



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК664.8:577.152

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.01.005



ПЕПТИДНЫЙ ОБОГАЩЕННЫЙ МОДУЛЬ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ ДЛЯ ПРОФИЛАКТИКИ ОЖИРЕНИЯ И ГИПЕРЛИПИДЕМИИ

Антон Вадимович Табакаев ¹, Оксана Вацлавовна Табакаева ²

^{1, 2} Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Дальневосточный федеральный университет», г. Владивосток, Россия

¹ Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Научно-исследовательский институт эпидемиологии и микробиологии имени Г.П. Сомова» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, г. Владивосток, Россия

¹ tabakaev92@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5658-5069>

² yankovskaya68@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7068-911X>

Аннотация. В настоящей работе приведены результаты исследований получения пептидного модуля функциональной направленности, обогащенного микроэлементом цинком и таурином для профилактики гиперлипидемии и ожирения. Пептидный модуль получали путем биотехнологической модификации мягких тканей двустворчатого моллюска Дальневосточного региона *Anadarabroughtonii* с использованием ферментного препарата – протеаза щелочная протозим В, условия процесса – рН 7,0–7,2, температуре 50 °С, продолжительность 24 ч. Обогащение цинком проводили реакцией комплексообразования путем внесения в пептидный модуль 20 %-ного водного раствора $ZnCl_2$ в соотношении по массе 6,25 × азот в жидкой фракции : хлорид цинка = 10:1. Условия процесса: температура 20–25 °С, продолжительность 60 мин, рН 7,0–7,1. Содержание высокомолекулярной фракции (массой более 160 кДа) было низким и составляло не более 1,2 %. Максимально представленными фракциями являются низкомолекулярные фракции с массами – 6,5–12,5 кДа, 12,5–18 кДа и 1,4–6,5 кДа. Низкомолекулярные фракции массой не более 24 кДа максимально определены в пептидном модуле мантии – 89,3 %. Полученные пептидные модули имели достаточно высокое содержание таурина – 28,48–30,15 % от суммы аминокислот. Максимально из незаменимых аминокислот представлены лейцин, лизин, валин, изолейцин, условно-незаменимая аминокислота аргинин. Максимальное связывание микроэлемента цинка как в пептидном модуле мускула, так и мантии, происходит во фракциях с молекулярными массами 12,5–18 кДа и 6,5–12,5 кДа. Суммарно 81,1 % (мускул) и 83,7 % (мантия) цинка связано в низкомолекулярных фракциях массами от 24 до менее 1,4 кДа. Минимальная массовая доля цинка определена в высокомолекулярных фракциях массами более 160 кДа и 67–160 кДа – суммарно 4,2 % (мантия) и 4,5 % мускул. Использование в пищевых системах полученных пептидных модулей, обогащенных цинком и таурином, будет оказывать влияние на метаболический синдром, в том числе и на профилактику гиперлипидемии и ожирения.

Ключевые слова: ферментативный гидролиз, пептиды, аминокислоты, цинк, таурин, двустворчатый моллюск *Anadarabroughtonii*.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (грант 22-76-00008).

Для цитирования: Табакаев А. В., Табакаева О. В. Пептидный обогащенный модуль функциональной направленности для профилактики ожирения и гиперлипидемии // Ползуновский вестник. 2024. № 1, С. 37–44. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.01.005. EDN: <https://elibrary.ru/QBMKSQ>.

Original article

PEPTIDE ENRICHED MODULE OF FUNCTIONAL ORIENTATION FOR THE PREVENTION OF OBESITY AND HYPERLIPIDEMIA

Anton V. Tabakaev ¹, Oksana V. Tabakaeva ²

^{1, 2} Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Far Eastern Federal University", Vladivostok, Russia

¹ Federal State Budgetary Scientific Institution "G.P. Somov Research Institute of Epidemiology and Microbiology" of the Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and Human Well-Being, Vladivostok, Russia

¹ tabakaev92@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5658-5069>

² yankovskaya68@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7068-911X>

Abstract. *This paper presents the results of studies on the production of a functional peptide module enriched with the trace element zinc and taurine for the prevention of hyperlipidemia and obesity. The peptide module was obtained by biotechnological modification of soft tissues of the bivalve mollusk of the Far Eastern region *Anadara broughtonii* using an enzyme preparation - alkaline protease protozyme B, process conditions - pH 7.0-7.2, temperature 50 °C, duration 24 h. Zinc enrichment was carried out by a complexation reaction by adding a 20 % aqueous ZnCl₂ solution to the peptide module in a weight ratio of 6.25 × nitrogen in the liquid fraction : zinc chloride = 10:1. Process conditions: temperature 20-25 ° C, duration 60 min, pH 7.0-7.1. The content of the high-molecular fraction (weighing more than 160 kDa) was low and amounted to no more than 1.2 %. The most represented fractions are low-molecular fractions with masses of 6.5-12.5 kDa, 12.5-18 kDa and 1.4-6.5 kDa. Low-molecular fractions weighing no more than 24 kDa are maximally determined in the peptide module of the mantle - 89.3 %. The resulting peptide modules had a fairly high taurine content - 28.48-30.15 % of the total amino acids. The most essential amino acids are leucine, lysine, valine, isoleucine, and the conditionally essential amino acid arginine. The maximum binding of the zinc trace element in both the peptide module of the muscle and the mantle occurs in fractions with molecular weights of 12.5-18 kDa and 6.5-12.5 kDa. A total of 81.1 % (muscle) and 83.7 % (mantle) of zinc is bound in low molecular weight fractions from 24 to less than 1.4 kDa. The minimum mass fraction of zinc was determined in high-molecular fractions with masses of more than 160 kDa and 67-160 kDa - a total of 4.2 % (mantle) and 4.5 % muscle. The use of the obtained peptide modules enriched with zinc and taurine in food systems will have an impact on the metabolic syndrome, including the prevention of hyperlipidemia and obesity.*

