



Научная статья
4.3.3 – Пищевые системы (технические науки)
УДК 664

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.020



ПОЛУЧЕНИЕ МИКРОИНКАПСУЛИРОВАННОГО ЭКСТРАКТА ПРОРОСТКОВ *BRASSICA OLERACEA* VAR. *ITALICA*

Эльмира Рамазановна Эминова¹, Ангелина Сергеевна Сорокина²,
Людмила Александровна Забодалова³, Никита Тютков⁴,
Пабло Багنون Ричард Анж Аллох⁵, Денис Александрович Бараненко⁶

^{1, 2, 3, 4, 5, 6} Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия
¹ eminova@itmo.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9624-4429>
² gillya@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0328-550X>
³ izabodalova@itmo.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2324-8311>
⁴ nikita_tytkov@itmo.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7394-7524>
⁵ pabloalloh@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4954-9470>
⁶ denis.baranenko@itmo.ru*, <https://orcid.org/0000-0002-9284-4379>

Аннотация. Целью исследования являлось получение микроинкапсулированной формы экстракта проростков брокколи, оптимизированного в отношении содержания биологически активных веществ. Осуществлялась оптимизация условий извлечения фенольных соединений брокколи по трём факторам – гидромодулю, продолжительности экстракции и мощности ультразвукового воздействия. В соответствии с полученными экспериментальными данными, были установлены следующие условия: гидромодуль - 1:25; продолжительность экстракции - 60 сек; мощность ультразвукового воздействия - 300 Вт, растворитель – 70 %-ная водно-этанольная смесь. Получено уравнение регрессии, адекватно описывающее изучаемый процесс. Для полученного при оптимальных условиях экстракта определено содержание суммы фенольных соединений – 482 ± 18 мг на 100 г высушенных проростков, флавоноидов - $45,25 \pm 2,0$ мг/100 г, глюкозинолатов – 349 ± 16 мг/100 г, а также антиоксидантная активность. Экстракты были инкапсулированы методом экструзии; эффективность инкапсулирования составила для фенольных соединений $95,2 \pm 3,2$ %, для глюкозинолатов - $85,7 \pm 2,9$ %. Охарактеризованы органолептические свойства пищевого продукта – слоеного печенья с заварным кремом, содержащего в своем составе микроинкапсулированный экстракт.

Ключевые слова: брокколи, ультразвуковая экстракция, биологически активные вещества, фенольные соединения, флавоноиды, сульфорофан, инкапсулирование, экструзия, функциональный пищевой продукт.

Благодарности: исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-16-00243, <https://rscf.ru/project/23-16-00243/>.

Для цитирования: Получение микроинкапсулированного экстракта проростков *Brassica oleracea* var. *italica* Э. Р. Эминова [и др.]. // Ползуновский вестник. 2024. № 3. С. 134 – 140. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.03.020, EDN: <https://elibrary.ru/DSZSDR> .

Original article

MICROENCAPSULATION OF EXTRACTS OBTAINED FROM *BRASSICA OLERACEA* VAR. *ITALICA* SPROUTS

Elmira R. Eminova¹, Angelina S. Sorokina², Ludmila A. Zabodalova³,
Nikita Tyutkov⁴, Pablo Alloh⁵, Denis A. Baranenko⁶.

^{1, 2, 3, 4, 5, 6} ITMO University, Saint-Petersburg, Russia
¹ eminova@itmo.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9624-4429>
² gillya@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0328-550X>
³ izabodalova@itmo.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2324-8311>

© Эминова Э. Р., Сорокина А. С., Забодалова Л. А., Тютков Н., Пабло Багنون Ричард Анж Аллох, Бараненко Д. А. , 2024

ПОЛУЧЕНИЕ МИКРОИНКАПСУЛИРОВАННОГО ЭКСТРАКТА ПРОРОСТКОВ BRASSICA OLERACEA VAR. ITALICA

⁴ nikita_tytkov@itmo.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7394-7524>

