

Субстанции из пантов марала (*Cervus elaphus sibiricus*), полученные путем фракционирования – перспективный ингредиент для производства функциональных продуктов



М. Г. Кротова^{1,*}, С. М. Сафонов²,
И. Н. Гришаева¹, А. А. Неприятель¹

¹ Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий, Барнаул, Россия

² ООО «Вистерра», с. Алтайское, Россия

Поступила в редакцию: 04.07.2025

*e-mail: otdel_wniipo@mail.ru

Принята после рецензирования: 31.08.2025

© М. Г. Кротова, С. М. Сафонов, И. Н. Гришаева,

Принята к публикации: 02.09.2025

А. А. Неприятель, 2025



Аннотация.

Панты – неокостеневшие рога оленей, снятые в период роста, распространенное сырье для изготовления биологически активных добавок с доказанным профилактическим и лечебным действием. Для расширения возможности применения пантовой продукции в составе функционального питания предлагается использование технологии разделения сырого панта на фракции. Цель исследования – оценить биохимический состав субстанций из пантов марала (*Cervus elaphus sibiricus*), полученных путем фракционирования.

Материалом исследования послужили сырье панты марала. Сыре фракционировали посредством перколяции, высокотемпературного гидролиза и субкритической экстракции. Все пробы высушивали до влажности 5–10 %. В представленных образцах определяли массовую долю органических и минеральных веществ, массовую концентрацию макро- и микроэлементов, аминокислот, жирнокислотный состав, молекулярно-массовое распределение фракций пептидов.

В кровяной и хрящевой субстанциях преобладала белковая фракция (74,29–80,59 %) высокой биологической ценности с показателями аминокислотного скора по треонину, фенилаланину, изолейцину и триптофану от 97 до 227 %. Анализ пептидных фракций показал наличие низкомолекулярных пептидов массой < 2,9 кДа с преобладающим их количеством в составе хрящевой субстанции. По минеральным компонентам показано преобладание кальция (16590,00 мг/100 г), натрия (799,10 мг/100 г), магния (319,80 мг/100 г) и цинка (6,40 мг/100 г) в составе субстанции из крови и лимфы; калия (408,60 мг/100 г) и железа (54,30 мг/100 г) в хрящевой фракции. Основу минеральной фракции составляет фосфор в количестве 14000,00 мг/100 г.

На основании данных биохимического состава субстанций из пантов марала (*Cervus elaphus sibiricus*), полученных путем фракционирования, при сравнительной оценке с исходным сырьем показана высокая биологическая ценность, что позволяет установить целесообразность их включения в функциональные продукты питания людей.

Ключевые слова. Марал, субстанция, фракционирование, функциональный продукт, панты, биохимический состав, пептиды, аминокислоты

Финансирование. Научно-исследовательская работа по теме «Разработка нового функционального продукта на основе комплексной биотехнологии переработки сырых пантов маралов в сочетании с лекарственными травами Алтайского края» проведена при государственной поддержке за счет выделяемых средств гранта Управления Алтайского края по пищевой, перерабатывающей промышленности и биотехнологиям (соглашение № 7 от 22.06.2023) и средств ООО «Вистерра», а также Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Минобрнауки России) в ФГБНУ ФАНЦА.

Для цитирования: Кротова М. Г., Сафонов С. М., Гришаева И. Н., Неприятель А. А. Субстанции из пантов марала (*Cervus elaphus sibiricus*), полученные путем фракционирования – перспективный ингредиент для производства функциональных продуктов. Техника и технология пищевых производств. 2025. Т. 55. № 4. С. 819–832. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-4-2611>

Fractionated Substances from Maral (*Cervus elaphus sibiricus*) Velvet Antlers in Functional Foods



Maria G. Krotova^{1,*}, Sergey M. Safronov²,
Irina N. Grishaeva¹, Aleksey A. Nepriyatel¹

¹ Federal Altai Scientific Center for Agrobiotechnology, Barnaul, Russia

² Visterra Ltd, Altayskoye, Russia

Received: 04.07.2025

*e-mail: otdel_wniipo@mail.ru

Revised: 31.08.2025

© M.G. Krotova, S.M. Safronov, I.N. Grishaeva, A.A. Nepriyatel, 2025

Accepted: 02.09.2025



Abstract.

Velvet antlers are non-ossified antlers of maral (*Cervus elaphus sibiricus*) harvested during the growth phase. They are a common raw material in biologically active supplements with reliable preventive and therapeutic effects. This new technology provides a high-quality fractionation of raw velvet antlers that expands the potential application of velvet antler products in functional foods. The article describes the biochemical profile of substances derived from maral velvet antlers obtained by fractionation. The raw maral velvet antlers were fractionated using percolation, high-temperature hydrolysis, and subcritical extraction. The samples were dried to a moisture content of 5–10%. The analysis involved the following parameters: proteins, fats, ash, moisture, macro- and microelements, amino acids, fatty acids, and molecular weight distribution of peptide fractions.

The blood and cartilage-derived substances contained a high-value protein fraction (74.29–80.59%) with an amino acid score ranging from 97 to 227% for threonine, phenylalanine, isoleucine, and tryptophan. The analysis of peptide fractions revealed the presence of low-molecular-weight peptides (< 2.9 kDa), with the highest concentration in the cartilage-derived substance. Regarding the mineral composition, the blood and lymph fraction proved to be rich in calcium (16,590.00 mg/100 g), sodium (799.10 mg/100 g), magnesium (319.80 mg/100 g), and zinc (6.40 mg/100 g) while the cartilage contained a lot of potassium (408.60 mg/100 g) and iron (54.30 mg/100 g). Phosphorus was the predominant element across all mineral fractions, with a concentration of 14,000.00 mg/100 g.

The biochemical composition of the substances fractionated from maral (*Cervus elaphus sibiricus*) velvet antlers demonstrated a high biological value and a strong potential for the functional food industry.

Keywords. *Cervus elaphus sibiricus*, substance, fractionation, functional product, antlers, biochemical composition, peptides, amino acids

Funding. The work was part of State Assignment to the Administration for the Food Industry and Biotechnologies, Altai Region (Agreement No. 7, June 22, 2023): New functional products based raw maral antlers and medicinal herbs of the Altai Region, with financial support from Visterra Ltd and the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, and the Altai Federal Scientific Center for Agrobiotechnology.

For citation: Krotova MG, Safronov SM, Grishaeva IN, Nepriyatel AA. Fractionated Substances from Maral (*Cervus Elaphus Sibiricus*) Velvet Antlers in Functional Foods. Food Processing: Techniques and Technology. 2025;55(4):819–832. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-4-2611>

Введение

Проблемы питания населения становятся все более актуальными, поскольку еда – ключевой элемент в регулировании здоровья и болезней человека [1]. Согласно мировой статистике смертей, в год от неоптимального рациона умирает 11 млн человек [2]. Существуют исследования влияния нутритивного статуса на физическое, психическое, функциональное здоровье [3] и на когнитивные способности пожилых людей [4]. Посредством научных работ в области нутригеномики выявлена роль

питания в комплексной регуляции метаболических процессов и микробиома, что имеет прямое значение для профилактики заболеваний [5]. В связи с этим использование в составе пищи натуральных ингредиентов, содержащих миорные вещества с биологической активностью, является одним из важнейших направлений в пищевой промышленности. Продукты, которые, помимо основной питательной ценности, имеют определенное влияние на здоровье, называются функциональными [6]. Появляется все больше доказательств

того, что присутствие активных веществ в продуктах функциональной направленности может регулировать физиологическую активность и способствовать укреплению здоровья человека [7]. Например, углеводы и электролиты добавляют в напитки для предотвращения обезвоживания, связанного с физической нагрузкой [8]. Chakrabarti *et al.* изучали способность функциональной пищи предотвращать некоторые хронические заболевания, такие как ожирение, болезни сердца, диабет 2 типа и некоторые виды рака [9].

Среди огромного разнообразия функциональных ингредиентов растительного и животного происхождения особое место занимают панты оленей, эффективность применения которых при различных патологических состояниях неоднократно доказана в трудах как российских, так и зарубежных исследователей [10–12]. Они – единственный в мире комплекс животного происхождения, обладающий мощным профилактическим, оздоровляющим действием, а также признанное целесообразное для получения лекарств сырье [13].