Keywords: enzymatic hydrolysis, peptides, amino acids, zinc, taurine, bivalve mollusk *Anadara broughtoni*.

Acknowledgements. The work was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation (grant 22-76-00008).

For citation: Tabakaev, A.V. & Tabakaeva, O.V. (2024). Peptide enriched module of functional orientation for the prevention of obesity and hyperlipidemia. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 37-44. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.01.005. EDN: <https://elibrary.ru/QBMKSQ>.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время ожирение является важнейшим социально значимым алиментарным заболеванием в современном мире. Данная проблема явно проявилась во второй половине XX века, ее оценка в 1950 г. привела к включению в международную классификацию болезней, что говорит о серьезности данного состояния. В XXI веке данная проблема является общемировой. Общепринятая позиция – ожирение вызывает ухудшение качества жизни, способствует развитию определенных храни-

ческих болезней, требует повышенных затрат на медицинскую помощь.

В экономически развитых странах почти 50 % населения имеют избыточный вес, из них 30 % страдают ожирением [1]. С каждым годом увеличивается число детей и подростков, страдающих ожирением. По прогнозам к 2030 году 60 % населения мира (то есть 3,3 миллиарда человек) могут иметь избыточный вес (2,2 миллиарда) или ожирение (1,1 миллиарда), если тенденции заболеваемости ожирением сохранятся [2]. Всемирная

ПЕПТИДНЫЙ ОБОГАЩЕННЫЙ МОДУЛЬ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ ДЛЯ ПРОФИЛАКТИКИ ОЖИРЕНИЯ И ГИПЕРЛИПИДЕМИИ

организация здравоохранения рассматривает ожирение как глобальную эпидемию, охватывающую миллионы людей, на долю которой приходится около 5 % всех смертей в мире [3], и по прогнозам в ближайшем будущем ее число резко возрастет, особенно среди взрослого населения [4, 5, 6].

Значительное увеличение распространенности избыточного веса и ожирения способствует увеличению заболеваний, ассоциированных с ожирением, и состояниям, при которых ожирение усугубляет риск развития осложнений, более всего сердечно-сосудистых и онкологических заболеваний, СД 2 типа, неалкогольной жировой болезни печени и многих других [7]. Кроме того, ожирение усугубляет течение аутоиммунных и аллергических заболеваний, становится значимым фактором риска более тяжелого течения инфекционных заболеваний – самым актуальным примером служит увеличение риска госпитализации и смертности от COVID-19 у пациентов с ожирением.

Быстрое развитие ожирения свидетельствует о необходимости разработки новых подходов к профилактике и контролю его развития. Одним из перспективных методов профилактики является нутрицевтический подход для снижения и предотвращения прогрессирования ожирения. Важным методом лечения ожирения является диетотерапия, требующая значительных усилий от врачей и пациентов, но более перспективным направлением является профилактика ожирения путем создания специализированных пищевых систем для алиментарной коррекции метаболизма предназначенных к употреблению детерминированной группой населения (люди с избыточной массой тела). Во всех рекомендациях указывается на необходимость увеличения потребления фруктов, овощей, цельного зерна, обезжиренных молочных и белковых продуктов, некоторых видов растительных масел (преимущественно оливкового) и др.

Однако дополнительно необходимо обратить внимание не только на питательные и диетические факторы, но и на метаболически активные пищевые соединения, связанные с решением проблемы энергетического дисбаланса. Возможными триггерами избыточного веса и ожирения могут рассматриваться метаболические или диетические факторы, в частности изучена способность некоторых активных соединений, присутствующих в пище, вызывать изменения в метаболизме, способствуя дисбалансу энергии в тканях [8].

Известен ряд БАВ, способных оказывать научно-подтвержденные функциональные

эффекты, связанные с коррекцией нарушений метаболизма при ожирении. Основное внимание уделяется пищевым волокнам, витаминам, флавоноидам и некоторым микроэлементам [9–14].

Одним из важных для метаболических процессов в организме человека является микроэлемент цинк. Цинк – эссенциальный металл, вовлеченный в регуляцию функционирования нервной, эндокринной, иммунной, репродуктивной и других систем за счет реализации сигнальной, кофакторной, структурной функции в составе более чем 3000 ферментов и цинксодержащих металлопротеинов [15]. Играет важную роль в обменных процессах, входит в состав многих ферментов, участвует в процессах синтеза и распада углеводов, белков, жиров, нуклеиновых кислот и в регуляции экспрессии генов, влияет на активность гормонов и витаминов [16]. Результаты последнего метаанализа продемонстрировали достоверное снижение уровня цинка у пациентов с избыточным весом и ожирением [17]. В то же время применение цинка при ожирении ассоциировано со снижением веса, нормализацией чувствительности к инсулину [18] и липидного профиля сыворотки крови [19]. Учитывая роль окислительного стресса и воспалительной реакции в патогенезе ожирения [20], противовоспалительное и антиоксидантное действие цинка может частично обуславливать наблюдаемые положительные эффекты [21]. Помимо этого, метаболизм цинка также тесно связан с регуляцией передачи сигнала лептина, основного гормона жировой ткани, участвующего в регуляции пищевого поведения [22].

