

Научная статья

УДК 664.48

DOI: 10.17586/2310-1164-2022-15-2-10-19

Технология получения гранулированной биологически активной хитин-минеральной пищевой добавки, обогащенной пептидами

А.Н. Мануйлов^{1*}, Е.Э. Куприна¹, Е.И. Кипрушкина¹, О.В. Волкова¹, М.М. Шамцян², А.Н. Яркола³¹Университет ИТМО, Россия, Санкт-Петербург, *manu2@mail.ru²Санкт-Петербургский технологический институт, Россия, Санкт-Петербург³Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, Россия, Санкт-Петербург

Аннотация. Исследована возможность получения биологически активной добавки (БАД) на основе хитин-минеральных преципитатов, обогащенных пептидами, путем грануляции в псевдооживленном слое. БАД предназначена для корректировки минерал-дефицитных состояний и недостаточности пищевых волокон в рационе питания человека. Объектами исследования были продукты, полученные при комплексной переработке отходов от разделки северной креветки (*Pandalus borealis*) электрохимическим способом – хитин-минеральный комплекс и высокогидролизированный белковый продукт. Исследованы физико-химические свойства хитин-минерального преципитата и белкового гидролизата. Установлено, что пептиды, полученные из отходов от разделки креветки, являются перспективным связующим для гранулирования минерального преципитата, обеспечивая получение гранулята с высокой степенью распадаемости (не превышающей 7 мин), улучшенной сыпучестью (более 8 г/с). Показано, что пептиды обогащают полученную БАД незаменимыми аминокислотами. Выявлено, что с увеличением расхода связующего наблюдается улучшение технологических характеристик гранул (уменьшение насыпной плотности и увеличение сыпучести), однако при превышении расхода связующего выше 0,3 мг/г наблюдается образование суспензобразной массы, препятствующей формированию гранул. Исследовано влияние режимов грануляции на аминокислотный состав гранулированной БАД. Получена готовая форма БАД в виде гранул.

Ключевые слова: минеральные продукты питания; биологически активная добавка; гранулирование; хитин-минеральный комплекс; белковый гидролизат; псевдооживленный слой

Original article

Technology for obtaining granulated biologically active chitine-mineral food additive enriched in peptides

Andrey N. Manuilov^{1*}, Elena E. Kuprina¹, Elena I. Kiprushkina¹,
Olga V. Volkova¹, Mark M. Shamtsyan², Anastasia N. Yakkola³¹ITMO University, Russia, St. Petersburg, *manu2@mail.ru²Saint-Petersburg Institute of Technology, Russia, St. Petersburg³Military Space Academy n.a. A.F. Mozhaisky, Russia, St. Petersburg

Abstract. The possibility of obtaining dietary supplements based on chitin-mineral precipitates enriched with peptides by granulation in fluidized bed was studied. The dietary supplement is designed to correct mineral-deficient conditions and insufficiency of dietary fiber in the human diet. The objects of the study were products obtained during the complex processing of waste from the cutting of the northern shrimp (*Pandalus borealis*) by the electrochemical method – chitin-mineral complex and highly hydrolyzed protein product. The physicochemical properties of chitin-mineral precipitate and protein hydrolyzate have been studied. It has been established that peptides obtained from shrimp cutting waste are a promising binder for granulation of mineral precipitate, providing a granulate with a high degree of disintegration (not exceeding 7 min) and improved flowability (more than 8 g/s). It is also shown that the peptides enrich the resulting dietary supplement with essential amino acids. It was found that with an increase in the consumption of the binder, an improvement in the technological characteristics of the granules is observed (a decrease in bulk density and an increase in flowability), however, when the consumption of the binder exceeds 0.3 mg/g, the formation of a slurry-like mass preventing the formation of granules is observed. The effect of granulation regimes on the amino acid composition of granulated dietary supplements was studied. The finished form of dietary supplement in the form of granules was obtained.

Keywords: mineral food; biologically active additive; granulation; chitin-mineral complex; protein hydrolyzate; fluidized bed

Введение

Северная креветка (*Pandalus borealis*) – один из важнейших видов промысловых беспозвоночных Баренцева моря. Всего в мире ее добывается около 100 тыс. тонн ежегодно [1]. Наряду с белками креветка содержит витамины группы А, В, С, D, Е, минеральные вещества Са, Р, Mg, Fe и множество других полезных минералов. Значительная часть полезных веществ в большом количестве содержится в отходах от разделки этих ракообразных. Кроме того, отходы содержат хитин – пищевые волокна животного происхождения. Наряду с хитином последнее время интерес исследователей привлекают полупродукты получения хитина: хитин-минеральные комплексы, имеющие не менее ценные в практическом отношении свойства [2–4]. Одним из таких свойств является высокая сорбционная активность к ионам тяжелых и переходных металлов и радионуклидам [5–7]. Помимо этого, минеральные вещества, находясь в сбалансированной легкоусвояемой форме, способствуют восполнению дефицита кальция, магния, фосфора в организме человека [8].

