

УДК 664.022.33:633.412:547.97

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2023-374-9-185-190

Н.Ю. Чеснокова, ✉
А.А. Кузнецова,
Л.В. Левочкина,
М.А. Тарабаев

Дальневосточный федеральный
университет, Владивосток, Россия

✉ chesnokova.nyu@dvfu.ru

Поступила в редакцию:
25.06.2023

Одобрена после рецензирования:
14.08.2023

Принята к публикации:
30.08.2023

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2023-374-9-185-190

Natalia Yu. Chesnokova, ✉
Alla A. Kuznetsova,
Ludmila V. Levochkina,
Maksim A. Tarabaev

Far Eastern Federal University,
Vladivostok, Russian Federation

✉ chesnokova.nyu@dvfu.ru

Received by the editorial office:
25.06.2023

Accepted in revised:
14.08.2023

Accepted for publication:
30.08.2023

Свойства и применение беталаинового красителя, выделенного из районированного сорта свеклы столовой

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Потребители в современном обществе обеспокоены безопасностью применения синтетических красителей для окрашивания пищевых продуктов. В связи с этим остаются актуальными разработка и применение в пищевой промышленности натуральных красящих композиций на основе доступного растительного сырья. Использование натурального красителя на основе беталаинов — пигментов свеклы столовой (*Beta vulgaris*) — в производстве пищевых продуктов позволяет не только улучшить цветовую гамму изделий, но и обогатить их биологически активными соединениями.

Методы. Объектами исследования являются пигменты свеклы столовой (беталаины), натуральный краситель, полученный методом концентрирования экстрактов беталаинов, и крем «Гляссе» с добавлением концентрированного беталаинового красителя. В зависимости от условий эксперимента проведена экстракция беталаинов из растительного сырья. Изучены органолептические и физико-химические показатели концентрированного натурального красителя и крема «Гляссе» с его добавлением.

Результаты. Установлено, что оптимальными условиями для выделения беталаинов из свеклы являются их экстрагирование 95%-ным этанолом, ультразвуковая экстракция при 25 °С и экстрагирование водным раствором при 60 °С в течение 30 мин. Определено, что наиболее стабильная окраска пигмента сохраняется в диапазоне pH = 3,7–8,2. В области pH > 10 происходит резкое изменение его окраски. Экстракты беталаинов при pH > 10 приобретают насыщенный бордовый цвет. Показано, что полученный методом концентрирования беталаиновый краситель представляет собой жидкость темно-красного цвета, которая обладает антирадикальной активностью и содержит в своем составе 11 мг/см³ беталаинов. Наилучшие органолептические показатели имел крем «Гляссе» с добавлением 5%-ного концентрированного беталаинового красителя.

Ключевые слова: свекла сорта Бордо 237, беталаины, концентрированный беталаиновый краситель, крем «Гляссе»

Для цитирования: Чеснокова Н.Ю., Кузнецова А.А., Левочкина Л.В., Тарабаев М.А. Свойства и применение беталаинового красителя, выделенного из районированного сорта свеклы столовой. *Аграрная наука*. 2023; 374(9): 185–190. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-374-9-185-190>

© Чеснокова Н.Ю., Кузнецова А.А., Левочкина Л.В., Тарабаев М.А.

Properties and application of betalaine dye isolated from regional beet variety

ABSTRACT

Relevance. Consumers in today's society are concerned about the safety of using synthetic dyes to color food. The development and use in the food industry of natural dyes compositions based on available plant materials remains relevant. The use of natural dye based on betalains — pigments of beets (*Beta vulgaris*) — in the production of food products, allows not only to improve the color range of products, but also to enrich them with biologically active compounds. The objects of the study are beetroot pigments betalaines, concentrated natural dye and cream «Glasse» with the addition of concentrated betalain dye.

Results. Depending on the experimental conditions, betalains were extracted from plant materials. The organoleptic and physico-chemical parameters of the concentrated natural dye and cream «Glasse» with its addition were studied.

Results. It has been shown that the optimal conditions for isolating betalains from beets are their extraction with 95% ethanol, ultrasonic extraction at 25 °C, and extraction with an aqueous solution at 60 °C for 30 min. It has been determined that the most stable color of the pigment is maintained in the range of pH = 3.7–8.2. In the region of pH > 10 there is a sharp change of the color. Betalain extracts at a pH > 10 acquire a rich dark red color. It was shown that the betalain dye obtained by the concentration method is a dark red liquid, which has antiradical activity (1,49 mM) and contains 11 mg/cm³ of betalains. The best organoleptic characteristics were found in the cream «Glasse» with the addition of 5% concentrated betalain dye.