Недостаточное потребление приводит к анемии, вторичному иммунодефициту, циррозу печени, половой дисфункции, наличию пороков развития плода. Выявлена способность высоких доз цинка нарушать усвоение меди и тем способствовать развитию анемии. Физиологическая потребность для взрослых – 12 мг/сутки. Физиологическая потребность для детей – от 3 до 12 мг/сутки [16].

Хелатные комплексы эссенциальных микроэлементов с белками, пептидами, свободными аминокислотами как функциональные пищевые ингредиенты или фармацевтические препараты вызывают значительный интерес в части исследования их свойств, биодоступности и технологий получения [23–25].

Также необходимо отметить и важное значение в профилактике метаболических заболеваний – гиперлипидемии и ожирения серосодержащей биологически активной аминокислоты таурина. Она оказывает по-

ложительное влияние на метаболизм липидов путем снижения уровня холестерина в крови и печени, участвует в процессах ингибирования биосинтеза жирных кислот и усиления катаболизма триглицеридов в печени [26–29]. Научными исследованиями с использованием модельных животных доказано, что употребление таурина облегчает течение таких метаболических заболеваний, как гиперлипидемия, сахарный диабет, артериальная гипертензия и ожирение [30, 31].

Исходя из всего вышесказанного целью представленной работы являлась разработка технологии пептидного модуля функциональной направленности из двустворчатого моллюска Дальневосточного региона *Anadara broughtonii*, обогащенного эссенциальным микроэлементом цинком и биологически активной аминокислотой таурином для профилактики гиперлипидемии и ожирения.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами исследования являлись пептидные модули (гидролизаты) из мягких частей двустворчатого моллюска *Anadara broughtonii*, полученные путем ферментативного гидролиза и обогащенные цинком.

Получение пептидного модуля. Мягкие ткани (мантию и двигающий мускул в отдельности) двустворчатого моллюска *Anadara broughtonii* гомогенизировали (измельчали) до получения однородной массы. Ферментативный гидролиз осуществляли с использованием щелочной протеазы Фпротозим В (производитель *Bacillus licheniformis* активность 50 000 ед/г, «Микробиопром», Россия) при следующих параметрах: продолжительность процесса – 24 ч, pH – 7,0–7,2, температура 55 °С. Действие фермента инактивировали нагреванием до 80 °С в течение 15 мин. Жидкую фракцию отделяли от твердого центрифугирования (4000 об/мин, 10 мин, центрифуга 5810 г, «Eppendorf», Германия) при 25 °С и фильтрованием.

Фракционный состав белков и пептидов определяли методом гельпроникающей хроматографии среднего давления на хроматографической системе «АКТА Explorer» (Amersham Biosciences, Швеция), молекулярную массу белков и пептидов рассчитывали с помощью маркеров молекулярной массы (Sigma-Aldrich), используя сравнение объемов удерживания [31, 32].

Экстракцию свободных аминокислот проводили 70 %-ным этанолом в течение 24 ч при температуре 20 °С. Для определения об-

щих аминокислот пробу для анализа предварительно обессоливали, гидролизовали и обезжиривали. Предварительный гидролиз проводили 6 н. HCl при температуре 110 °С в продутой азотом (N₂), откачанной и запаянной ампуле в течение 24 ч. Гидролизованную пробу обезжиривали смесью хлороформ-метанол (1:1), затем растворяли в Li-цитратном буфере, pH 2,2. Состав и количественное содержание аминокислот определяли методом ВЭЖХ на автоматическом аминокислотном скоростном анализаторе L-8800 («Hitachi», Япония).

Органическую форму цинка в виде комплекса с продуктами ферментализации белков мягких тканей двустворчатого моллюска Дальневосточного региона *Anadara broughtonii* получали добавлением к жидкой фракции 20 %-ного водного раствора ZnCl₂ при соотношении по массе 6,25 × азот в жидкой фракции: хлорид цинка = 10:1. Инкубацию проводили при температуре 20–25 °С в течение 60 мин, pH 7,0–7,1.

Содержание цинка в полученном комплексе с ферментализатом белков мягких тканей двустворчатого моллюска Дальневосточного региона *Anadara broughtonii* определяли атомно-абсорбционным методом, используя спектрофотометр «AA-7000» («Shimadzu», Япония).