Известно, что неорганическая матрица хитиновых волокон представлена кальцием, магнием и фосфором, при этом ее стабильность в пространстве обеспечивается ковалентно связанными с ней белково-пептидными образованиями. С целью выделения неорганической матрицы необходимо провести стадию депротенирования в результате которой наряду с минеральным преципитатом образуется белковый гидролизат.

При разработке функциональных продуктов питания обогащение минеральными веществами является простым и доступным способом улучшения их пищевых качеств. Тем не менее, обогащение минералами может привести к изменению физических и органолептических свойств пищевых продуктов. Например, фортификанты железа вызывают окисление липидов, увеличивают прогорклость и приводят к нежелательным изменениям цвета пищевых продуктов [9, 10]. Аналогичным образом обогащение солями кальция и магния может вызвать нежелательные изменения текстуры и стабильности некоторых пищевых продуктов за счет образования физико-химических связей между такими компонентами пищевой матрицы, как белки и полисахариды [11, 12]. Кроме того, некоторые компоненты пищевой матрицы могут препятствовать усвоению и биодоступности минералов [11].

Комплексообразование минералов с такими органическими соединениями, как аминокислоты, используется для уменьшения их взаимодействия с пищевой матрицей [12, 13]. Из-за высокой стоимости аминокислот, пептиды, полученные из пищевых белков, представляются многообещающими лигандами для комплексообразования с двухвалентными металлами для улучшения минеральной биодоступности и смягчения дефицита питательных микроэлементов [14]. Минералохелатирующие свойства пептидов объясняются структурным разнообразием их остова, который содержит как концевые карбоксильные и аминогруппы, так и боковые цепи аминокислотных остатков [13].

В работе [15] широко обсуждался потенциал пищевых пептидов в качестве лигандов переходных металлов для улучшения всасывания железа, кальция и магния. В другом обзоре [10] особое внимание уделялось роли комплексов пептид–металл в снижении прооксидантного действия минералов. В сравнении с другими работами здесь подчеркивается потенциал использования пептидно-минеральных комплексов в качестве функциональных пищевых ингредиентов для устранения дефицита микроэлементов с акцентом на их растворимость, переваривание в желудочно-кишечном тракте, абсорбцию и биодоступность.

Так как при комплексной переработке отходов образуется хитин-минеральный продукт, содержащий ионы металлов в оптимальном для усвоения соотношении в форме гидроксиапатита, было целесообразно его совмещать с пептидами, образующимися в этом же процессе. Известно, что при электрохимической переработке креветки происходит распад структуры панциря, и он превращается в мелкодисперсный порошок, существует экологическая проблема его производства и использования в качестве БАД, а именно образование пыли. Существует известный подход в борьбе с этой проблемой – грануляция. Нами было предложено при грануляции в качестве связующего использовать отходы производства хитин-минерального комплекса – белковый гидролизат, содержащий пептиды.

Цель работы – разработать технологию гранулированной формы БАД на основе хитин-минерального комплекса с увеличенной биологической и пищевой ценностью за счет обогащения ее пептидами в процессе грануляции, а также исследовать влияние режимов грануляции на технологические и физико-химические свойства полученной пищевой добавки.

Объекты и методы исследования

В качестве объектов исследования использовали отходы от ручной разделки северной креветки (*Pandalus borealis*) Баренцева моря и продукты, полученные из них при комплексной электрохимической переработке в соответствии с технологией, описанной в [16, 17].

Определение аминокислотного состава белкового гидролизата исследовали методом газовой хроматографии на аминно-кислотном анализаторе фирмы Yanako (Япония), для чего аликвоту образца после избыточного гидролиза 6 н. соляной кислотой в течение 20 ч при 110°C выпаривали досуха под вакуумом при 60°C, после чего нелетучие аминокислоты переводили в летучую форму триметилсилильных (ТМС-) производных методом силилирования 1,1,1,3,3,3-гексаметилдисилазаном в присутствии трифторуксусной кислоты. Условия анализа: колонка SBP5-25 (25 м x 0,25 мм x 0,2 мкм); газ-носитель N₂, 20,0 см/с.

Определение массовой доли воды проводилось по стандартной методике в соответствии с ГОСТ 7636-85. Метод основан на выделении (испарении) воды из продукта при тепловой обработке 100–105°C и определении изменения его массы взвешиванием.

Определение массовой доли золы проводилось весовым методом в соответствии с ГОСТ 7636-85.

Определение массовой доли минерального остатка после прокаливания проводилось весовым методом в соответствии с ГОСТ 7636-85.

Количество общего азота и сырого протеина определяли по методу Кьельдаля в соответствии с ГОСТ 7636-85. Метод основан на окислении органического вещества при сжигании его в серной кислоте в присутствии катализатора, отгонке образующегося аммиака паром, улавливании его раствором серной кислоты и определении содержания азота методом титрования. Отделение минерального остатка от белкового раствора осуществлялось через капроновый фильтр.

