

БИОХИМИЯ, ГЕНЕТИКА И МОЛЕКУЛЯРНАЯ БИОЛОГИЯ

BIOCHEMISTRY, GENETICS AND MOLECULAR BIOLOGY

DOI: 10.12731/2658-6649-2025-17-2-1141

EDN: VOJPIIM

УДК 637.144:613.22:542.98-044.3



Научная статья

ОЦЕНКА УРОВНЯ ОКИСЛИТЕЛЬНОЙ МОДИФИКАЦИИ БЕЛКОВ АДАПТИРОВАННЫХ МОЛОЧНЫХ СМЕСЕЙ

*Ю.Г. Розенфельд, В.Е. Высокогорский, Ю.А. Подольникова,
Н.В. Стрельчик, Н.Л. Чернопольская*

Аннотация

Обоснование. В последнее время используется определение уровня карбонильных производных в изучении продуктов питания. Однако для повышения чувствительности и специфичности необходимо сравнение различных критериев окислительных повреждений молочных белков.

Цель исследования – сравнение информативной значимости показателей интенсивности окислительной деструкции белков различных адаптированных молочных смесей.

Материалы и методы. В качестве материала использовали различные адаптированные молочные смеси, изготовленные на основе коровьего и козьего молока.

Для оценки показателей уровня карбонильных производных белков использовали метод Reznick A.Z. & Parker L. и способ комплексной оценки содержания карбонильных производных, с вычислением резервного потенциала (Фомина М.А. с соавт.2014).

Результаты. Расчёт резервного потенциала (РП), проведенный после определения спонтанного и железо-индуцированного окисления, позволил установить его повышение (на 5-10%) во всех молочных смесях на основе коровьего

молока в сравнении с ультрапастеризованным молоком. Повышение общего уровня резервного потенциала проявляется за счёт альдегид-динитрофенилгидразонов. Аналогичное повышение общего уровня резервного потенциала наблюдается и в адаптированных молочных смесях, изготовленных на основе козьего молока в сравнении с показателем ультрапастеризованного молока.

Установлены различия в соотношении альдегидных и кетонных производных в адаптированных молочных смесях 1 и 2 на основе коровьего молока и в смесях из козьего молока.

Заключение. Определение резервного потенциала позволило выявить адаптированные молочные смеси с наибольшим и наименьшим уровнем этого показателя, характеризующего устойчивость белков к воздействиям обычного уровня окислителей, для дополнительной характеристики биологической ценности продукта.

Ключевые слова: окислительная модификация; карбонильные соединения; адаптированные молочные смеси; коровье молоко; козье молоко; динитрофенилгидразоны

Для цитирования. Розенфельд, Ю. Г., Высокогорский, В. Е., Подольникова, Ю. А., Стрельчик, Н. В., & Чернопольская, Н. Л. (2025). Оценка уровня окислительной модификации белков адаптированных молочных смесей. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(2), 176-194. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-2-1141>

Original article

ASSESSMENT OF THE LEVEL OF OXIDATIVE MODIFICATION OF PROTEINS ADAPTED MILK MIXTURES

*Yu.G. Rosenfeld, V.E. Vysokogorskiy, Yu.A. Podolnikova,
N.V. Strelchik, N.L. Chernopolskaya*

Abstract

Background. Recently, the determination of the level of carbonyl derivatives has been used in the study of food products. However, to increase sensitivity and specificity, it is necessary to compare different criteria for oxidative damage to milk proteins.

The **purpose** of the study is to compare the informative significance of indicators of the intensity of oxidative destruction of proteins of various adapted milk mixtures.

Materials and methods. Various adapted milk mixtures based on cow's and goat's milk were used as the material.

To assess the level of protein carbonyl derivatives, the Reznick A.Z. & Parker L. method and the method of complex assessment of the content of carbonyl derivatives, with the calculation of the reserve potential were used (Fomina M.A. et al. 2014).

Results. The calculation of the reserve potential (RP), carried out after the determination of spontaneous and iron-induced oxidation, made it possible to establish its increase (by 5-10%) in all dairy mixtures based on cow's milk in comparison with ultrapasteurized milk. An increase in the overall level of reserve potential is manifested by aldehyde-dinitrophenylhydrazones. A similar increase in the overall level of reserve potential is observed in adapted milk mixtures made on the basis of goat's milk in comparison with the indicator of ultra-pasteurized milk.

Differences in the ratio of aldehyde and ketone derivatives in adapted milk mixtures 1 and 2 based on cow's milk and in goat's milk mixtures have been established.

Conclusion. The determination of the reserve potential made it possible to identify adapted milk mixtures with the highest and lowest levels of this indicator, characterizing the resistance of proteins to the effects of the usual level of oxidants, for additional characteristics of the biological value of the product.

Keywords: oxidative modification; carbonyl compounds; adapted milk mixtures; cow's milk; goat's milk; dinitrophenylhydrazones

For citation. Rosenfeld, Yu. G., Vysokogorskiy, V. E., Podolnikova, Yu. A., Strelchik, N. V., & Chernopolskaya, N. L. (2025). Assessment of the level of oxidative modification of proteins adapted milk mixtures. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 17(2), 176-194. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2025-17-2-1141>

Введение

Важными критериями биологической ценности молока и молочных продуктов в последнее время, наряду с другими показателями, рассматриваются окислительные повреждения и антиоксидантная активность [4; 17]. Для оценки интенсивности окислительных процессов часто использовалось определение уровня продуктов перекисного окисления липидов, особенно в продуктах питания, так как непредельные жирные кислоты легко подвергаются окислению, что приводит к изменению вкуса [23]. Известно, что малоновый диальдегид (МДА) и 4-гидрокси-2-ноненаль (ГНЕ) являются наиболее распространёнными продуктами взаимодействия липидов с активными формами кислорода. Однако широко используемый маркер

перекисного окисления липидов – тест с тиобарбитуровой кислотой не относится к специфическим, а МДА вступает в тканях во взаимодействие с аминокислотами, нуклеотидами, фосфолипидами или окисляется до диоксида углерода.

