: \* – в табл. 4 не отражен дневной удой, но он используется для определения суточного

Таблица 5. Статистическое описание значений ОКАО в образцах коровьего молока в зависимости от времени доения (утром или вечером) и периода лактации (226–240 дней)

Table 5. Statistical description of the TOA values in cow's milk samples depending on the milking time (morning or evening) and lactation period (226–240 days)

Параметры	ОКАО, мг/л		Удой, л		Суточный удой*, л	Дни лактации
	утро	вечер	утро	вечер		
Среднее	12,09	14,86	11,64	6,14	23,36	232
Стандартная ошибка	0,95	1,03	1,54	0,59	2,39	0,72
Медиана	12,16	15,76	13	6	25	232
Стандартное отклонение	2,52	2,74	4,07	1,57	6,32	1,90
Дисперсия выборки	6,34	7,49	16,56	2,48	39,89	3,62
Экссесс	–1,76	–1,44	–2,04	3,01	2,02	1,79
Минимум	8,83	11,21	6	3	11	230
Максимум	15,03	18	16	8	29	236
Уровень надежности (95,0%)	2,33	2,53	3,76	1,46	5,84	1,76

Примечание: \* – в табл. 5 не отражен дневной удой, но он используется для определения суточного



На пятом этапе анализа были оценены основные показатели для 6 образцов молока коров черно-пестрой породы группы 5 в период лактации от 226 до 240 дней (табл. 5).

Для группы 5 (табл. 5) были получены следующие средние значения ОКАО  $12,1 \pm 1,0$  и  $14,9 \pm 1,0$  мг/л, с уже обсуждавшийся существенной разницей, близкой к таковой для групп 1, 2 и 4. Интересно, что величина средних удоев утром ровно в 2 раза выше, чем вечером (12,0 и 6,0 л при утреннем и вечернем доении соответственно). Для группы 5 обнаружены сильные отрицательные значения коэффициентов корреляции  $-0,73$  ( $-0,70$ ) между значениями ОКАО и утренним (вечерним) удоем соответственно. Это является наилучшим результатом среди всех изученных групп. Общий удой молока в группе 5 составил около 23 л/сут., что ниже, чем во всех изученных группах.

Обнаруженные для групп 1, 2, 4 и 5 значения коэффициентов корреляции являются отрицательными, то есть при увеличении разового удоя значения ОКАО уменьшаются, т.е. антиоксидантная защита молока ослабевает. Обнаруженные слабые положительные корреляции 0,04 (0,14) между значениями ОКАО и утренним удоем (вечернем удоем) для группы 3 не имеет смысла обсуждать из-за невысоких значений.

Полученные выше данные для молока коров в период 151–240 дней лактации (особенно – корреляции между

значениями ОКАО и разовыми удоями) являются новыми и дополняют проведенные нами ранее исследования молока коров в период 10–150 дней лактации [21]. В доступной нам литературе есть немногочисленные данные и только одно прямое исследование по корреляции ОКАО и общим удою (по всему стаду) с коэффициентом  $-0,22$  [22]. Это значение совпадает или даже существенно ниже, чем те, которые были обнаружены нами (по группам 1, 2, 4 и 5) между значениями ОКАО и средними удоями молока (особенно при вечернем доении). В целом умеренные отрицательные значения корреляции между ОКАО и средними удоями молока, видимо, соответствует реальным корреляциям при их усреднении, тем более, что с увеличением удоя реально ожидать уменьшения значений ОКАО.

## Выводы / Conclusion

Установлены величины ОКАО в 38 образцах молока коров черно-пестрой породы пяти групп (в зависимости от периода лактации от 151 до 240 дней); определены отрицательные корреляции разной величины между данными ОКАО и разовыми удоями (утреннее и вечернее доение) для групп 1 ( $-0,03$  и  $-0,19$ ), 2 ( $-0,45$  и  $-0,10$ ), 4 ( $-0,49$  и  $-0,70$ ), 5 ( $-0,73$  и  $-0,70$ ), то есть с увеличением удоя уменьшаются значения ОКАО, что установлено впервые. Другого рода корреляции для группы 3 незначительны и требуют дополнительных проверок.

## ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена при финансовой поддержке фундаментальных научных исследований Минобрнауки РФ в рамках выполнения государственного задания на 2022 г. (рег. номер ЕГИСУ темы НИР 2021–2023 121052600314–1).

Все авторы несут ответственность за свою работу и представленные данные.