Определение содержания общих липидов проводилось экстрагированием липидов по методу Блайя и Дайера весовым методом в смеси растворителей метанол (этанол):хлороформ (1:2) при соотношении продукт:экстрагент (1:10).

Определение фракционного состава гранулятов проводили при помощи набора сит, при котором исследуемый материал разделяют на фракции просеиванием через стандартный набор сит (ГОСТ 3584-73) в течение 5 мин, а затем находят массу каждой фракции и ее процентное содержание.

Определение насыпной плотности проводили путем свободного насыпания порошка (гранулята) с условием уплотнения. Для этого в мерный цилиндр малыми порциями при легком постукивании по стенке цилиндра насыпали исследуемый материал до тех пор, пока визуально не обнаруживалось уменьшение объема. Затем материал взвешивали.

Определение остаточной влажности осуществляли высушиванием исследуемого образца в сушильном шкафу до постоянной массы, затем охлаждали в экстракторе 30 мин и взвешивали.

Сыпучесть гранулированной формы БАД проводили по методике, основанной на сравнении времени истечения определенного объема экспериментального образца через специально изготовленную воронку со временем истечения такого же объема стандартного песка.

Определение прочности гранул проводили с помощью устройства ИПГ-1М (Россия). Принцип действия прибора основан на измерении величины минимальной силы, под воздействием которой происходит разрушение гранулы при ее сжатии между двумя параллельными плоскостями.

Определение распадаемости гранул изучали лабораторном идентификаторе распадаемости. Лимит времени распадаемости согласно Государственной Фармакопеи для гранул пищевого назначения составляет 15 минут [18].

Грануляцию хитин-минерального преципитата проводили в аппарате с псевдооживленным слоем фирмы Aeromatic, тип Strea-I (Швейцария).

В таблице 1 представлены режимы процесса гранулирования, отличающиеся параметрами. Полученным образцам преципитата присвоены номера 1, 2, 3. Далее по тексту нумерация образцов сохраняется.

Таблица 1. Рабочие параметры процесса гранулирования хитин-минерального преципитата
Table 1. Performance parameters of the granulation process for chitin-mineral precipitate

Образцы	Время гранулирования, мин	Расход связующей жидкости, мл/г	Температура на входе в аппарат, °С	Температура на выходе из аппарата, °С	Расход воздуха на псевдоожижение, м ³ /ч
1	5	0,1	70	40	50
2	10	0,2	80	50	50÷68
3	15	0,3	90	60	50÷60

Результаты и их обсуждение

Определяли химический состав панциря креветки (*Pandalus borealis*), представленный в таблице 2.

Таблица 2. Химический состав отходов от разделки креветки *Pandalus borealis*
Table 2. The chemical composition of waste from cutting *Pandalus borealis* shrimp

Сырье	Содержание влаги, %	Содержание основных компонентов в % к сухому веществу				
		зола	общий азот	белок*	липиды	хитин
Панцирь креветки <i>Pandalus borealis</i> (сух)	12 ± 0,5	35 ± 0,5	7 ± 0,5	43,75 ± 3	3 ± 0,5	14 ± 0,5

*для расчета количества белка по общему азоту: в хитине был принят коэффициент пересчета 6,90, а в белке – 6,25

Из данных таблицы 2 следует, что отходы от разделки креветки содержат большое количество белка и минеральных веществ и перспективны для получения, хитин-минерального комплекса и белкового гидролизата.

*Описание технологического процесса комплексной переработки отходов от разделки северной креветки *Pandalus borealis*.*

Сухое, смоченное водой или католитом в соотношении 1:1, панцирь содержащее сырье диспергировали на типовом диспергирующем оборудовании (волчке, фаршмашине) до размера частиц $3-5 \cdot 10^{-3}$ м. Депротенирование отходов осуществлялось в две стадии. Для первой стадии депротенирования диспергированное сырье смешивали в реакторе с мешалкой и рубашкой с катодной фракцией, полученной после депротенирования предыдущей партии сырья в электролизере; далее осуществляли нагрев до $80 \pm 5^\circ\text{C}$ и термостатирование при этой температуре в течение 30 мин при перемешивании суспензии мешалкой со скоростью не менее 180 об/мин. Затем суспензия разделялась центрифугированием или фильтрованием с отжимом на фильтр-прессе с $F \geq 3500$ г для отделения белкового раствора от нерастворившегося хитин-минерального осадка.

Для более глубокого депротенирования сырья осуществлялась повторное депротенирование путем обработки сырья в электролизере.

Растворы электролитов готовили путем разбавления до нужной концентрации заранее приготовленных концентрированных растворов (NaCl , Na_2SO_4) в отдельных реакторах.