Key words: beetroot variety Bordo 237, betalains, concentrated betalain dye, cream «Glasse»

For citation: Chesnokova N.Yu., Kuznetsova A.A., Levochkina L.V., Tarabaev M.A. Properties and application of betalaine dye isolated from regional beet variety. *Agrarian science*. 2023; 374(9): 185–190 (In Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-374-9-185-190>

© Chesnokova N.Yu., Kuznetsova A.A., Levochkina L.V., Tarabaev M.A.

Введение/Introduction

Свекла столовая (*Beta vulgaris*) — двулетнее травянистое растение, принадлежащее к семейству *Chenopodiaceae*. Этот корнеплод широко культивируется во всем мире, основное производство сосредоточено в Европе, Северной Америке и по всей Азии [1]. Многочисленные исследования показывают, что свекла обладает полезными для здоровья человека свойствами [2, 3].

Красный цвет этого корнеплода обеспечивается благодаря уникальной группе пигментов, известных как беталаины. Они представляют собой азотсодержащие водорастворимые красно-фиолетовые и желтые пигменты, обеспечивающие яркие цвета органов растений, включая листья, стебли, фрукты, цветы, корни, семена. Беталаины локализируются в вакуолях клеток, а именно в эпидермальных и субэпидермальных тканях растений, синтезирующих эти пигменты [4, 5].

По своим структурным характеристикам, светопоглощающим свойствам беталаины обычно делятся на две группы — красно-фиолетовые бетацианины и желтые бетаксантины. Большую их часть (75–95%) составляют бетацианины. Доля бетаксантинов составляет 5–26% [6–8].

В последнее время беталаины широко используются для обогащения и придания цвета пищевым продуктам благодаря их выраженной красящей способности, а также противораковой активности, антирадикальным, противомикробным, противовоспалительным, антидиабетическим и другим биологическим свойствам, связанным с предполагаемой пользой для здоровья человека [9, 10].

Однако применение беталаинов в качестве природных красителей для окрашивания пищевых продуктов вызывает проблемы, связанные с сохранением их химической стабильности при определенных технологических условиях и, следовательно, их красящей способности и биоактивности [11, 12].

Цель исследования — изучение свойств и стабильности беталаинов, подбора методов и условий для оптимального их экстрагирования из растительных объектов, а также создание на основе экстрактов беталаинов натуральных пищевых красителей для пищевой промышленности.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

В качестве объекта для выделения беталаинового пигмента использовали доступное пищевое сырье — свеклу столовую (*Beta vulgaris*) сорта Бордо 237, выращенную в Приморском крае. Научно-исследовательская работа проводилась с 2022 по 2023 г. в Дальневосточном федеральном университете (ДВФУ) (г. Владивосток, Россия).

Экстракция беталаинов проводилась водой и раствором 95%-ного этилового спирта при 25 °С, 40 °С, 60 °С, 100 °С в течение 5 мин., 30 мин., 60 мин. и 90 мин. соответственно.

Ультразвуковую экстракцию растворов беталаинов проводили с использованием ультразвуковой ванны Sonogex RK100H (Bandelin, Германия) в течение 30 мин. при температуре 25 °С. Обработку образцов проводили при частоте воздействия 35 кГц и мощности 80 Вт.

Съемку дифференциальных УФ-спектров образцов беталаинов проводили на спектрофотометре UV1800 Shimadzu (Япония) в интервале длин волн 230–700 нм.

Для изучения влияния показателя активной кислотности (рН) на свойства беталаинового красителя использовали буферные растворы в диапазоне рН 3,7–10,7.

Концентрированный беталаиновый краситель получали путем экстрагирования беталаинов водным

раствором и последующим концентрированием на вакуумном (ротаторном) испарителе Hei-VAP Advantage ML/G3B (Германия).

Исследование антирадикальной активности концентрированного беталаинового красителя проводили по методу DPPH (2,2-дифенил-1-пикрилгидразил) [13, 14].

Содержание сухих веществ определяли методом высушивания до постоянного веса в термостате Memmert Celsius 400 (Германия).

Исследования по определению антирадикальной активности и содержанию сухих веществ проводили в четырехкратной повторности, экспериментально полученные данные обрабатывали методами математической статистики с использованием пакетов прикладных программ MS Excel 2011 (США) и Statistica 10 Enterprise, 2011 (США).

Растворимость концентрированного беталаинового красителя определяли при температуре 20–25 °С. К 300 мл воды добавляли 3 мл концентрированного беталаинового красителя, тщательно перемешивали и визуально контролировали прозрачность раствора, наличие осадка и мути.