Панты – неокостеневшие рога, снятые в период роста [14], уникальный орган для млекопитающих, демонстрирующий цикл полной ежегодной регенерации [15]. Гистология показывает, что пант состоит из нескольких тканей, таких как бархатистая кожа, хрящи, кости, нервы и кровеносные сосуды [16].

Благодаря своей структуре и строению панты имеют уникальный химический состав. К важным биологически активным ингредиентам пантов благородного оленя относятся водорастворимые белки [17]. На сегодняшний день из пантов марала изготавливают различные формы профилактических и лекарственных препаратов в виде экстрактов, капсул, таблеток, отличающихся высокой стоимостью и доступных ограниченному числу людей. Панты в составе продуктов питания могут придать им определенные функциональные свойства, обогатить важными биологически активными компонентами и в конечном итоге позволят расширить круг потребителей здоровой продукции.

Высокая биологическая активность и биохимический состав пантов марала позволяют оценить его как возможный ингредиент для функциональных продуктов. Однако использование нативного пантового продукта в составе пищи затруднительно вследствие плохой растворимости и усвоемости.

Перспективным направлением переработки пантовой продукции является фракционирование сырья, основанное на разделении наименее стабильных биологически активных веществ на группы, близкие по своей химической природе. Разделение фракций происходит по принципу растворимости в средах переменной полярности и при разных условия, что, в свою очередь, является функцией их химических свойств. Возможность дальнейшего применения пантовых субстанций, полученных путем фракционирования, опосредована рентабельностью при производстве благодаря безотходной технологии, а следовательно –

и снижением затрат себестоимости. Получение различных видов субстанций из пантов позволит расширить сферу их дальнейшего использования в составе пищевых и продуктов функциональной направленности.

Важно продолжать изучение отдельных минорных компонентов, поскольку фармакологический и саногенетический потенциал биологических препаратов связан с их биохимическим составом, анализ которого позволит не только определить преимущество предлагаемого способа переработки пантов, но и выявить возможность их дальнейшего применения.

Цель исследования – оценить биохимический состав субстанций из пантов марала, полученных путем фракционирования.

Объекты и методы исследования

Научно-исследовательская работа проводилась во Всероссийском научно-исследовательском институте пантового оленеводства ФГБНУ «Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий» и ООО «Вистерра» в 2023 г.

В качестве материала исследования использовали сырье панты марала (*Cervus elaphus sibiricus*). Образцы отобраны в период с 15 июня по 15 июля 2023 г. от 5 клинически здоровых самцов маралов.

Для транспортировки от маралофермы до лаборатории сырье замораживали при -20°C , дефростировали, промывали в струе холодной воды, удаляли шкуру. Пант нарезали на слайсы, а шкуру измельчали на мясорубке. Затем высушивали до влажности 5–10 % с применением вакуумно-импульсной сушки при температуре 50°C и измельчали до порошкообразного состояния с размером частиц 0,10–1,15 мкм (проба № 1 – нативный порошок из панта; проба № 2 – нативный порошок из шкуры панта). Из оставшегося материала получали субстанции путем разделения панта на фракции. Посредством перколяции экстрагировали кровяную субстанцию. Далее пант подвергали высокотемпературному гидролизу, который позволял выделить в водный экстракт органическую составляющую рога, с помощью фильтрации отделяли неорганическую его часть. Из шкуры панта в совокупности с субкритической экстракцией и органическими растворителями получали жировую составляющую. На следующем этапе проводили концентрирование экстрактов на вакуум-выпарных аппаратах различной производительности от 0,5 до 25,0 л/ч с последующим высушиванием до влажности 5–10 % вакуум-импульсными сушильными установками. При фракционировании получены следующие пробы: проба № 3 – субстанция из крови и лимфы, проба № 4 – хрящевая субстанция, проба № 5 – минеральная субстанция, проба № 6 – липидная субстанция.

Во всех представленных образцах определяли химический состав. Показатели влажности и золы определяли в соответствии с ГОСТ 24027.2-80, массовой доли белка – по методу Кельдаля по ГОСТ 25011-2017,

массовой доли жира – кислотным методом в соответствии с ГОСТ 5867-90. Определение массовой концентрации макро- и микроэлементов – методом атомно-адсорбционной спектроскопии на спектрофотометре Shimadzu AA-7000 (Shimadzu, Япония) по ГОСТ Р ИСО 27085-2012.

Методика определения аминокислот основана на хроматографическом анализе с применением специализированного оборудования (Shimadzu, Япония) с диодно-матричным-детектированием на длине волны 254 нм. В качестве неподвижной фазы использовали колонку на основе селикогеля и диоксида кремния (C_{18}) с диаметром частиц 5 микрон размером $250 \times 4,6$ мм (MZ-Analysentechnik GmbH, США). Хроматографический анализ осуществлялся в градиентном режиме при расходе элюента 1,0–1,2 мл/мин и температуре термостата колонки 40 °С. В качестве подвижной фазы брали смесь 6 мМ раствора ацетата натрия с pH 5,50 (компонент А), раствор 2-пропанола концентрацией 1 % в ацетонитриле (компонент В) и 6 мМ раствор ацетата натрия с pH 4,05 (компонент С).

Определение массовой доли метиловых эфиров жирных кислот (МЭЖК) проводили методом газовой хроматографии по ГОСТ 31663-2012.

Статистическую обработку результатов биохимического состава осуществляли путем расчета средних значений 5 параллельных определений (\bar{X}) и ошибки среднего значения (s) программой MS Excel в соответствии с материалами Н. И. Коростелевой [18]. Разница средних значений считалась достоверно значимой при $p < 0,05$.

Результаты и их обсуждение

Ценность пантов оленей определяет, прежде всего, их химический состав. Согласно предыдущим исследованиям, их биохимия может варьировать в зависимости от таких факторов, как вид оленей [19], вес пантов, живая масса [20] и стадия роста панта [21].

В течении многих лет проводятся исследования различных способов извлечения биологически активных компонентов из пантов, например, ферментация [22], водная [23] и спиртовая экстракция [24], которые в значительной мере отличаются по действию на организм из-за разного количества содержания БАВ.

Проведен анализ химического состава пантов сибирского марала (табл. 1).

Нативный порошок из пантов характеризовался высоким содержанием как белковых, так и зольных компонентов, процентное соотношение которых достоверно не отличалось. Полученные данные согласуются с источником [25], в котором упоминалось, что панты содержат более 50 % сухой массы белка. В нативном порошке из кожи отмечено преобладающее содержание белка и минимальный уровень зольных элементов. Жировая фракция представлена в составе пантов в незначительном количестве, причем основная ее часть сконцентрирована в коже.

Процесс фракционирования способствовал разделению групп макронутриентов на отдельные биосубстанции. Процессы переколяции и высокотемпературного гидролиза способствовали экстрагированию из ткани рога порядка 85 % белковых компонентов, при этом в субстанции из крови и лимфы и хрящевой субстанции достоверных отличий в количественном содержании белка не выявлено. Часть протеиновых компонентов переходила в состав минеральной и липидной субстанции в количестве 15,0 и 4,0 % соответственно. При фракционировании пантов до 78,8 % зольных веществ перешло в состав минеральной субстанции; 11,2 % экстрагировалось в образец из крови и лимфы; а 1,7 % – в хрящевую субстанцию.

Применение субкритической экстракции кожи панта с использованием органических растворителей способствовало получению максимального количества извлекаемого компонента при минимальной концентрации дополнительных примесей. Массовая доля жира в липидной субстанции составляла до 95 %.

При решении следующей задачи проведено изучение значений аминокислот в субстанциях из пантов марала (табл. 2).

