

ИЗУЧЕНИЕ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ РАСТЕНИЙ

Научная статья
УДК 635.112:635.15:57.03
DOI: 10.30901/2227-8834-2026-2-02



Мониторинг динамики содержания бетаинов столовой свеклы (*Beta vulgaris* L.) в течение длительного хранения

А. М. Зарецкий, Д. В. Соколова, А. Е. Соловьева

Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Александр Михайлович Зарецкий, 744121296@mail.ru

Актуальность. Использование бетаинов в качестве натуральных пищевых красителей сталкивается с трудностями, связанными со стабильностью их химической структуры в процессе хранения и, следовательно, их красящей способностью. Актуальность исследования обусловлена недостаточной изученностью закономерностей изменения концентрации бетаинов в течение длительного хранения.

Материалы и методы. В исследовании проанализированы 52 образца столовой свеклы из коллекции ВИР с интенсивной красной окраской корнеплодов. Количественное определение бетаинов проводили спектрофотометрическим методом.

Результаты и заключение. Содержание пигментов в исследуемых образцах колебалось от 130 до 1526 мг/100 г сухого веса, из них: бетацанинов – от 82 до 1271 мг/100 г, бетаксантинов – от 23 до 494 мг/100 г. Методом кластерного анализа все образцы были разделены на 4 группы в зависимости от общего содержания бетаинов. Получены данные по ежемесячной динамике бетаинов в корнеплодах столовой свеклы при длительном хранении. В первый месяц после уборки и закладки корнеплодов на хранение наблюдался рост содержания бетаинов примерно на 40%. В среднем при длительном хранении деградация пигмента составила 28%. Снижение бетаинов происходило преимущественно за счет уменьшения количества бетацанинов. Среди изученных образцов наибольший интерес для получения красителя непосредственно после уборки и в первый месяц хранения представляет сорт 'Генеральская' (к-3894, Россия). Сорта 'Комбат' (к-4032, Россия) и 'Маруся' (к-3982, Россия) показали себя как наиболее стабильные источники пигмента на протяжении всего срока хранения.

Ключевые слова: свекла столовая, пигменты, бетацанины, бетаксантины, длительное хранение

Благодарности: материал получен в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по проекту FGEM-2022-0003 «Мировые ресурсы овощных и бахчевых культур коллекции ВИР: эффективные пути раскрытия эколого-генетических закономерностей формирования разнообразия и использования селекционного потенциала». Исследования проведены в рамках государственного задания FGEM-2025-0007 «Клеточные технологии для расширения селекционного потенциала культур овощного направления использования».

Для цитирования: Зарецкий А.М., Соколова Д.В., Соловьева А.Е. Мониторинг динамики содержания бетаинов столовой свеклы (*Beta vulgaris* L.) в течение длительного хранения. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2026;187(2):58-68. DOI: 10.30901/2227-8834-2026-2-02

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы. Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы.

STUDYING AND UTILIZATION OF PLANT GENETIC RESOURCES

Original article

DOI: 10.30901/2227-8834-2026-2-o2

Monitoring of the betalain content dynamics in table beet (*Beta vulgaris* L.) during long-term storage

Alexander M. Zaretsky, Diana V. Sokolova, Alla E. Solovyeva

N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, St. Petersburg, Russia

Corresponding author: Alexander M. Zaretsky, 744121296@mail.ru

Background. The use of betalains as natural food colorants faces difficulties related to the stability of their chemical structure during storage and, consequently, their coloring ability. The relevance of the study is due to insufficient knowledge of the patterns of changes in betalain concentration during long-term storage.

Materials and methods. The study analyzed 52 table beet accessions with intense red root color from the VIR collection. Quantitative measurement of betalains was carried out spectrophotometrically.

Results and conclusion. The content of these pigments in the studied accessions ranged from 130 to 1526 mg/100 g dry weight, specifically: betacyanins varied from 82 to 1271 mg/100 g, and betaxanthins from 23 to 494 mg/100 g. Using cluster analysis, all accessions were divided into 4 groups depending on the total betalain content. Data were obtained on the monthly dynamics of betalain content in table beet roots during long-term storage. In the first month after harvesting and placing the roots into storage, an increase in betalain content of approximately 40% was observed. On average, pigment degradation during long-term storage was 28%. The decrease in betalains occurred mainly due to a reduction in the amount of betacyanins. Among the studied accessions, cv. 'Generalskaya' (k-3894, Russia) is of greatest interest for obtaining the colorant immediately after harvesting and in the first month of storage. Cvs. 'Kombat' (k-4032, Russia) and 'Marusya' (k-3982, Russia) turned out to be the most stable sources of the pigment throughout the entire storage period.