Для выявления уровня антиокислительной активности и интенсивности образования свободных радикалов в биологических материалах достаточно широко использовался хемилюминесцентный анализ, применение которого позволило охарактеризовать воздействие технологических режимов и способов производства молочных продуктов [3], получить оценку интенсивности свободно-радикального окисления молока коров разных природных зон, кисломолочных продуктов [5; 9], провести сравнение антиоксидантных свойств козьего и коровьего молока [1], а также йодобогащенных молочных продуктов [10].

Хотя до сих пор, по данным международных поисковых систем, публикаций по проблеме «перекисное окисление липидов» в 10 раз больше, чем по вопросу «окисление белков», накопилось много сведений о том, что не липиды, а белки являются главными субстратами окисления в живых системах [16]. Продукты окислительной модификации белков (ОМБ) более стабильны, сохраняются в течение нескольких часов и даже дней, что даёт основание считать их более информативным маркёром активации свободно-радикальных процессов [6]. Именно важнейшая роль в метаболических процессах белков, их высокая чувствительность к свободным радикалам, позволяет рассматривать белки как главные мишени в действии активных форм кислорода [16]. Несмотря на то, что некоторые продукты окисления аминокислот не относятся к карбонильным соединениям, тем не менее определение их уровня широко распространено в пищевых и биологических системах для оценки интенсивности окислительной деструкции белка [20-22]. При сравнительном анализе в мышечном белке курицы, свинины, говядины установлен более высокий уровень карбонильных соединений, чем в белках плазмы крови [23]. В образцах ультрапастеризованного коровьего молока в 2 и в 2,6 раза повышено содержание альдегид-динитрофенилгидразонов и кетонных производных в сравнении с их содержанием в грудном молоке при металл-катализируемом окислении [8]. Особенно существенно повышение (в 2 раза) карбонильных соединений в порошковой детской молочной смеси и цельным сухом молоке [18].

При производстве порошковых адаптированных молочных смесей молоко подвергается технологическому воздействию не только с целью

микробиологической безопасности, но и для удаления воды при концентрировании испарением и распылительной сушкой, что способствует повышению интенсивности окислительной модификации белков [18; 19].

В зависимости от процесса производства детские молочные смеси подвергаются нескольким термическим обработкам, которые оказывают глубокое влияние на структуру нативных белков и способствуют образованию продуктов окисления и метаболитов реакции взаимодействия аминокрупп белков и аминокислот с карбонильными группами углеводов (реакция Майяра) [24]. В адаптированные молочные смеси добавляются липиды с большим содержанием полиненасыщенных жирных кислот, железо и аскорбиновая кислота, которые способствуют образованию свободных радикалов [19].

Активация окислительных реакций может привести к нежелательным явлениям, нарушению усвояемости белка, его биодоступности и питательной ценности, с потенциальными неблагоприятными последствиями для роста и развития детей первого года жизни.

Важность биологической и пищевой ценности молочных смесей для детского питания подтверждает актуальность повышения информативной значимости определения уровня карбонильных производных белков для характеристики интенсивности свободнорадикальных процессов.

Выявление степени таких окислительных повреждений белков требует разработки методических подходов, тем более что это необходимо и для характеристики восстановления антиокислительных свойств продукта. В то же время, для оценки уровня карбонильных соединений необходим расчет на концентрацию белка, определение которой в молочных продуктах требует дополнительных лабораторных исследований. Учитывая изложенное, представляется актуальным широкий поиск достаточно чувствительных и специфичных маркеров окислительных повреждений молочных белков.

В качестве дополнительного критерия остроты окислительных повреждений белков тканей при патологических состояниях широко используется определение процентного соотношения количества карбонильных производных при спонтанном и металл-катализируемом окислении. Увеличение этого показателя в динамике развития окислительного стресса рассматривается как резервно-адаптационный потенциал (РАП), отражающий напряжение резервно-адаптационных возможностей организма [11; 16]. В случае характеристики окислительной модификации белков продуктов питания речь не может идти об адаптационных процессах и поэтому в нашей ра-

боте при подсчёте процентного соотношения карбонильных производных при спонтанном и металл-катализируемом окислении использовали термин резервный потенциал (РП).

Цель исследования – сравнить информационную значимость показателей интенсивности окислительной деструкции белков адаптированных молочных смесей.

Материалы и методы

В качестве материала использовали адаптированные смеси на коровьем молоке: NAN (Нестле Дойчланд АГ) - смесь-1, «Малютка» (АО «ДП «Истра-Нутриция») - смесь-2, Nutrilon Premium (Нутриция) - смесь-3, Беллакт (Волковысское ОАО «Беллакт») - смесь-4, а также образцы ультрапастеризованного коровьего молока «Тёма» (ОАО «Юнимилк», Россия, ТУ 10.86.10-076-13605199). Другая группа адаптированных смесей на основе козьего молока: NAN goat milk (Нестле Дойчланд АГ) – смесь 5, «Kabrita-2 (Нидерланды «AusnutriaHyprosa») – смесь-6. Для сравнения использовали ультрапастеризованное козье молоко «Село Зеленое» (ОАО «Милком», Россия).