Исходя из анализа данных по химическому составу пантов следует, что среди представленных групп веществ особого внимания заслуживает белковая составляющая. К основным биологически активным компонентам пантов относятся полипептиды и белки [26]. Огромное влияние на биологическую активность оказывают свободные аминокислоты, каждая из которых является не только исходным продуктом в процессе биосинтеза белковых веществ, белковоподобных витаминов и гормонов, но и сама при этом претерпевает сложные биохимические превращения. Изучение состава белковой фракции пантовой продукции важно

Таблица 1. Химический состав субстанций из пантов марала

Table 1. Substances from maral velvet antlers: Chemical composition

Химический состав ($\bar{X} \pm s$), г/100 г	Пробы субстанции					
	Проба № 1 (n = 5)	Проба № 2 (n = 5)	Проба № 3 (n = 5)	Проба № 4 (n = 5)	Проба № 5 (n = 5)	Проба № 6 (n = 5)
Массовая доля белка	49,85 ± 3,99	76,3 ± 6,10	80,59 ± 6,45	74,29 ± 5,94	15,36 ± 2,30	4,15 ± 0,62
Массовая доля жира	0,76 ± 0,15	8,07 ± 0,50	0,25 ± 0,07	0,31 ± 0,01	0,99 ± 0,02	95,30 ± 3,03
Массовая доля золы	42,83 ± 2,80	4,11 ± 0,36	11,23 ± 1,16	1,73 ± 0	78,82 ± 1,07	1,85 ± 0,59
Массовая доля влаги	7,73 ± 0,19	7,92 ± 0,20	6,49 ± 0,16	5,76 ± 0,14	3,62 ± 0,09	7,06 ± 0,18

Таблица 2. Состав аминокислот субстанций из пантов

Table 2. Amino acids from maral velvet antlers

Массовая доля аминокислоты ($\bar{X} \pm s$), г/100 г	Пробы субстанции				
	Проба № 1 (n = 5)	Проба № 2 (n = 5)	Проба № 3 (n = 5)	Проба № 4 (n = 5)	Проба № 5 (n = 5)
Аспарагиновая кислота	0,68 ± 0,03	0,94 ± 0,05***	1,49 ± 0,08	1,20 ± 0,06	0,63 ± 0,15*
Аланин	2,07 ± 0,11	4,60 ± 0,23***	3,73 ± 0,21	4,38 ± 0,25	1,14 ± 0,56**
Глутаминовая кислота	2,03 ± 0,10	3,54 ± 0,18***	3,97 ± 0,19	3,27 ± 0,16	0,59 ± 0,12***
Гидроксипролин	1,93 ± 0,20	2,76 ± 0,63	0,16 ± 0,01	5,31 ± 1,24***	1,11 ± 0,67*
Пролин	3,90 ± 0,15	5,76 ± 0,29**	4,86 ± 0,28	4,15 ± 0,22	1,24 ± 0,96*
Глицин	4,53 ± 0,25	8,71 ± 0,95**	3,64 ± 0,18	3,17 ± 0,16	2,06 ± 1,03
Серин	1,08 ± 0,02	2,73 ± 0,19***	5,20 ± 0,30	4,79 ± 0,24*	1,38 ± 0,87*
Цистин	0,30 ± 0,01	0,15 ± 0,08	0,63 ± 0,03	0,70 ± 0,01	0,07 ± 0,10***
Тирозин	2,10 ± 0,25	2,94 ± 0,13	2,54 ± 0,13	2,25 ± 0,11	0,70 ± 0,12***
Метионин	0,88 ± 0,11	0,90 ± 0,15	0,66 ± 0,03	0,94 ± 0,06**	0,90 ± 0,25
Фенилаланин	1,20 ± 0,06	1,25 ± 0,08	3,71 ± 0,19	3,30 ± 0,05	0,60 ± 0,34***
Лизин	0,52 ± 0,03	0,50 ± 0,10	4,00 ± 0,20	0,42 ± 0,17***	0,24 ± 0,10
Треонин	1,48 ± 0,07	3,00 ± 0,19***	2,55 ± 0,13	2,25 ± 0,01	0,34 ± 0,15***
Триптофан	0,68 ± 0,03	0,54 ± 0,09	1,31 ± 0,07	1,19 ± 0,13	0,24 ± 0,12***
Валин	0,76 ± 0,04	1,56 ± 0,15**	2,19 ± 0,11	1,79 ± 0,06***	0,36 ± 0,20***
Лейцин	1,99 ± 0,11	3,98 ± 0,22***	0,55 ± 0,03	2,43 ± 0,09***	1,09 ± 0,67
Изолейцин	1,84 ± 0,09	1,60 ± 0,08	5,86 ± 0,25	4,66 ± 0,12**	0,96 ± 0,54**
Аргинин	0,34 ± 0,02	0,69 ± 0,03***	1,16 ± 0,06	1,01 ± 0,23	0,54 ± 0,32
Гистидин	2,17 ± 0,12	4,60 ± 0,56**	2,04 ± 0,03	1,49 ± 0,05	0,34 ± 0,17**
Сумма аминокислот	30,48 ± 1,25	50,93 ± 2,54***	50,25 ± 1,12	48,70 ± 0,95**	14,53 ± 2,76***

Примечание: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$ – разница достоверна в сравнении с предыдущим значением.

Note: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$ – reliable difference from the previous value.

для расширения сфер его применения в продуктах питания функциональной направленности. При этом аминокислотный состав может значительно отличаться в зависимости от вида субстанции. Поскольку содержание протеина в липидной субстанции составляло менее 5 %, дальнейшее исследование аминокислотного состава данной фракции не проводилось, т. к. при суточной потребности человека в белке (65–75 г/сутки) применение ее в качестве белкового компонента функциональных продуктов нецелесообразно.

В пантах марала определено 19 аминокислот, общая их сумма в нативном порошке составила 30,48 г/100 г. В субстанциях, полученных при фракционировании, данный показатель увеличивался в 1,5–1,7 раза, за исключением минеральной фракции. В коже панта (нативный порошок) общее содержание аминокислот в 1,7 раза выше, чем в теле панта (проба № 1).

В нативных пробах (№ 1, № 2) преобладали пролин, глицин, аланин и глутаминовая кислота, составляющие 41–44 % от общего количества аминокислот. Высокое содержание пролина и глицина характерно для коллагена [27], в большом количестве присутствующего в соединительной и костной тканях пантов [28]. В свою очередь, значительный уровень глутаминовой кислоты связан с тем, что, по мнению ряда авторов, ее остатки, несущие отрицательный электричес-

кий заряд, участвуют в связывании коллагена, а также гидроксиапатита в костном матриксе за счет притягивания положительно заряженных ионов кальция и фосфата [29]. В нативном порошке из кожи панта (проба № 1) также отмечено значительное количество гистидина и лейцина.

Количественное содержание отдельных аминокислот варьировало в зависимости от способа экстракции. Достоверные результаты выявлены по концентрации серина, лизина, валина, изолейцина, метионина, лейцина и гидроксипролина. Наиболее значимые отличия установлены по концентрации гидроксипролина: его уровень в хрящевой субстанции в 33,0 раза выше, чем уровень субстанции из крови и лимфы. Гидроксипролин – уникальная для коллагена аминокислота, играющая важную роль в стабилизации структуры тройной спирали [30]. В пантах идентифицирован коллаген I, II, X и XI типов [31]. Для разрушения молекулы коллагена необходимо создание определенных условий, в частности применялась высокая температура гидролиза.

Значительная разница установлена по лизину, количество которого в субстанции из крови и лимфы в 9,5 раз выше, чем в хрящевой. В составе животных тканей наиболее богат лизином гемоглобин, полностью извлекаемый в процессе перколяции.

В ходе анализа аминокислотного состава важен не только учет количественных показателей, но и соотношений, характеризующих сбалансированность и биологическую ценность. Для выражения биологической ценности белковой составляющей продуктов существует общепризнанный метод аминокислотного скора, основанный на сравнении аминокислотного состава исследуемого продукта с эталонным белком [32]. В таблице 3 приведены основные показатели биологической ценности белковой составляющей субстанций из пантов марала с учетом эталонных значений незаменимых аминокислот по шкале ФАО/ВОЗ [33].

В белке всех представленных образцов лимитирующими были валин, лейцин, метионин и лизин. В нативном порошке из пантов и в хрящевой субстанции минимальный скор отмечен по лизину, в субстанции из крови и лимфы – по лейцину. Высокие значения скора – по треонину, фенилаланину, изолейцину, триптофану и гистидину. Применение процесса перколяции и высокотемпературного гидролиза способствовало увеличению концентрации изолейцина на 70–97 % по сравнению с нативным порошком из пантов. Концентрация гистидина, напротив, при фракционировании снижалась в среднем на 41–53 %.