Кислотность (рН) красителя определяли при температуре 20 °С, используя рН-метр рН/MVMETTER-220 (США).

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Поскольку тип растворителя и условия извлечения играют важную роль в полноценном выделении пигментов из растительного сырья [15, 16], была проведена экстракция беталаинов из районированного сорта свеклы Бордо 237 водным раствором, этиловым спиртом и с использованием ультразвуковой экстракции. УФ-спектры растворов беталаинов, выделенных при разных условиях экстрагирования, представлены на рисунке 1.

Из результатов видно, что растворы беталаинов на УФ-спектрах имеют несколько пиков поглощения. Независимо от способа экстрагирования максимум поглощения растворов беталаинов наблюдается при длине волны 538 нм. Данный пик свидетельствует о присутствии в растворах красных пигментов свеклы (бетацианинов).

Наименьшее количество бетацианинов выделяется в раствор в результате водной экстракции. Значение оптической плотности данных растворов составляет 1,85.

Рис. 1. УФ-спектры растворов беталаинов: 1) водная экстракция при 60 °С в течение 30 мин.; 2) ультразвуковая экстракция при 25 °С в течение 30 мин.; 3) экстракция 95%-ным этиловым спиртом при 25 °С в течение 30 мин.
Fig. 1. UV spectra of betalain solutions: 1) water extraction at 60 °C for 30 min.; 2) ultrasonic extraction at 25 °C for 30 min.; 3) extraction with 95% ethyl alcohol at 25 °C for 30 min.

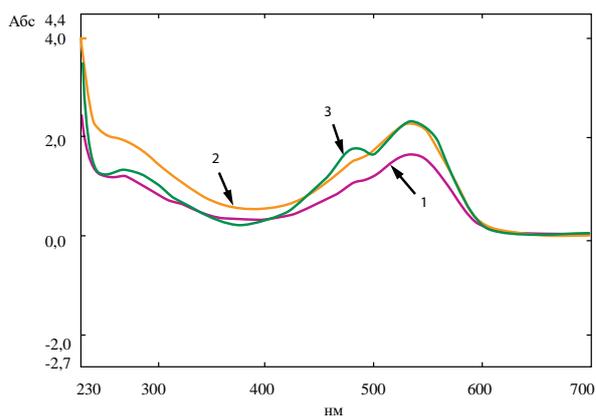


Рис. 2. УФ-спектры водных растворов бетаинов, экстрагированных водным раствором при 60 °С в течение: 1) 30 мин., 2) 60 мин., 3) 90 мин.

Fig. 2. UV spectra of aqueous solutions of betalains extracted with an aqueous solution at 60 °C for: 1) 30 min., 2) 60 min., 3) 90 min.

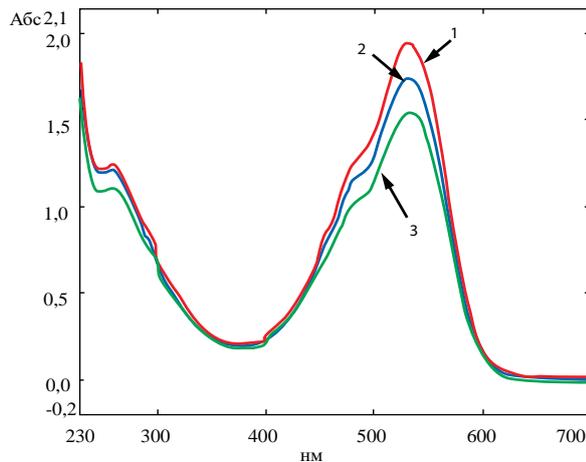
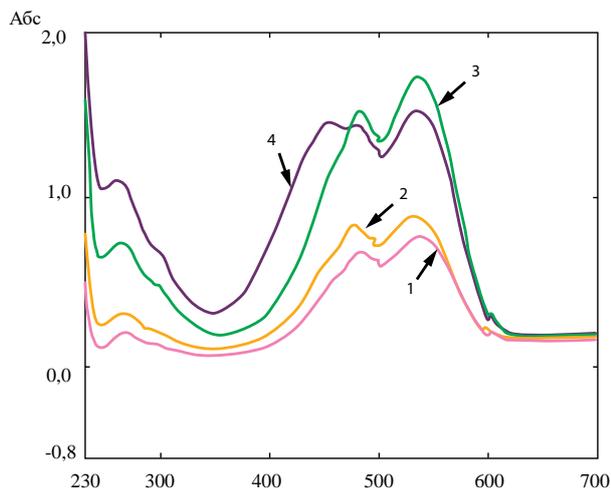


Рис. 3. УФ-спектры растворов бетаинов, экстрагированных водным раствором при: 1) 25 °С в течение 30 мин., 2) 40 °С в течение 30 мин., 3) 60 °С в течение 30 мин., 4) 100 °С в течение 5 мин.