В работе для оценки показателей уровня карбонильных производных белков использовали метод Reznick A.Z. & Parker L. в модификации Дубининой Е.Е. [12]. При спонтанном и металл-катализируемом (после инкубации исследуемого материала с 10 мМ раствором FeSO_4 и 0,3 мМ H_2O_2 по реакции Фентона) окислении фиксировали на спектрофотометре UNICO 2800 (США) показатели альдегид-динитрофенилгидразонов (АДНФГн) нейтрального характера, кетон-динитрофенилгидразонов (КДНФГн) нейтрального характера, альдегид-динитрофенилгидразонов (АДНФГо) основного характера, кетон-динитрофенилгидразонов (КДНФГо) основного характера.

Для определения степени выраженности окислительной деструкции белков использовали способ комплексной оценки содержания карбонильных производных (Фомина М.А. с соавт.2014) [13; 14], в соответствии с которым по полученным значениям экстинкций рассчитывали площадь под кривой. Значения, полученные при измерении карбонильных производных, образовавшихся при спонтанном и металл-индуцированном окислении, использовали для вычисления показателя резервного потенциала (РП), принимая значения уровня карбонильных соединений при металл-индуцированном окислении за 100%, как максимально возможное в данном молочном продукте.

Для статистической обработки полученных результатов использовали стандартные методы вариационной статистики с применением критерия Стьюдента. При проверке статистических гипотез принимали критический уровень значимости равным 0,05.

Результаты исследования и их обсуждение

Расчёт резервного потенциала (РП) всех динитрофенилгидразонов (РП_{общ}), проведенный после определения спонтанного и железо-индуцированного окисления, позволил установить его повышение (на 5-10%) во всех молочных смесях на основе коровьего молока в сравнении с ультрапастеризованным молоком «Тёма» (Табл. 1). В меньшей степени увеличен резервный потенциал в смеси 1, а в трёх других статистически выше, чем в данной смеси. Повышение общего уровня резервного потенциала проявляется, в основном, за счёт альдегид-динитрофенилгидразонов (РП_{АД-НФГ}) как нейтрального, так и основного характера. Так же, как и общий потенциал, в сравнении с данными молока в меньшей степени повышен РП_{АДНФГ} в смеси 1- на 6,6%, в трёх других (смеси 2.3.4) на 8.9; 11,9 и 13,7%, соответственно.

Таблица 1.

Резервный потенциал белков молочных смесей на основе коровьего молока (M±m, %)

Продукт Показатель	Тема	Смесь 1	Смесь 2	Смесь 3	Смесь 4
ОБЩ	76,9±0,83	82,3±0,64 p<0,0001	85,4±0,78 p<0,0001 p ₁ =0,01	86,9±0,73 p<0,0001 p ₁ =0,001	86,5±0,85 p<0,0001 p ₁ =0,003
АДНФГ	73,8±0,75	80,4±0,72 p<0,0001	82,7±0,66 p<0,0001 p ₁ =0,04	85,8±0,86 p<0,0001 p ₁ =0,001	87,6±0,93 p<0,0001 p ₁ <0,0001
АДНФГн	72,7±0,63	79,3±0,77 p<0,0001	79,6±0,78 p<0,0001 p ₁ =0,79	84,2±0,76 p<0,0001 p ₁ <0,0001	84,0±0,59 p<0,0001 p ₁ <0,0001
АДНФГо	76,8±0,91	84,7±0,93 p<0,0001	90,9±0,86 p<0,0001 p ₁ <0,0001	87,7±0,76 p<0,0001 p ₁ =0,03	91,7±0,77 p<0,0001 p ₁ <0,0001
КДНФГ	88,0±0,50	91,8±0,94 p=0,01	94,4±0,60 p<0,0001 p ₁ =0,04	93,2±0,94 p<0,0001 p ₁ =0,32	91,9±0,67 p=0,001 p ₁ =0,93

КДНФГн	88,3±0,53	92,7±0,76 p=0,001	92,3±0,91 p=0,004 p ₁ =0,71	93,9±0,55 p<0,0001 p ₁ =0,25	92,4±0,63 p=0,001 p ₁ =0,73
КДНФГо	81,8±0,43	84,6±0,90 p=0,02	84,0±0,91 p=0,05 p ₁ =0,65	88,2±0,75 p<0,0001 p ₁ =0,01	86,1±0,90 p=0,002 p ₁ =0,2

Примечание: p – при сравнении с ультрапастеризованным молоком «Тема», p₁ – при сравнении со смесью 1; АДНФГн – альдегид-динитрофенилгидразоны нейтрального характера; АДНФГо – альдегид-динитрофенилгидразоны основного характера; КДНФГн – кетон-динитрофенилгидразоны нейтрального характера; КДНФГо – кетон-динитрофенилгидразоны основного характера.

Резервный потенциал, определяемый по уровню кетон-динитрофенилгидразонов (РП_{КДНФГ}) в молочных смесях также повышен в сравнении с показателями молока, но в меньшей степени и во всех смесях практически одинаково (от 3,7 до 6,3%).