Анализ аминокислотного состава пантов марала показал, что как нативный порошок, так и субстанции, полученные на их основе, не являются сбалансированными продуктами по аминокислотам. Но наличие высоких концентраций отдельных незаменимых аминокислот позволяет положительно оценить перспективу применения субстанций из пантов марала в качестве дополнительного ингредиента в составе белковых функциональных продуктов для обогащения их триптофаном, изолейцином, фенилаланином и гистидином.

Несмотря на несбалансированность, наличие каждой из аминокислот в составе пантовой продукции имеет значение как показатель биологической активности. Особенно важно присутствие определенных последовательностей аминокислот, образующих так называемые пептиды. Это небольшие фрагменты белков,

полученные из растений, животных и микроорганизмов, биологическая активность которых зависит от молекулярной массы, аминокислотного состава [34, 35].

Имеются данные об антидиабетических [36], антигипертензивных [37], антимикробных [38], противораковых [39], противовирусных [40] свойствах различных пептидов. Показаны результаты исследования ингибитирующей ксантиноксидазной активности аминокислотных последовательностей длиной от 4 до 7 аминокислот [41]. Их фармакологические эффекты достигаются за счет различных механизмов действия, таких как активация или ингибирование клеточной поверхности, внутриклеточных рецепторов и ферментов, модуляция белок-белковых взаимодействий и т. д. [42].

Биологически активные пептиды находят широкое применение в составе специализированных пищевых продуктов, в частности в спортивном питании [43], функциональных продуктах [44].

Пептиды представляют собой молекулы на основе 2–50 аминокислот [45]. При этом биологически активные пептиды состоят из аминокислотных остатков в количестве менее 20 и имеют молекулярную массу ниже 10 кДа [46]. Пептиды с размером молекулы менее 3 кДа имеют наибольшую биологическую активность.

Активные пептиды с низким молекулярным весом обладают более высокой биодоступностью, поскольку они легко проникают через желудочно-кишечные мембранны и кожные барьеры [47].

На сегодняшний день представлены различные исследования по выделению пептидов из пантов. В частности, Suttie *et al.* определили наличие в неоссифицированных областях рогов оленей пептида IGF-1, основного фактора роста хряща [48], имеющего молекулярную массу 7,6 кДа. Zhao *et al.* идентифицировали четыре противовоспалительных пептида в гидролизатах белков пантов: VH (Val–His), LAN (Leu–Ala–Asn), AL (Ala–Leu) и IA (Ile–Ala) [49].

В продуктах переработки пантов марала как потенциального источника пептидов содержатся активные и неактивные пептидные молекулы.

Таблица 3. Биологическая ценность белковой составляющей субстанций из пантов марала

Table 3. Proteins from maral velvet antlers: Biological value

Аминокислота	Проба № 1		Проба № 2		Проба № 3		Проба № 4	
	А	АКС	А	АКС	А	АКС	А	АКС
Треонин	2,97	95	3,93	127	3,16	102	3,02	97
Валин	1,52	35	2,04	47	2,72	63	2,41	56
Фенилаланин + Тирозин	6,60	127	4,33	83	7,75	149	7,47	144
Изолейцин	3,69	115	2,10	66	7,27	227	6,27	196
Лейцин	3,99	60	5,22	79	0,68	10	3,27	50
Метионин + цистин	2,37	88	2,82	104	1,60	59	2,21	82
Триптофан	1,36	160	0,71	84	1,62	190	1,60	188
Лизин	1,04	18	0,66	12	4,96	87	0,56	10
Гистидин	4,30	215	6,02	301	2,53	127	2,00	100

Примечание: А – содержание аминокислоты, г/100 г белка; АКС – аминокислотный скор.

Note: А – amino acid content, g/100 g protein; АКС – amino acid score.

В ходе научного исследования определено распределение пептидных фракций по молекулярным массам в зависимости от вида субстанции (рис. 1, 2).

В нативном порошке из пантов марала и кожи пантов основная часть белковых компонентов представлена высокомолекулярными пептидами в пределе масс более 6 кДа. Низкомолекулярные пептиды менее 3 кДа составляли не более 4–5 %.

При переработке и фракционировании пантов наблюдалось изменение процентного соотношения пептидов. Для хрящевой субстанции характерно нарастание процентного содержания пептидов с меньшей молекулярной массой. Так, 33,8 % белковой составляющей приходилось на пептиды с молекулярной массой < 2,9 кДа, а 20,9 % – на пептиды массой от 2,9 до 6,4 кДа. Данная тенденция свидетельствует о гидролитическом расщеплении белка при высокотемпературном гидролизе.

В субстанции из крови и лимфы панта основная масса пептидов находилась в среднем интервале молекулярных масс, в частности 26,7 % составляли пептиды 56,5–22,5 кДа и 37,6 % – пептиды с массой 22,5–11,7 кДа. На долю низкомолекулярных пептидов с массой менее 6,4 кДа приходилось 10,1 % белковой составляющей, из них 5,6 % составляли пептиды менее 3 кДа.

Данные исследования согласуются с результатами, представленными в литературе. Например, Ma *et al.* определили, что молекулярная масса пептидов роговой крови в основном распределена в диапазоне молекулярных масс около 55 кДа [50]. Naо *et al.* получали низкомолекулярные пептиды с антиоксидантной, антилипоксигеназной и антитирозиназной активностями за счет ферментативного расщепления крови с применением щелочной протеазы [51].

Таким образом, согласно проведенному исследованию, степень гидролиза выше в хрящевой субстанции,

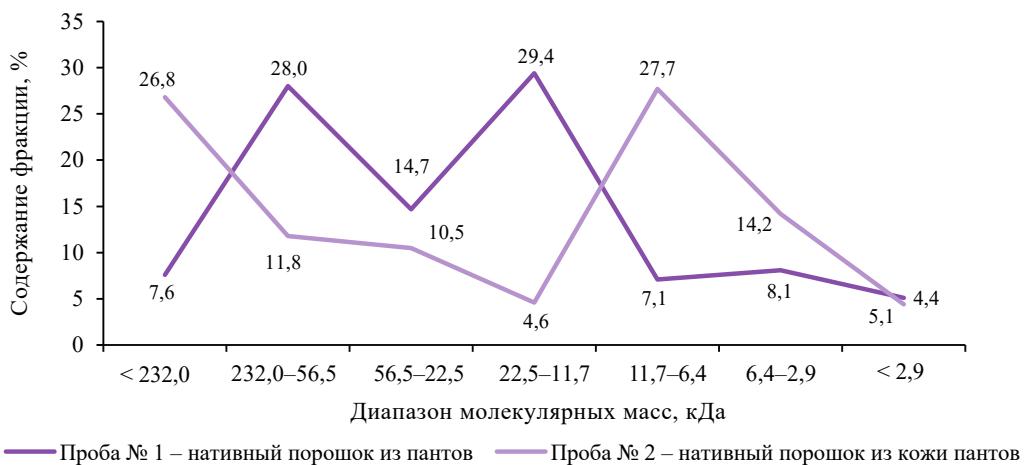


Рисунок 1. Молекулярно-массовое распределение пептидных фракций в составе нативного сырья из пантов марала

Figure 1. Peptide fractions in native raw materials from maral velvet antlers: Molecular weight distribution



Рисунок 2. Молекулярно-массовое распределение пептидных фракций в составе субстанций из пантов марала

Figure 2. Peptide fractions in substances from maral velvet antlers: Molecular weight distribution

о чем свидетельствует наличие большего количества пептидов низкой молекулярной массы. Следовательно, хрящевая субстанция по содержанию биологически активных пептидов превосходит другие биосубстанции из пантов марала. Вопрос оценки качественного состава пептидов субстанций из пантов марала и определения их функциональной активности остается открытым, актуальным и требует дальнейших исследований.

Проведено исследование минерального состава биосубстанций из пантов марала (табл. 4).