Fig. 3. UV spectra of betalain solutions extracted with an aqueous solution at: 1) 25 °C for 30 min., 2) 40 °C for 30 min., 3) 60 °C for 30 min., 4) 100 °C for 5 min.



В растворах, выделенных с помощью 95%-ного этилового спирта и ультразвуковой экстракции, содержание бетацанинов значительно выше. Значение оптической плотности растворов бетацанинов, выделенных с помощью 95%-ного этилового спирта и ультразвуковой экстракции, составляет 2,53 и 2,67 соответственно.

В растворах бетаинов, выделенных с помощью водной, ультразвуковой экстракции и 95%-ным этиловым спиртом, наблюдается пик при длине волны 480 нм, свидетельствующий о содержании в растворе желтых пигментов (бетаксантинов). В растворах бетаинов, выделенных с помощью водной и ультразвуковой экстракции, данный пик менее выражен.

В литературных источниках также показано, что желтые пигменты свеклы (бетаксантины) в лучшей степени экстрагируются спиртовым раствором [17].

Кроме того, при длине волны 280 нм во всех растворах бетаинов представлен пик, свидетельствующий о присутствии в экстрактах пектиновых веществ.

Поскольку бетаилены чувствительны к таким факторам, как продолжительность и температура экстрагирования, представлены УФ-спектры растворов бетаинов, выделенных при разных значениях времени (рис. 2) и температуры экстрагирования (рис. 3).

Установлено, что время экстрагирования существенно влияет на выход пигмента из корнеплодов. Наибольший выход бетаинов наблюдается при экстрагировании пигмента в течение 30 мин. Значение оптической плотности пигмента составляет 1,98. Увеличение времени экстрагирования до 60–90 мин. приводит к снижению выхода пигмента. Степень извлечения бетаинов, выделенных из свеклы в течение 60 мин. и 90 мин., снижается на 12% и 17% соответственно.

Из результатов (рис. 3) видно, что максимальное извлечение бетаинов из свеклы происходит при температуре 60 °С. Значение оптической плотности растворов бетаинов, экстрагированных водным раствором при температуре 60 °С, составляет 1,75. Снижение температуры экстрагирования до 25 °С и 40 °С приводит к снижению выхода бетаинов из растительного сырья, экстрагированных при температурах 25 °С и 40 °С, падает в 2,5 и 2,7 раза соответственно.

Повышение температуры экстрагирования до 100 °С приводит к уменьшению содержания экстрагированных бетаинов в растворе. Степень извлечения бетаинов, экстрагированных при температуре 100 °С в течение 5 мин., уменьшается в 1,2 раза. Кроме того, в экстрактах бетаинов, экстрагированных при температуре 100 °С, наблюдается появления пика при длине волны 430 нм. Вероятно, появление данного пика свидетельствует о деградации бетаинов при высоких температурах. Исследования, проведенные другими авторами, показывают, что при термической обработке в результате декарбоксилирования или дегидрирования бетанин (относящийся к красным пигментам свеклы) превращается в необетанин. Необетанин и его производные проявляют максимальное поглощение света в диапазоне 420–464 нм, то есть имеют желто-оранжевый цвет, несмотря на то что из-за своей химической структуры относятся к группе фиолетовых бетацанинов [18].

Таким образом, наиболее оптимальными условиями для выделения бетаинов из свеклы являются их экстрагирование 95%-ным этиловым спиртом при температуре 25 °С в течение 30 мин., ультразвуковая экстракция при температуре 25 °С в течение 30 мин. и экстрагирование водным раствором при 60 °С в течение 30 мин.

Изменение окраски растворов бетаинов, выделенных из свеклы при различных значениях pH системы, представлено на рисунке 4. УФ-спектры растворов бетаинов при различных значениях pH системы представлены на рисунке 5.

На рисунке 4 видно, что изменение pH системы влияет на окраску бетаинов. В диапазоне pH 3,7–8,2 растворы бетаинов имеют ярко-розовую окраску. При pH 10,5 наблюдается резкое изменение окраски растворов. Экстракты бетаинов при pH > 10,5 приобретают насыщенный бордовый цвет.

