

УДК 637.144.5:613.22:542.943

DOI: 10.31040/2222-8349-2024-0-4-146-153

КАРБОНИЛЬНЫЕ ПРОИЗВОДНЫЕ БЕЛКОВ АДАПТИРОВАННЫХ СМЕСЕЙ НА ОСНОВЕ КОЗЬЕГО МОЛОКА

© Ю.Г. Розенфельд, Ю.А. Подольникова, В.Е. Высокогорский, Н.В. Стрельчик

Определение карбонильных производных аминокислот признано специфичным маркером окислительных модификаций белков. Материалами исследования служили образцы адаптированных детских молочных смесей на основе козьего молока: «NAN GOAT Milk», «Kabrita-2 GOLD» и образцы молока козьего питьевого цельного ультрапастеризованного отборного «Село Зеленое» (ОАО «Милком», Россия). Уровень карбонильных соединений определяли по спектрам поглощения динитрофенилгидразонов, которые регистрировали на спектрофотометре UNICO 2800. Для характеристики общего уровня карбонильных соединений и анализа соотношения динитрофенилгидразонов использовали способ комплексной оценки продуктов окислительной модификации белков. Содержание карбонильных производных белков в детской смеси «Kabrita-2 GOLD» существенно не отличается от показателей ультрапастеризованного молока, а в детской смеси «NAN GOAT Milk» увеличено на 51.4% за счет альдегид-динитрофенилгидразонов. В отличие от альдегидных, общее содержание кетонных производных повышено как в детской смеси «NAN GOAT Milk», так и в смеси «Kabrita-2 GOLD». Индукция окислительных процессов по реакции Фентона вызвала значительное увеличение общего количества карбонильных производных белков детских молочных смесей как «NAN GOAT Milk», так и «Kabrita-2 GOLD». Резервно-адаптационный потенциал адаптированных молочных смесей выше в сравнении с показателем ультрапастеризованного молока в смеси «NAN GOAT Milk» на 15.4%, а в смеси «Kabrita-2 GOLD» – на 22.6%. Определение содержания карбонильных производных белков, оценка резервно-адаптационного потенциала может служить дополнительным критерием биологической ценности молочных смесей для питания детей.

Ключевые слова: козье молоко, молочные смеси, карбонильные производные белков, альдегид-динитрофенилгидразоны, кетон-динитрофенилгидразоны, окислительная модификация белков, резервно-адаптационный потенциал.

Введение. Интерес к изучению биологической и пищевой ценности молочных смесей для детского питания повышен, так как во всем мире доля новорожденных, находящихся на грудном вскармливании, не соответствует оптимальному уровню и остается менее 50% [1]. В Российской Федерации, по данным эпидемиологических исследований, на грудном вскармливании даже к 1-му месяцу жизни находятся только 77% новорожденных, а уже к 3-му месяцу 55% детей получают молочные смеси [2].

Наиболее используемой молочной основой для производства смесей для питания детей

является коровье молоко, однако аллергия на него является главной причиной пищевых аллергий у младенцев и детей до 6 лет с распространенностью 0.6–3.0% [3].

Различают два варианта проявлений непереносимости коровьего молока: в виде дискомфорта в желудочно-кишечном тракте после употребления молока и аллергическое состояние как иммунологически опосредованная реакция на белки коровьего молока [3]. Функциональные нарушения пищеварительной системы могут быть обусловлены сбоем в переваривании различных компонентов коровьего молока,

РОЗЕНФЕЛЬД Юлия Геннадьевна, Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, e-mail: yug.rozenfeld06.06.01@omgau.org

ПОДОЛЬНИКОВА Юлия Александровна – к.б.н., Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, e-mail: yua.podolnikova@omgau.org

ВЫСОКОГОРСКИЙ Валерий Евгеньевич – д.мед.н., Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, e-mail: ve.vysokogorskiy@omgau.org

СТРЕЛЬЧИК Наталья Валерьевна – к.вет.н., Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, e-mail: nv.strelchik@omgau.org

таких как лактоза, белки или жиры. Среди казеинов молока крупного рогатого скота наиболее распространенным является α_s -казеин, а в грудном молоке α_s -казеин часто отсутствует или имеет низкую концентрацию. С высоким уровнем α_{s1} -казеина связывают развитие аллергической реакции к коровьему молоку. В козьем молоке, в отличие от коровьего, низкий уровень α_{s1} -казеина. Для питательной ценности важно то, что казеины из козьего молока перевариваются более эффективно по сравнению с казеинами из коровьего молока, а пептидные профили козьего молока отличаются от коровьего. Кроме того, среди сывороточных белков коровьего молока преобладающим является β -лактоглобулин, а козьего – α -лактальбумин [3].