Отмечено доминирование образцов пантов по содержанию кальция. В нативном порошке его уровень составил 28730 мг/100 г. В процессе фракционирования основная масса кальция перешла в состав субстанции из крови и лимфы в количестве 58 % от массы кальция, содержащегося в нативном порошке пантов. Кровь играет важную роль в поддержании потока минералов и ферментов, необходимых для роста рогов, что определяет высокую концентрацию минерала в субстанции из крови и лимфы [52]. Различия в соотношении минеральных компонентов в субстанциях из пантов также связаны с процессом роста и окостенения рогов. Существует гипотеза о трех стадиях, связанных с кальцификацией рогов, включающих первоначальное накопление промежуточных минералов в хрящах, реминерализацию промежуточных минералов с перестройкой коллагеновых фибрill и созревание из реминерализованных минералов в термодинамически стабильные структуры. В процессе роста рогов ионы минералов соединяются с хондроитинсульфатом и откладываются на хрящевой матрице. По мере накопления минеральных компонентов хрящевая ткань постепенно заменяется на костную [53]. Срезка пантов для получения максимального количества биологически активных веществ осуществляется на стадии интенсивного роста, до наступления окостенения, поэтому основная масса ионов мине-

ралов, в том числе кальция, еще находится в кровяной и хрящевой составляющих рога. Данные подтверждаются высоким содержанием в составе субстанций других макроэлементов, таких как калий, магний, натрий, при минимальном уровне в составе минеральной фракции.

Фосфор в пантах марала (нативный порошок) содержался в количестве 5500 мг/100 г, что в 5 раз ниже уровня кальция. При фракционировании основная часть минерала входила в состав минеральной субстанции, включающей в основном фосфор, концентрация которого выше по сравнению с субстанциями из крови и лимфы и хрящевой в 38 и 64 раза соответственно. Результаты исследования согласуются с данными исследователей, утверждающих, что соотношение кальция и фосфора различается во время минеральной фазы. Фосфор содержится в основной массе в костной части рога в виде фосфата кальция, составляющего до 48 % минерального компонента [54].

Значительные показатели уровня макроэлементов в составе субстанции из крови и лимфы связаны и со способом экстрагирования. Первая стадия фракционирования включала перколяцию, основанную на непрерывной фильтрации экстрагента через сырье. В ходе процесса извлекаемые компоненты переходят в состав экстрагента в результате диффузии, протекающей из-за разницы концентраций экстрагируемых веществ [55]. Данный способ экстракции способствовал значительному вымыванию минералов из ткани рога, о чем свидетельствует минимальное их содержание в составе минеральной фракции.

Из числа микроэлементов в пантах в превалирующем количестве отмечены железо, медь, максимальное количество которых содержалось в составе липидной и хрящевой субстанции, а также цинк при максимальном его уровне в липидной субстанции. Недавние

Таблица 4. Минеральный состав субстанций из пантов марала

Table 4. Substances from maral velvet antlers: Mineral composition

Минеральный состав ($\bar{X} \pm s$), г/100 г	Пробы субстанции					
	Проба № 1	Проба № 2	Проба № 3	Проба № 4	Проба № 5	Проба № 6
Кальций	28730,00 ± 50,60	1090,00 ± 87,20	16590,00 ± 83,60	145,80 ± 6,21	55,39 ± 2,77	79,00 ± 0,03
Фосфор	5500,00 ± 17,60	1300,00 ± 25,00	370,00 ± 22,20	220,00 ± 11,00	14000,00 ± 98,21	15,000 ± 0,010
Калий	5,90 ± 0,50	473,70 ± 23,65	256,90 ± 12,80	408,60 ± 20,40	0,41 ± 0,11	90,00 ± 0,03
Магний	610,90 ± 31,50	104,00 ± 5,20	319,80 ± 15,95	48,42 ± 7,07	4,72 ± 0,24	0,02 ± 0,01
Натрий	238,40 ± 21,40	1368,00 ± 98,44	799,10 ± 63,90	632,80 ± 44,24	7,79 ± 1,15	19,00 ± 0,01
Железо	4,90 ± 0,70	65,66 ± 7,22	15,92 ± 1,16	54,30 ± 2,72	*	46,00 ± 13,00
Марганец	0,10 ± 0,01	0,42 ± 0,11	0,03 ± 0,01	1,11 ± 0,05	*	*
Медь	0,10 ± 0,03	0,02 ± 0,01	0,06 ± 0,01	0,44 ± 0,11	*	40,00 ± 14,00
Цинк	10,30 ± 0,31	1,78 ± 0,52	6,40 ± 0,87	2,80 ± 0,06	*	38,00 ± 10,00
Хром	0,02 ± 0,01	2,40 ± 0,65	0,14 ± 0,02	0,31 ± 0,08	*	1,80 ± 0,90
Йод	0,03 ± 0,01	0,03 ± 0,11	0,07 ± 0,01	0,03 ± 0,01	0,02 ± 0,01	*

Примечание: * – концентрация ниже пороговых значений диапазона качественного определения; $p < 0,05$.

Note: * – concentration below threshold values; $p < 0,05$.

исследования показали, что быстрые темпы роста рогов оленей связаны с экспрессией прото-онкогенов. Профили экспрессии генов рога имели более высокую корреляцию с остеосаркомой ($p 0,67–0,78$), чем с нормальным ростом костных тканей ($p 0,33–0,47$) [56]. Ввиду быстрой скорости пролиферации клетки растущих рогов имеют повышенную потребность в железе. Аналогично раковым клеткам, демонстрирующим более высокий уровень поглощения и использования железа по сравнению со здоровыми клетками [57]. Хондроитинсульфат, входящий в состав пантового хряща, обладает способностью к хелатированию переходных металлов, таких как Cu^{2+} и Fe^{2+} [58], что обуславливает высокое содержание железа в хрящевой субстанции. Максимальное количество железа обнаружено в составе нативного порошка из кожи пантов.

Высокое содержание меди в составе липидной фракции, вероятно, связано с технологическим процессом, заключающимся в применении органического растворителя в качестве экстрагента, который способствует более полному извлечению меди из сырья.

Таким образом, по результатам оценки зольной составляющей пантов марала и субстанций, полученных на их основе, можно заключить, что вид экстракции в значительной степени влияет на соотношение минеральных компонентов в составе субстанции. Процесс перколяции и высокотемпературного гидролиза способствовал максимальному извлечению практических всех зольных компонентов из сырья, кроме фосфора, в основном идентифицированного в составе минеральной фракции.

На следующем этапе исследования проведено изучение жирнокислотного состава субстанций из пантов марала (рис. 3, табл. 5).

Липиды являются одним из важнейших веществ пантов. Многие исследователи отводят особую роль липидной фракции, компоненты которой проявляют различную биологическую активность, например, противовоспалительную, иммуномодулирующую и антимикробную [59]. При оценке биологической активности липидов важным показателем является соотношение жирных кислот.

В субстанциях из пантов марала определено 38 жирных кислот. В преобладающем количестве представлены пальмитиновая, стеариновая и олеиновая, составляющие 44–76 % от общего числа метиловых эфиров.

Из общего числа представленных жирных кислот значительно представлены следующие: олеиновая в количестве 7–15 % (в зависимости от вида фракции) и арахидоновая в количестве 2–10 %.

При оценке качества пищевых и функциональных продуктов к важным критериям относится сбалансированность липидного компонента получаемого продукта по жирнокислотному составу, расчет которой проводится исходя из соотношения насыщенных и ненасыщенных жиров. Ненасыщенные жиры преобладали во всех видах субстанций, исключение составляет

хрящевая компонента. Во фракции из крови и лимфы полиненасыщенные жиры присутствовали в количестве 34,71 %, мононенасыщенные – 28,44 %, при этом отмечено преобладание омега-6 жирных кислот, что обеспечивает высокую ценность жировой составляющей субстанции. В хрящевой субстанции в большем количестве присутствовали насыщенные жиры, составляющие 64,56 %, тогда как на долю мононенасыщенных жиров приходилось 26,13 % жирных кислот.

Нативный порошок из кожи панта и жировая субстанция характеризовались схожим соотношением метиловых эфиров с преобладанием мононенасыщенных жиров (34,57 %) и значительной концентрацией омега-6 жирных кислот. В соответствии с анализом биохимического состава рогов марала определено, что основная часть жировой составляющей сосредоточена в коже, поэтому из нее проводили выделение липидного компонента при фракционировании, что объясняет аналогичность их состава.

Таким образом, результаты исследования жирнокислотного состава субстанций из пантов марала показали биологическую ценность жировой составляющей, обусловленную наличием эссенциальных жирных кислот, таких как линолевая, линоленовая и арахидоновая, что определяет возможность их дальнейшего применения в составе функциональных продуктов.