Keywords: table beet; pigments, betacyanins, betaxanthins, long-term storage

Acknowledgments: the material was obtained as part of the state task according to the thematic plan of VIR, Project FGEM-2022-0003 "Global genetic resources of vegetable and cucurbit crops in the VIR collection: effective ways to disclose ecogenetic patterns in the formation of their diversity and utilization of breeding potential". The research was conducted within the framework of the state task, Project FGEM-2025-0007 "Cell technologies to expand the breeding potential of crops for vegetable use".

For citation: Zaretsky A.M., Sokolova D.V., Solovyeva A.E. Monitoring of the betalain content dynamics in table beet (*Beta vulgaris* L.) during long-term storage. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*. 2026;187(2):58-68. (In Russ.). DOI: 10.30901/2227-8834-2026-2-o2

Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work. The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors or their employers.

Введение

Свекла столовая – ценная овощная культура, обладающая высокой урожайностью и длительной лежкостью корнеплодов, а также содержащая комплекс биологически активных веществ, включая витамины и другие антиоксиданты (Burenin, 2007; Litvinov, 2008). Важнейшими компонентами, определяющими ее свойства, являются беталаины (Herbach et al., 2004; Timakova, Dolgoropova, 2020).

Беталаины – водорастворимые растительные пигменты, относящиеся к алкалоидам и синтезирующиеся в вакуолях клеток растений порядка Caryophyllales (свекла столовая, опунция, амарант, базелла, питахайя, улюкко, портулак, миртилокактус и др.) (Strack et al., 2003; Minzanova et al., 2010; Paunovic et al., 2020). Основной сырьевой источник данных пигментов – корнеплоды столовой свеклы (Shachek et al., 2023). Эти соединения не только придают свекле характерную окраску, но и выполняют защитную функцию, повышая устойчивость растений к стрессовым факторам, таким как перепады температур, засоление почв и механические повреждения (Vogt et al., 1999; Sepúlveda-Jiménez et al., 2004; Wang et al., 2006; Hayakawa, Agarie, 2010; Casique-Arroyo et al., 2014; Ustinova et al., 2021; Sokolova et al., 2022).

Беталаины синтезируются в растениях из тирозина посредством образования беталамовой кислоты и делятся на две группы с различной окраской: фиолетово-бордовые – бетацианины и желтые – бетаксантины (Strack et al., 2003; Khan, Giridhar, 2015; Slimen et al., 2017). Наиболее распространенным в столовой свекле является бетанин – основной компонент пищевого красителя красного цвета E-162, широко применяемого в пищевой, косметической и фармацевтической промышленности (Корутко, Tolkachev, 2020; Shachek et al., 2023). Устойчивость

и интенсивность окраски продуктов зависит от концентрации пигментов, pH среды, продолжительности нагревания и других технологических параметров (Valeeva et al., 2019; Paunovic et al., 2020; Chesnokova et al., 2023).

Содержание беталаинов в корнеплодах сопряжено с генотипом и условиями выращивания (Sokolova, 2022). При этом свекла способна сохранять потребительские качества в течение 7–8 месяцев, что делает ее перспективным сырьем в производстве натуральных красителей. В связи с этим изучение динамики содержания беталаинов в процессе хранения представляет особый интерес. Целью работы являлось исследование динамики накопления и деградации пигментов в корнеплодах столовой свеклы в течение длительного хранения.

Материалы и методы

Исследование динамики содержания пигментов в течение длительного хранения проводилось с использованием 52 образцов столовой свеклы из коллекции ВИР, отобранных по критерию максимальной интенсивности окраски корнеплодов (табл. 1). В исследовании преобладали сорта российской селекции (65%), среди зарубежных сортов наибольшую долю (27%) составили образцы голландского происхождения. Линейный материал в изучаемой выборке был получен путем четырех циклов инбридинга сорта 'Валента' (к-3050, Россия).

Образцы выращивались на естественном фоне в овощном севообороте на территории научно-производственной базы «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР» (г. Пушкин, Санкт-Петербург) в 2023 г. Послеуборочное хранение корнеплодов осуществлялось в овощехранилище ВИР при постоянной температуре +2°C.