Особенность белкового состава козьего молока отражается и на скорости переваривания и усвоения продукта. Так, кинетика расщепления белка детской смеси Kabrita на основе козьего молока более сопоставима с кинетикой переваривания белка грудного молока, чем с кинетикой распада белков детской смеси на основе коровьего молока [4].

В козьем молоке почти в 3 раза выше, чем в коровьем, содержание азота пептидов, свободных аминокислот, которые могут служить ценным питательным материалом, так как близка биодоступность небелкового азота молока козы и грудного молока [5]. Особенность белкового состава молока коз способствует лучшей усвояемости, низкое содержание α_{s1} -казеина содействует образованию мягкого сгустка в желудке, что облегчает его расщепление. Меньшие размеры жировых глобул и, соответственно, большая площадь поверхности для действия липазы, ускоряют их гидролиз, а преобладание жирных кислот с короткой и средней длиной углеродной цепи облегчает их всасывание. Низкое содержание α_{s1} -казеина в козьем молоке способствует образованию более мелкой и мягкой консистенции творога [6]. Особенности белкового состава также вызывают формирование физико-химических свойств гелей казеина, образующихся в желудке из белков детских смесей на основе козьего молока, которые способствуют их более легкому усвоению в сравнении с белками смесей из коровьего молока и быстрому опорожнению желудка [7].

Подтвержденные в нескольких исследованиях данные о пониженном содержании α_s -казеина и β -лактоглобулина, ускоренном переваривании белков козьего молока, способст-

вующем понижению его аллергенного воздействия, послужили обоснованием более широкого использования козьего молока в качестве основы для производства молочных смесей для питания детей грудного возраста [8, 9]. Расширению использования козьего молока в качестве альтернативы коровьему способствовало также одобрение этой замены официальными международными органами. Пищевая адекватность обогащенных смесей из козьего молока для новорожденных была подтверждена в ходе клинических испытаний [10].

Сохраняющаяся потребность в адекватных заменителях грудного молока повышает требования к критериям оценки биологической ценности продукта, сохранению его пищевых качеств и, прежде всего, белков молочных смесей. Как в козьем, так и в коровьем молоке значительно ниже, чем в грудном, содержание основных антиоксидантов – витаминов Е и С, что обуславливает необходимость повышения их концентрации при производстве адаптированных смесей. Однако необходимые этапы технологических процессов производства молочных смесей для детей – термическая обработка, воздействие света, ионов металлов с переменной валентностью, процесс сушки при производстве порошка и другие факторы вызывают увеличение окислительных повреждений ингредиентов смесей [11]. Для компенсации потерь антиоксидантов адаптированные молочные смеси, предназначенные для питания младенцев, обогащают витаминами Е, А, С. Тем не менее, антиокислительная активность молочных смесей, предназначенных для детей до 1 года, составляет только 80–70% по сравнению с грудным молоком [12]. Установлена повышенная подверженность окислительным повреждениям белков адаптированных молочных смесей на основе коровьего молока, в сравнении с ультрапастеризованным коровьим молоком [13]. В настоящее время для определения уровня карбонильных производных как маркеров окислительной деструкции белков широко используется метод определения динитрофенилгидразонов [14]. При использовании данного подхода установлены различия концентраций карбонильных производных белков детских молочных смесей на основе козьего молока и ультрапастеризованного молока при различных длинах волн [15]. Однако такой метод не позволяет определить суммарное количество всех динитрофенилгидразонов, первичные и вторичные про-

дукты окислительной модификации, выяснить степень нарушения нативной конформации белков. Только применение способа комплексной оценки продуктов окислительной модификации белков (ОМБ) [16] позволяет определить не только содержание карбонильных производных, но и рассчитать содержание, как общего уровня соединений, так и соотношения альдегид-динитрофенилгидразонов (АДНФГ), кетон-динитрофенилгидразонов (КДНФГ) и резервно-адаптационный потенциал (РАП).

Цель исследования – обосновать биохимические критерии окислительной модификации белков молочных смесей на основе козьего молока, предназначенных для питания детей грудного возраста.