Все исследования проводили в 3-х кратной повторности. Экспериментальные данные представлены в виде M±m. Статистическую обработку проводили с использованием пакетов прикладных статистических программ *Excel*, *Statistica 7.0*. Достоверность различий оценивали по критерию Стьюдента при 95 %-ном уровне значимости.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате ферментативного гидролиза белков мягких тканей двустворчатого моллюска Дальневосточного региона *Anadara broughtonii* получен пептидный модуль, содержащий продукты гидролиза в виде полипептидов, олигопептидов, свободных аминокислот. Известно, что свойства белковых гидролизатов существенно зависят от молекулярных масс продуктов гидролиза [33, 34]. Молекулярно-массовое распределение фракций в пептидном модуле из мягких тканей двустворчатого моллюска Дальневосточного региона *Anadara broughtonii* представлено в таблице 1.

Количественное содержание фракций демонстрировало определенные различия в зависимости от используемого биоматериала. Максимально представленными фракциями как для

**ПЕПТИДНЫЙ ОБОГАЩЕННЫЙ МОДУЛЬ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ
ДЛЯ ПРОФИЛАКТИКИ ОЖИРЕНИЯ И ГИПЕРЛИПИДЕМИИ**

мантии, так и для мускула являются низкомолекулярные фракции с массами 6,5–12,5 кДа, 12,5–18 кДа и 1,4–6,5 кДа. Содержание фракций массами 12,5–18 кДа и 6,5–12,5 в пептидном модуле из мантии превышает такое в пептидном модуле из мускула, содержание фракции 1,4–6,5 кДа выше в пептидном модуле мускула. Низкомолекулярные фракции массой не более 24 кДа максимально определены в пептидном модуле мантии – 89,3 %, в пептидном модуле мускула имеют содержание 86,8 %. Сумма фракций с молекулярными массами 24–67 кДа составила 10,2 % в пептидном модуле мускула и 7,6 % в пептидном модуле мантии, что свидетельствует о более высоком накоплении данных продуктов биотехнологической модификации при использовании мягких тканей мускула в качестве биоматериала. Содержание высокомолекулярной фракции (массой более 160 кДа было низким и составляло не более 1,2 %.

Таблица 1 – Молекулярно-массовое распределение фракций в пептидном модуле из мягких тканей двустворчатого моллюска Дальневосточного региона *Anadara broughtonii* (M±m)

Table 1 – Molecular mass distribution of fractions in a peptide module from soft tissues of a bivalve mollusk of the Far Eastern region *Anadara broughtonii* (M±m)

№ фракции	Молекулярная масса, кДа	Содержание фракции, %	
		мускул	мантия
1	≥160	1,2±0,05	0,9±0,04
2	67–160	1,8±0,08	2,2±0,10
3	43–67	3,7±0,15	1,6±0,08
4	24–43	6,5±0,3	6,0±0,3
5	18–24	7,9±0,3	6,8±0,3
6	12,5–18	18,3±0,8	20,2±0,9
7	6,5–12,5	32,1±1,5	35,5±1,7
8	1,4–6,5	16,4±0,8	15,3±0,7
9	≤1,4	12,1±0,6	11,5±0,8

Кроме молекулярно-массового распределения продуктов гидролиза важной характеристикой полученных пептидных модулей из мягких тканей двустворчатого моллюска Дальневосточного региона *Anadara broughtonii* является учитывающий содержание свободных и связанных аминокислот. Аминокислотный состав пептидных модулей мягких тканей двустворчатого моллюска Дальневосточного региона *Anadara broughtonii* представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Аминокислотный состав пептидных модулей мягких тканей двустворчатого моллюска Дальневосточного региона (M±m)

Table 2 – Amino acid composition of peptide modules of soft tissues of bivalve mollusk of the Far Eastern region *Anadara broughtonii* (M±m)

Аминокислота	Свободные аминокислоты, % от суммы аминокислот		Общие аминокислоты, мг/г белка	
	мускул	мантия	мускул	мантия
Треонин	1,89±0,09	2,20±0,01	30,59±1,40	34,16±1,51
Валин	4,11±0,19	3,45±0,17	51,08±2,35	55,91±2,58
Гидроксипролин	0,57±0,00	0,98±0,00	–	–
Лейцин	2,48±0,12	3,54±0,16	91,15±4,29	95,87±4,46
Глицин	6,60±0,30	5,85±0,25	115,01±5,08	108,12±5,01
Тирозин	0,64±0,03	0,97±0,04	20,03±0,95	17,20±0,84
Фенилаланин	5,27±0,22	6,15±0,30	31,06±1,50	35,29±1,64
Лизин	7,03±0,32	5,44±0,26	70,25±3,26	66,96±3,17
Серин	2,32±0,10	3,01±0,15	26,12±1,20	24,25±1,21
Аспарагиновая кислота	8,31±0,41	7,05±0,34	130,97±6,15	140,54±6,91
Глутаминовая кислота	6,14±0,30	1,22±0,40	138,50±6,62	135,23±6,40
Аргинин	6,10±0,29	4,78±0,22	75,30±3,14	70,73±3,41
Орнитин	2,54±0,12	3,47±0,15	–	–
Таурин	28,48±1,40	30,15±1,46	–	–
Гистидин	1,98±0,08	2,35±0,09	24,29±1,09	27,87±1,30
Пролин	5,60±0,25	4,21±0,20	50,85±2,19	55,07±2,50
Аланин	4,07±0,18	3,43±0,24	63,82±3,04	60,11±3,00
Цистеин	1,03±0,04	0,84±0,03	10,04±0,43	15,18±0,69
Изолейцин	0,70±0,03	0,99±0,04	41,09±1,88	45,63±2,05
Фосфосерин	0,84±0,04	0,96±0,04	–	–
Метионин	1,52±0,07	1,93±0,09	25,33±1,13	28,90±1,25
Триптофан	–	–	4,51±0,22	4,80±0,20
сумма	98,22±4,58	98,97±4,21	1,00	1,00