Электрохимическую обработку осуществляли до достижения рН не менее 12,0 при силе тока I 500–1000 А/м² и напряжении $U \geq 10$ В, при этом напряженность электрического поля E не должна быть менее 5 В/см и более 10 В/см. Количество пропущенного электричества не должно превышать 4500 Кл/л. При используемой конструкции электролизеров данному количеству пропущенного электричества и плотности тока соответствует время процесса 25–30 мин, достаточного для завершения основных экстракционных процессов белка из сырья. По завершении электролиза суспензия подается в реактор с мешалкой и рубашкой, где осуществляется ее нагрев до $70 \pm 5^\circ\text{C}$ и термостатирование в течение 30 мин, отделенный фильтрованием или центрифугированием с $F \geq 3500$ г католит смешивается с новой порцией сырья и т. д., что обеспечивает безотходность процесса.

Для нейтрализации белкового раствора с рН 10,0–11,0 использовали 1N раствор HCl. Нейтрализацию осуществляли в реакторе с мешалкой при нормальных условиях до рН $7,0 \pm 0,2$.

В результате электрохимической переработки из 1 кг отходов (сухих) от разделки креветки было получено 10 л белкового гидролизата и 200 г хитин-минерального преципитата, который можно рассматривать как БАД к пище на основе пищевых волокон. Использование хитин-минерального

преципитата как БАД известно, при этом установлено, что она также обладает Ca, Mg, P обогащающими свойствами [19].

Характеристики полученного белкового гидролизата из северной креветки *Pandalus borealis*: количество сухих веществ – 6,95%, зола – 2,14%, N_{общ.} – 0,89%, N_{амин.} – 0,68%, белок – 3,25%, жир – 0,42%.

Аминокислотный состав белкового гидролизата, полученного электрохимическим способом представлен в таблице 3.

Таблица 3. Аминокислотный состав белкового гидролизата
Table 3. Amino acid composition of protein hydrolysate obtained

Аминокислоты, г/100 г белка	Белковый гидролизат, полученный электрохимическим способом
аланин	31,45
аргинин	8,55
аспарагиновая	15,9
глутаминовая	20,65
глицин	7,35
гистидин	3,95
валин	10,47
изолейцин	9,32
лейцин	17,13
лизин	13,79
метионин	2,42
фенилаланин	10,15
пролин	7,40
серин	5,70
треонин	10,80
таурин	1,55
тирозин	6,25
цистеин	0,65

Анализ аминокислотного состава белков, полученных электрохимическим способом (таблица 3), показывает, что они являются полноценными, содержат все незаменимые аминокислоты, богаты лизином, треонином и изолейцином. Так как эти аминокислоты являются лимитирующими во многих продуктах питания, особенно на основе белков растительного происхождения, то добавки белкового гидролизата из ракообразных к БАД – хитин-минеральному комплексу весьма целесообразно.

Были исследованы технологические характеристики хитин-минерального преципитата. Данные представлены в таблице 4.

Таблица 4. Технологические характеристики хитин-минерального преципитата
Table 4. Technological characteristics of chitin-mineral precipitate

Насыпная плотность, г/см ³	Гранулометрический состав										Влажность, %	
	Диаметр сита, мм											
	0,315		0,25		0,2		0,1		0,063			
Сыпучесть, г/с	м, г	%	м, г	%	м, г	%	м, г	%	м, г	%		
0,826	2,275	8,0	16,0	5,0	10,0	4,6	9,2	20,0	40,0	12,0	24,0	5,0

Учитывая, что сегодня все большую востребованность приобретают продукты с длительным сроком хранения, в том числе и гранулированные, то данное направление является перспективным и в рыбной

промышленности. Поскольку хитин-минеральный преципитат и белковый гидролизат получены в одном технологическом процессе, исследовали возможность их совмещения при помощи грануляции.

Гранулирование в псевдооживленном слое является наиболее перспективным для получения гранул. Этот метод относится к влажному гранулированию, но является наиболее технически совершенным, так как позволяет совместить операции смешения, сушки и гранулирования в одном аппарате и организовать непрерывное производство с высокой производительностью выходящего продукта при одновременном улучшении санитарно-гигиенических условий производства и качества продукта.

Полученный таким образом гранулят отличается рядом преимуществ от гранулята, полученного путем механического гранулирования с увлажнением: гранулы имеют более округлую форму, обладают лучшей сыпучестью, более сбалансирован фракционный состав.

Также при выборе способа гранулирования были учтены следующие преимущества данного способа:

- ✓ возможность гранулирования порошков, склонных к разложению при длительном воздействии тепла и влаги;
- ✓ идеальный процесс как для термолабильных, так и термостабильных продуктов;
- ✓ снижение механической загрязненности и микробной обсемененности продукта.

Таким образом, в качестве основы для грануляции использовали хитин-минеральный преципитат, а в качестве связующего агента (связующего материала) – двухпроцентный раствор белкового гидролизата также из панциря северной креветки.