Материалы и методы. В качестве материала использовали по 10 образцов адаптированных молочных смесей для питания детей от 0 до 12 месяцев на основе козьего молока «Kabrita-2 GOLD» (Нидерланды «Ausnutria Huproca») и «NAN GOAT Milk» (Nestle Deutschland AG), которые наиболее распространены как на отечественном, так и на мировом рынке и на основании клинических исследований рекомендованы для искусственного вскармливания младенцев [16]. Для сравнения использовали 10 образцов молока козьего питьевого цельного ультрапастеризованного отборного «Село Зеленое» (ОАО «Милком», Россия). Сухие порошки детских смесей растворяли в кипяченой питьевой воде согласно инструкции и определяли концентрацию белка методом Кьельдаля (ГОСТ 34454-2018).

Интенсивность окислительной модификации белков определяли по реакции взаимодействия карбонильных производных аминокислотных остатков с 2,4-динитрофенилгидразином с образованием производных 2,4-динитрофенилгидразона [17].

Содержание АДНФГ определяли по оптической плотности в ультрафиолетовой части спектра при длинах волн 230, 254, 270, 280, 356 нм, а уровень КДНФГ – при 363 и 370 нм; в области видимого спектра АДНФГ – при 428 и 430 нм, а КДНФГ – при 434, 520, 534 нм. При использовании способа комплексной оценки содержания продуктов ОМБ М.А. Фоминой и соавт. по полученным значениям экстинкций рассчитывали площадь под кривой, выраженную в условных единицах на 1 г белка [18].

Резервно-адаптационный потенциал (РАП) рассчитывали по отношению показателей при спонтанном окислении к данным металл-катализированного окисления и выражали в процентах [18].

Статистическая обработка полученных результатов проведена с помощью стандартных методов вариационной статистики с использованием критерия Стьюдента. Критический уровень значимости при проверке статистических гипотез принимали равным 0.05.

Результаты и обсуждение. Полученные данные свидетельствуют, что уровень карбонильных соединений при спонтанном окислении существенно различается в исследуемых молочных смесях. Если общее содержание карбонильных производных белков в молочной смеси «NAN GOAT Milk» увеличено на 51.4%, в сравнении с данными ультрапастеризованного молока, то в детской молочной смеси «Kabrita-2 GOLD» существенно не отличается от ультрапастеризованного молока, и статистически ниже показателей «NAN GOAT Milk» (табл. 1). Увеличение общего содержания карбонильных производных в молочной смеси «NAN GOAT Milk» проявилось за счет альдегид-динитрофенилгидразонов на 43.6%, как по показателям ультрафиолетового спектра (на 35.5%), так и видимого (на 35.48%). Концентрация кетон-динитрофенилгидразонов в молочных смесях значительно ниже, чем альдегид-динитрофенилгидразонов, но по сравнению с показателями ультрапастеризованного молока их общее содержание выше в 2.25 раза в детской смеси «NAN GOAT Milk», показатели ультрафиолетового спектра в 2.06 раза, а видимого – в 2.7 раза.

Если содержание различных фракций АДНФГ повышено в смеси «NAN GOAT Milk», то в смеси «Kabrita-2 GOLD» общий уровень карбонильных соединений не отличается от показателей козьего молока, а содержание их основной фракции – АДНФГ даже ниже (на 12, 6%) за счет показателей ультрафиолетового спектра (на 23,3%), только содержание АДНФГ видимого спектра увеличено в 2.0 раза.

Общее содержание кетонных производных, в отличие от альдегидных, в смеси «Kabrita-2 GOLD» так же, как и в смеси «NAN GOAT Milk», повышено (в 2.1 раза), по сравнению с ультрапастеризованным козьим молоком. Это наблюдается как в ультрафиолетовом (в 1.9 раза), так и в видимом спектре (в 2.7 раза).

Т а б л и ц а 1

Содержание карбонильных производных белков козьего молока и детских молочных смесей при спонтанном окислении ($M \pm m$, у.е /г белка)