Характеристика погодных условий вегетационного периода представлена на рисунке 1. Среднемесячные

Таблица 1. Список опытных образцов столовой свеклы

Table 1. List of the studied table beet accessions

№ по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Название образца / Accession name	Происхождение / Origin	Форма корнеплода / Root shape	Селекционный статус / Breeding status
–	Линия Валента	Россия	Округло-овальная	Линия
–	Линия 572/2	Россия	Округло-овальная	Линия
–	Линия 273/9	Россия	Округлая	Линия
–	Линия 270/6	Россия	Округло-овальная	Линия
–	Линия 279/9	Россия	Округло-овальная	Линия
461	'Early Wonder'	США	Округло-плоская	Сорт
579	'Detroit Dark Red'	Британия	Округло-овальная	Сорт
597	'Egyptain Turnip Ronted'	Нидерланды	Округло-плоская	Сорт
621	'Rodbeta Egyptsh Pluntrund	Швеция	Округло-овальная	Сорт
1585	'Полярная Плоская'	Россия	Округло-плоская	Сорт
1586	'Северный Шар'	Россия	Округло-плоская	Сорт
1793	'Improved Dark Red'	Канада	Округло-овальная	Сорт
1937	'Burpee's Red Ball'	США	Округлая	Сорт
3024	'Bikores'	Нидерланды	Округлая	Сорт
3151	'Бордо Односемянная'	Россия	Округло-овальная	Сорт

Таблица 1. Окончание
Table 1. The end

№ по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Название образца / Accession name	Происхождение / Origin	Форма корнеплода / Root shape	Селекционный статус / Breeding status
3183	Свекла столовая	Мадагаскар	Округлая	Местный образец
3184	'Detroit Nero RS'	Нидерланды	Округло-овальная	Сорт
3213	'Улан Манжи'	Монголия	Плоская	Местный образец
3215	'Багряный'	Украина	Коническая	Сорт
3599	'Egypte'	Алжир	Плоская	Сорт
3600	'Dwergina'	Нидерланды	Овально-округлая	Сорт
3601	Местная	Абхазия	Цилиндрическая	Местный образец
3627	'Detroit Dark Red Morse'	Мексика	Округло-овальная	Сорт
3628	'Norton'	Нидерланды	Овально-округлая	Сорт
3692	'Бордовая ВНИИО'	Россия	Округло-овальная	Сорт
3693	'Карина ВНИИО'	Россия	Округлая	Сорт
3694	'Деметра ВНИИО'	Россия	Округлая	Сорт
3695	'Жуковчанка ВНИИО'	Россия	Округло-овальная	Сорт
3698 St	'Русская Односемянная'	Россия	Овально-округлая	Сорт
3888	'Цыганочка'	Россия	Округло-овальная	Сорт
3889	'Темная Ночь'	Россия	Округлая	Сорт
3890	'Темная Лошадка'	Россия	Округлая	Сорт
3891	'Уральский Рафинад'	Россия	Округлая	Сорт
3892	'Уральский Борщ'	Россия	Округлая	Сорт
3894	'Генеральская'	Россия	Цилиндрическая	Сорт
3895	'Матушка Матреша'	Россия	Цилиндрическая	Сорт
3977	'Фалькон F1'	Япония	Округлая	Гибрид F1
3982	'Маруся'	Россия	Округлая	Сорт
4014	'Герман'	Россия	Овально-округлая	Сорт
4019	'Наоми'	Россия	Округло-овальная	Сорт
4020	'Рубиновая Королева'	Россия	Округло-плоская	Сорт
4021	'Красный Шар'	Россия	Овально-округлая	Сорт
4022	'Шоколадница'	Россия	Округло-овальная	Сорт
4023	'Мечта Кулинару'	Россия	Овально-округлая	Сорт
4024	'Вишневая Королева'	Россия	Цилиндрическая	Сорт
4025	'Гранатовый Шар'	Россия	Округло-овальная	Сорт
4027	'Барон'	Россия	Округло-плоская	Сорт
4028	'Королевский Пурпур'	Россия	Округло-плоская	Сорт
4030	'Герман F1'	Россия	Округло-овальная	Гибрид F1
4032	'Комбат'	Россия	Овально-округлая	Сорт
4033	'Санькина Любовь'	Россия	Цилиндрическая	Сорт
4091	'Бе 10908 F1'	Франция	Овально-округлая	Гибрид F1