Выводы

На основании данных биохимического состава субстанций из пантов марала (*Cervus elaphus sibiricus*), полученных путем фракционирования, при сравнительной оценке с исходным сырьем показана высокая биологическая ценность, что определяет перспективы их дальнейшего применения в составе функциональных продуктов питания.

В субстанциях из пантов марала, полученных путем фракционирования с применением различных технологических приемов, а также в нативном сырье (сырые панты марала) определены вещества белковой, липидной и минеральной природы в количестве 68 компонентов. Среди превалирующих фракций представлен протеин с высоким уровнем скора (от 127 до 227) по таким аминокислотам, как триптофан, изолейцин, гистидин и фенилаланин, что позволяет положительно оценить перспективу их дальнейшего применения в качестве дополнительного ингредиента в составе белковых функциональных продуктов.

Хрящевая субстанция содержит более 50 % низкомолекулярных пептидов, что свидетельствует о высоком биологическом потенциале фракции и перспективности ее дальнейшего применения для оздоровления организма. Остается открытым вопрос оценки качественного состава пептидов субстанций из пантов марала и определения их функциональной активности, что достаточно актуально и требует дальнейшего исследования.

По составу макро- и микроэлементов панты марала характеризуются значительным количеством кальция,

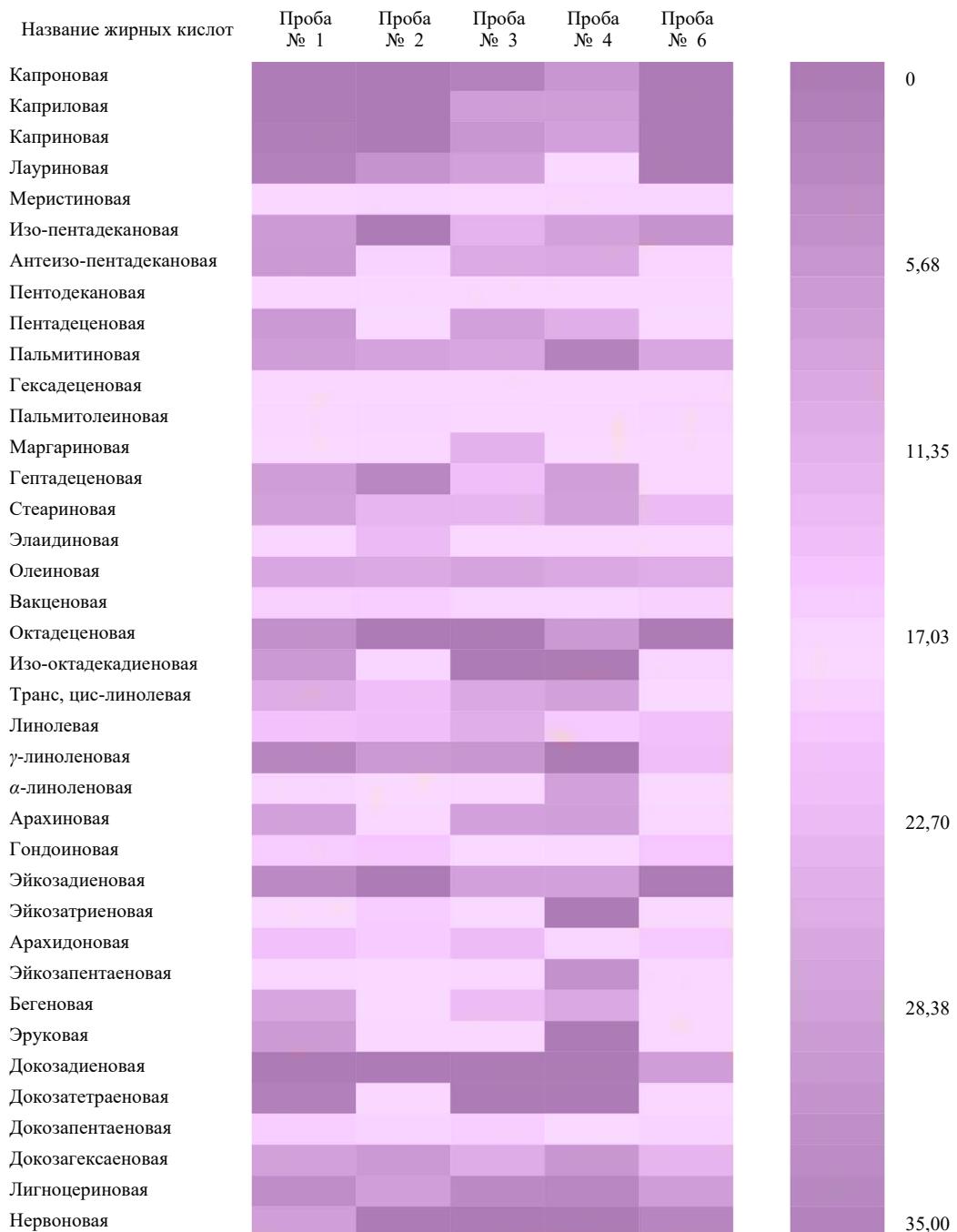


Рисунок 3. Тепловая карта жирнокислотного состава пантов марала

Figure 3. Fatty acids in maral velvet antlers: Thermal map

Таблица 5. Соотношение жирных кислот в субстанциях из пантов марала

Table 5. Fatty acid ratio in substances from maral velvet antlers

Массовая доля жирных кислот, %	Проба № 1	Проба № 2	Проба № 3	Проба № 4	Проба № 6
Насыщенные	47,75	42,26	36,88	64,56	39,95
Ненасыщенные	51,69	58,17	63,15	35,45	58,61
Полиненасыщенные	22,26	22,78	34,71	9,32	21,56
Омега-3	6,18	4,55	7,10	1,64	5,15
Омега-6	16,08	18,23	27,61	7,68	16,41
Мононенасыщенные	29,43	35,39	28,44	26,13	34,57

магния и железа, которые при фракционировании максимально концентрируются в субстанциях: хрящевой и из крови и лимфы. Костно-минеральную субстанцию можно рекомендовать в качестве источника фосфора для обогащения продуктов питания. Функциональность липидной фракции заключается в высоком содержании (58,6 %) поли- и мононенасыщенных жирных кислот.

Критерии авторства

Авторы в равной степени участвовали в написании рукописи.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

The authors contributed equally to the research and bear equal responsibility for the information published in this article.

Conflict of interest

The authors declared no conflict of interest regarding the publication of this article.