Показатель \ Продукт	«Село Зеленое»	«NAN GOAT Milk»	«Kabrita-2 GOLD»
$S_{\text{омб}}$	38.90 $\pm$ 0.85	58.60 $\pm$ 0.72 $p < 0.0001$	37.70 $\pm$ 0.84 $p = 0.33$ $p_1 < 0.0001$
$S_{\text{АДНФГ}}$	35.80 $\pm$ 0.71	51.40 $\pm$ 0.84 $p < 0.0001$	31.30 $\pm$ 0.74 $p < 0.0001$ $p_1 < 0.0001$
$S_{\text{КДНФГ}}$	3.10 $\pm$ 0.34	7.00 $\pm$ 0.70 $p < 0.0001$	6.40 $\pm$ 0.78 $p = 0.001$ $p_1 = 0.57$
$S_{\text{АДНФГ}_{\text{uv}}}$	32.60 $\pm$ 0.64	44.10 $\pm$ 0.72 $p < 0.0001$	25.00 $\pm$ 0.79 $p < 0.0001$ $p_1 < 0.0001$
$S_{\text{КДНФГ}_{\text{uv}}}$	3.00 $\pm$ 0.35	6.20 $\pm$ 0.68 $p = 0.001$	5.60 $\pm$ 0.69 $p = 0.003$ $p_1 = 0.54$
$S_{\text{АДНФГ}_{\text{vs}}}$	3.10 $\pm$ 0.24	7.30 $\pm$ 0.86 $p < 0.0001$	6.30 $\pm$ 0.70 $p < 0.0001$ $p_1 = 0.37$
$S_{\text{КДНФГ}_{\text{vs}}}$	0.30 $\pm$ 0.04	0.80 $\pm$ 0.12 $p = 0.001$	0.80 $\pm$ 0.12 $p = 0.001$ $p_1 = 1.0$
АДНФГ%	91.97 $\pm$ 0.78	88.02 $\pm$ 0.89 $p = 0.004$	83.01 $\pm$ 0.74 $p < 0.0001$ $p_1 < 0.0001$
КДНФГ%	8.03 $\pm$ 0.81	11.98 $\pm$ 0.87 $p = 0.004$	16.99 $\pm$ 0.64 $p < 0.0001$ $p_1 < 0.0001$

П р и м е ч а н и е: $M \pm m$ означает величину средней и ошибки средней площади под кривой (S) в условных единицах на 1 г белка; значения p в сравнении с показателями ультрапастеризованного молока «Село Зеленое»; p_1 – в сравнении с данными молочной смеси «NAN GOAT Milk»; АДНФГ – альдегид-динитрофенилгидразоны; КДНФГ – кетон-динитрофенилгидразоны; S – площадь под кривой в условных единицах на 1 г белка; uv – ультрафиолетовая область спектра; vs – видимая область спектра.

Различия в интенсивности окислительной модификации белков молочных смесей на козьем молоке для питания младенцев особенно ярко видны при сравнении показателей двух исследуемых смесей. Общее содержание карбонильных производных в молочной смеси «Kabrita-2 GOLD» значительно ниже (на 35.7%), чем в смеси «NAN GOAT Milk», в основном за счет АДНФГ ультрафиолетового спектра (на 43.3%). Сохранение на низком уровне альдегидных производных при некотором увеличении кетонов привело к отличиям в процентном соотношении АДНФГ и КДНФГ.

Содержание карбонильных соединений белков без воздействий дополнительных активаторов окисления характеризует базовый уровень

окисленных белков, и повышенная их концентрация в молочной смеси «NAN GOAT Milk» указывает на увеличение количества модифицированных белков.

Индукция окислительных процессов по реакции Фентона добавлением в инкубационную среду ионов железа и пероксида водорода вызвала значительное увеличение общего количества карбонильных производных белков молочных смесей как «NAN GOAT Milk» (на 154.3%), так и «Kabrita-2 GOLD» (на 145.2%), в основном, за счет альдегидных (на 166.4 и 153.6% соответственно) и несколько в меньшей, но равной степени в обеих смесях, за счет кетонных производных (на 122.2 и 122.7% соответственно) по сравнению с ультрапастеризованным молоком (табл. 2).

Содержание карбонильных производных белков козьего молока и детских молочных смесей при металл-катализируемом окислении ($M \pm m$, у.е /г белка)

Продукт Показатель	«Село Зеленое»	«NAN GOAT Milk»	«Kabrita-2 GOLD»
$S_{\text{омб}}$	143.20±0.80	364.20±0.62 $p < 0.0001$	351.1±0.77 $p < 0.0001$ $p_1 < 0.0001$
$S_{\text{АДНФГ}}$	104.40±0.88	278.10±0.63 $p < 0.0001$	264.80±0.85 $p < 0.0001$ $p_1 < 0.0001$
$S_{\text{КДНФГ}}$	38.80±0.70	86.20±0.79 $p < 0.0001$	86.40±0.83 $p < 0.0001$ $p_1 = 0.86$
$S_{\text{АДНФГ}_{\text{uv}}}$	81.80±0.32	220.40±0.85 $p < 0.0001$	205.90±0.87 $p < 0.0001$ $p_1 < 0.0001$
$S_{\text{КДНФГ}_{\text{uv}}}$	34.60±0.87	77.50±0.92 $p < 0.0001$	76.80±0.79 $p < 0.0001$ $p_1 = 0.57$
$S_{\text{АДНФГ}_{\text{vs}}}$	22.60±0.66	57.60±0.87 $p < 0.0001$	58.90±0.92 $p < 0.0001$ $p_1 = 0.32$
$S_{\text{КДНФГ}_{\text{vs}}}$	4.20±0.49	8.60±0.68 $p < 0.0001$	9.60±0.53 $p < 0.0001$ $p_1 = 0.26$
АДНФГ%	72.91±0.86	76.34±0.69 $p = 0.001$	75.40±0.64 $p = 0.01$ $p_1 = 0.33$
КДНФГ%	27.09±0.84	23.66±0.69 $p = 0.005$	24.60±0.64 $p = 0.03$ $p_1 = 0.33$
РАП	72.83±0.59	83.96±0.72 $p < 0.0001$	89.27±0.79 $p < 0.0001$ $p_1 < 0.0001$