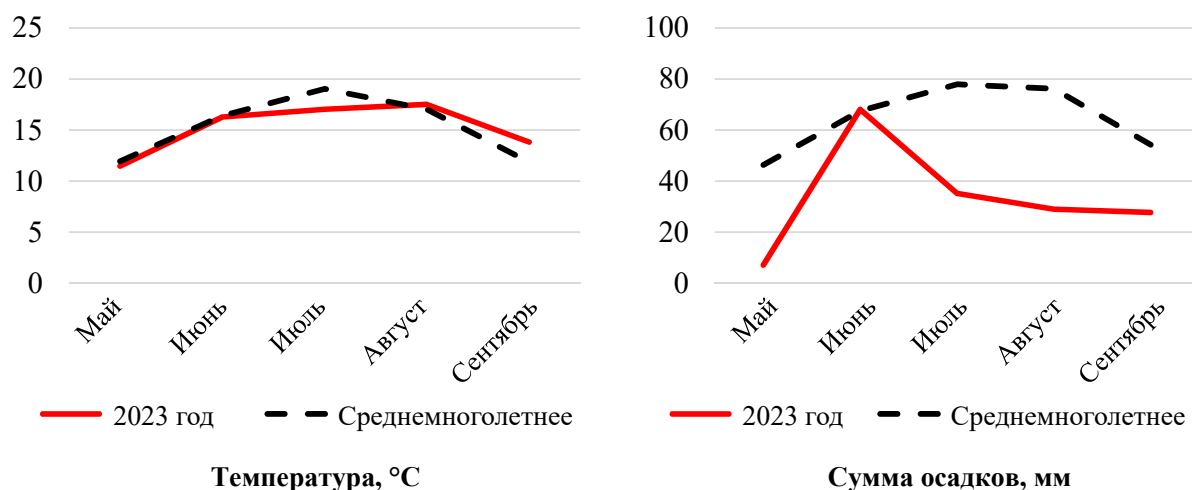


Рис. 1. Погодные условия вегетационного периода 2023 г. (г. Пушкин, Санкт-Петербург)

Fig. 1. Weather conditions for the 2023 growing season (Pushkin, St. Petersburg)

значения температуры практически не отличались от среднееголетних значений, за исключением июля, когда температура была ниже на 2°C.

В 2023 г. практически в течение всего вегетационного периода наблюдался дефицит атмосферной влаги, за исключением июня, когда количество осадков соответствовало среднееголетней норме для Ленинградской области.

Биохимический анализ выращенных корнеплодов проводился ежемесячно на протяжении всего периода хранения образцов (октябрь – апрель) в лаборатории биохимии и молекулярной биологии ВИР. Для исследования брали среднюю пробу из 3–5 корнеплодов каждого образца. Материал предварительно измельчали при помощи кухонного комбайна КП 1580E-113 (Россия). Бетаины определяли согласно методу И. И. Саенко с коллегами (Saenko et al., 2012). Для извлечения пигментов брали навеску 1 г. Экстракция проводилась порциями 2-процентной муравьиной кислоты при гомогенизации в фарфоровой ступке под слоем экстрагента. Полученный экстракт фильтровали через бумажный фильтр, собирали в мерную колбу и доводили до метки экстрагентом. Измерения проводили относительно экстрагента на спектрофотометре UNICO 2800 (США) в диапазоне длин волн: 542 нм – для бетацианинов и 480 нм – для бетаксантинов. Суммарное содержание бетацианинов (БЦ) в мг/100 г сухого веса рассчитывали по формуле:

$$\text{БЦ} = \frac{A1 \times V \times M1}{E1 \times L \times m} \times 100,$$

где A1 – абсорбция при максимуме поглощения бетацианинов; V – объем экстракта в мл; M1 – молярная масса бетанина, 550 г/моль; E1 – молярный коэффициент погашения бетацианинов при максимуме поглощения, 60 000; L – длина оптического пути, 1 см; m – масса навески.

Суммарное содержание бетаксантинов (БК) в мг/100 г сухого веса в пересчете на вульгаксантин-I вычисляли по формуле:

$$\text{БК} = \frac{(A2 - k \times A1) \times V \times M2}{E2 \times L \times m} \times 100,$$

где A2 – абсорбция при максимуме поглощения бетаксантинов; k – коэффициент пересчета (0,323); M2 – молярная масса вульгаксантина-I, 339 г/моль; E2 – молярный коэффициент погашения бетаксантинов при макси-

муме поглощения; L – длина оптического пути 1 см; m – масса навески. Общее содержание беталаинов (ОСБ) рассчитывали как сумму БЦ и БК.

Статистическая обработка (среднее значение, коэффициент вариации, стандартное отклонение) выполняли с использованием программного пакета Statistica v.10. (StatSoft, США). Средние значения данных с нормальным распределением сравнивали с помощью однофакторного дисперсионного анализа. Кластерный анализ проведен с помощью метода невзвешенных средних в программе PAST (Hammer et al., 2001).