⁵ pabloaloh@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4954-9470>

⁶ denis.baranenko@itmo.ru*, <https://orcid.org/0000-0002-9284-4379>

Abstract. The purpose of the study was to obtain a microencapsulated form of broccoli sprout extract optimized for the content of biologically active substances. The conditions for the extraction of phenolic compounds from broccoli were optimized according to three factors: hydraulic module, extraction duration and ultrasonic power. In accordance with the experimental data obtained, the following conditions were established: hydraulic module - 1:25; extraction duration - 60 seconds; ultrasonic power - 300 W, solvent – 70 % ethanol in water. A regression equation is obtained that adequately describes the process under study. For the extract obtained under optimal conditions, the content of total phenolic compounds was determined - 482 ± 18 mg per 100 g of dried sprouts, flavonoids - 45.25 ± 2.0 mg/100 g, glucosinolates - 349 ± 16 mg/100 g, as well as antioxidant activity. The extracts were encapsulated by extrusion; the encapsulation efficiency is 95.2 ± 3.2 % for phenolic compounds and 85.7 ± 2.9 % for glucosinolates. The organoleptic properties of a food product (puff pastry with custard) containing a microencapsulated extract were characterized.

Keywords: broccoli, ultrasonic extraction, biologically active substances, phenolic compounds, flavonoids, glucosinolates, encapsulation, extrusion, functional food product.

Acknowledgements: The research was supported by the Russian Science Foundation grant No. 23-16-00243, <https://rscf.ru/project/23-16-00243/>.

For citation: Eminova, E. R., Sorokina, A. S., Zabodalova, L. A., Tyutkov N., Alloh P. & Baranenko D.A. (2024). Microencapsulation of extracts obtained from brassica oleracea var. Italica sprouts. *Polzunovskiy vestnik.* (3), 134-140. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2024.03.020. EDN: <https://elibrary.ru/DSZSDR>.

ВВЕДЕНИЕ

Brassica oleracea var. *italica*, широко известная как капуста брокколи, является богатым источником биологически активных веществ (БАВ), таких как фенольные соединения (ФС), каротиноиды, витамины группы В, аскорбиновой кислоты, минералов. Важнейшее место среди БАВ растений семейства Крестоцветные занимают глюкозинолаты (ГЗ) - серосодержащие молекулы, уникальные для данного семейства. Их вторичными метаболитами являются сульфорафан и индол-3-карбинол, представляющие большой интерес в последние годы [1]. Эти молекулы способны подавлять развитие рака в нескольких органах у крыс и мышей, включая мочевой пузырь [2], молочную железу [3], печень [4], легкие [5], предстательную железу [6], почки [7], толстую кишку [8] и кожу [9].

Исследования Национального института рака (NCI, США) на животных и эксперименты с клетками, выращенными в лаборатории, выявили несколько потенциальных эффектов, с помощью которых эти соединения могут помочь предотвратить рак:

- защита клеток от повреждения ДНК, инактивация канцерогенов;
- противовирусное, противовоспалительное и антибактериальное действие;
- апоптоз раковых клеток;
- подавление образования кровеносных сосудов опухоли и миграции клеток.

NCI также упомянул, что концентрированная форма сульфорафана, содержащаяся в брокколи, снижает количество клеток острого лимфобластного лейкоза в лабораторных условиях и обладает как профилактическими, так и

терапевтическими свойствами при опухолях. Исследования показали, что люди, которые придерживаются диеты, богатой брокколи, имеют меньший риск развития некоторых видов рака [10].

Антиоксидантное действие брокколи, по многим сведениям, обусловлено синергическим эффектом большого числа биологически активных компонентов, среди которых особенно важное место занимают ФС и ГЗ [11].

В клинических исследованиях экстрактов из брокколи, а также основного из её ГЗ – сульфорафана, установлена их полезная роль в профилактике диабета II типа, в частности обеспечение улучшения контроля глюкозы и снижения её выработки в печени [12-13].

БАВ брокколи обуславливают весьма специфический вкус с выраженной горечью, по причине чего капуста не является часто употребляемым в пищу продуктом. В связи с этим, обеспечение доставки БАВ брокколи в составе нейтральных по вкусу микрокапсул может быть весьма перспективным для развития области разработки функциональных пищевых продуктов.