Анализ содержания свободных аминокислот в полученных пептидных модулях демонстрирует высокое содержание аминокислот, характерных для двустворчатых моллюсков – таурина (28,48–30,15 % с превышением в мантии), аспарагиновой кислоты (7,05–8,31 % с превышением в мускуле), лизина (5,44–7,03 % с превышением в мускуле). Таурин является аминокислотой, проявляющей широкий спектр биологических активностей, так он оказывает влияние на метаболический синдром, благотворно влияя на снижение ожирения и нормализацию липидного профиля крови. Результатами клинических и экспериментальных исследований доказаны, гиполипидемические эффекты таурина, заключающиеся в снижении уровня холестерина и желчных кислот в плазме [35–39]. Установлен размер адекватного суточного потребления таурина – от 40 до 400 мг в сутки [40].

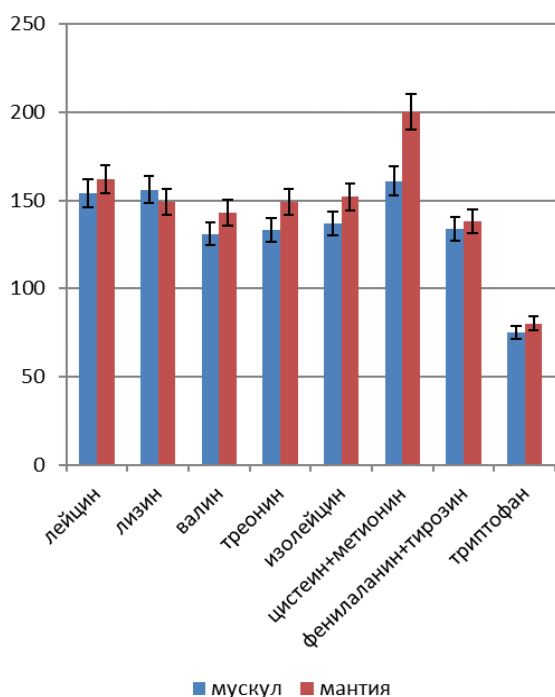


Рисунок 1 – Аминокислотный скор пептидных модулей мягких тканей двустворчатого моллюска Дальневосточного региона *Anadara broughtonii*

Figure 1 – Amino acid score of peptide modules of soft tissues of the bivalve mollusk of the Far Eastern region *Anadara broughtonii*

Анализ содержания общих аминокислот в полученных пептидных модулях показывает, что содержание незаменимых аминокислот составляет 375,13 мг/г белка в пептидном модуле из мускула и 399,9 мг/г белка в пептидном

модуле из мантии. Максимально из незаменимых аминокислот представлены лейцин, лизин, валин, изолейцин, условно-незаменимая аминокислота аргинин. Из заменимых аминокислот максимальное содержание определено для аспарагиновой и глутаминовой аминокислот, а также пролина.

Немаловажной характеристикой пептидных модулей является аминокислотный скор, характеризующий качество белкового компонента. Аминокислотный скор пептидных модулей мягких тканей двустворчатого моллюска Дальневосточного региона *Anadara broughtonii* представлен на рисунке 1.

Анализ аминокислотного сора полученных пептидных модулей мягких тканей двустворчатого моллюска Дальневосточного региона *Anadara broughtonii* демонстрирует, что они имеют сбалансированный аминокислотный состав. Содержание практически всех незаменимых аминокислот, кроме одной, характеризуется аминокислотным скором от 131 до 200 %. Определена одна лимитирующая аминокислота – триптофан, аминокислотный скор которой составляет 75 % для пептидного модуля мускула и 80 % – для пептидного модуля мантии.

Содержащиеся в полученных пептидных модулях пептиды и свободные аминокислоты проявляют способность образования хелатных комплексов с определенными микроэлементами, в том числе и цинком. Высокое содержание данного микроэлемента, составляющее $0,24 \pm 0,01$ мг/мл (мускул) и $0,28 \pm 0,01$ мг/мл (мантия), доказывает эффективность его связывания с аминокислотной и пептидной матрицами пептидных модулей.