Результаты и обсуждения

Надо отметить крайне малое количество исследований по теме данной публикации. Близкие работы касаются в основном кинетики деградации выделенных беталаинов и воздействия различных условий при хранении пигмента (Das et al., 2018; Miyagawa et al., 2021; Yang et al., 2021; Lin et al., 2022). Содержание беталаинов в корнеплодах столовой свеклы в нашем исследовании близко к результатам, опубликованным в работах ряда авторов (Herbach et al., 2006; Ustinova et al., 2021; Shachek et al., 2023). Диапазон содержания беталаинов варьировал от 130 до 1526 мг/100 г сухого вещества, из них на бетацианины приходилось от 82 до 1271 мг/100 г, на бетаксантины – от 23 до 494 мг/100 г.

На основании кластерного анализа образцы, взятые в изучение, по содержанию беталаинов распределились на 4 группы (рис. 2), которые существенно различались между собой (табл. 2).

В первую группу вошли пять образцов со средним содержанием беталаинов 977,58 мг/100 г: 'Уральский Борщ' (к-3892, Россия), 'Генеральская' (к-3894, Россия), 'Наоми' (к-4019, Россия), 'Мечта Кулинару' (к-4023, Россия) и 'Санькина Любовь' (к-4033, Россия). Наибольшее содержание пигментов отмечено у сортов, обладающих цилиндрической формой корнеплода: 'Генеральская' и 'Санькина Любовь'. Наибольшее количество образцов (26) вошло во вторую группу, содержание беталаинов в которой в среднем составило 753,05 мг/г. Особых отличительных черт, за исключением содержания пигмента в корнеплодах (в среднем 598,22 мг/100 г), у десяти образцов из третьей группы отмечено не было. В четвертую группу с низким содержанием пигментов

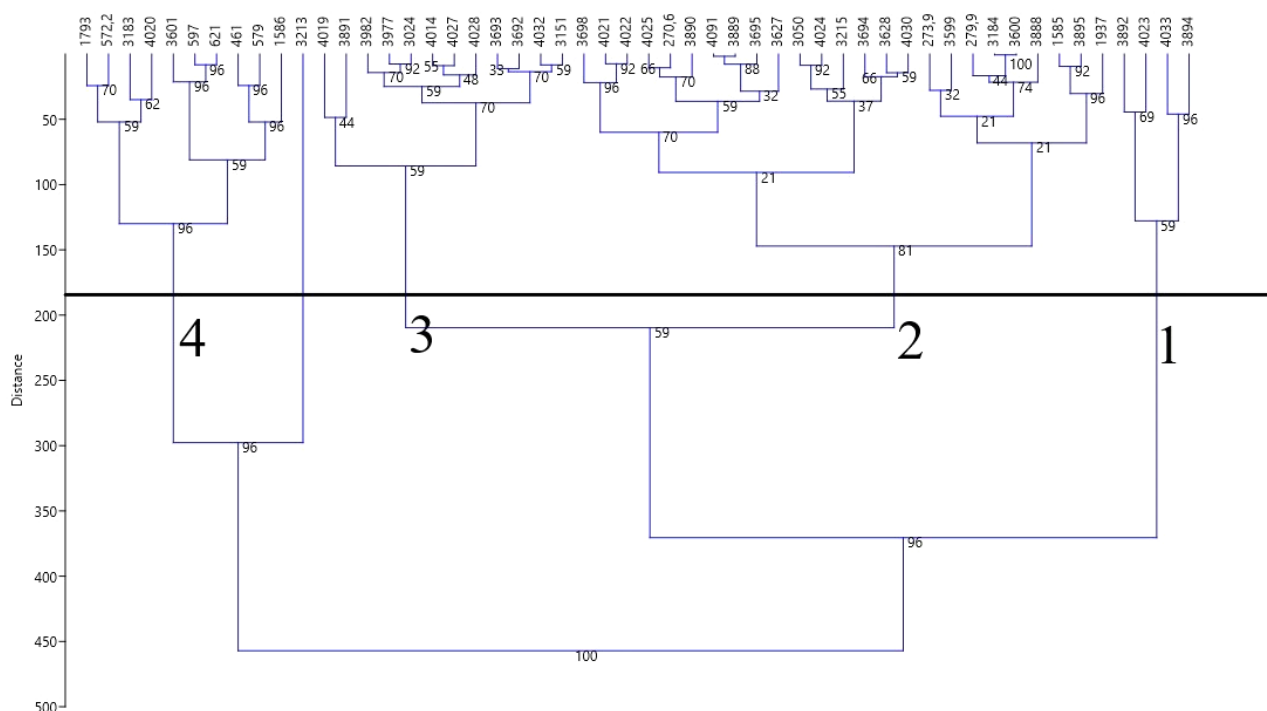


Рис. 2. Дендрограмма распределения образцов столовой свеклы по содержанию бетаинов (методом попарного невзвешенного среднего)