Цель работы – получение функционального пищевого ингредиента на основе БАВ брокколи и применение его в составе пищевого продукта.

МЕТОДЫ

Исследования проводились в Университете ИТМО на базе лабораторий Мегафакультета наук о жизни, а также международного научного центра «Биотехнологии третьего тысячелетия».

Проведение экстракции. Для установления оптимальных значений извлечения БАВ была выбрана ультразвуковая экстракция в ванне (Град 28-35, Россия). В качестве сырья

были использованы высушенные проростки брокколи (сорт “Калабрезе”, регион происхождения - Волгоградская область). Во всех случаях растворителем была 70 %-ная водно-этанольная смесь. В соответствии с литературными данными [14], такой экстрагент обеспечивает высокий выход не только ГЗ, но и ФС, которые ограниченно растворимы в воде.

В соответствии с выбранными параметрами (гидромодуль (X_1) в диапазоне от 1:25 (-1) до 1:75 (+1), время экстракции (X_2) - от 30 (-1) до 120 (+1) сек, а также мощность ультразвукового воздействия (X_3) - от 100 (-1) до 300 (+1) Вт), была получена матрица трехфакторного эксперимента. Частота ультразвукового воздействия была постоянной и составляла 35 кГц.

Для проведения процесса экстракции к точной навеске сырья приливали объем растворителя и устанавливали мощность и продолжительность в соответствии с планом. Полученные экстракты фильтровали через бумажный фильтр “белая лента” с использованием вакуумного насоса, после чего доводили объем растворителем до метки и подготавливали пробы к анализу.

Исследование БАВ. Для определения суммы ФС использовали метод молекулярной спектрофотометрии. В качестве аналитического сигнала измерялось светопоглощение комплексов ФС с реактивом Фолина-Чокальтеу. Измерения оптической плотности проводили на спектрофотометре SPECTROstar Nano BMG LABTECH (Германия) при длине волны 765 нм (максимум абсорбции). В качестве раствора стандартного образца (PCO) для определения ФС использовали галловую кислоту. Для построения калибровочной кривой приготовили серию из 6 растворов различных концентраций.

Для проведения анализа 1 мл экстракта переносили в колбу на 25 мл, добавляли пятикратный раствор реактива Фолина-Чокальтеу (1:10) и через 5 минут такой же объем 7%-ного раствора карбоната и тщательно перемешивали. Доводили объем до метки экстрагентом и убирали в темное прохладное место на 2 часа для комплексообразования, после чего измеряли оптическую плотность сине-фиолетового раствора при 765 нм [15].

Определение флавоноидов проводили аналогичным способом, используя в качестве комплексообразователя хлорид алюминия; PCO - раствор кверцетина.

Общее содержание ГЗ определяли методом йодометрического титрования, описанным в работе [16]. Точный объем экстракта помещали в колбу на 500 мл, добавляли 10 мл 10 н раствора гидроксида натрия. Колбу выдерживали в течение двух часов для протекания щелочного гидролиза. По истечении времени в колбу добавляли 150 мл воды, подсоединяли к холодильнику, приливали 11 мл 1 н раствора соляной кислоты и отгоняли 90 мл жидкости в колбу со шли-

фом на 300 мл, в которую предварительно поместили 100 мл воды и 10 мл аммиачного раствора сульфата цинка. После окончания отгонки в колбу-приемник добавляли 10 мл 0,1 н раствора йода, 5 мл 0,2 % раствора крахмала и 10 мл 10 н соляной кислоты. Колбу закрывали стеклянной крышкой и выдерживали смесь в течение 15 минут. Оставшийся после окисления сероводорода избыток йода оттитровывали 0,1 н раствором тиосульфата натрия. Содержания ГЗ определяли в перерасчете на проигитрин.

Антиоксидантную активность (АОА) определяли методом перманганатометрического титрования по запатентованной методике [17]. Метод основан на определении объема раствора титранта (экстракта), содержащего антиоксидантные вещества, который будет потрачен на обесцвечивание 0,05 н раствора перманганата калия в 0,24-молярной серной кислоте. Для количественной характеристики величины АОА вводится величина, представляющая собой содержание суммы БАВ восстанавливающего характера в пересчете на кверцетин в 1 мл или 1 г препарата (объекта). Чем выше эта величина, тем более высокой АОА обладает объект.