Установлено, что при разных значениях pH происходит смещение максимумов поглощения бетаинов. С увеличением значений pH системы максимум

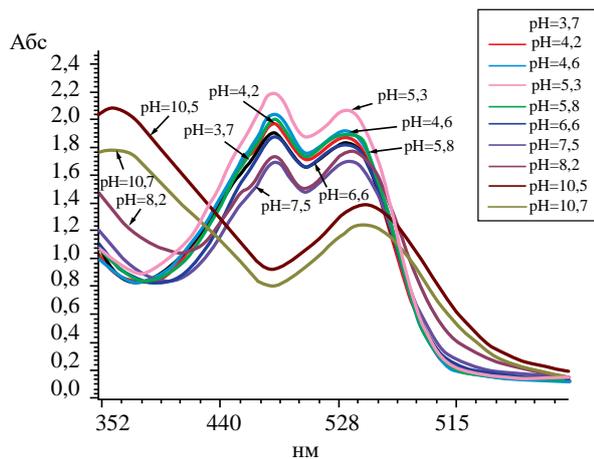
Рис. 4. Окраска растворов бетаинов, выделенных из свеклы в диапазоне pH 3,7–10,7

Fig. 4. Color change of solutions of betalains isolated from beets in the pH range 3.7–10.7



pH 3,7 4,3 4,6 5,3 5,8 6,6 7,5 8,2 10,5 10,7

Рис. 5. УФ-спектры беталаинов при различных значениях pH системы
Fig. 5. UV spectra of betalains at different pH values of the system



поглощения с 538 нм (рН = 3,7) сдвигается до 542 нм (рН = 10,7). Максимум поглощения при 480 нм (рН = 3,7–8,2) сдвигается до 360 нм (рН = 10,5–10,7), что также свидетельствует о трансформационных изменениях в структуре беталаинов и, соответственно, изменениях их окраски при значениях рН > 10.

Экстракты беталаинов использовали для производства концентрированного натурального красителя. Концентрированный беталаиновый краситель получали концентрированием растворов беталаинов, экстрагированных из растительного сырья водой при температуре 60 °С в течение 30 мин., на вакуумном (роторном) испарителе.

Органолептические и физико-химические показатели концентрированного беталаинового красителя представлены в таблице 1.

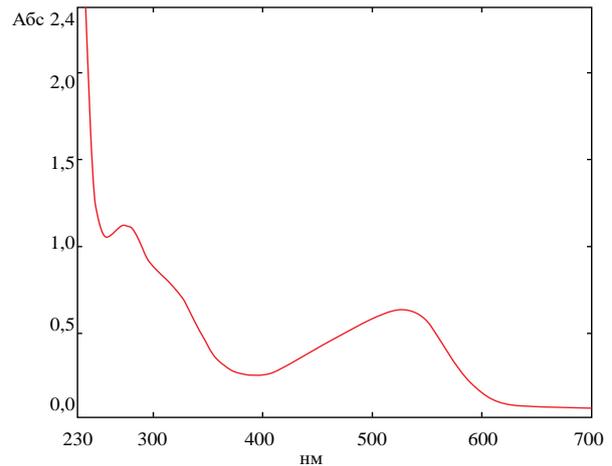
Таблица 1. Органолептические и физико-химические показатели концентрированного беталаинового красителя
Table 1. Organoleptic and physico-chemical parameters of concentrated betalain dye

Показатель	Концентрированный беталаиновый краситель
Органолептические показатели	
Внешний вид и цвет	густая жидкость темно-красного цвета
Запах	слабо выраженный свекольный запах
Вкус	свекольный
Физико-химические показатели	
Массовая доля сухих веществ, %	11 ± 0,55
Растворимость в воде	полная
Кислотность (рН)	5,72
Антирадикальная активность, в перерасчете Trolox эквивалент, мМ	1,49 ± 0,15

Таблица 2. Органолептическая оценка образцов крема «Гляссе» с добавлением концентрированного беталаинового красителя
Table 2. Organoleptic evaluation of samples of cream «Glasse» with the addition of concentrated betalain dye

Показатель	Без добавления красителя	Количество концентрированного беталаинового красителя, %				
		3	4	5	6	7
Внешний вид		пышная однородная маслянистая масса			с признаками расслоения	расслоившийся, с отделившимся сиропом
Цвет	кремово-желтый	бледно-розовый	розовый	ярко-розовый	насыщенный розовый	красный
Консистенция		пышная, однородная			жидкая	
Запах		сливочный				
Вкус	сливочно-сладкий	сладкий				

Рис. 6. УФ-спектр поглощения концентрированного беталаинового красителя
Fig. 6. UV spectrum of concentrated betalain dye



Показано, что полученный методом концентрирования беталаиновый краситель представляет собой жидкость темно-красного цвета, имеющую слабовыраженный свекольный запах и вкус. Концентрированный беталаиновый краситель обладает антирадикальной активностью (1,49 ± 0,15 мМ) и содержит в своем составе 11 ± 0,55 мг/см³ беталаинов.