П р и м е ч а н и е: $M \pm m$ означают величину средней и ошибки средней площади под кривой (S) в условных единицах на 1 г белка; p в сравнении с показателями ультрапастеризованного молока «Село Зеленое»; p_1 – в сравнении с данными молочной смеси «NAN GOAT Milk»; АДНФГ – альдегид-динитрофенилгидразоны; КДНФГ – кетон-динитрофенилгидразоны; S – площадь под кривой в условных единицах на 1 г белка; uv – ультрафиолетовая область спектра; vs – видимая область спектра, РАП – резервно-адаптационный потенциал.

В сравнении со спонтанным, многие показатели металл-катализируемого окисления в обеих молочных смесях увеличились в большей степени, чем в ультрапастеризованном молоке. Общее содержание окисленомодифицированных белков в смеси «NAN GOAT Milk» и «Kabrita-2 GOLD» больше в 2.54 и в 2.45 раза, в основном, за счет увеличения АДНФГ в 2.66 и 2.53 раза, соответственно. Следует отметить, что степень повышения уровня карбонильных производных имеет

близкие значения в двух изучаемых молочных смесях.

Определение металл-катализируемого окисления позволило для дополнительной оценки антиокислительного статуса исследуемого материала рассчитать резервно-адаптационный потенциал [18]. Выяснилось, что резервно-адаптационный потенциал молочных смесей выше, чем ультрапастеризованного молока – в смеси «NAN GOAT Milk» на 15.4%, а «Kabrita-2 GOLD» на 22.6%.

Полученные результаты свидетельствуют о значительном повышении показателей окислительной модификации белков молочной смеси на основе козьего молока «NAN GOAT Milk» по сравнению с ультрапастеризованным молоком при спонтанном окислении. Эти результаты совпадают с данными изучения окисления белков молочных смесей для питания младенцев на основе коровьего молока [13]. Повышенный уровень карбонильных соединений в молочной смеси при спонтанном окислении может быть результатом технологических факторов производства смесей – удаления воды путем концентрирования, испарения и распылительной сушки при производстве порошка, а не только высокотемпературного воздействия. В то же время стоит подчеркнуть практически отсутствие увеличения уровня карбонильных соединений при спонтанном окислении белков молочной смеси на основе козьего молока «Kabrita-2 GOLD», что можно объяснить повышенным антиоксидантным статусом, особенностями химического состава смеси.

Следует отметить, что в молочной смеси «Kabrita-2 GOLD» при отсутствии увеличения маркеров ранних стадий окислительной деструкции белков (АДНФГ) повышено содержание кетон-динитрофенилгидразонов (КДНФГ), которые считаются показателями агрегации белков, развивающейся на поздних этапах воздействия активных форм кислорода [16]. В соответствии с данной трактовкой, в результате воздействия различных факторов технологических процессов изготовления молочной смеси «NAN GOAT Milk», активация окислительных процессов приводит, вероятно, к фрагментации белков и, в меньшей степени, к их агрегации. Признаков повышенной фрагментации белков в молочной смеси «Kabrita-2 GOLD» не установлено.

Адаптация состава молочных смесей на основе козьего молока, предназначенного для питания новорожденных и детей грудного возраста, существенно повлияла на повышение антиоксидантного статуса смесей, о чем свидетельствует увеличение резервно-адаптационного потенциала молочных смесей, особенно «Kabrita-2 GOLD».

Заключение. Использование способа комплексной оценки содержания разных фракций карбонильных производных белков, определение резервно-адаптационного потенциала мо-

жет служить дополнительным критерием биологической ценности молочных смесей.