Fig. 2. Cluster dendrogram of table beet accessions based on betalain content (unweighted pair group method with arithmetic mean)

Таблица 2. Характеристика ранжированных групп по содержанию бетаинов, мг/100 г
Table 2. Characteristics of the ranked groups according to their betalain content, mg/100 g

Группа по содержанию бетаанинов / Betacyanin content group	Количество образцов, шт. / Number of accessions, pcs.	Mean ± SD		
		Бетаины / Betalains	Бетаанины / Betacyanins	Бетаксантины / Betaxanthins
1	5	997,26 ± 101,06	796,73 ± 91,57	200,54 ± 12,95
2	26	753,05 ± 64,19	594,95 ± 55,04	158,10 ± 12,54
3	10	598,22 ± 36,06	476,22 ± 36,78	121,70 ± 8,84
4	11	393,46 ± 88,10	301,15 ± 73,68	92,30 ± 18,79
Mean ± SD		670,69 ± 189,98	529,43 ± 156,29	141,26 ± 35,42
CV,%		28,33	29,52	25,07
HCP ₀₅ / LSD ₀₅		133,90	116,25	26,06

Примечание: Mean – среднее по группе; SD – стандартное отклонение; CV – коэффициент вариации; HCP₀₅ – наименьшая существенная разница

Note: Mean – group mean; SD – standard deviation; CV – coefficient of variation; LSD₀₅ – least significant difference

(301,15 мг/100 г) преимущественно вошли сорта ранней селекции (1920–1980 гг.) и образцы местного происхождения.

В результате систематических исследований в течение 7–8 месяцев дана оценка динамики содержания бетаинов в корнеплодах столовой свеклы при длительном хранении. Выявлено достоверное снижение показателей содержания пигмента (в среднем на 27,95%), что соответствует выводам, сделанным ранее (Koldaev, 2023)

(рис. 3). Так, в работе Yang Wei et al. (2021) приводятся данные кинетических изменений выделенного пигмента при длительном хранении, подтверждающие наши выводы.

В конце первого месяца хранения наблюдалось увеличение содержания бетаинов в корнеплодах в среднем на 40,3%, что, вероятно, связано со стрессовой реакцией растений в ответ на механическую уборку, транспортировку и резкое изменение температурного режи-