УФ-спектр концентрированного беталаинового красителя представлен на рисунке 6.

Установлено, что концентрированный беталаиновый краситель содержит в своем составе беталаины и пектиновые вещества с максимумами поглощения при длинах волн 540 нм и 280 нм соответственно.

Поскольку на потребительском рынке кондитерской продукции представлен широкий спектр изделий с кремовой отделкой, одной из важных задач,

стоящих перед пищевой промышленностью, является расширение ассортимента отделочных полуфабрикатов путем использования при их производстве натуральных красителей, которые позволяют не только улучшить качество продуктов, придавая продукту красивый внешний вид и цвет, но и обогатить их недостающими пищевыми и биологически активными веществами.

Концентрированный беталаиновый краситель использовали для производства крема «Гляссе», который готовили по стандартной рецептуре, вводя концентрированный беталаиновый краситель в количестве 3–7% к массе основного сырья на стадии смешивания белок-полисахаридной смеси.

Органолептическая оценка образцов крема «Гляссе» с добавлением концентрированного беталаинового красителя в количестве 3–7% представлена в таблице 2.

Из результатов (табл. 2) видно, что наилучшими органолептическими показателями обладал крем «Гляссе» с добавлением 5% концентрированного беталаинового красителя. Данный образец крема приобрел приятный ярко-розовый цвет и имел пышную, однородную и стабильную консистенцию.

Выводы/Conclusion

Установлено, что оптимальными условиями для выделения беталаинов из свеклы являются их экстрагирование 95%-ным этиловым спиртом при 25 °С в течение 30 мин., ультразвуковая экстракция при 25 °С в течение 30 мин. и экстрагирование водным раствором при 60 °С в течение 30 мин.

Изменение pH системы оказывает существенное влияние на стабильность и окраску пигмента. Определено, что наиболее стабильная окраска пигмента сохраняется в диапазоне pH = 3,7–8,2. В области pH > 10 про-

исходят трансформационные изменения в структуре беталаинов и резкое изменение окраски пигмента. Экстракт беталаинов при pH > 10 приобретает насыщенный бордовый цвет.

Показано, что полученный методом концентрирования беталаиновый краситель представляет собой жидкость темно-красного цвета, имеющую слабовыраженный свекольный запах и вкус. Концентрированный беталаиновый краситель обладает антирадикальной активностью ($1,49 \pm 0,15$ mM) и содержит в своем составе $11 \pm 0,55$ мг/см³ беталаинов.

Все авторы несут ответственность за свою работу и представленные данные.

Все авторы внесли равный вклад в эту научную работу. Авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data.

All authors have made an equal contribution to this scientific work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism.

The authors declare no conflict of interest.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено за счет гранта государственной поддержки на создание и развитие передовых инженерных школ (07 июля 2022 г. № 075-15-2022-1143).