Таким образом, полученные результаты однозначно свидетельствуют, что резервный потенциал во всех адаптированных молочных смесях существенно выше, чем в ультрапастеризованном коровьем молоке, что может быть обусловлено изменением белкового состава при создании рецептов (формул) смесей [18]. Следует отметить, что в большей степени резервный потенциал увеличен за счет альдегидных карбонильных производных.

Аналогичное повышение общего уровня резервного потенциала (РП_{ОБЩ}) в сравнении с показателем козьего молока «Село Зеленое» наблюдается и в молочных смесях (смеси 5 и 6), изготовленных на основе козьего молока (Табл.2). Это повышение обусловлено увеличением РП_{АДНФГ} на 18,2% смеси 5 и на 21,6% смеси 6, причём только за счёт РП_{АДНФГн} на 20,5% смеси 5 и на 27,0% смеси 6 в сравнении с молоком.

Таблица 2.

Резервный потенциал белков молочных смесей на основе козьего молока (M±m, %)

Показатель \ Продукт	Село Зеленое	Смесь-5	Смесь-6
ОБЩ	72,6±0,52	84,9±0,85 p<0,0001	88,69±0,81 p<0,0001 p ₁ =0,01
АДНФГ	65,6±0,72	83,8±0,90 p<0,0001	87,2±0,60 p<0,0001 p ₁ =0,01

АДНФГ _н	60,3±0,78	80,8±0,79 p<0,0001	87,3±0,40 p<0,0001 p ₁ <0,0001
АДНФГ _о	86,8±0,70	88,2±0,82 p=0,22	87,0±0,69 p=0,88 p ₁ =0,26
КДНФГ	91,4±0,72	93,4±0,92 p=0,11	92,1±0,87 p=0,57
КДНФГ _н	91,5±0,80	93,2±0,86 p=0,2	92,5±0,69 p=0,4
КДНФГ _о	92,5±0,82	90,9±0,80 p=0,2	90,5±0,93 p=0,14

Примечание: p – при сравнении с ультрапастеризованным молоком «Село Зелёное»,

p₁ – при сравнении со смесью 5; АДНФГ_н – альдегид-динитрофенилгидразоны нейтрального характера; АДНФГ_о – альдегид-динитрофенилгидразоны основного характера; КДНФГ_н – кетон-динитрофенилгидразоны нейтрального характера; КДНФГ_о – кетон-динитрофенилгидразоны основного характера

Резервный потенциал АДНФГ основного характера и КДНФГ как нейтрального, так и основного характера существенно не отличаются от показателя козьего молока.

Несмотря на то, что белковый состав козьего молока существенно отличается от коровьего, адаптация белкового состава при изготовлении смесей приводит к повышению АДНФГ_{общ} и особенно АДНФГ_н.

В качестве ранних (первичных) и поздних (вторичных) маркеров развития патологических процессов в медицинских исследованиях используется определение соотношений альдегидных (АДНФГ) и кетонных (КДНФГ) карбонильных производных. Так как при производстве и хранении молочных продуктов изменяется уровень карбонильных производных [7], мы сочли необходимым сравнить соотношение АДНФГ и КДНФГ. Анализ полученных данных свидетельствует о различиях в уровне соотношений альдегидных и кетонных производных, если в молочных смесях №1 и №2 процентное соотношение АДНФГ повышено, а КДНФГ снижено, то в смесях №3 и №4 не отличалось от данных коровьего молока «Тема» (Табл.3).

При сравнении данных фракционного состава карбонильных производных выявлено некоторое увеличение (на 3-4%) АДНФГ_н при снижении КДНФГ_н в смесях 1,2 и 4. Наибольшие различия установлены между карбонильными производными основного характера – снижение АДНФГ_о и увеличение КДНФГ_о на 4,7-9,7% во всех молочных смесях.

Таблица 3.

**Соотношение карбонильных производных белков молочных смесей
на основе коровьего молока ($M \pm m$, %)**

Показатель \ Продукт	Тема	Смесь №1	Смесь №2	Смесь №3	Смесь №4
АДНФГ	88,7±0,64	91,7±0,82 p=0,02	91,4±0,78 p=0,03	87,6±0,59 p=0,22	90,7±0,91 p=0,11
КДНФГ	11,2±0,73	8,3±0,70 p=0,01	8,6±0,65 p=0,01	12,4±0,87 p=0,32	9,3±0,68 p=0,1
АДНФГ _н	88,0±0,95	92,4±0,45 p=0,002	91,8±0,79 p=0,01	88,2±0,54 p=0,85	91,4±0,6 p=0,01
КДНФГ _н	12,0±0,76	7,6±0,81 p=0,003	8,2±0,93 p=0,01	11,8±0,79 p=0,85	8,6±0,86 p=0,02
АДНФГ _о	89,8±0,56	83,7±0,94 p<0,0001	80,1±0,88 p<0,0001	83,9±0,66 p<0,0001	85,1±0,72 p<0,0001
КДНФГ _о	10,2±0,55	16,3±0,68 p<0,0001	19,9±0,9 p<0,0001	16,1±0,74 p<0,0001	14,9±0,85 p<0,0001

Примечание: p – при сравнении с ультрапастеризованным молоком «Тема». АДНФГ – альдегид-динитрофенилгидразоны нейтрального характера; АДНФГ_о – альдегид-динитрофенилгидразоны основного характера; КДНФГ_н – кетон-динитрофенилгидразоны нейтрального характера; КДНФГ_о – кетон-динитрофенилгидразоны основного характера

Молочные смеси из козьего молока №5 и №6 отличаются от ультрапастеризованного более низким содержанием альдегид-динитрофенилгидразонов и высоким кетонных производных, на 4,6 и 8,6%, соответственно. Эти изменения обусловлены, в основном, нарушением соотношения карбонильных соединений нейтрального характера (смесь №5 на 5,2 и смесь №6 на 10,3%).