Результаты исследования содержания микроэлемента цинка в отдельных фракциях комплекса цинк-пептидный модуль мягких тканей двустворчатого моллюска Дальневосточного региона *Anadara broughtonii* представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Массовая доля цинка в отдельных фракциях комплекса цинк-пептидный модуль мягких тканей двустворчатого моллюска Дальневосточного региона *Anadara broughtonii*

Table 3 – Mass fraction of zinc in individual fractions of the zinc-peptide module complex of soft tissues of the bivalve mollusk of the Far Eastern region *Anadara broughtonii*

№ фракции	Молекулярная масса, кДа	Массовая доля цинка в фракции, %	
		мускул	мантия
1	2	3	4
1	≥ 160	$2,5,0 \pm 0,08$	$2,0 \pm 0,07$
2	67–160	$2,0 \pm 0,08$	$2,2 \pm 0,10$

ПЕПТИДНЫЙ ОБОГАЩЕННЫЙ МОДУЛЬ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ ДЛЯ ПРОФИЛАКТИКИ ОЖИРЕНИЯ И ГИПЕРЛИПИДЕМИИ

3	43–67	6,3±0,30	4,9±0,22
Продолжение таблицы 3 / Continuation of table 3			
1	2	3	4
4	24–43	8,1±0,40	7,2±0,33
5	18–24	7,0±0,34	8,4±0,41
6	12,5–18	30,8±1,44	28,1±1,35
7	6,5–12,5	25,2±2,56	27,8±1,77
8	1,4–6,5	13,9±0,30	16,1±0,80
9	≤1,4	4,2±0,15	3,3 ±0,01

Данные, представленные в таблице 3, показывают, что максимальное связывание микроэлемента цинка как в пептидном модуле мускула, так и мантии, происходит во фракциях с молекулярными массами 12,5–18 кДа и 6,5–12,5 кДа. Суммарно 81,1 % (мускул) и 83,7 % (мантия) цинка связано в низкомолекулярных фракциях массами от 24 до менее 1,4 кДа. Минимальная массовая доля цинка определена в высокомолекулярных фракциях массами более 160 кДа и 67–160 кДа – суммарно 4,2 % (мантия) и 4,5 % мускул.

Использование в пищевых системах полученных пептидных модулей мягких тканей двустворчатого моллюска Дальневосточного региона *Anadara broughtonii*, обогащенных цинком и таурином, будет оказывать влияние на метаболический синдром, в том числе и на профилактику гиперлипидемии и ожирения.

ВЫВОДЫ

Пептидные модули, полученные путем биотехнологической модификации белков мягких тканей двустворчатого моллюска Дальневосточного региона *Anadara broughtonii*, характеризуются высоким содержанием низкомолекулярных фракций и сбалансированным аминокислотным составом. Определено значительное содержание биологически активной аминокислоты таурина. Доказана высокая эффективность связывания микроэлемента цинка с аминокислотной и пептидной матрицами пептидных модулей, что может быть использовано для обогащения данным микроэлементом. Полученные обогащенные микроэлементом цинком и биологически активной аминокислотой таурином пептидные модули могут использоваться в качестве функционального ингредиента (пищевой добавки) в специализированных пищевых продуктах для профилактики гиперлипидемии и ожирения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. WHO (2020), Obesity and overweight, <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight>.
2. Kelly, T. Global burden of obesity in 2005 and projections to 2030. / T. Kelly, W. Yang, C.S. Chen // *Int J Obes (Lond)*. 2008, 32(9), P. 1431-37.
3. Дедов, И.И. Распространенность сахарного диабе-

та 2 типа у взрослого населения России (исследование NATION). / И.И. Дедов, М.В. Шестакова, Г.П. Галстян // *Сахарный диабет*. 2016, № 19(2), С. 104-112.

4. Must, A. The disease burden associated with overweight and obesity / A. Must, Spadano J., Coakley E. // *JAMA*. 1999. V. 282, pp. 1523-1529.

5. Guh, D. The incidence of co-morbidities related to obesity and overweight: a systematic review and meta-analysis / D. Guh, W. Zhang, N. Bansback // *BMC Public Health* 2009. V. 9, pp. 88.

6. Lenz, M. The morbidity and mortality associated with overweight and obesity in adulthood: a systematic review. / M. Lenz, T. Richter, I. Muhlhauser // *Dtsch Arztebl Int*. 2009. V. 106, pp. 641-648.

7. Arroyo-Johnson, C. Obesity Epidemiology Worldwide / C. Arroyo-Johnson, K.D. Mincey // *Gastroenterol Clin North Am*. 2016. V. 45(4), pp. 571-579.

8. Bary, G.A. Medicinal strategies in the treatment of obesity / G.A. Bary, L.A. Tartaglia // *Nature*, 2000, V. 404(6778), pp. 672-677.

9. Тарасенко, Н.А. Разработка функциональных продуктов питания для профилактики ожирения / Н.А. Тарасенко // *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*. 2015. № 4. С. 60-63.

10. Тарасенко, Н.А. Роль пищевых волокон в лечении и профилактике ожирения / Н.А. Тарасенко, З.А. Баранова, Н.П. Третьякова // *Научный журнал КубГАУ*, 2017, № 131(07), 25. Doi : 10.21515/1990-4665-131-025.

11. Blum, M. Vitamin D (3) in fat tissue / Blum M., Dolnikowski G., Seyoum E, Susan S.H. // *Endocr Rev*. 2008. V. 33. P. 90-94.

12. Wamberg, L. Causes of Vitamin D Deficiency and Effect of Vitamin D Supplementation on Metabolic Complications in Obesity: a Review // L. Wamberg, S.B. Pedersen, L. Rejnmark, B. Richelsen // *Curr Obes Rep*. 201. V. 4(4). pp. 429-440. doi: <https://doi.org/10.1007/s13679-015-0176-5>.