После проведения процесса гранулирования в псевдооживленном слое исследовали технологические характеристики полученного гранулята: насыпную плотность, сыпучесть, влажность, гранулометрический состав, распадаемость и прочность гранул. Данные представлены в таблицах 5–7.

Таблица 5. Технологические характеристики гранулированного хитин-минерального преципитата в зависимости от условий грануляции

Table 5. Technological characteristics of granulated chitin-mineral precipitate depending on granulation conditions

Образцы	Показатель свойств		
	насыпная плотность, г/см ³	сыпучесть, г/с	влажность, %
1	0,72	3,73	5,56
2	0,67	5,80	5,78
3	0,65	8,24	5,70

Из данных таблицы следует, что с увеличением расхода связующего отмечается уменьшение насыпной плотности гранул и улучшение сыпучести.

Далее проводили исследования фракционного состава каждого опыта с использованием стандартного набора сит с отверстиями: 2,5; 1,0; 0,8; 0,5; 0,315; 0,25; 0,2; 0,1; 0,063 мм. Полученные данные представлены таблице 7.

Таблица 6. Гранулометрический состав гранулята минерального преципитата

Диаметр отверстия $d_{отв}$, мм	Фракционный состав					
	образцы					
	1		2		3	
	м, г	%	м, г	%	м, г	%
2,5	13,7	8,8	6,4	3,5	5,6	3,1
1,0	16,6	10,7	29,7	16,4	38,8	21,6
0,8	20,2	13,0	41,7	23,0	49,5	27,5
0,5	28,2	18,2	34,3	19,0	35,2	18,9
0,315	14,3	9,2	11,0	6,0	10,4	5,8
0,25	10,3	6,6	6,7	3,7	5,7	3,2
0,2	31,3	20,2	22,4	12,4	19,2	10,7

Выявлено, что средний диаметр гранул минерального преципитата изменялся в диапазоне от 2,5 до 0,2 мм. При увеличении расхода связующего процентное содержание более крупных гранул увеличивалось. Также размер гранул менялся в зависимости от температурного режима.

Фракционный состав является важным показателем качества продукта, который определяется прочностью и растворимостью гранул. В связи с этим стало необходимым исследовать данные характеристики с помощью устройства ИПГ-1М (Россия). Изучение прочности гранул показало, что с увеличением расхода связующего происходит увеличение плотности.

Распадаемость является одной из качественных характеристик готовой формы биологически активной добавки, которая показывает ее усвояемость при употреблении. Нами была исследована распадаемость полученных гранул, верхний предел которой, согласно Государственной Фармакопее, соответствует 15 мин [18]. Данные представлены в таблице 8.

Таблица 7. Прочностные характеристики образцов гранулята минерального преципитата
Table 7. Strength characteristics of granulate samples

Образцы	Статическая прочность, МПа	Распадаемость, с
1	0,334	324,6
2	0,595	371,7
3	0,768	413,3

В связи с использованием повышенных температур в процессе гранулирования необходимо оценить их влияние на термолабильные аминокислоты. Данные влияния температуры грануляции на изменение аминокислотного состава полученных гранул представлены в таблице 8.

Таблица 8. Влияние режимов грануляции на аминокислотный состав гранулята
Table 8. Influence of granulation modes on the amino acid composition of the granulate

Наименование аминокислоты	До грануляции, г/100 г белка	После грануляции, г/100 г белка образцы		
		1	2	3
аланин	31,64	31,57	31,52	30,50
аргинин	8,55	8,30	8,23	8,20
аспаргиновая	15,90	15,80	15,75	15,70
глутаминовая	20,65	20,43	20,40	20,41
глицин	7,35	7,28	7,14	7,10
гистидин	3,95	3,8	3,80	3,60
валин	10,47	10,40	10,30	10,20
изолейцин	9,32	9,30	9,20	9,12
лейцин	17,13	16,97	16,90	16,84
лизин	13,79	13,60	13,54	13,42
метионин	2,42	2,40	2,38	2,24
фенилаланин	10,15	10,10	10,00	9,95
пролин	7,40	7,28	7,25	7,20
серин	5,70	5,65	5,53	5,50
треонин	10,80	10,60	10,58	10,56
таурин	1,55	1,50	1,48	1,47
тирозин	6,25	6,18	6,16	6,10
цистеин	0,65	0,62	0,60	0,59

Из таблицы следует, что экспериментальные данные аминокислотного состава гранул, полученные при указанных режимах грануляции, достоверно не отличаются между собой, что свидетельствует о несущественном влиянии температуры и продолжительности гранулирования на биохимические характеристики БАД.

Заключение

Разработана технология получения БАД на основе хитин-минерального преципитата, полученного при комплексной переработке отходов от разделки северной креветки *Pandalus borealis* в гранулированном виде с улучшенными биохимическими характеристиками за счет обработки преципитата белковым

гидрализатом. Установлено, что пептиды, полученные из отходов от разделки креветки, являются перспективным связующим для гранулирования минерального преципитата.