Инкапсулирование. С учетом таких факторов, как термическая нестабильность БАВ брокколи и способность быстро окисляться, для получения инкапсулированной формы экстракта был выбран метод экструзии на инкапсуляторе Buchi Encapsulator B-390 (Швейцария).

Микроинкапсулирование проводили в соответствии со схемой, приведенной на рисунке 1.



Рисунок 1 – Схема проведения инкапсулирования

Figure 1 – Encapsulation process flowchart

ПОЛУЧЕНИЕ МИКРОИНКАПСУЛИРОВАННОГО ЭКСТРАКТА ПРОРОСТКОВ
BRASSICA OLERACEA VAR. ITALICA

Определение эффективности инкапсулирования проводили в отношении суммы ФС спектрофотометрического определения с реактивом Фолина-Чокальтеу и общего содержания ГЗ методом йодометрического титрования.

Для проведения эксперимента 1 г капсул растворяли в 25-кратном объеме 2 %-ного цитрата натрия. Из полученного раствора отобрали аликвоты с целью проведения анализа содержания БАВ. Для полученных комплексов измерили

Таблица 1 – Результаты определения фенольных соединений в экстрактах брокколи

Table 1 – Results of determination of phenolic compounds in broccoli extracts

№	Условия опыта						Содержание флавоноидов, мг/100 г	Общее содержание ФС, мг/100 г
	V, мл	X ₁	t, сек	X ₂	W, Вт	X ₃	Y _{1cp}	Y _{2cp}
1	25	-1	30	-1	100	-1	45,25±2,0	467,92±13
2	25	-1	120	+1	100	-1	41,0±2,3	422,02±15
3	25	-1	30	-1	300	+1	45,5±4,9	482,12±18
4	25	-1	120	+1	300	+1	36,75±7,1	446,04±16
5	75	+1	30	-1	100	-1	11,25±0,3	621,89±27
6	75	+1	120	+1	100	-1	11,94±1,4	589,1±24
7	75	+1	30	-1	300	+1	12,0±2,2	621,74±11
8	75	+1	120	+1	300	+1	14,25±1,0	603,18±7,9

В соответствии с таблицей 1, увеличение гидромодуля приводило к тому, что степень извлечения флавоноидов существенно снижалась (с 45,25 ± 2,0 г/100 г высушенных проростков до 11,25 ± 0,3 г/100 г). Менее негативным на сумму флавоноидов в экстрактах фактором являлась длительность экстракции. При увеличении времени от 30 до 120 секунд при одинаковых прочих параметрах наблюдалось небольшое снижение содержания флавоноидов (с 45,25 ± 2,0 г/100 мг сырья до 41,00 ± 2,3 г/100 мг). Изменение мощности УЗ-воздействия несколько увеличило степень извлечения ФС.

Для проведения дальнейших исследований были установлены следующие оптимальные параметры экстракции: тип экстракции - ультразвуковая; гидромодуль - 1:25; длительность - 60 сек; мощность - 300 Вт.

$$Y = 531,75 + 77,23X_1 - 16,68X_2 + 6,52X_3 + 3,82X_1X_2 - 3,04X_1X_3 + 2,99X_2X_3$$

Далее была проведена оценка значимости коэффициентов регрессии, вследствие чего выяснилось, что коэффициенты b₂, b₃, b₁₂, b₁₃, b₂₃ не обладают статистической значимостью. Окончательный вид уравнения регрессии выглядит следующим образом:

$$Y = 531,75 + 77,23X_1.$$

Таблица 2 - Результаты исследования экстракта брокколи

Table 2 – Results of the broccoli extract analysis

Объект	Содержание флавоноидов, мг/100 г*	Сумма ФС, мг/100 г*	Содержание ГЗ, мг/100 г*	АОА, мг/100 г*
Экстракт проростков брокколи	45,5 ± 2,0	482 ± 18	349 ± 16	621 ± 14

*высушенных проростков

величину светопоглощения и пересчитывали концентрацию БАВ на массу сначала 1 капсулы, а затем - общую массу капсул.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Оптимизация условий экстракции. Результаты определения суммы фенольных соединений, а также флавоноидов как особенной их группы приведены в таблице 1.