Все авторы внесли равный вклад в эту научную работу. Авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## FUNDING

The work was financially supported by the Ministry of Education and Science of Russian Federation for fundamental scientific research as part of the state assignment for 2022 (registration No. 121052600314–1 of the EGISU research topic 2021–2023).

All authors bear responsibility for the work and presented data.

All authors have made an equal contribution to this scientific work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Roy D.Ye.A., Moughan P.J., Singh H. Composition, Structure, and Digestive Dynamics of Milk From Different Species – A Review. *Frontiers in Nutrition*. 2020;(7): 577759. <https://doi.org/10.3389/fnut.2020.577759>.
- Зайцев СЮ. Биологическая химия: от биологически активных веществ до органов и тканей животных. М.: ЗАО «Капитал Принт». 2017. 507 с.
- Горбатова К.К., Гунькова П.И. Биохимия молока и молочных продуктов. 4-е изд., перераб. и доп. СПб.: Гиорд. 2010. 330 с.
- World Food and Agriculture – Statistical Yearbook 2021, Table 22 «Production of milk», 2021. 177 с. Available from <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QL> <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QL> [Accessed 9th August 2022].
- НОВОСТИ АПК, МОЛОКО. Что происходит на рынке сырого молока? 05.08.2022 Обзор 215. Режим доступа <https://agrovesti.net/news/indst/chto-proiskhodit-na-rynke-syrogogo-moloka.html> [Дата обращения 9.08.2022].
- Zaitsev SYu, Fedorova EYu, Maximov VI. Comprehensive Analysis of the Major ATPase Activities in the Cow Milk and Their Correlations. *BioNanoScience*. 2019; 9(2):386–394. Available from: <https://doi.org/10.1007/s12668-019-00677-1>
- Шидловская ВП, Юрова ЕА. Антиоксиданты молока и их роль в оценке его качества. *Молочная промышленность*. 2010; (2): 24–27.
- Stobiecka M, Król J, Brodzia A. Antioxidant Activity of Milk and Dairy Products. *Animals*. 2022; 12(3):245. <https://doi.org/10.3390/ani12030245>
- 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 Health Dis.*, 2019; 18(1):1–14 (<https://doi.org/10.1186/s12944-019-0969-8>).

## REFERENCES

- Roy D.Ye.A., Moughan P.J., Singh H. Composition, Structure, and Digestive Dynamics of Milk From Different Species – A Review. *Frontiers in Nutrition*. 2020;(7): 577759. <https://doi.org/10.3389/fnut.2020.577759>.
- Zaitsev SYu. Biological chemistry: from biologically active substances to organs and tissues of animals. M.: ZAO «Capital Print». 2017. 517 p. (In Russian)
- Gorbatova KK, Gunkova PI. Biochemistry of milk and dairy products. 4th ed., revised. and additional SPb.:Giord. 2010. 330 p. (In Russian)
- World Food and Agriculture – Statistical Yearbook 2021, Table 22 «Production of milk», 2021. 177 p. Available from <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QL> [Accessed 9th August 2022].
- MILK NEWS. What's going on in the raw milk market? 08.05.2022 Review 215. Available from <https://agrovesti.net/news/indst/chto-proiskhodit-na-rynke-syrogogo-moloka.html> [Accessed 9th August 2022]
- Zaitsev SYu, Fedorova EYu, Maximov VI. Comprehensive Analysis of the Major ATPase Activities in the Cow Milk and Their Correlations. *BioNanoScience*. 2019; 9(2):386–394. Available from: <https://doi.org/10.1007/s12668-019-00677-1>
- Shidlovskaya VP, Yurova EA. Antioxidants of milk and their role in assessing its quality. *Dairy industry*. 2010; (2):24–27. (In Russian)
- Stobiecka M, Król J, Brodzia A. Antioxidant Activity of Milk and Dairy Products. *Animals*. 2022; 12(3):245. <https://doi.org/10.3390/ani12030245> (In Russian)
- 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 Health Dis.*, 2019; 18(1):1–14 (<https://doi.org/10.1186/s12944-019-0969-8>).