Список литературы / References

1. Soetedjo NNM. The role of nutrition in various endocrine and metabolic diseases. *Clinical Nutrition Open Science*. 2025;62:164–188. <https://doi.org/10.1016/j.nutos.2025.05.015>
2. Lee CD, Hardin CC, Longo DL, Ingelfinger JR. Nutrition in medicine – A new review article series. *The New England Journal of Medicine*. 2024;390(14):1324–1325. <https://doi.org/10.1056/NEJMMe2313282>
3. Lozada-Martinez ID, Vindas-Meza L, Castelblanco-Toro S, Salazar-Uribe JC, Anaya J. The impact of nutritional status on centenarians physical, mental, and functional health. *Clinical Nutrition Open Science*. 2025;60:10–20. <https://doi.org/10.1016/j.nutos.2025.01.010>
4. Feng L, Chu Z, Quan X, Zhang Y, Yuan W, *et al.* Malnutrition is positively associated with cognitive decline in centenarians and oldest-old adults: A cross-sectional study. *eClinicalMedicine*. 2022;47:101336. <https://doi.org/10.1016/j.eclim.2022.101336>
5. Просеков А. Ю., Веснина А. Д., Любимова Н. А., Чекушкина Д. Ю., Михайлова Е. С. Потребительская геномика: роль в персонализации питания. *Техника и технология пищевых производств*. 2025. Т. 55. № 2. С. 400–415. [Prosekov AYu, Vesnina AD, Lyubimova NA, Chekushkina DYu, Mikhailova ES. Consumer genomics in personalized nutrition. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2025;55(2):400–415. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2025-2-2582>
6. Yiğit A, Bielska P, Cais-Sokolińska D, Samur G. Whey proteins as a functional food: Health effects, functional properties, and applications in food. *Journal of the American Nutrition Association*. 2023;42(8):758–768. <https://doi.org/10.1080/27697061.2023.2169208>
7. Gupta A, Sanwal N, Bareen MA, Barua S, Sharma N, *et al.* Trends in functional beverages: Functional ingredients, processing technologies, stability, health benefits, and consumer perspective. *Food Research International*. 2023;170:113046. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113046>
8. Berry CW, Murray B, Kenney WL. Scientific basis for a milk permeate-based sports drink – A critical review. *International Dairy Journal*. 2022;127:105296. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2021.105296>
9. Chakrabarti S, Guha S, Majumder K. Food-derived bioactive peptides: Production, biological activities, opportunities and challenges. *Nutrients*. 2018;10(11):1738. <https://doi.org/10.3390/NU10111738>
10. Wang M, Zhou Z, Wei Y, He R, Yang J, *et al.* Dissecting the mechanisms of velvet antler extract against diabetic osteoporosis via network pharmacology and proteomics. *Journal of Ethnopharmacology*. 2025;341:119334. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2025.119334>
11. Ding C, Hao M, Ma S, Zhang Y, Yang J, *et al.* Identification of peptides with antioxidant, anti-lipoxygenase, anti-xanthine oxidase and anti-tyrosinase activities from velvet antler blood. *LWT*. 2022;168:113889. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113889>
12. Cao T-Q, An H-X, Ma R-J, Dai K-Y, Ji H-Y, *et al.* Structural characteristics of a low molecular weight velvet antler protein and the anti-tumor activity on S180 tumor-bearing mice. *Bioorganic Chemistry*. 2023;131:106304. <https://doi.org/10.1016/j.bioorg.2022.106304>
13. Сатаева Ж. И., Жетимкаринов Е. Д. Напитки профилактического назначения на основе порошков панты оленей. *Norwegian Journal of development of the International Science*. 2024. № 140. С. 4–8. [Satayeva Zhi, Zhetimkarinov ED. Preventive drinks based on deer antler powders. *Norwegian Journal of development of the International Science*. 2024;(140):4–8. (In Russ.)] <https://doi.org/10.5281/zenodo.13768163>
14. Казанцев Д. А., Растворина Л. В. Характеристика стада маралов алтай-саянской породы в СПК ПЗ «Абайский». *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2021. № 5. С. 88–92. [Kazantsev DA, Rastopshina LV. The features of the altai-sayan maral herd in the SPK PZ “Abayskiy”. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2021;(5):88–92. (In Russ.)]

15. Sui Z, Sun H, Weng Y, Zhang X, Sun M, et al. Quantitative proteomics analysis of deer antlerogenic periosteal cells reveals potential bioactive factors in velvet antlers. *Journal of Chromatography A*. 2020;1609:460496. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2019.460496>
16. Chen Y, Zhang Z, Jin W, Li Z, Bao C, et al. Integrative analyses of antler cartilage transcriptome and proteome of gansu red deer (*Cervus elaphus kansuensis*) at different growth stages. *Animals*. 2022;12(7):934. <https://doi.org/10.3390/ani12070934>
17. Yao B, Zhou Z, Zhang M, Leng X, Zhao D. Investigating the molecular control of deer antler extract on articular cartilage. *Journal of orthopaedic Surgery and Research*. 2021;16:8. <https://doi.org/10.1186/s13018-020-02148-w>
18. Коростелева Н. И., Кондрашкова И. С., Рудишна Н. М., Камардина И. А. Биометрия в животноводстве. Барнаул: АГАУ; 2009. 210 с. [Korosteleva NI, Kondrashkova IS, Rudishina NM, Kamardina IA. Biometrics in animal farming. Barnaul: AGAU; 2009. 210 p.]
19. Singh RR, Khanna PP, Singh AK, Goyal SP. Elemental characterization of antlers of various deer species using X-Ray fluorescence (XRF): A tool for forensic examination. *Forensic Science International*. 2022;332:111172. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2022.111172>
20. Orassay A, Sadvokassova D, Berdigaliyev A, Sagintayev A, Myrzagali S, et al. Deer antler extract: Pharmacology, rehabilitation and sports medicine applications. *Pharmacological Research – Modern Chinese Medicine*. 2024;10:100316. <https://doi.org/10.1016/j.prmem.2023.100316>
21. Jeon B, Kim S, Lee S, Park P, Sung S, et al. Effect of antler growth period on the chemical composition of velvet antler in sika deer (*Cervus nippon*). *Mammalian Biology*. 2009;74(5):374–380. <https://doi.org/10.1016/j.mambio.2008.07.005>
22. Jang DW, Ameer K, Oh JH, Park MK. Optimization and pretreatment for hot water extraction of Korean deer (*Cervus canadensis erxleben*) velvet antlers. *Journal of microbiology and biotechnology*. 2020;30(8):1116–1123. <https://doi.org/10.4014/JMB.2004.04009>
23. Shi M, Li T, Zhao Y, He Z, Zong Y, et al. Comparative studies on the chemical composition and pharmacological effects of vinegar-processed antler glue modified from *Lei Gong Pao Zhi Lun* and traditional water-processed antler glue. *Journal of Ethnopharmacology*. 2024;321:117508. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2023.117508>
24. Widywati R, Suciati S, Haryadi DM, Chang H-I, Suryawan IPGN, et al. The effect of Rusa unicolor antler deer extracts from East Kalimantan in bone turnover cell models. *Turkish Journal of Pharmaceutical Sciences*. 2020;17(4):440–445. <https://doi.org/10.4274/tjps.galenos.2019.57805>
25. Sui Z, Zhang L, Huo Y, Yukui Z. Bioactive components of velvet antlers and their pharmacological properties. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*. 2014;87:229–240. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2013.07.044>
26. López-Pedrouso M, Lorenzo JM, Landete-Castillejos T, Chonco L, Pérez-Barbería FJ, et al. Quantitative proteomic analysis of deer antler from two regenerating and mineralizing sections. *Biology*. 2021;10(7):679. <https://doi.org/10.3390/biology10070679>
27. Кротова М. Г., Гришаева И. Н. Коллаген, гидролизованный из сырья маралов: технология получения и биохимический состав. Техника и технология пищевых производств. 2024. Т. 54. № 4. С. 884–896. [Krotova MG, Grishaeva IN. Collagen hydrolysed from maral raw material: Production technology and biochemical composition. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2024;54(4):884–896. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2024-4-2549>
28. Guo H, Zhang Q, Xin L, Zhang H, Wang S. Dietary hydroxyproline promotes collagen deposition in swim bladder through regulating biosynthesis of amino acid: *In-vitro* and *in-vivo* investigations in *Nibea coibor*. *Aquaculture*. 2023;573:739614. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.739614>
29. Krishnan A, Raghu S, Eswaramoorthy R, Perumal G. Biodegradable glutamic acid loaded polycaprolactone nanofibrous scaffold for controlled dentin mineralization. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*. 2025;104:106546. <https://doi.org/10.1016/j.jddst.2024.106546>
30. Lioi M, Tengattini S, Gotti R, Bagatin F, Galliani S. Chromatographic separation by RPLC-ESI-MS of all hydroxyproline isomers for the characterization of collagens from different sources. *Journal of Chromatography A*. 2024;1720:464771. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2024.464771>
31. Rucklidge GJ, Milne G, Bos KJ, Farquharson C, Robins SP. Deer antler does not represent a typical endochondral growth system: Immunoidentification of collagen type X but little collagen type II in growing antler tissue. *Comparative Biochemistry and Physiology part B: Biochemistry and Molecular Biology*. 1997;118(2):303–308. [https://doi.org/10.1016/S0305-0491\(97\)00171-5](https://doi.org/10.1016/S0305-0491(97)00171-5)
32. Гордынец С. А., Мадзиевская Т. А., Курченко В. П. Новые тенденции в создании пищевых ингредиентов. Материалы семинара с международным участием. Минск: Издательский центр БГУ; 2021. 106 с. [Gordynets SA, Madziyevskaya TA, Kurchenko VP. New Trends in food ingredient development. Proceedings of Seminar with International Participation. Minsk: Izdatelskiy tsentr BGU; 2021. 106 p.]
33. Joint WHO/FAO/UNU Expert Consultation. Protein and amino acid requirements in human nutrition. WHO Technical Report Series. 2007;(935):1–265.