13. Rangel-Huerta, O.D. Normal or high polyphenol concentration in orange juice affects antioxidant activity, blood pressure, and body weight in obese or overweight adults / O.D. Rangel-Huerta, C.M. Aguilera, M.V. Martin // *J. Nutr*. 2015. V. 145 (8), pp. 1808-1816.

14. Бекетова, Н.А. Обеспеченность витаминами детей школьного возраста с ожирением / Н.А. Бекетова, Е.В. Павловская, В.М. Коденцова, О.А. Вржесинская, О.В. Кошелева, А.А. Сокольников, Т.В. Строкова // *Вопросы питания*. 2019. Т. 88(4). С. 66-74.

15. Maret, W. Regulation of Cellular Zinc Ions and Their Signaling Functions. In: *Zinc Signaling*. Singapore: Springer; 2019. pp. 5-22. DOI : 10.3390/ijms18112285.

16. МР 2.3.1.0253-21 "Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации" https://www.rosпотребнадзор.ru/documents/details.php?ELEMENT_ID=18979&ysclid=l2v0odpls2.

17. Cruz, K.J.C. The effect of zinc supplementation on insulin resistance in obese subjects: a systematic review / K.J.C. Cruz, J.B.S., Morais, A.R.S. de Oliveira, J.S., Severo, D. do Nascimento Marreiro // *Biol. Trace Elem. Res*. 2017. V. 176(2), pp. 239-243. DOI : 10.1007/s12011-016-0835-8.

18. Severo, J.S. Effect of Zinc Supplementation on Lipid Profile in Obese People: A Systematic Review / J.S. Severo, J. Morais, J.B. Beserra, L.M. de Farias, L.R. dos Santos, M.S.R. de Sousa, N.N. do Nascimento, M.D. do Nascimento // *Curr. Nutr. Food Sci*. 2019. V. 15(6). pp. 551-556. DOI: 10.2174/1573401314666180420094522.

19. Fernandez-Sanchez, A. Inflammation, oxidative stress, and obesity / A. Fernandez-Sanchez, E. Madrigal-Santillan, M. Bautista, J. Esquivel-Soto, A. Morales-Gonzalez, C. Esquivel-Chirino, I. Durante-Montiel, G. Sanchez-Rivera, C. Valadez-Vega, J.A. Morales-Gonzalez // *Int. J. Mol. Sci*. 2011. V. 12(5). pp. 3117-3132. DOI: 10.3390/ijms12053117.

20. Olechnowicz, J. Zinc status is associated with inflammation, oxidative stress, lipid, and glucose metabolism. / J. Olechnowicz, A. Tinkov, A. Skalny, J. Suliburska // J. Physiol. Sci. 2018. V. 68(1). pp. 19-31. DOI: 10.1007/s12576-017-0571-7.

21. Baltaci, A.K. Leptin and zinc relation: in regulation of food intake and immunity / A.K. Baltaci, R. Mogulkoc // Indian J. Endocrinol. Metab. 2012.16(3). pp. 611-606. DOI: 10.4103/2230-8210.105579.

22. Зорин, С.Н. Органический источник ванадия. Получение и физико-химическая характеристика / С.Н. Зорин, Ю.С. Сидорова, Ю.Н. Лобанова, В.К. Мазо // Вопросы питания. 2019. Т. 88(1), С. 85-90. DOI: 10.24411/0042-8833-2019-10010.

23. Зорин, С.Н. Комплексы меди, марганца и хрома с ферментативным гидролизатом селезенки свиньи: исследование in vitro / С.Н. Зорин, Ю.С. Сидорова, А.П. Плетень, В.К. Мазо // Вопросы питания. 2016. Т. 85(1), С. 81-84. DOI: 10.24411/0042-8833-2016-00010.

24. Мазо, В.К. Пищевой хелатный комплекс (варианты) / В.К. Мазо, Л.С. Абрамова, С.Н. Зорин // Патент на изобретение RU 2376892 C1, 27.12.2009. Заявка № 2008132570/13 от 08.08.2008.

25. Chen, W. Effect of taurine on cholesterol degradation and bile acid pool in rats fed a high-cholesterol diet / W. Chen, N. Nishimura, H. Oda, H. Yokogoshi // Adv. Exp. Med. Biol. 2003. V. 526. pp. 261-267. DOI: 10.1007/978-1-4615-0077-3_33.

26. Morsy, M.D. Taurine prevents high-fat diet-induced hepatic steatosis in rats by direct inhibition of hepatic sterol regulatory element-binding proteins and activation of AMPK / M.D. Morsy, M.S. Aboonq, M.A. ALSleem, A.A. Abusham // Clin. Exp. Pharmacol. Physiol. 2020. V. 48. pp. 72-85. DOI: 10.1111/1440-1681.13387.

27. Dong, Y. The molecular targets of taurine confer anti-hyperlipidemic effects / Y. Dong, X. Li, Y. Liu, J. Gao, J. Tao // Life Sci. 2021. V. 278. pp. 119579. DOI: 10.1016/j.lfs.2021.119579.

28. Yokogoshi, H. Dietary taurine enhances cholesterol degradation and reduces serum and liver cholesterol concentrations in rats fed a high-cholesterol diet / H. Yokogoshi, H. Mochizuki, K. Nanami, Y. Hida, F. Miyachi, H. Oda // J. Nutr. 1999. V. 129. pp. 1705-1712. DOI: 10.1093/jn/129.9.1705.