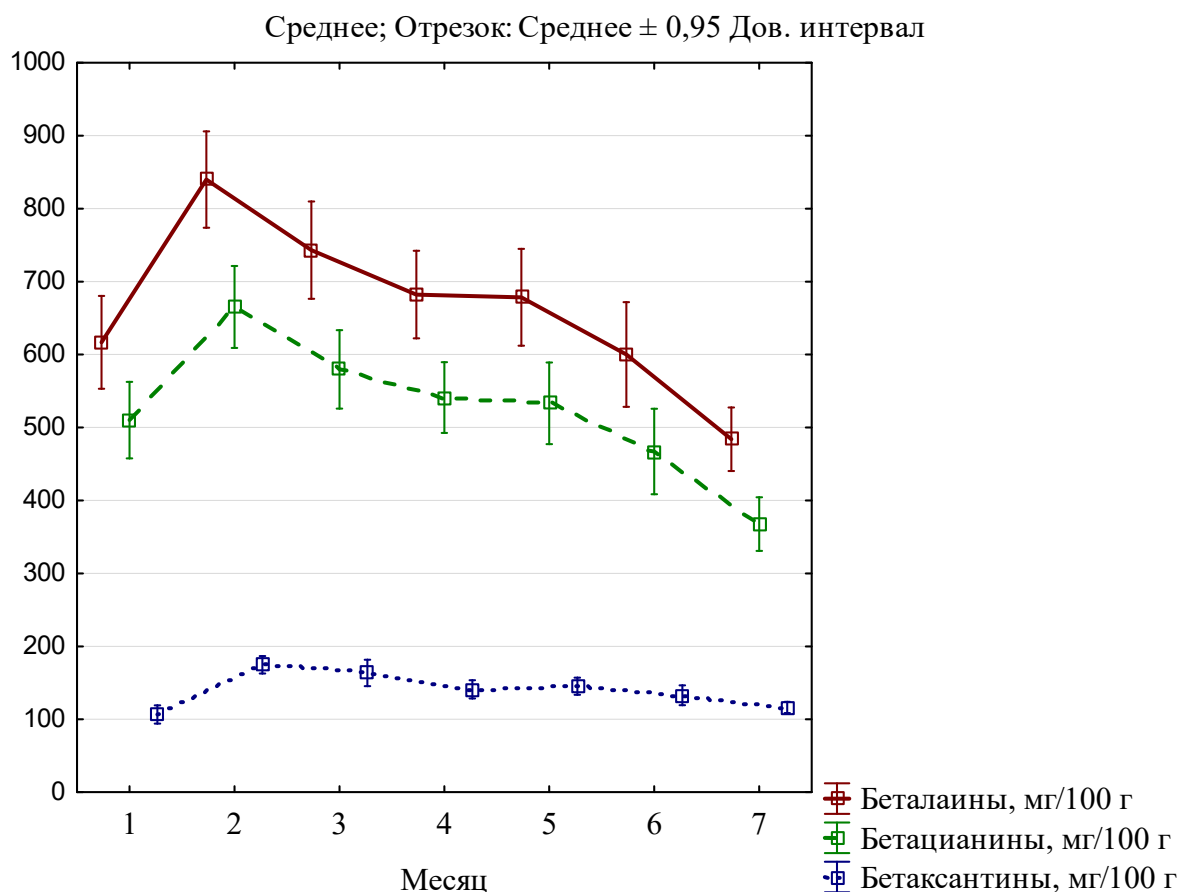


Рис. 3. Динамика содержания беталаинов при хранении в корнеплодах столовой свеклы

Fig. 3. Betalain content dynamics in table beet roots during storage

ма. Затем отмечено постепенное снижение содержания беталаинов, при этом в последние месяцы хранения процесс деградации пигментов ускорился, что, предположительно, связано с активацией физиологических процессов в корнеплодах перед началом второго года вегетации. Снижение беталаинов происходило преимущественно за счет уменьшения количества содержания бетацианинов (рис. 4). Динамика бетаксантинов отличалась – количество желтых пигментов после уборки и закладки на хранение также возрастало, но при хранении деградация их была незначительной. Содержание бетаксантинов в последний месяц хранения было выше показателя на стадии технической спелости (уборки) на 8,95%. При этом степень деградации беталаинов в образцах свеклы различалась в зависимости от группы. Так, разница доли потерянного пигмента между образцами из первой и четвертой групп составила 4,50% (см. рис. 4).

Динамика изменения содержания пигментов в корнеплодах образцов разных групп имела существенные различия. В первой группе уровень беталаинов и бетацианинов после подъема по истечении 30 дней хранения менялся скачкообразно. В остальных группах снижение концентрации пигментов было более равномерным. С октября по апрель деградация пигмента составила в среднем 40%. Наибольшие потери (47%) отмечены в третьей группе. Для первой и второй групп они были минимальными (38%).

Натуральный пищевой краситель «Свекольный красный» (Е-162) производится из бетанина столовой свеклы, составляющего около 70% среди бетацианинов

(Kopytko, Tolkachev, 2020; Shachek et al., 2023). В связи с этим особый интерес представляют образцы со стабильно высоким содержанием бетацианинов при длительном хранении, что дает возможность его выделения в течение продолжительного времени.

Для дальнейшего исследования были отобраны наиболее перспективные образцы отечественной селекции с высоким содержанием пигментов из первой и второй групп (табл. 3).

Образцы 'Генеральская' и 'Санькина Любовь' обладали максимальным содержанием беталаинов: 1158,62 мг/100 г и 1024,26 мг/100 г соответственно. Помимо этого, сорта 'Генеральская', 'Маруся' (к-3982, Россия) и 'Комбат' (к-4032, Россия) в течение хранения имели наиболее стабильные показатели пигментов (CV = 17,63%, 15,76% и 18,18% соответственно). Динамика изменения содержания пигментов в процессе длительного хранения у вышеуказанных сортов продемонстрирована на рисунке 5.

Сорта 'Генеральская' и 'Герман' (к-4014, Россия) обладали наибольшим содержанием бетацианинов на стадии технической спелости, превосходя другие сорта в 1,5 и более раза. В процессе хранения у сорта 'Генеральская' содержание красных пигментов было стабильно высоким, а у образца 'Герман', наоборот, наблюдалась резкая деградация пигмента, которая продолжалась в последующие месяцы хранения. Начиная с января у сорта 'Герман' наблюдалось самое низкое содержание бетацианинов по сравнению с другими образцами данной группы. Особый интерес представляет сорт 'Санькина Любовь',