FUNDING

The materials were prepared as part of the grant from the state support for the creation and development of advanced engineering schools was provided (July 07, 2022 No. 075-15-2022-1143).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Chhikara N., Kushwaha K., Sharma P., Gat Yu., Panghal A. Bioactive compounds of beetroot and utilization in food processing industry: A critical review. *Food Chemistry*. 2019; 272: 192–200. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.08.022>
- Mella C., Vega-Gálvez A., Uribe E., Pasten A., Mejias N., Quispe-Fuentes I. Impact of vacuum drying on drying characteristics and functional properties of beetroot (*Beta vulgaris*). *Applied Food Research*. 2022; 2(1): 100120. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100120>
- Seremet (Ceclu) L. et al. Development of several hybrid drying methods used to obtain red beetroot powder. *Food Chemistry*. 2020; 310: 125637. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125637>
- Gandía-Herrero F., García-Carmona F. Biosynthesis of betalains: yellow and violet plant pigments. *Trends in Plant Science*. 2013; 18(6): 334–343. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2013.01.003>
- Polturak G., Aharoni A. «La Vie en Rose»: Biosynthesis, Sources, and Applications of Betalain Pigments. *Molecular Plant*. 2018; 11(1): 7–22. <https://doi.org/10.1016/j.molp.2017.10.008>
- Polturak G. et al. Transcriptome and Metabolic Profiling Provides Insights into Betalain Biosynthesis and Evolution in *Mirabilis jalapa*. *Molecular Plant*. 2018; 11(1): 189–204. <https://doi.org/10.1016/j.molp.2017.12.002>
- Gandía-Herrero F., Escribano J., García-Carmona F. Biological Activities of Plant Pigments Betalains. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2016; 56(6): 937–945. <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.740103>
- Savitsky T., Wichkowski W. The effect of boiling and fermentation on betalain profiles and antioxidant capacity of red beet products. *Food Chemistry*. 2018; 259: 292–303. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.03.143>
- Figiel A. Drying kinetics and quality of beetroots dehydrated by combination of convective and vacuum-microwave methods. *Journal of Food Engineering*. 2010; 98(4): 461–470. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.01.029>
- Kazimierczak R. et al. Beetroot (*Beta vulgaris* L.) and naturally fermented beetroot juices from organic and conventional production: metabolomics, antioxidant levels and anticancer activity. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2014; 94(13): 2618–2629. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6722>
- Устинова Ю.В., Ермолаева Е.О., Шевченко Т.В., Попов А.М., Плотников К.Б. Свойства и применение природных беталаиновых красителей. *Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК — продукты здорового питания*. 2021; (4): 72–79. <https://doi.org/10.24412/2311-6447-2021-4-72-79>
- Calva-Estrada S.J., Jiménez-Fernández M., Lugo-Cervantes E. Betalains and their applications in food: The current state of processing, stability and future opportunities in the industry. *Food Chemistry: Molecular Sciences*. 2022; 4: 100089. <https://doi.org/10.1016/j.fochms.2022.100089>
- Buijnsters M., Bicanic D., Chirtoc M., Nicoli M.C., Min-Kuo Y. Evaluation of Antioxidative Activity of Some Antioxidants by Means of a Combined. Optothermal Window and a DPPH Free Radical Colorimetry. *Analytical Sciences/Supplements*. 2001; 17(S): s544–s546. <https://doi.org/10.14891/ANALSCISP.17ICPP.0.S544.0>
- Kamiloglu S., Pasli A.A., Ozcelik B., Van Camp J., Capanoglu E. Colour retention, anthocyanin stability and antioxidant capacity in black carrot (*Daucus carota*) jan and marmalades: Effect of processing storage conditions and in vitro gastrointestinal digestion. *Journal of Functional Foods*. 2015; 13: 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2014.12.021>
- Jampani C., Raghavarao K.S.M.S. Process integration for purification and concentration of red cabbage (*Brassica oleracea* L.) anthocyanins. *Separation and Purification Technology*. 2015; 141: 10–16. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2014.11.024>

REFERENCES

- Chhikara N., Kushwaha K., Sharma P., Gat Yu., Panghal A. Bioactive compounds of beetroot and utilization in food processing industry: A critical review. *Food Chemistry*. 2019; 272: 192–200. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.08.022>
- Mella C., Vega-Gálvez A., Uribe E., Pasten A., Mejias N., Quispe-Fuentes I. Impact of vacuum drying on drying characteristics and functional properties of beetroot (*Beta vulgaris*). *Applied Food Research*. 2022; 2(1): 100120. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100120>
- Seremet (Ceclu) L. et al. Development of several hybrid drying methods used to obtain red beetroot powder. *Food Chemistry*. 2020; 310: 125637. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125637>
- Gandía-Herrero F., García-Carmona F. Biosynthesis of betalains: yellow and violet plant pigments. *Trends in Plant Science*. 2013; 18(6): 334–343. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2013.01.003>
- Polturak G., Aharoni A. «La Vie en Rose»: Biosynthesis, Sources, and Applications of Betalain Pigments. *Molecular Plant*. 2018; 11(1): 7–22. <https://doi.org/10.1016/j.molp.2017.10.008>
- Polturak G. et al. Transcriptome and Metabolic Profiling Provides Insights into Betalain Biosynthesis and Evolution in *Mirabilis jalapa*. *Molecular Plant*. 2018; 11(1): 189–204. <https://doi.org/10.1016/j.molp.2017.12.002>
- Gandía-Herrero F., Escribano J., García-Carmona F. Biological Activities of Plant Pigments Betalains. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2016; 56(6): 937–945. <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.740103>
- Savitsky T., Wichkowski W. The effect of boiling and fermentation on betalain profiles and antioxidant capacity of red beet products. *Food Chemistry*. 2018; 259: 292–303. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.03.143>
- Figiel A. Drying kinetics and quality of beetroots dehydrated by combination of convective and vacuum-microwave methods. *Journal of Food Engineering*. 2010; 98(4): 461–470. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.01.029>
- Kazimierczak R. et al. Beetroot (*Beta vulgaris* L.) and naturally fermented beetroot juices from organic and conventional production: metabolomics, antioxidant levels and anticancer activity. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2014; 94(13): 2618–2629. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6722>
- Ustinova Yu.V., Ermolaeva E.O., Shevchenko T.V., Popov A.M., Plotnikov K.B. Properties and applications of natural betalain dyes. *Technologies of the Food and Processing Industry of the Agro-Industrial Complex — Healthy Food Products*. 2021; (4): 72–79 (In Russian). <https://doi.org/10.24412/2311-6447-2021-4-72-79>
- Calva-Estrada S.J., Jiménez-Fernández M., Lugo-Cervantes E. Betalains and their applications in food: The current state of processing, stability and future opportunities in the industry. *Food Chemistry: Molecular Sciences*. 2022; 4: 100089. <https://doi.org/10.1016/j.fochms.2022.100089>
- Buijnsters M., Bicanic D., Chirtoc M., Nicoli M.C., Min-Kuo Y. Evaluation of Antioxidative Activity of Some Antioxidants by Means of a Combined. Optothermal Window and a DPPH Free Radical Colorimetry. *Analytical Sciences/Supplements*. 2001; 17(S): s544–s546. <https://doi.org/10.14891/ANALSCISP.17ICPP.0.S544.0>
- Kamiloglu S., Pasli A.A., Ozcelik B., Van Camp J., Capanoglu E. Colour retention, anthocyanin stability and antioxidant capacity in black carrot (*Daucus carota*) jan and marmalades: Effect of processing storage conditions and in vitro gastrointestinal digestion. *Journal of Functional Foods*. 2015; 13: 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2014.12.021>
- Jampani C., Raghavarao K.S.M.S. Process integration for purification and concentration of red cabbage (*Brassica oleracea* L.) anthocyanins. *Separation and Purification Technology*. 2015; 141: 10–16. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2014.11.024>