С использованием методов математической статистики было получено уравнение регрессии, характеризующие зависимость выхода ФС от исследуемых параметров экстракции. Расчетное значение критерия Кохрена (G_p) при значении доверительного интервала 0,95 для суммы ФС составило 0,39, что меньше табличного G_m=0,68. Таким образом, опыты считаются воспроизводимыми, а дисперсия - однородной. Расчетное значение критерия Фишера также оказалось меньше табличного, что позволяет судить об адекватности описания изучаемого процесса полученным уравнением регрессии.

Были рассчитаны значения коэффициентов уравнения регрессии для суммы фенольных соединений, после чего оно приняло вид:

Расчетные данные по ФС, полученные с использованием уравнения регрессии оказались близки к полученными экспериментально (Y₁₋₄=454,52 мг/100 г; Y₅₋₈=608,98 мг/100 г).

Исследование экстракта. Результаты определения БАВ, а также антиоксидантной активности для экстракта проростков брокколи приведены в таблице 2:

Для полученная смеси для инкапсулирования предварительно был приготовлен водный раствор 2%-ного альгината натрия, который постепенно смешивали с равным объемом концентрированного экстракта соцветий брокколи.

Полученную смесь пропускали через форсунку диаметром 400 мкм и подавали в 5%-й раствор хлорида кальция. В ходе проведения процесса инкапсулирования наблюдалось образование ярко-зеленых капсул, а наружный раствор практически не окрашивался. Полученные микрокапсулы изображены на рисунке 1.



Рисунок 2 – Микроинкапсулированный экстракт брокколи

Figure 2 – Encapsulated broccoli extract

Эффективность инкапсулирования оценивали спектрофотометрическим методом в отношении суммы ФС в пересчете на галловую кислоту и суммы ГЗ в пересчете на прогоитрин методом йодометрического титрования. Результаты определения эффективности представлены в таблице 3.

Таблица 3. Определение эффективности инкапсулирования БАВ брокколи

Table 3 - Determination of the encapsulation efficiency of broccoli bioactive substances

БАВ	Эффективность инкапсулирования, %
ГЗ	85,7 ± 2,9
ФС	95,2 ± 3,2

В соответствии с Методическими рекомендациями МР 2.3.1.0253-21 "Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации" суточной нормой адекватного потребления глюкозинолатов (индол-3-карбинол) является 50 мг в сутки. В 1 г капсул содержится 10,8 мг ГЗ. Таким образом, 2 г микрокапсул покрывают более 40 % нормы адекватного потребления ГЗ.

В качестве функционального продукта для внесения БАВ брокколи разрабатывалось кондитерское изделие из слоеного теста с заварным кремом. Для изучения свойств образцов кондитерских изделий проводили исследование следующих органолептических показателей: внешний вид, текстура, вид в разрезе, запах и вкус. Полученное слоеное печенье с добавлением микрокапсул брокколи представлено на рисунках 3а и 3б.



Рисунок 3а – Внешний вид готового слоеного печенья

Figure 3a – Appearance of cooked puff pastry



Рисунок 3б – Слоеное печенье в разрезе

Figure 3b – Cross-sectional view of puff pastry

Наличие микрокапсул в составе крема не оказывало негативных эффектов на показатели качества кондитерского изделия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные в рамках данного исследования результаты открывают возможности для получения физиологически функциональных пищевых ингредиентов – микроинкапсулированных

ПОЛУЧЕНИЕ МИКРОИНКАПСУЛИРОВАННОГО ЭКСТРАКТА ПРОРОСТКОВ BRASSICA OLERACEA VAR. ITALICA

экстрактов брокколи, которые могут быть использованы при производстве пищевых продуктов для профилактики различных заболеваний – рака, диабета II типа и многих других. При этом содержащиеся в составе экстрактов ФС и ГЗ могут не только обеспечивать физиологическую функциональность ингредиентов, но и выступать в качестве сильных антиоксидантов для стабилизации других компонентов, в случае совместного инкапсулирования, в частности, с полиненасыщенными жирными кислотами.