34. Яременко О. Б., Анохина Г. А., Бурянов А. А. Сустав. Хрящ. Коллаген. Травма. 2020. Т. 21. № 4. С. 6–12. [Yaremenko OB, Anokhina HA, Burianov OA. Joint. Cartilage. Collagen. Trauma. 2020;21(4):6–12. (In Russ.)] <https://doi.org/10.22141/1608-1706.4.21.212531>
35. Lin L, Li C, Zhang T, Xia C, Bai Q, *et al.* An *in silico* scheme for optimizing the enzymatic acquisition of natural biologically active peptides based on machine learning and virtual digestion. *Analytica Chimica Acta*. 2024;1298:342419. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2024.342419>
36. Zamudio FV, Hidalgo-Figueroa SN, Ortíz Andrade RR, Hernández Álvarez AJ, Segura Campos MR. Identification of antidiabetic peptides derived from *in silico* hydrolysis of three ancient grains: Amaranth, Quinoa and Chia. *Food Chemistry*. 2022;394:133479. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133479>
37. Chirinos R, Escobar-Mendoza N, Figueroa-Merma A, de Oliveira TV, Guzmán F, *et al.* Evaluation of the antihypertensive and antidiabetic potential of peptides from the globulin fraction of quinoa (*Chenopodium quinoa*) by an *in silico* and *in vitro* approach. *International Journal of Food Science and Technology*. 2023;58(8):4386–4396. <https://doi.org/10.1111/ijfs.16544>
38. Pektaş AN, Korkmaz EM. Novel antimicrobial defensin peptides from different coleopteran insects (Coleoptera: Insecta): Identification, characterisation and antimicrobial properties. *Journal of Asian Natural Products Research*. 2025;27(8):1146–1160. <https://doi.org/10.1080/10286020.2024.2448011>
39. Ghafoor H, Asim MN, Ibrahim MA, Ahmed S, Dengel A. CAPTURE: Comprehensive anti-cancer peptide predictor with a unique amino acid sequence encoder. *Computers in Biology and Medicine*. 2024;176:108538. <https://doi.org/10.1016/j.combiomed.2024.108538>
40. Hajigha MN, Hajikhani B, Vaezjalali M, Kafil HS, Anari RK, *et al.* Antiviral and antibacterial peptides: Mechanisms of action. *Heliyon*. 2024;10(22):e40121. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e40121>
41. Смирнова А. В., Тихонов С. А. Идентификация и предиктивный анализ аминокислотных паттернов, обуславливающих потенциальную антигиперуримическую активность пептидов. *Техника и технология пищевых производств*. 2024. Т. 54. № 4. С. 687–700. [Smirnova AV, Tikhonov SL. Amino acid patterns that determine antihyperuricemic activity of peptides: Identification and predictive analysis. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2024;54(4):687–700. (In Russ.)] <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2024-4-2536>
42. Mottola S, Del Bene A, Mazzarella V, Cutolo R, Boccino I, *et al.* Sustainable ultrasound-assisted solid-phase peptide synthesis (SUS-SPPS): Less waste, more efficiency. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2025;114:107257. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2025.107257>
43. Kohl J, Jerger S, König D, Centner C. Chapter 21 – Applications in nutrition: Sport nutrition. In: Toldrá F, Wu J, editors. *Biologically Active Peptides*. NY, Oxford: Academic Press; 2021. pp. 525–550. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821389-6.00024-8>
44. Chandimali N, Bak S-G, Park EH, Lim H-J, Won Y-S, *et al.* Bioactive peptides derived from duck products and by-products as functional food ingredients. *Journal of Functional Foods*. 2024;113:105953. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2023.105953>
45. Asim MN, Asif T, Mehmood F, Dengel A. Peptide classification landscape: An in-depth systematic literature review on peptide types, databases, datasets, predictors architectures and performance. *Computers in Biology and Medicine*. 2025;188:109821. <https://doi.org/10.1016/j.combiomed.2025.109821>
46. Bao X, Wu J. Impact of food-derived bioactive peptides on gut function and health. *Food Research International*. 2021;147:110485. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110485>
47. Chen D, Shu Y, Chen J, Cao X. Preparation and *in vitro* bioactive evaluation of cashew-nut proteins hydrolysate as a potential source of anti-allergy peptides. *Journal of Food Science & Technology*. 2021;58:3780–3789. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04838-z>
48. Suttie JM, Gluckman PD, Butler JH, Fennessy PF, Corson ID, *et al.* Insum-like growth factor 1 (IGF-1) antler-stimulating hormone? *Endocrinology*. 1985;116(2):846–848. <https://doi.org/10.1210/endo-116-2-846>
49. Zhao L, Wang X, Zhang X, Xie Q. Purification and identification of anti-inflammatory peptides derived from simulated gastrointestinal digests of velvet antler protein (*Cervus elaphus* Linnaeus). *Journal of Food and Drug Analysis*. 2016;24(2):376–384. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2015.10.003>
50. Ma S, Ding Q, Xia G, Li A, Li J, *et al.* Multifunctional biomaterial hydrogel loaded with antler blood peptide effectively promotes wound repair. *Biomedicine & Pharmacotherapy*. 2024;170:116076. <https://doi.org/10.1016/j.bioph.2023.116076>
51. Hao M, Peng X, Sun S, Ding C, Liu W, *et al.* Chitosan/sodium alginate/velvet antler blood peptides hydrogel promoted wound healing by regulating PI3K/AKT/mTOR and SIRT1/NF-κB pathways. *Frontiers in Pharmacology*. 2022;13:913408. <https://doi.org/10.3389/fphar.2022.913408>
52. Gómez JA, Ceacero F, Landete-Castillejos T, Gaspar-López E, García AJ, *et al.* Factors affecting antler investment in Iberian red deer. *Animal Production Science*. 2012;52:867–873. <https://doi.org/10.1071/AN11316>
53. Shi H, Yu T, Li Z, Lu W, Zhang M, *et al.* Bone regeneration strategy inspired by the study of calcification behavior in deer antler. *Materials Science and Engineering: C*. 2015;57:67–76. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2015.07.043>
54. Hamid HA, Khairul Anuar MZA, Zulkifli FH. Preparation and characterization of deer velvet antler/polyvinyl alcohol (DVA/PVA) scaffold for bone tissue engineering. *Materialstoday: Proceedings*. 2022;51(Part 2):1332–1337. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.11.377>

55. Sawant RC, Somkuwar SR, Luo S-Y, Kamble RB, Panhekar DY, *et al.* Chapter 4 – Novel extraction and characterization methods for phytochemicals. In: Pati S, Sarkar T, Lahiri D, editors. *Recent Frontiers of Phytochemicals*. Netherlands: Elsevier; 2023. pp. 63–84. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-19143-5.00035-9>
56. Chonco L, Landete-Castillejos T, Serrano-Heras G, Pérez Serrano M, Pérez-Barbería FJ, *et al.* Anti-tumour activity of deer growing antlers and its potential applications in the treatment of malignant gliomas. *Scientific Reports*. 2021;11:42. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-79779-w>
57. Loftus LV, Rolle LTA, Wang B, Pienta KJ, Amend SR. Dysregulation of labile iron predisposes chemotherapy resistant cancer cells to ferroptosis. *International Journal of Molecular Sciences*. 2025;26(9):4193. <https://doi.org/10.3390/ijms26094193>
58. Kim C-T, Gujral N, Ganguly A, Suh J-W, Sunwoo HH. Chondroitin sulphate extracted from antler cartilage using high hydrostatic pressure and enzymatic hydrolysis. *Biotechnology reports*. 2014;4:14–20. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2014.07.004>
59. Collazo N, Carpene M, Nuñez-Estevez B, Otero P, Simal-Gandara J, *et al.* Health promoting properties of bee royal jelly: Food of the queens. *Nutrients*. 2021;13(2):543. <https://doi.org/10.3390/nu13020543>

Дополнительная информация об авторах / Additional information about the authors

Кротова Мария Георгиевна / Maria G. Krotova ORCID 0000-0001-7878-8529; eLIBRARY SPIN 9417-6530
Гришаева Ирина Николаевна / Irina N. Grishaeva ORCID 0000-0002-5172-4143; eLIBRARY SPIN 6113-5403
Неприятель Алексей Анатольевич / Aleksey A. Nepriyatel ORCID 0000-0001-8676-4324; eLIBRARY SPIN 6486-3635