Таблица 4.

**Соотношение карбонильных производных белков молочных смесей
на основе козьего молока ($M \pm m$, %)**

Показатель \ Продукт	Село Зеленое	Смесь №5	Смесь №6
АДНФГ	92,0±0,62	87,4±0,85 p<0,0001	83,4±0,89 p<0,0001
КДНФГ	8,0±0,76	12,6±0,92 p<0,0001	16,6±0,80 p<0,0001
АДНФГ _н	92,1±0,54	86,9±0,70 p<0,0001	81,8±0,64 p<0,0001

КДНФГн	7,9±0,85	13,1±0,90 p<0,0001	18,2±0,81 p<0,0001
АДНФГо	91,2±0,73	90,2±0,79 p=0,36	90,4±0,96 p=0,52
КДНФГо	8,8±0,59	9,8±0,74 p=0,3	9,6±0,82 p=0,45

Примечание: р – при сравнении с ультрапастеризованным молоком «Тема». АДНФГн – альдегид-динитрофенилгидразоны нейтрального характера; АДНФГо – альдегид-динитрофенилгидразоны основного характера; КДНФГн – кетон-динитрофенилгидразоны нейтрального характера; КДНФГо – кетон-динитрофенилгидразоны основного характера

Существенное преобладание альдегид-динитрофенилгидразонов может отражать увеличение процессов фрагментации белковых молекул в молочных смесях на основе коровьего молока. Некоторый сдвиг уровня карбонильных соединений в сторону кетонных производных в молочных смесях на основе козьего молока, возможно, следствие агрегации белковых молекул, так как АДНФГ являются маркерами фрагментации белков, а КДНФГ- маркеры их агрегации [13; 16].

Заключение

Использование способа комплексной оценки содержания продуктов окислительной модификации белков в тканях и биологических жидкостях М.А. Фоминой с соавторами (2014), позволяет определить не только уровень карбонильных соединений в молоке и молочных продуктах, но и произвести расчёт других показателей окислительной деструкции, в том числе резервный потенциал, соотношение карбонильных производных – АДНФГ и КДНФГ. Определение РП, характеризующего устойчивость белков к воздействиям обычного уровня окислителей, позволило выявить адаптированные молочные смеси с наибольшим и наименьшим уровнем этого показателя, что даёт основание для использования резервного потенциала в качестве критерия для характеристики биологической ценности продукта. Как дополнительный критерий биологической ценности продукта возможно использование соотношения карбонильных производных.

Выводы:

1. Адаптированные молочные смеси как на основе коровьего, так и козьего молока, характеризуются повышенным резервным потенциалом.
2. Молочные смеси на основе коровьего молока отличаются преобладанием альдегидных производных, а в детских смесях на основе козьего молока преобладают кетонные производные.
3. Одновременное определение карбонильных производных белков при спонтанном и железо-катализируемого окислении, позволяет оценить

снижение доступности белков к окислительным воздействиям и косвенно охарактеризовать возможности антиоксидантной защиты адаптированных молочных смесей.

Информация о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация о спонсорстве. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Conflict of interest information. The authors declare that there is no conflict of interest.

Sponsorship information. The study had no sponsorship.

Список литературы

1. Веселов, П. В., & Высокогорский, В. Е. (2009). Антиоксидантная активность коровьего и козьего молока. *Молочная промышленность*, (7), 86. EDN: <https://elibrary.ru/RHIUUN>
2. Балакирева, Ю. В., Зайцев, С. Ю., Каримова, Ф. Г., Акулов, А. Н., & Ахмадуллина, Ф. Ю. (2012). Влияние режима пастеризации на полипептидный состав молока. *Фундаментальные исследования*, (2), 170-173. EDN: <https://elibrary.ru/PAYZEV>
3. Высокогорский, В. Е., & Игнатъева, Г. В. (2012). Хемилюминесцентный анализ пастеризованного молока. *Пищевая промышленность*, (10), 34-36. EDN: <https://elibrary.ru/RZPSBN>
4. Высокогорский, В. Е., Розенфельд, Ю. Г., & Соколова, М. А. (2022). Антиоксидантная активность молочных продуктов для детского питания. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 14(3), 143-153. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-3-143-153> EDN: <https://elibrary.ru/ILPDJJ>
5. Высокогорский, В. Е., Воронова, Т. Д., & Веселов, П. В. (2009). Антиокислительные свойства молока в разных зонах Омской области. *Молочная промышленность*, (10), 73-74. EDN: <https://elibrary.ru/KZQJLN>
6. Дубинина, Е. Е. (2006). *Продукты метаболизма кислорода в функциональной активности клеток: (жизнь и смерть, созидание и разрушение): физиологические и клиничко-биохимические аспекты*. Санкт-Петербург: Мед. пресса. 397 с. ISBN: 5-85474-072-9 EDN: <https://elibrary.ru/QKPXRX>
7. Крышкина, Г. Г., Высокогорский, В. Е., Соколова, М. А., & Стрельчик, Н. В. (2021). Интенсивность индуцированного карбонилирования белков молока как идентификатор их сохранности. *Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии*, 24(11), 9-14. <https://doi.org/10.29296/25877313-2021-11-02> EDN: <https://elibrary.ru/YJUIJG>