Для внедрения полученных результатов необходимо проведение дальнейших исследований по применению микроинкапсулированных экстрактов брокколи в технологии функциональных пищевых продуктов антиоксидантного характера, а также исследований их биодоступности и биологических эффектов в отношении профилактики различных заболеваний.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Jeffery E. H. и др. Variation in content of bioactive components in broccoli // *Journal of Food Composition and Analysis*. 2003. Т. 16. № 3. С. 323–330. doi: 10.1016/S0889-1575(03)00045-0
2. Zhang Y. и др. Induction of GST and NQO1 in Cultured Bladder Cells and in the Urinary Bladders of Rats by an Extract of Broccoli (*Brassica oleracea italica*) Sprouts // *J Agric Food Chem*. 2006. Т. 54. № 25. С. 9370–9376. doi: 10.1021/jf062109h.
3. Singletary K., MacDonald C. Inhibition of benzo[a]pyrene- and 1,6-dinitropyrene-DNA adduct formation in human mammary epithelial cells by dibenzoylmethane and sulforaphane // *Cancer Lett*. 2000. Т. 155. № 1. С. 47–54. doi: 10.1016/s0304-3835(00)00412-2.
4. Kensler T. W. и др. Effects of Glucosinolate-Rich Broccoli Sprouts on Urinary Levels of Aflatoxin-DNA Adducts and Phenanthrene Tetraols in a Randomized Clinical Trial in He Zuo Township, Qidong, People's Republic of China // *Cancer Epidemiology, Biomarkers and Prevention*. 2005. Т. 14. № 11. С. 2605–2613. doi: 10.1158/1055-9965.EPI-05-0368.
5. Ritz S. A., Wan J., Diaz-Sanchez D. Sulforaphane-stimulated phase II enzyme induction inhibits cytokine production by airway epithelial cells stimulated with diesel extract // *American Journal of Physiology-Lung Cellular and Molecular Physiology*. 2007. Т. 292. № 1. С. L33–L39. doi: 10.1152/ajplung.00170.2006.
6. Canene-Adams K. и др. Combinations of Tomato and Broccoli Enhance Antitumor Activity in Dunning R3327-H Prostate Adenocarcinomas // *Cancer Res*. 2007. Т. 67. № 2. С. 836–843. doi: 10.1158/0008-5472.CAN-06-3462.
7. Bosetti C. и др. Micronutrients and the risk of renal cell cancer: A case-control study from Italy // *Int J Cancer*. 2007. Т. 120. № 4. С. 892–896. doi: 10.1002/ijc.22374.
8. Hashem F. и др. Myrosinase hydrolysates of *Brassica oleracea* L. var. *italica* Plenck // *Planta Med*. 2011. Т. 77. № 12. doi: 10.1002/ptr.3591.
9. Talalay P. и др. Sulforaphane mobilizes cellular defenses that protect skin against damage by UV radiation // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2007. Т. 104. № 44. С. 17500–17505. doi: 10.1073/pnas.0708710104.
10. Owis A.I. Broccoli; The Green Beauty: A Review // *J. Pharm. Sci. & Res*. 2015. Т. 7. № 9. С. 696–703.
11. Cartea M. E., Velasco P. Glucosinolates in Brassica foods: bioavailability in food and significance for human health // *Phytochemistry Reviews*. 2008. Т. 7. № 2. С. 213–229. doi: 10.1007/s11101-007-9072-2.
12. Axelsson A. S. и др. Sulforaphane reduces hepatic glucose production and improves glucose control in patients with type 2 diabetes // *Sci Transl Med*. 2017. Т. 9. № 394. doi: 10.1126/scitranslmed.aah4477.
13. Mohammed A., Mohammed H. A. Beneficial role of broccoli and its active ingredient, sulforaphane in the treatment of diabetes // *Phytomedicine Plus*. 2023. Т. 3. № 2. С. 100431. doi: 10.1016/j.phyplu.2023.100431.
14. Ares A. M., Nozal M. J., Bernal J. Extraction, chemical characterization and biological activity determination of broccoli health promoting compounds // *J Chromatogr A*. 2013. Т. 1313. С. 78–95. doi: 10.1016/j.chroma.2013.07.051.
15. Хуссайне Р., Сучкова Е.П., Арсеньева Т.П. Оптимизация условий экстракции для извлечения фенольных соединений и антиоксидантов из ароматических растений // *Вестник Международной академии холода*. 2024. № 2. С. 58-63. DOI: 10.17586/1606-4313-2024-23-2-58-63.
16. Способ определения глюкозинолатов в семенах крестоцветных: пат. SU 1406481 A1; опубл. 24.04.1984.
17. Способ определения антиокислительной активности: пат. RU 2 170 930 C1 заявл. 05.05.2000; опубл. 20.07.2001.