10. Яшин Я.И., Рыжнев В.Ю., Яшин А.Я., Черноусова Н.И. Природные антиоксиданты. Содержание в пищевых продуктах и влияние их на здоровье и старение человека. М.: Издательство ТрансЛит. 2009. 212 с.
11. Савина АА, Воронина ОА, Боголюбова НВ, и др. Амперометрическое детектирование антиоксидантной активности модельных и биологических жидкостей. *Вестник Московского университета. Серия 2: Химия*. 2020; 58(2):97–103. Режим доступа: <https://doi.org/10.3103/S0027131420060061>
12. Фомичев ЮП, Никанова ЛА, Дорожкин ВИ, Торшков АА, Романенко АА, Еськов ЕК, Семенова АА, Гогоцкий ВА, Дунаев АВ, Ярошевич ГС, Лашин СА, Стольная НИ. Дигидрохверцетин и арабиногалактан – природные биорегуляторы в жизнедеятельности человека и животных, применение в сельском хозяйстве и пищевой промышленности. монография. М.: Научная библиотека. 2017. 702 с.
13. Tsen S, Siew J, Lau EF, Afiah Bte Roslee, Hui Chan, Wai Loke. Cow's milk as a dietary source of equol and phenolic antioxidants: differential distribution in the milk aqueous and lipid fractions. *Dairy Science & Technology, EDP sciences/Springer*. 2014; 94(6):625–632. Available from: <https://doi.org/10.1007/s13594-014-0183-4>
14. Hamed H, Feki AE, Gargouri A. Total and differential bulk cow milk somatic cell counts and their relation with antioxidant factors. *C. R. Biologies*. 2008; 331(2):144–151.
15. Добрян Е.И. Антиоксидантная система молока. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. 2020; 82(2): 101–106. Режим доступа: <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2020-2-101-106>
16. Zaitsev SYu, Voronina OA, Savina AA, Ignatieva LP, Bogolyubova NV. Correlations between the Total Antioxidant Activity and Biochemical Parameters of Cow Milk Depending on the Number of Somatic Cells. *International Journal of Food Science*. 2022; 2022:5323621. Available from: <https://doi.org/10.1155/2022/5323621>.
17. Burgess K. Key requirements for milk quality and safety: a processor's perspective. In: Griffiths MW. (ed.) *Improving the Safety and Quality of Milk*. Cambridge, UK: Woodhead Publishing Ltd.; 2010. (1):64–84. doi:10.1533/9781845699420.1.64
18. Chen J, Lindmark-Månsson H, Gorton L, Åkesson B. Antioxidant capacity of bovine milk as assayed by spectrophotometric and amperometric methods. *International Dairy Journal*. 2003;13: 927–935.
19. Яшин А.Я., Яшин Я. И. Аналитические возможности жидкостного хроматографа «ЦветЯуз» с электрохимическими детекторами. *Российский химический журнал. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева)*. 2002; XLVI.(4):109–115.
20. Zaitsev SYu, Belous AA, Voronina OA, Savina AA, Rykov RA, Bogolyubova NV. Correlations Between Antioxidant and Biochemical Parameters of Blood Serum of Duroc Breed Pigs. *Animals*. 2021; 11(8): 2400. <https://doi.org/10.3390/ani11082400>
21. Зайцев СЮ, Савина АА, Воронина ОА, Боголюбова НВ. Зависимость суммарных антиоксидантов в молоке коров от времени доения в начале и середине лактации. *Ветеринария, Зоотехния и Биотехнология*. 2022;1: 60–68. <https://doi.org/10.36871/vet.zoo.bio>.
22. Niero G, Penasa M, Costa A, Currò S, Visentin G, Cassandro M, De Marchi M. Total antioxidant activity of bovine milk: Phenotypic variation and predictive ability of mid-infrared spectroscopy. *International Dairy Journal*. 2019; 89:105–110. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2018.08.014>
10. Yashin Ya.I., Ryzhnev VYu., Yashin A.Ya., Chernousova N.I. Natural antioxidants. Content in food and their impact on human health and aging. Moscow: TransLit Publishing House. 2009. 212 p. (In Russian)
11. Savina A.A., Voronina O.A., Bogolyubova N.V., and al. Amperometric detection of antioxidant activity of model and biological fluids. *Moscow University Chemistry Bulletin*. 2020; 75(6):340–346. Available from: <https://doi.org/10.3103/S0027131420060061> (In Russian)
12. Fomichev YuP., Nikanova LA., Dorozhkin VI., Torshkov AA., Romanenko AA., Eskov EK., Semenova AA., Gonotsky VA., Dunayev AV., Yaroshevich GS., Lashin SA., Stolnaya NI. Dihydroquercetin and arabinogalactan – natural bioregulators in human and animal life, application in agriculture and food industry: monograph. Moscow: Scientific library. 2017. 702 p. (In Russian)
13. Tsen S, Siew J, Lau EF, Afiah Bte Roslee, Hui Chan, Wai Loke. Cow's milk as a dietary source of equol and phenolic antioxidants: differential distribution in the milk aqueous and lipid fractions. *Dairy Science & Technology*. 2014; 94(6):625–632. Available from: <https://doi.org/10.1007/s13594-014-0183-4>
14. Hamed H, Feki AE, Gargouri A. Total and differential bulk cow milk somatic cell counts and their relation with antioxidant factors. *C. R. Biologies*. 2008; 331(2):144–151.
15. Dobriyan EI. Antioxidant system of milk. *Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2020; 82(2):101–106. Available from: <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2020-2-101-106> (In Russian)
16. Zaitsev SYu, Voronina OA, Savina AA, Ignatieva LP, Bogolyubova NV. Correlations between the Total Antioxidant Activity and Biochemical Parameters of Cow Milk Depending on the Number of Somatic Cells. *International Journal of Food Science*. 2022; 2022:5323621. Available from: <https://doi.org/10.1155/2022/5323621>.
17. Burgess K. Key requirements for milk quality and safety: a processor's perspective. In: Griffiths MW. (ed.) *Improving the Safety and Quality of Milk*. Volume 1. Cambridge, UK: Woodhead Publishing Ltd.; 2010. (1):64–84. doi:10.1533/9781845699420.1.64
18. Chen J, Lindmark-Månsson H, Gorton L, Åkesson B. Antioxidant capacity of bovine milk as assayed by spectrophotometric and amperometric methods. *International Dairy Journal*. 2003;13: 927–935
19. Yashin AYa, Yashin Yal. Analytical capabilities of the TsvetYauza liquid chromatograph with electrochemical detectors. *Russian Chemical Journal (Zh. Ros. Chem. Society named after D.I. Mendeleev)*. 2002; XLVI(4):109–115. (In Russian)
20. Zaitsev SYu, Belous AA, Voronina OA, Savina AA, Rykov RA, Bogolyubova NV. Correlations Between Antioxidant and Biochemical Parameters of Blood Serum of Duroc Breed Pigs. *Animals*. 2021;11(8): 2400. <https://doi.org/10.3390/ani11082400>
21. Zaitsev SYu, Savina AA, Voronina OA, Bogolyubova NV. Dependence of total antioxidants in cows' milk on the time of milking at the beginning and middle of lactation. *Veterinary Medicine, Zootechnics and Biotechnology*. 2022; 1:60–68. <https://doi.org/10.36871/vet.zoo.bio>. (In Russian)
22. Niero G, Penasa M, Costa A, Currò S, Visentin G, Cassandro M, De Marchi M. Total antioxidant activity of bovine milk: Phenotypic variation and predictive ability of mid-infrared spectroscopy. *International Dairy Journal*. 2019; 89:105–110. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2018.08.014>