В сравнении с данными ультрапастеризованного молока и молочной смеси «Kabrita-2 GOLD» при спонтанном окислении увеличено общее содержание карбонильных производных белков в молочной смеси «NAN GOAT Milk», за счет альдегид-динитрофенилгидразонов. Установлено существенное увеличение по сравнению с ультрапастеризованным козьим молоком вторичных признаков окислительной модификации белков – кетонных производных как в смеси «Kabrita-2 GOLD», так и в смеси «NAN GOAT Milk».

Индукция окисления ионами железа вызвала значительное увеличение общего количества карбонильных производных белков молочных смесей как в «NAN GOAT Milk», так и «Kabrita-2 GOLD». Резервно-адаптационный потенциал выше молочной смеси «NAN GOAT Milk» на 15.4%, а «Kabrita-2 GOLD» на 22.6%, чем ультрапастеризованного козьего молока.

Определение показателей окислительной модификации белков детских молочных смесей может служить важным маркером биологической ценности продукта.

Литература

1. Jankiewicz M., van Lee L., Biesheuvel M., Brouwer-Brolsma E.M., van der Zee L., Szajewska H. The effect of goat-milk-based infant formulas on growth and safety parameters: A systematic review and meta-analysis // *Nutrients*. 2023. 15. 2110. <https://doi.org/10.3390/nu15092110>.
2. Сибирякова Н.В., Чапрасова О.А., Каргина А.А., Абдурахимова П.М. Распространенность грудного вскармливания // *Chronos*. 2021. Т. 6. № 11(61). С. 25–26.
3. Petrova S.Y., Khlgatian S.V., Emel'yanova O.Y., Pishulina L.A., Berzhets V.M. Current Data about Milk Caseins // *Russian Journal of Bioorganic Chemistry*. 2022. V. 48. № 2. P. 273–280. <https://doi.org/10.1134/s1068162022020170>
4. Maathuis A., Havenaar R., He T., Bellmann S. Protein digestion and quality of goat and cow milk infant formula and human milk under simulated infant conditions // *Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition*. 2017. 65(6) P. 661–666. <https://doi.org/10.1097/MPG.0000000000001740>.
5. Park Y.W., Juárez M., Ramos M., Haenlein G.F.W. Physico-chemical characteristics of goat and sheep milk // *Small Ruminant Research*. 2007. V. 68. № 1–2. P. 88–113. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2006.09.013>

6. Комарова О.Н. Возможные преимущества цельного козьего молока в детских адаптированных смесях для здорового ребенка // *Лечащий врач*. 2021. № 9. С. 9–14. <https://doi.org/10.51793/OS.2021.24.9.002>

7. 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>

8. Симоненко С.В., Фелик С.В., Симоненко Е.С., Антипова Т.А., Шувариов А.С., Пастух О.Н. Козье молоко – ценное сырье для производства детских молочных продуктов // *Овцы, козы, шерстяное дело*. 2017. № 4. С. 35–36.

9. Prosser C.G. Compositional and functional characteristics of goat milk and relevance as a base for infant formula // *Journal of Food Science*. 2021. 86(2). P. 257–265. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15574>

10. Захарова И.Н., Бережная И.В., Дмитриева Д.К., Оробинская Я.В. Адаптированные смеси на основе козьего молока в питании детей раннего возраста: когда, кому и как долго // *Медицинский Совет*. 2023. Т. 17. № 1. С. 90–95. <https://doi.org/10.21518/ms2023-036>

11. Chen Z., Leinisch F., Greco I., Zhang W., Shu N., Chuang C. Y. Characterisation and quantification of protein oxidative modifications and amino acid racemisation in powdered infant milk formula // *Free Radical Research*. 2019. 53(1) P. 68–81. <https://doi.org/10.1080/10715762.2018.1554250>

12. Lugonja N.M., Stanković D.M., Spasić S.D., Roglić G.M., Manojlović D.D., Vrvic M.M. Comparative electrochemical determination of total antioxidant activity in infant formula with breast milk // *Food Analytical Methods*. 2014. V. 7. P. 337–344. <https://doi.org/10.1007/s12161-013-9631-7>

13. Высокогорский В.Е., Розенфельд Ю.Г., Стрельчик Н.В., Подольникова Ю.А. Сравнительная характеристика интенсивности окислительной модификации белков молочных смесей, предназначенных для детского питания // *Вопросы питания*. 2023. Т. 92. № 5. С. 103–109. <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2023-92-5-103-109>