8. Соколова, М. А., Высокогорский, В. Е., Розенфельд, Ю. Г., Антонов, О. В., Комарова, А. А., & Подольникова, Ю. А. (2022). Интенсивность процессов окислительной модификации белков женского и коровьего молока. *Вопросы питания*, 91(4), 83-89. <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2022-91-4-83-89> EDN: <https://elibrary.ru/HLSBFI>
9. Лазарева, О. Н., Высокогорский, В. Е., & Воронова, Т. Д. (2006). Хемиллюминесцентный анализ кисломолочных продуктов. В *Интеграция науки и образования - решающий фактор устойчивого развития государства* (с. 386-390). Семипалатинск.
10. Мамцев, А. Н. (2005). Хемиллюминесценция - способ оценки антиоксидантных свойств йодобогащенных продуктов. *Молочная промышленность*, (5), 76. EDN: <https://elibrary.ru/PVWODJ>
11. Никитина, Ю. В., & Мухина, И. В. (2009). Изменения окислительных процессов в ткани головного мозга и крови крыс в раннем онтогенезе. *Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского*, (6-1), 124-131. EDN: <https://elibrary.ru/KYWUCB>
12. Дубинина, Е. Е., Бурмистров, С. О., Ходов, Д. А., & Поротов, Г. Е. (1995). Окислительная модификация белков сыворотки крови человека, метод ее определения. *Вопросы медицинской химии*, 41(1), 24-26. EDN: <https://elibrary.ru/YVAEFD>
13. Абаленихина, Ю. В., Фомина, М. А., Чурилов, Г. И., & Иванычева, Ю. Н. (2012). Окислительная модификация белков тимуса крыс под влиянием меди в ультрадисперсной форме. *Фундаментальные исследования*, (11), 1315-1319. EDN: <https://elibrary.ru/PUKPTZ>
14. Фомина, М. А., Абаленихина, Ю. В., Фомина, Н. В., & Терентьев, А. А. (2014). *Способ комплексной оценки содержания продуктов окислительной модификации белков в тканях и биологических жидкостях*. Патент РФ № 2524667 C1. EDN: <https://elibrary.ru/FKTUL>
15. Высокогорский, В. Е., Розенфельд, Ю. Г., Стрельчик, Н. В., & Подольникова, Ю. А. (2023). Сравнительная характеристика интенсивности окислительной модификации белков молочных смесей, предназначенных для детского питания. *Вопросы питания*, 92(5), 103-109. <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2023-92-5-103-109> EDN: <https://elibrary.ru/GPLJWM>
16. Фомина, М. А., & Абаленихина, Ю. В. (2018). *Окислительная модификация белков тканей при изменении синтеза оксида азота*. Москва: ГЭОТАР-Медиа. 192 с. ISBN: 978-5-9704-4372-9 EDN: <https://elibrary.ru/YORTWL>
17. Шидловская, В. П., & Юрова, Е. А. (2005). Антиоксиданты молока и их роль в оценке его качества. *Молочная промышленность*, (5), 76. EDN: <https://elibrary.ru/PVWODJ>

18. Chen, Z., Leinisch, F., Greco, I., Zhang, W., Shu, N., Chuang, C. Y., Lund, M. N., & Davis, M. J. (2019). Characterization and quantification of oxidative modifications of protein and racemization of amino acids in infant formula powders. *Free Radical Research*, 53(1), 68-81. <https://doi.org/10.1080/10715762.2018.1554250>
19. Christides, T., Ganis, J. C., & Sharp, P. A. (2018). In vitro assessment of iron availability from commercial Young Child Formulae supplemented with prebiotics. *European Journal of Nutrition*, 57, 669-678. <https://doi.org/10.1007/s00394-016-1353-3> EDN: <https://elibrary.ru/ZLZKYM>
20. Estévez, M., Díaz-Velasco, S., & Martínez, R. (2022). Protein carbonylation in food and nutrition: a concise update. *Amino Acids*, 54, 559-573. <https://doi.org/10.1007/s00726-021-03085-6> EDN: <https://elibrary.ru/NDMWGU>
21. Estevez, M. (2011). Protein carbonyls in meat systems: a review. *Meat Science*, 89(3), 259-279. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.04.025>
22. Hellwig, M. (2020). Analysis of protein oxidation in food and feed products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(46), 12870-12885. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c00711> EDN: <https://elibrary.ru/RRMRGL>
23. Hellwig, M. (2019). The chemistry of protein oxidation in food. *Angewandte Chemie International Edition*, 58(47), 16742-16763. <https://doi.org/10.1002/anie.201814144>
24. Roux, S., Courel, M., Ait-Ameur, L., Birlouez-Aragon, I., & Pain, J.-P. (2009). Kinetics of Maillard reactions in model infant formula during UHT treatment using a static batch ohmic heater. *Dairy Science and Technology*, 89, 349-362. <https://doi.org/10.1051/dst/2009015> EDN: <https://elibrary.ru/LNOEXE>