Выявлено влияние режимов грануляции на такие технологические свойства гранул, как насыпная плотность, сыпучесть, влагосодержание, прочность, распадаемость.

Показано, что в ходе грануляции гранулометрический состав минерального преципитата изменялся в диапазоне размеров от 2,5 до 0,2 мм.

Определено, что при грануляции происходит уменьшение насыпной плотности и улучшение сыпучести, что обеспечивает технологическую чистоту производства БАД.

Установлено, что по мере увеличения нанесения количества связующего на минеральный преципитат при грануляции от 0,1 до 0,3 мл/г гранулят характеризуется полидисперсностью размеров гранул, подчиняющейся нормальному закону распределения. При внесении более 0,3 мл/г начинается формирование суспензобразной массы, что отрицательным образом сказывается на образовании гранул.

В связи с тем, что эффективность готовой формы биологически активной добавки в виде гранул определяется временем распадаемости, установлено, что эта характеристика зависит от расхода связующей жидкости при грануляции. В нашем случае время распадаемости опытного образца, полученного при количествах связующего от 0,1 до 0,3 мл/г, удовлетворяло требованиям и составило 7 мин.

Исследовано влияние режимов грануляции на аминокислотный состав гранулированной БАД. Установлено, что при грануляции температура не оказывает существенного влияния на качественный и количественный аминокислотный состав пептидов. Незначительное снижение содержания аминокислот в грануляте может быть связано как с потерей влаги, так и с денатурацией пептидов при грануляции.

Благодаря использованию белкового гидролизата в качестве связующего удалось обогатить минералсодержащую БАД ценными аминокислотами (46,1% от суточной потребности в незаменимых аминокислотах) и увеличить ее биологическую ценность.

Литература

1. Михайлова О.Г. Промысел северной креветки *Pandalus borealis* у западной камчатки в 2004–2015 гг. // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. 2016. № 40. С. 42–49. DOI: 10.15853/2072-8212.2016.40.42-49
2. Rahman M., Halfar J., Adey W., Nash M., Paulo C., Dittrich M. The role of chitin-rich skeletal organic matrix on the crystallization of calcium carbonate in the crustose coralline alga *Leptophytum foecundum*. *Scientific Reports*. 2019, V.9, no. 1, article 11869. DOI: 10.1038/s41598-019-47785-2
3. Sun X., Sarteshnizi R., Boachie R., Okagu O., Abioye R.O., Neves R.P., Ohanenye I.C., Udenigwe C.C. Peptide-mineral complexes: understanding their chemical interactions, bioavailability, and potential application in mitigating micronutrient deficiency. *Foods*. 2020, V.9, no. 10, article 1402. DOI: 10.3390/foods9101402
4. Мельников В.А., Мельников А.В., Ярыгин Ю.И., Шелепов В.Г., Мотовилов О.К., Кашина Г.В. Способ получения хитин-минерального комплекса из панцирьсодержащих отходов переработки рачка гаммарус: пат. 2541645 Российская Федерация. 2015. Бюл. № 5. 9 с.
5. Dragan E., Dinu M. Advances in porous chitosan-based composite hydrogels: Synthesis and applications. *Reactive and Functional Polymers*. 2020, V. 146, article 104372. DOI: 10.1016/j.reactfunctpolym.2019.104372
6. Zemskova L., Egorin F., Tokar E., Ivanov V. Chitosan-based biosorbents: immobilization of metal hexacyanoferrates and application for removal of cesium radionuclide from aqueous solutions. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*. 2019, V. 92, no. 2, pp. 459–466. DOI: 10.1007/s10971-019-05019-x
7. Wan M., Qin W., Lei C., Li Q. et al. Biomaterials from the sea: Future building blocks for biomedical applications. *Bioactive Materials*. 2021, V. 6, no. 12, pp. 4255–4285. DOI: 10.1016/j.bioactmat.2021.04.028
8. Мезенова О.Я. Основы технологии высокоминерализованных биопрепаратов // Биотехнология морепродуктов. М.: Мир, 2006. Гл. 7. С. 439–458.
9. Udechukwu M., Collins S., Udenigwe C. Prospects of enhancing dietary zinc bioavailability with food-derived zinc-chelating peptides. *Food and Function*. 2016, V.7, no. 10, pp. 4137–4144. DOI: 10.1039/c6fo00706f
10. Jahan T., Vandenberg A., Glahn R., Tyler R., Reaney M., Tar'an B. Iron fortification and bioavailability of chickpea (*Cicer arietinum L.*) seeds and flour. *Nutrients*. 2019, V.11, no. 9, article 2240. DOI: 10.3390/nu11092240
11. Nawaz A., Li E., Irshad S., Xiong Z., Shahbaz M.H., Siddique F. Valorization of fisheries by-products: Challenges and technical concerns to food industry. *Trends in Food Science and Technology*. 2020, V. 99, pp. 34–43. DOI: 10.1016/j.tifs.2020.02.022