14. Hellwig M. Analysis of protein oxidation in food and feed products // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2020. 68(46). P. 12870–12885. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c00711>

15. Розенфельд Ю.Г., Высокогорский В.Е., Чернопольская Н.Л., Стрельчик Н.В. Окислительная модификация белков адаптированных молочных смесей на основе козьего молока // *Пищевая промышленность*. 2024. № 1. С. 61–64. <https://doi.org/10.52653/ppi.2024.1.1.011>

16. Беляева И.А., Бомбардинова Е.П., Турти Т.В. Выбор продукта для смешанного или искусственного вскармливания ребенка раннего возраста: полезные свойства смесей на основе козьего молока // *Вопросы современной педиатрии*. 2022. Т. 21. № 6. С. 438–446. <https://doi.org/10.15690/vsp.v21i6.2469>

17. Дубинина Е.Е., Бурмистров С.О., Ходов Д.А., Поротов Г.Е. Окислительная модификация белков сыворотки крови человека, метод ее определения // *Вопросы медицинской химии*. 1995. Т. 41. № 1. С. 24–26.

18. Способ комплексной оценки содержания продуктов окислительной модификации белков в тканях и биологических жидкостях: пат. 2524667. Рос. Федерация № 201310261815, заявл. 21.01.13; опублик. 27.07.2014. Бюл. № 21. 9 с.

References

1. Jankiewicz M., van Lee L., Biesheuvel M., Brouwer-Brolsma EM., van der Zee L., Szajewska H. The effect of goat-milk-based infant formulas on growth and safety parameters: A systematic review and meta-analysis // *Nutrients*, 2023, 15, 2110. <https://doi.org/10.3390/nu15092110>

2. Sibirjakova N.V., Chaprasova O.A., Kargina A.A., Abdurahimova P.M. Rasprostranennost' grudnogo vskarmlivaniya // *Chronos*, 2021, vol. 6, no. 11(61), pp. 25–26.

3. Petrova S.Y., Khlgatian S.V., Emel'yanova O.Y., Pishulina L.A., Berzhets V.M. Current Data about Milk Caseins // *Russian Journal of Bioorganic Chemistry*, 2022, vol. 48, no. 2, pp. 273–280. <https://doi.org/10.1134/s1068162022020170>

4. Maathuis A., Havenaar R., He T., Bellmann S. Protein digestion and quality of goat and cow milk infant formula and human milk under simulated infant conditions // *Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition*, 2017, 65(6), pp. 661–666. <https://doi.org/10.1097/MPG.0000000000001740>

5. Park Y.W., Juárez M., Ramos M., Haenlein G.F.W. Physico-chemical characteristics of goat and sheep milk // *Small Ruminant Research*, 2007, vol. 68, no. 1–2, pp. 88–113. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2006.09.013>

6. Komarova O. N. Vozmozhnye preimushhestva cel'nogo koz'ego moloka v detskikh adaptirovannykh smesjah dlja zdorovogo rebenka // *Lechashij vrach*, 2021, no. 9, pp. 9–14. <https://doi.org/10.51793/OS.2021.24.9.002>

7. 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>

8. Simonenko S.V., Felik S.V., Simonenko E.S., Antipova T.A., Shuvarikov A. S., Pastuh O. N. Koz'e moloko – cennoe syr'e dlja proizvodstva detskikh molochnykh produktov // *Ovcy, kozy, sherstjanoe delo*, 2017, no. 4, pp. 35–36.

9. Prosser C.G. Compositional and functional characteristics of goat milk and relevance as a base for infant formula // *Journal of Food Science*, 2021, 86(2), pp. 257–265. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15574>

10. Zaharova I.N., Berezhnaja I.V., Dmitrieva D.K., Orobinskaja Ja.V. Adaptirovannye smesi na osnove koz'ego moloka v pitanii detej rannego vozrasta:

kogda, komu i kak dolgo // *Medicinskij Sovet*, 2023, vol. 17. no. 1, pp. 90-95. <https://doi.org/10.21518/ms2023-036>

11. Chen Z., Leinisch F., Greco I., Zhang W., Shu N., Chuang C.Y. Characterisation and quantification of protein oxidative modifications and amino acid racemisation in powdered infant milk formula // *Free Radical Research*, 2019, 53(1), pp. 68-81. <https://doi.org/10.1080/10715762.2018.1554250>

12. Lugonja N.M., Stanković D.M., Spasić S.D., Roglić G.M., Manojlović D.D., Vrvic M.M. Comparative electrochemical determination of total antioxidant activity in infant formula with breast milk // *Food Analytical Methods*, 2014, vol. 7, pp. 337-344. <https://doi.org/10.1007/s12161-013-9631-7>