16. Valdés A., Vidal L., Beltrán A., Canals A., Garrigós M.C. Microwave-Assisted Extraction of Phenolic Compounds from Almond Skin Byproducts (*Prunus amygdalus*): A Multivariate Analysis Approach. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2015; 63(22): 5395–5402. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b01011>

17. Минзанова С.Т. и др. Бетаиноновые пигменты растительного происхождения: выделение, структура и химические свойства. *Бутлеровские сообщения*. 2010; 19(2): 1–11. <https://www.elibrary.ru/ncylcr>

18. Mikołajczyk-Bator K., Pawlak S. The effect of the thermal treatment on antioxidant capacity and pigment contents in separated betalain fractions. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*. 2016; 15(3): 257–265. <https://doi.org/10.17306/J.AFS.2016.3.25>

16. Valdés A., Vidal L., Beltrán A., Canals A., Garrigós M.C. Microwave-Assisted Extraction of Phenolic Compounds from Almond Skin Byproducts (*Prunus amygdalus*): A Multivariate Analysis Approach. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2015; 63(22): 5395–5402. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b01011>

17. Minzanova S.T. et al. Phyto-genous betalaine pigments: isolation, structure and chemical properties. *Butlerov Communications*. 2010; 19(2): 1–11 (In Russian). <https://www.elibrary.ru/ncylcr>

18. Mikołajczyk-Bator K., Pawlak S. The effect of the thermal treatment on antioxidant capacity and pigment contents in separated betalain fractions. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*. 2016; 15(3): 257–265. <https://doi.org/10.17306/J.AFS.2016.3.25>

ОБ АВТОРАХ

Наталья Юрьевна Чеснокова

доктор технических наук, доцент
chesnokova.nyu@dvfu.ru
<http://orcid.org/0000-0003-3713-8831>

Алла Алексеевна Кузнецова,

кандидат технических наук, доцент
kuznetsova.aa@dvfu.ru
<http://orcid.org/0000-0001-5972-6904>

Людмила Владимировна Левочкина,

кандидат технических наук, доцент
levochkina.lv@dvfu.ru
<http://orcid.org/0000-0002-5621-4871>

Максим Андреевич Тарабаев,

бакалавр
tarabaev.ma@students.dvfu.ru

Дальневосточный федеральный университет,
о. Русский, пос. Аякс, 10, Владивосток, 690922, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Natalia Yuryevna Chesnokova,

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor
chesnokova.nyu@dvfu.ru
<http://orcid.org/0000-0003-3713-8831>

Alla Alekseevna Kuznetsova,

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
kuznetsova.aa@dvfu.ru
<http://orcid.org/0000-0001-5972-6904>

Ludmila Vladimirovna Levochkina,

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
levochkina.lv@dvfu.ru
<http://orcid.org/0000-0002-5621-4871>

Maksim Andreevich Tarabaev,

Bachelor
tarabaev.ma@students.dvfu.ru

Far Eastern Federal University,
10 Ajax Bay, Russky Island, Vladivostok, 690922, Russia