12. Caetano-Silva M.E., Netto F.M., Bertoldo-Pacheco M.T., Alegria A., Cilla A. Peptide-metal complexes: Obtention and role in increasing bioavailability and decreasing the pro-oxidant effect of minerals. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2020, V. 61, no. 9, pp. 1470–1489. DOI: 10.1080/10408398.2020.1761770
13. Guo L.D., Harnedy P.A., Li B.F., Hou H., Zhang Z., Zhao X., Fitzgerald R.J. Food protein-derived chelating peptides: Biofunctional ingredients for dietary mineral bioavailability enhancement. *Trends in Food Science and Technology*. 2014, V. 37, Is. 2, pp. 92–105. DOI: 10.1016/j.tifs.2014.02.007
14. Wu W., Yang Y., Sun N., Bao Z., Lin S. Food protein-derived iron-chelating peptides: The binding mode and promotive effects of iron bioavailability. *Food Research International*. 2020, V. 131, article 108976. DOI: 10.1016/j.foodres.2020.108976
15. Walters M.E., Esfandi R., Tsopmo A. Potential of food hydrolyzed proteins and peptides to chelate iron or calcium and enhance their absorption. *Foods*. 2018, V. 7, no. 10, pp. 172–188. DOI: 10.3390/foods7100172
16. Kuprina E.E., Brosalina A.A., Bobylev V.S., Kirillov A.I. Development of food improving calcium-enriched bioactive agents produced from chitinous wastes generated in the process of aquatic animal processing. *International Journal of Advanced and Integrated Medical Sciences*. 2014, V. 19, pp. 53–64. DOI: 10.15259/PCACD.19.06
17. Куприна Е.Э., Тимофеева К.Г., Красавцев В.Е., Бойков Ю.А. Опытнo-промышленная установка для получения хитин-минерального комплекса «Хизитэл» электрохимическим способом // Современные перспективы в исследовании хитина и хитозана: сб. тр. М.: Изд-во ВНИРО, 2006. С. 34–37.
18. Государственная фармакопея Российской Федерации. Лекарственное растительное сырье и методы его анализа. XIV издание. М.: Медицина, 2018. Т. 2. С. 1860.
19. Тимофеева К.Г. Технология получения биологически активных хитин-минеральных препаратов из ракообразных электрохимическим способом: дис. ... канд. техн. наук. Щёлково, 2011. 212 с.

References

1. Mikhaylova O.G. Fishing of northern shrimp *Pandalus borealis* on west Kamchatka in 2004-2015. *The Researches of the Aquatic Biological Resources of Kamchatka and the North-West Part of the Pacific Ocean*. 2016, no. 40, pp. 42–49. DOI: 10.15853/2072-8212.2016.40.42-49 (In Russian)
2. Rahman M., Halfar J., Adey W., Nash M., Paulo C., Dittrich M. The role of chitin-rich skeletal organic matrix on the crystallization of calcium carbonate in the crustose coralline alga *Leptophytum foecundum*. *Scientific Reports*. 2019, V.9, no. 1, article 11869. DOI: 10.1038/s41598-019-47785-2
3. Sun X., Sarteshnizi R., Boachie R., Okagu O., Abioye R.O., Neves R.P., Ohanenye I.C., Udenigwe C.C. Peptide-mineral complexes: understanding their chemical interactions, bioavailability, and potential application in mitigating micronutrient deficiency. *Foods*. 2020, V.9, no. 10, article 1402. DOI: 10.3390/foods9101402
4. Mel'nikov V.A., Mel'nikov A.V., Jarygin J.I., Shelepov V.G., Motovilov O.K., Kashina G.V. Production of chitin-mineral complex from corset-bearing wastes of gammarus. *Patent RF*, no. 2541645. 2015.
5. Dragan E., Dinu M. Advances in porous chitosan-based composite hydrogels: Synthesis and applications. *Reactive and Functional Polymers*. 2020, V. 146, article 104372. DOI: 10.1016/j.reactfunctpolym.2019.104372
6. Zemskova L., Egorin F., Tokar E., Ivanov V. Chitosan-based biosorbents: immobilization of metal hexacyanoferrates and application for removal of cesium radionuclide from aqueous solutions. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*. 2019, V. 92, no. 2, pp. 459–466. DOI: 10.1007/s10971-019-05019-x
7. Wan M., Qin W., Lei C., Li Q. et al. Biomaterials from the sea: Future building blocks for biomedical applications. *Bioactive Materials*. 2021, V. 6, no. 12, pp. 4255–4285. DOI: 10.1016/j.bioactmat.2021.04.028
8. Mezenova O.Ya. Fundamentals of the technology of highly mineralized biological products. *Biotechnology of Seafood*. Moscow, Mir Publ., 2006, ch. 7, pp. 439–158. (In Russian)
9. Udechukwu M., Collins S., Udenigwe C. Prospects of enhancing dietary zinc bioavailability with food-derived zinc-chelating peptides. *Food and Function*. 2016, V.7, no. 10, pp. 4137–4144. DOI: 10.1039/c6fo00706f
10. Jahan T., Vandenberg A., Glahn R., Tyler R., Reaney M., Tar'an B. Iron fortification and bioavailability of chickpea (*Cicer arietinum L.*) seeds and flour. *Nutrients*. 2019, V.11, no. 9, article 2240. DOI: 10.3390/nu11092240
11. Nawaz A., Li E., Irshad S., Xiong Z., Shahbaz M.H., Siddique F. Valorization of fisheries by-products: Challenges and technical concerns to food industry. *Trends in Food Science and Technology*. 2020, V. 99, pp. 34–43. DOI: 10.1016/j.tifs.2020.02.022
12. Caetano-Silva M.E., Netto F.M., Bertoldo-Pacheco M.T., Alegria A., Cilla A. Peptide-metal complexes: Obtention and role in increasing bioavailability and decreasing the pro-oxidant effect of minerals. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2020, V. 61, no. 9, pp. 1470–1489. DOI: 10.1080/10408398.2020.1761770
13. Guo L.D., Harnedy P.A., Li B.F., Hou H., Zhang Z., Zhao X., Fitzgerald R.J. Food protein-derived chelating peptides: Biofunctional ingredients for dietary mineral bioavailability enhancement. *Trends in Food Science and Technology*. 2014, V. 37, Is. 2, pp. 92–105. DOI: 10.1016/j.tifs.2014.02.007
14. Wu W., Yang Y., Sun N., Bao Z., Lin S. Food protein-derived iron-chelating peptides: The binding mode and promotive effects of iron bioavailability. *Food Research International*. 2020, V. 131, article 108976. DOI: 10.1016/j.foodres.2020.108976