Информация об авторах

Э. Р. Эминова – аспирант 4 года обучения факультета биотехнологий (ФБТ) Университета ИТМО; сотрудник международного научного центра (МНЦ) «Биотехнологии третьего тысячелетия».

А. С. Сорокина – магистрант 1 года обучения ФБТ Университета ИТМО; сотрудник МНЦ «Биотехнологии третьего тысячелетия».

Л. А. Забодалова – д.т.н., профессор, главный научный сотрудник ФБТ Университета ИТМО, сотрудник МНЦ «Биотехнологии третьего тысячелетия».

Н. Тютков – аспирант 3 года обучения ФБТ Университета ИТМО, инженер и ассистент ФБТ, сотрудник МНЦ «Биотехнологии третьего тысячелетия».

П. Аллох – аспирант 2 года обучения ФБТ Университета ИТМО, сотрудник МНЦ «Биотехнологии третьего тысячелетия».

Д. А. Бараненко – к.т.н., доцент, ведущий научный сотрудник ФБТ Университета ИТМО; руководитель МНЦ «Биотехнологии третьего тысячелетия».

REFERENCES

1. Jeffery E. H. and others. (2003). Variation in content of bioactive components in broccoli. *Journal of Food Composition and Analysis*. 16(3). 323–330. doi: 10.1016/S0889-1575(03)00045-0. (In Russ.).
2. Zhang Y. and others. (2006). Induction of GST and NQO1 in Cultured Bladder Cells and in the Urinary Bladders of Rats by an Extract of Broccoli (*Brassica oleracea italica*) Sprouts. *J Agric Food Chem*. 54(25). 9370–9376. doi: 10.1021/jf062109h. (In Russ.).
3. Singletary K. (2000). MacDonald C. Inhibition of benzo[a]pyrene- and 1,6-dinitropyrene-DNA adduct formation in human mammary epithelial cells by dibenzoylmethane and sulforaphane. *Cancer Lett*. 155(1). 47–54. doi: 10.1016/S0304-3835(00)00412-2. (In Russ.).
4. Kensler T. W. and others. (2005). Effects of Glucosinolate-Rich Broccoli Sprouts on Urinary Levels of Aflatoxin-DNA Adducts and Phenanthrene Tetraols in a Randomized Clinical Trial in He Zuo Township, Qidong, People's Republic of China. *Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention*. 14(11). 2605–2613. doi: 10.1158/1055-9965.EPI-05-0368. (In Russ.).
5. Ritz S. A., Wan J. & Diaz-Sanchez D. (2007). Sulforaphane-stimulated phase II enzyme induction inhibits cytokine production by airway epithelial cells stimulated with diesel extract // *American Journal of Physiology-Lung Cellular and Molecular Physiology*. 292(1). L33–L39. doi: 10.1152/ajplung.00170.2006. (In Russ.).
6. Canene-Adams K. and others. (2007). Combinations of Tomato and Broccoli Enhance Antitumor Activity in Dunning R3327-H Prostate Adenocarcinomas. *Cancer Res*. 67(2). 836–843. doi: 10.1158/0008-5472.CAN-06-3462. (In Russ.).
7. Bosetti C. and others. (2007). Micronutrients and the risk of renal cell cancer: A case-control study from Italy. *Int J Cancer*. 120(4). 892–896. doi: 10.1002/ijc.22374. (In Russ.).
8. Hashem F. and others. (2011). Myrosinase hydrolysates of *Brassica oleracea* L. var. *italica* Plenck. *Planta Med*. 2011. 77(12). doi: 10.1002/ptr.3591. (In Russ.).
9. Talalay P. and others. (2007). Sulforaphane mobilizes cellular defenses that protect skin against damage by UV radiation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 104(44). 17500–17505. doi: 10.1073/pnas.0708710104. (In Russ.).