29. Tsuboyama-Kasaoka, N. Taurine (2-aminoethanesulfonic acid) deficiency creates a vicious circle promoting obesity / N. Tsuboyama-Kasaoka, C. Shozawa, K. Sano, Y. Kamei, S. Kasaoka, Y. Hosokawa, O. Ezaki // Endocrinology. 2006. V. 147. pp. 3276-3284. DOI: 10.1210/en.2005-1007.

30. Lin, S. Taurine improves obesity-induced inflammatory responses and modulates the unbalanced phenotype of adipose tissue macrophages / S. Lin, S. Hirai, Y. Yamaguchi, T. Goto, N. Takahashi, F. Tani // Mol. Nutr. Food Res. 2013. V. 57(12). pp. 2155-2165. DOI: 10.1002/mnfr.201300150.

31. Rosenberg, I.M. Protein Analysis and Purification: Benchtop Techniques. - Springer Science+Business Media, LLC, 1996. 520 p. DOI: 10.1007/978-1-4757-1108-0.

32. Досон, Р. Справочник биохимика / Р. Досон, Д. Эллиот, У. Эллиот // М.: Мир, 1991. 544 с. (Пер. с англ.).

33. Свириденко, Ю. Я. Научно-методические подходы к развитию технологии белковых гидролизатов для специального питания. Часть 1. Технология производства и технические характеристики гидролизатов / Ю.Я. Свириденко, Д.С. Мяконосов, Д.В. Абрамов, Е.Г. Овчинникова // Пищевая промышленность, 2017. № 5. С. 48-51.

34. Свириденко, Ю.Я. Научно-методические подходы к развитию технологии белковых гидролизатов для специального питания. Часть 2. Функциональные свойства белковых

гидролизатов, зависящие от специфичности протеолитических процессов / Ю.Я. Свириденко, Д.С. Мяконосов, Д.В. Абрамов, Е.Г. Овчинникова // Пищевая промышленность, 2017. № 6. С. 50-53.

35. Tagawa, R. Long-term dietary taurine lowers plasma levels of cholesterol and bile acids / R. Tagawa, M. Kobayashi, M. Sakurai, M. Yoshida, H. Kaneko, Y. Mizunoe // Int. J. Mol. Sci. 2022. V. 23 (3), 1793. DOI: 10.3390/ijms 23031793.

36. Inam-U-Llah Ameliorative effects of taurine against diabetes: a review / Inam-U-Llah, F. Piao, R.M. Aadil, R. Suleman, K. Li, M. Zhang // Amino Acids. 2018. V. 50(5), pp. 487-502. DOI: 10.1007/s00726-018-2544-4.

37. Morsy, M.D. Taurine prevents high-fat diet-induced hepatic steatosis in rats by direct inhibition of hepatic sterol regulatory element-binding proteins and activation of AMPK // M.D. Morsy, M.S. Aboonq, M.A. ALSleem, A.A. Abusham // Clin. Exp. Pharmacol. Physiol. 2020. V. 48(1), pp. 72-85. DOI: 10.1111/1440-1681.13387.

38. Don, Y. The molecular targets of taurine confer anti-hyperlipidemic effects / Y. Dong, X. Li, Y. Liu, J. Gao, J. Tao // Life Sci. 2021. V. 278. pp. 119579. DOI: 10.1016/j.lfs.2021.119579.

39. Yokogoshi, H. Dietary taurine enhances cholesterol degradation and reduces serum and liver cholesterol concentrations in rats fed a high-cholesterol diet / H. Yokogoshi, H. Mochizuki, K. Nanami, Y. Hida, F. Miyachi, H. Oda // J. Nutr. 1999. V. 129(9). pp. 1705-1712. DOI: 10.1093/jn/129.9.1705.

40. Wo'jcik, O.P. The potential protective effects of taurine on coronary heart disease. / O.P. Wo'jcik, K.L. Koenig, A. Zeleniuch-Jacquotte, M. Costa, Y. Chen // Atherosclerosis. 2010. V. 208 (1). pp. 19-25. DOI: 10.1016/j.atherosclerosis.2009.06.002.

Информация об авторах

А. В. Табакаев – кандидат технических наук, доцент базовой кафедры пищевой и клеточной инженерии Передовой инженерной школы «Институт биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем» ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет».

О. В. Табакаева – доктор технических наук, доцент, профессор базовой кафедры пищевой и клеточной инженерии Передовой инженерной школы «Институт биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем» ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет».

Information about the authors

A.V. Tabakaev - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Basic Department of Food and Cellular Engineering of the Advanced Engineering School "Institute of Biotechnology, Bioengineering and Food Systems" of the Far Eastern Federal University.

O.V. Tabakaeva - Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Basic Department of Food and Cellular Engineering of the Advanced Engineering School "Institute of Biotechnology, Bioengineering and Food Systems" Far Eastern Federal University".

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 12 апреля 2023; одобрена после рецензирования 29 февраля 2024; принята к публикации 05 марта 2024.

The article was received by the editorial board on 10 Apr 2023; approved after editing on 29 Feb 2024; accepted for publication on 05 Mar 2024.