15. Walters M.E., Esfandi R., Tsopmo A. Potential of food hydrolyzed proteins and peptides to chelate iron or calcium and enhance their absorption. *Foods*. 2018, V. 7, no. 10, pp. 172–188. DOI: 10.3390/foods7100172
16. Kuprina E.E., Brosalina A.A., Bobylev V.S., Kirillov A.I. Development of food improving calcium-enriched bioactive agents produced from chitinous wastes generated in the process of aquatic animal processing. *International Journal of Advanced and Integrated Medical Sciences*. 2014, V. 19, pp. 53–64. DOI: 10.15259/PCACD.19.06
17. Kuprina E.E., Timofeeva K.G., Krasavtsev V.E., Boikov Yu.A. Experimental-producing unit for getting chitin-mineral complex "Chizitel" by electrochemical method. *Modern Perspectives in Chitin and Chitosan. Collection of works*. Moscow, VNIRO Publ., 2006, pp. 34–37. (In Russian)
18. *The State Pharmacopoeia of the Russian Federation*. Medicinal plant raw materials and methods for its analysis. XIV ed. Moscow, Medicine Publ., 2018, p. 1860. (In Russian)
19. Timofeeva K.G. Technology for obtaining biologically active chitin-mineral preparations from crustaceans by the electrochemical method. Candidate's thesis. Shchelkovo, 2011. (In Russian)

Информация об авторах

Андрей Николаевич Мануйлов – аспирант факультета биотехнологий

Елена Эдуардовна Куприна – д-р техн. наук, профессор факультета биотехнологий

Елена Ивановна Кипрушкина – д-р техн. наук, доцент факультета биотехнологий

Ольга Владимировна Волкова – д-р техн. наук, доцент научно-образовательного центра химического инжиниринга и биотехнологий

Марк Маркович Шамцян – канд. техн. наук, заведующий кафедрой технологии микробиологического синтеза

Анастасия Николаевна Яккола – канд. техн. наук, преподаватель

Information about the authors

Andrey N. Manuylov, Graduate student of the Faculty of Biotechnology

Elena E. Kuprina, Dr. Sci., Professor of the Faculty of Biotechnology

Elena I. Kiprushkina, Dr. Sci., Associate Professor of the Faculty of Biotechnology

Olga V. Volkova, Dr. Sci., Associate Professor of the Scientific and Educational Center for Chemical Engineering and Biotechnology

Mark M. Shamtshyan, Ph. D., Head of the Department of Microbiological Synthesis Technology

Anastasia N. Yakkola, Ph. D., Lecturer

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflicts of interests

Статья поступила в редакцию 20.03.2022

Одобрена после рецензирования 23.05.2022

Принята к публикации 31.05.2022

The article was submitted 20.03.2022

Approved after reviewing 23.05.2022

Accepted for publication 31.05.2022