10. Owis A.I. Broccoli (2015). *The Green Beauty: A Review*. *J. Pharm. Sci. & Res*. 7(9). 696–703. (In Russ.).
11. Cartea M. E., Velasco P. (2008). Glucosinolates in Brassica foods: bioavailability in food and significance for human health. *Phytochemistry Reviews*. 7(2). 213–229. doi: 10.1007/s11101-007-9072-2. (In Russ.).
12. Axelsson A. S. and others. (2017). Sulforaphane reduces hepatic glucose production and improves glucose control in patients with type 2 diabetes. *Sci Transl Med*. 9(394). doi: 10.1126/scitranslmed.aah4477. (In Russ.).
13. Mohammed A. & Mohammed H. A. (2023). Beneficial role of broccoli and its active ingredient, sulforaphane in the treatment of diabetes. *Phytomedicine Plus*. 3(2). 100431. doi: 10.1016/j.phyplu.2023.100431. (In Russ.).
14. Ares A. M., Nozal M. J. & Bernal J. (2013). Extraction, chemical characterization and biological activity determination of broccoli health promoting compounds. *J Chromatogr A*. 1313. 78–95. doi: 10.1016/j.chroma.2013.07.051. (In Russ.).
15. Hussaineh, R., Suchkova, E.P. & Arsenyeva, T.P. (2024). Optimization of extraction conditions for the recovery of phenolic compounds and antioxidants from aromatic plants. *Journal of International Academy of Refrigeration*. 2. 58-63. DOI: 10.17586/1606-4313-2024-23-2-58-63]. (In Russ.).
16. Osik, N.S., Popov, P.S. & Borodulina, A.A. (1986). Method for determination of glucosinolates in cruciferous seeds. *Pat. SU 1406481 A1. USSR, published on 24.04.1986. (In Russ.)*.
17. Maksimova, T.V., Nikulina, I.N., Pakhomov, V.P., Shkarina, E.I., Chumakova, Z.V. & Arzamastsev, A.P. (2001). Method for determination of antioxidant activity. *Pat. RU 2 170 930 C1. Russian Federation published on 20.07.2001. (In Russ.)*.

Information about the authors

E. R. Eminova, 4-year PhD student of the Faculty of Biotechnology (BioTech), ITMO University. Researcher of the International Research Centre “Biotechnologies of the Third Millennium”.

A. S. Sorokina, 1-year master's student of the Faculty of Biotechnology (BioTech), ITMO University. Researcher of the International Research Centre “Biotechnologies of the Third Millennium”.

L. A. Zabolalova, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Faculty of Biotechnology (BioTech). Researcher of the International Research Centre “Biotechnologies of the Third Millennium”.

N. Tyutkov, 3-year PhD student of the Faculty of Biotechnology (BioTech), ITMO University. Researcher of the International Research Centre “Biotechnologies of the Third Millennium”.

P. Alloh, 2-year PhD student of the Faculty of Biotechnology (BioTech), ITMO University. Researcher of the International Research Centre “Biotechnologies of the Third Millennium”.

D. A. Baranenko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Faculty of Biotechnology (BioTech). Head of the International Research Centre “Biotechnologies of the Third Millennium”.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 25 мая 2024; одобрена после рецензирования 20 сентября 2024; принята к публикации 04 октября 2024.

The article was received by the editorial board on 25 May 2024; approved after editing on 20 Sep 2024; accepted for publication on 04 Oct 2024.