#### ОБ АВТОРАХ:

**Сергей Юрьевич Зайцев**, доктор биологических наук, доктор химических наук, профессор, ведущий научный сотрудник отдела физиологии и биохимии сельскохозяйственных животных, Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста, п. Дубровицы, 60, Московская обл., 142132, Российская Федерация  
E-mail: s.y.zaitsev@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0003-1533-8680>

**Анастасия Анатольевна Савина**, младший научный сотрудник отдела физиологии и биохимии сельскохозяйственных животных, Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста, п. Дубровицы, 60, Московская обл., 142132, Российская Федерация E-mail: kirablackfire@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0003-0257-1643>

**Надежда Владимировна Боголюбова**, доктор биологических наук, заведующий отделом физиологии и биохимии сельскохозяйственных животных, Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста, п. Дубровицы, 60, Московская обл., 142132, Российская Федерация E-mail: 652202@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-0520-7022>

#### ABOUT THE AUTHORS:

**Sergey Yurievich Zaitsev**, Doctor of Biological Sciences, Doctor of Chemical Sciences, Professor Leading Researcher of the Department of Physiology and Biochemistry of Farm Animals, L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry, 60, Dubrovitsy, Moscow region, 142132, Russian Federation E-mail: s.y.zaitsev@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0003-1533-8680>

**Anastasia Anatolyevna Savina**, Junior Researcher, Department of Physiology and Biochemistry of Farm Animals, L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry, 60, Dubrovitsy, Moscow region, 142132, Russian Federation E-mail: kirablackfire@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0003-0257-1643>

**Nadezhda Vladimirovna Bogolyubova**, Doctor of Biological Sciences, Head of the Department of Physiology and Biochemistry of Farm Animals, L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry, 60, Dubrovitsy, Moscow region, 142132, Russian Federation E-mail: 652202@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-0520-7022>