13. Vysokogorskiy V.E., Rozenfel'd Ju.G., Strel'chik N.V., Podol'nikova Ju.A. Sravnitel'naja harakteristika intensivnosti okislitel'noj modifikacii belkov molochnyh smesej, prednaznachennyh dlja detskogo pitaniya // *Voprosy pitaniya*, 2023. vol. 92, no. 5, pp. 103-109. <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2023-92-5-103-109>

14. Hellwig M. Analysis of protein oxidation in food and feed products // *Journal of Agri-cultural and*

Food Chemistry, 2020, 68(46), pp. 12870-12885. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c00711>

15. Rozenfel'd Ju.G., Vysokogorskiy V.E., Chernopol'skaja N.L., Strel'chik N.V. Okislitel'naja modifikacija belkov adaptirovannyh molochnyh smesej na osnove koz'ego moloka // *Pishhevaja promyshlennost'*, 2024, no. 1, pp. 61-64. <https://doi.org/10.52653/ppi.2024.1.1.011>

16. Beljaeva I.A., Bombardirova E.P., Turti T.V. Vybora produkta dlja smeshannogo ili iskusstvennogo vskarmlivaniya rebenka rannego vozrasta: poleznye svoystva smesej na osnove koz'ego moloka // *Voprosy sovremennoj pediatrii*, 2022, vol. 21, no. 6, pp. 438-446. <https://doi.org/10.15690/vsp.v21i6.2469>

17. Dubinina E.E., Burmistrov S.O., Hodov D.A., Porotov G.E. Okislitel'naja modifikacija belkov syvorotki krovi cheloveka, metod ee opredeleniya // *Voprosy medicinskoj himii*, 1995, vol. 41, no. 1, pp. 24-26.

18. Sposob kompleksnoj ocenki soderzhaniya produktov okislitel'noj modifikacii belkov v tkanjah i biologicheskikh zhidkostyah: pat. 2524667. Ros. Federacija № 201310261815, zajavl. 21.01.13; opubl. 27.07.2014. *Bjul.* no. 21. 9 p.

CARBONYL DERIVATIVES OF ADAPTED PROTEINS MIXTURES BASED ON GOAT'S MILK

© Yu.G. Rosenfeld, Yu.A. Podolnikova, V.E. Vysokogorskiy, N.V. Strelchik

Omsk State Agrarian University Named After P.A. Stolypin,
1, Institutskaya ploshchad', 644008, Omsk, Russian Federation

The determination of carbonyl derivatives of amino acids is recognized as a specific marker of oxidative modifications of proteins. The research materials were samples of adapted infant formula based on goat's milk: "NAN GOAT Milk", "Kabrita-2 GOLD" and samples of whole, ultra-pasteurized selected goat milk "Selo Zelenoe" (JSC "Milkom", Russia). The level of carbonyl compounds was determined by the absorption spectra of dinitrophenylhydrazones, which were recorded on a UNICO 2800 spectrophotometer. To characterize the total level of carbonyl compounds and analyze the ratio of dinitrophenylhydrazones, a method for the complex assessment of products of oxidative modification of proteins was used. The content of carbonyl derivatives of proteins in the baby formula "Kabrita-2 GOLD" does not differ significantly from the indicators of ultra-pasteurized milk, and in the baby formula "NAN GOAT Milk" it was increased by 51.4% due to aldehyde-dinitrophenylhydrazones. Unlike aldehydes, the total content of ketone derivatives is increased both in the infant formula "NAN GOAT Milk" and in the mixture "Kabrita-2 GOLD". The induction of oxidative processes by the Fenton reaction caused a significant increase in the total amount of carbonyl derivatives of infant formula proteins of both "NAN GOAT Milk" and "Kabrita-2 GOLD". The reserve-adaptive potential of adapted milk mixtures is higher in comparison with the indicator of ultra-pasteurized milk in the NAN GOAT Milk mixture by 15.4%, and in the Kabrita-2 GOLD mixture by 22.6%. Determination of the content of carbonyl derivatives of proteins, assessment of the reserve and adaptive potential can serve as an additional criterion for the biological value of milk mixtures for the nutrition of children.

Keywords: goat's milk, milk mixtures, carbonyl derivatives of proteins, aldehyde-dinitrophenylhydrazones, ketone-dinitrophenylhydrazones, oxidative modification of proteins, reserve and adaptation potential.