References

1. Veselov, P. V., & Vysokogorsky, V. E. (2009). Antioxidant activity of cow and goat milk. *Milk Industry*, (7), 86. EDN: <https://elibrary.ru/RHIUUH>
2. Balakireva, Yu. V., Zaytsev, S. Yu., Karimov, F. G., Akulov, A. N., & Akhmadullina, F. Yu. (2012). Effect of pasteurization mode on the polypeptide composition of milk. *Fundamental Research*, (2), 170-173. EDN: <https://elibrary.ru/PAYZEV>
3. Vysokogorsky, V. E., & Ignatyev, G. V. (2012). Chemiluminescence analysis of pasteurized milk. *Food Industry*, (10), 34-36. EDN: <https://elibrary.ru/RZPSBN>
4. Vysokogorsky, V. E., Rozenfeld, Yu. G., & Sokolova, M. A. (2022). Antioxidant activity of dairy products for infant nutrition. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*, 14(3), 143-153. <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2022-14-3-143-153> EDN: <https://elibrary.ru/ILPDJJ>

5. Vysokogorsky, V. E., Voronova, T. D., & Veselov, P. V. (2009). Antioxidant properties of milk in different zones of the Omsk region. *Milk Industry*, (10), 73-74. EDN: <https://elibrary.ru/KZQJLN>
6. Dubinina, E. E. (2006). *Products of oxygen metabolism in the functional activity of cells: (life and death, creation and destruction): physiological and clinical-biochemical aspects*. Saint Petersburg: Med. pressa. 397 p. ISBN: 5-85474-072-9 EDN: <https://elibrary.ru/QKPXRX>
7. Kryshkina, G. G., Vysokogorsky, V. E., Sokolova, M. A., & Strelchik, N. V. (2021). Intensity of induced protein carbonylation as an identifier of their preservation. *Issues of Biological, Medical and Pharmaceutical Chemistry*, 24(11), 9-14. <https://doi.org/10.29296/25877313-2021-11-02> EDN: <https://elibrary.ru/YJUIJG>
8. Sokolova, M. A., Vysokogorsky, V. E., Rozenfeld, Yu. G., Antonov, O. V., Komarova, A. A., & Podolnikova, Yu. A. (2022). Intensity of oxidative modification processes of proteins of human and cow milk. *Nutrition Issues*, 91(4), 83-89. <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2022-91-4-83-89> EDN: <https://elibrary.ru/HLSBFI>
9. Lazareva, O. N., Vysokogorsky, V. E., & Voronova, T. D. (2006). Chemiluminescence analysis of fermented milk products. In *Integration of science and education - a decisive factor in the sustainable development of the state* (pp. 386-390). Semipalatinsk.
10. Mamtsev, A. N. (2005). Chemiluminescence - a method for assessing the antioxidant properties of iodine-enriched products. *Milk Industry*, (5), 76. EDN: <https://elibrary.ru/PVWODJ>
11. Никитина, Ю. В., & Мухина, И. В. (2009). Изменения окислительных процессов в ткани головного мозга и крови крыс в раннем онтогенезе. *Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского*, (6-1), 124-131. EDN: <https://elibrary.ru/KYWUCB>
12. Дубинина, Е. Е., Бурмистров, С. О., Ходов, Д. А., & Поротов, Г. Е. (1995). Окислительная модификация белков сыворотки крови человека, метод ее определения. *Вопросы медицинской химии*, 41(1), 24-26. EDN: <https://elibrary.ru/YVAEFD>
13. Абаленихина, Ю. В., Фомина, М. А., Чурилов, Г. И., & Иваницева, Ю. Н. (2012). Окислительная модификация белков тимуса крыс под влиянием меди в ультрадисперсной форме. *Фундаментальные исследования*, (11), 1315-1319. EDN: <https://elibrary.ru/PUKPTZ>
14. Фомина, М. А., Абаленихина, Ю. В., Фомина, Н. В., & Терентьев, А. А. (2014). *Способ комплексной оценки содержания продуктов окислительной*

- модификации белков в тканях и биологических жидкостях. Патент РФ № 2524667 С1. EDN: <https://elibrary.ru/FKTUL>
15. Высокогорский, В. Е., Розенфельд, Ю. Г., Стрельчик, Н. В., & Подольникова, Ю. А. (2023). Сравнительная характеристика интенсивности окислительной модификации белков молочных смесей, предназначенных для детского питания. *Вопросы питания*, 92(5), 103-109. <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2023-92-5-103-109> EDN: <https://elibrary.ru/GPLJWM>
 16. Фомина, М. А., & Абаленихина, Ю. В. (2018). *Окислительная модификация белков тканей при изменении синтеза оксида азота*. Москва: ГЭОТАР-Медиа. 192 с. ISBN: 978-5-9704-4372-9 EDN: <https://elibrary.ru/YORTWL>
 17. Шидловская, В. П., & Юрова, Е. А. (2005). Антиоксиданты молока и их роль в оценке его качества. *Молочная промышленность*, (5), 76. EDN: <https://elibrary.ru/PVWODJ>
 18. Chen, Z., Leinisch, F., Greco, I., Zhang, W., Shu, N., Chuang, C. Y., Lund, M. N., & Davis, M. J. (2019). Characterization and quantification of oxidative modifications of protein and racemization of amino acids in infant formula powders. *Free Radical Research*, 53(1), 68-81. <https://doi.org/10.1080/10715762.2018.1554250>
 19. Christides, T., Ganis, J. C., & Sharp, P. A. (2018). In vitro assessment of iron availability from commercial Young Child Formulae supplemented with prebiotics. *European Journal of Nutrition*, 57, 669-678. <https://doi.org/10.1007/s00394-016-1353-3> EDN: <https://elibrary.ru/ZLZKYM>
 20. Estévez, M., Díaz-Velasco, S., & Martínez, R. (2022). Protein carbonylation in food and nutrition: a concise update. *Amino Acids*, 54, 559-573. <https://doi.org/10.1007/s00726-021-03085-6> EDN: <https://elibrary.ru/NDMWGU>
 21. Estevez, M. (2011). Protein carbonyls in meat systems: a review. *Meat Science*, 89(3), 259-279. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.04.025>
 22. Hellwig, M. (2020). Analysis of protein oxidation in food and feed products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(46), 12870-12885. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c00711> EDN: <https://elibrary.ru/RRMRGL>
 23. Hellwig, M. (2019). The chemistry of protein oxidation in food. *Angewandte Chemie International Edition*, 58(47), 16742-16763. <https://doi.org/10.1002/anie.201814144>
 24. Roux, S., Courel, M., Ait-Ameur, L., Birlouez-Aragon, I., & Pain, J.-P. (2009). Kinetics of Maillard reactions in model infant formula during UHT treatment using a static batch ohmic heater. *Dairy Science and Technology*, 89, 349-362. <https://doi.org/10.1051/dst/2009015> EDN: <https://elibrary.ru/LNOEXE>

ВКЛАД АВТОРОВ

Розенфельд Ю. Г.: сбор и анализ данных, составление черновика рукописи, статистическая обработка данных.

Высокогорский В.Е.: разработка концепции научной работы, редактирование черновика рукописи, написание рукописи.

Подольникова Ю.А.: статистическая обработка данных, редактирование черновика рукописи

Стрельчик Н.В.: обсуждение концепции научной работы и редактирование черновика рукописи.

Чернопольская Н.Л.: обсуждение концепции научной работы и редактирование черновика рукописи.

AUTHOR CONTRIBUTIONS

Yulia G. Rosenfeld: data collection and analysis, drafting of the manuscript, statistical processing of data.

Valeriy E. Vysokogorskiy: development of the concept of scientific work, editing of the draft manuscript, writing of the manuscript.

Yuliya A. Podolnikova: statistical data processing, editing the draft manuscript.

Natalia V. Strelchik: discussion of the concept of scientific work and editing the draft manuscript.

Natalia L. Chernopolskaya: discussion of the concept of scientific work and editing the draft manuscript.

ДААННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Розенфельд Юлия Геннадьевна, аспирант

ФГБОУ ВО «Омский государственный аграрный университет имени П.А.

Столыпина»

Институтская площадь, 1, г. Омск, 644008, Российская Федерация
yug.rozenfeld06.06.01@omgau.org

Высокогорский Валерий Евгеньевич, профессор, доктор медицинских наук, профессор кафедры продуктов питания и пищевой биотехнологии

ФГБОУ ВО «Омский государственный аграрный университет имени П.А.

Столыпина»

Институтская площадь, 1, г. Омск, 644008, Российская Федерация
ve.vysokogorskiy@omgau.org

Подольникова Юлия Александровна, кандидат биологических наук, доцент кафедры продуктов питания и пищевой биотехнологии
ФГБОУ ВО «Омский государственный аграрный университет имени П.А.

Столыпина»

Институтская площадь, 1, г. Омск, 644008, Российская Федерация
yua.podolnikova@omgau.org

Стрельчик Наталья Валерьевна, доцент, кандидат ветеринарных наук, доцент кафедры продуктов питания и пищевой биотехнологии
ФГБОУ ВО «Омский государственный аграрный университет имени П.А.

Столыпина»

Институтская площадь, 1, г. Омск, 644008, Российская Федерация
nv.strelchik@omgau.org

Чернопольская Наталья Леонидовна, доцент, доктор технических наук, профессор кафедры продуктов питания и пищевой биотехнологии
ФГБОУ ВО «Омский государственный аграрный университет имени П.А.

Столыпина»

Институтская площадь, 1, г. Омск, 644008, Российская Федерация
nl.chernopolskaya@omgau.org

DATA ABOUT THE AUTHORS

Yulia G. Rosenfeld, graduate student

Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin

1, Institutskaya Sq., Omsk, 644008, Russian Federation

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0066-0749>

yug.rozenfeld06.06.01@omgau.org

Valeriy E. Vysokogorskiy, Professor, Doctor of Medical Sciences, Professor of the Department of Food and Food Biotechnology
Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin
1, Institutskaya Sq., Omsk, 644008, Russian Federation
ve.vysokogorskiy@omgau.org

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7498-2148>

Yuliya A. Podolnikova, Candidate of Sciences (Biology), Associate Professor
Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin
1, Institutskaya Sq., Omsk, 644008, Russian Federation
yua.podolnikova@omgau.org
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4132-6045>

Natalia V. Strelchik, Docent, Candidate of Veterinary Sciences, Associate Professor of the Department of Food and Food Biotechnology
Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin
1, Institutskaya Sq., Omsk, 644008, Russian Federation
nv.strelchik@omgau.org
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4441-8746>

Natalia L. Chernopolskaya, Docent, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Food and Food Biotechnology
Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin
1, Institutskaya Sq., Omsk, 644008, Russian Federation
nl.chernopolskaya@omgau.org
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1359-9190>

Поступила 05.09.2024

После рецензирования 17.10.2024

Принята 07.11.2024

Received 05.09.2024

Revised 17.10.2024

Accepted 07.11.2024