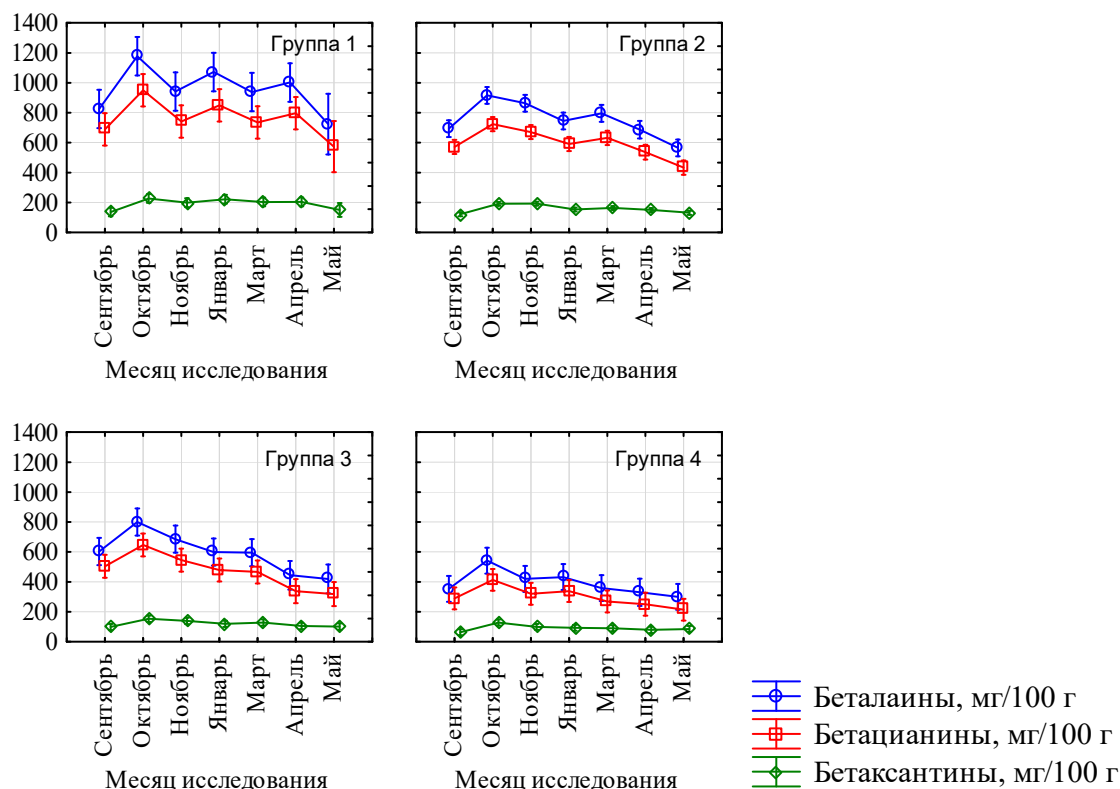


Рис. 4. Динамика содержания бетаинов при хранении в корнеплодах столовой свеклы у разных групп
Fig. 4. Betalain content dynamics in table beet roots of different groups during storage

Таблица 3. Содержание бетаинов в корнеплодах перспективных образцов столовой свеклы, мг/100 г
Table 3. Betalain content in the roots of promising table beet accessions, mg/100 g

№ по каталогу ВИР / VIR catalogue No.	Образец / Accession	Mean ± SD		
		Бетаиновы / Betalains	Бетацианины / Betacyanins	Бетаксантины / Betaxanthins
3894	‘Генеральская’	1158,62 ± 204,25	939,36 ± 180,39	222,26 ± 36,16
	CV, %	17,63	19,27	16,27
3982	‘Маруся’	838,28 ± 132,13	668,53 ± 100,65	169,75 ± 36,10
	CV, %	15,76	15,06	21,27
4014	‘Герман’	816,42 ± 251,54	644,73 ± 213,89	171,69 ± 39,29
	CV, %	30,81	33,17	22,88
4023	‘Мечта Кулинару’	933,76 ± 252,	743,92 ± 186,02	189,84 ± 67,50
	CV, %	27,03	25,01	35,55
4032	‘Комбат’	793,31 ± 144,26	632,22 ± 111,65	161,09 ± 34,09
	CV, %	18,18	17,66	21,16
4033	‘Санькина Любовь’	1024,26 ± 262,76	832,64 ± 208,29	191,62 ± 57,54
	CV, %	25,65	25,01	30,03
	Mean ± SD	670,69 ± 189,98	529,43 ± 156,29	141,26 ± 35,42
	HCP ₀₅ / LSD ₀₅	133,90	116,25	26,06

Примечание: Mean – среднее по группе; SD – стандартное отклонение; CV – коэффициент вариации, HCP₀₅ – наименьшая существенная разница

Note: Mean – group mean; SD – standard deviation; CV – coefficient of variation; LSD₀₅ – least significant difference

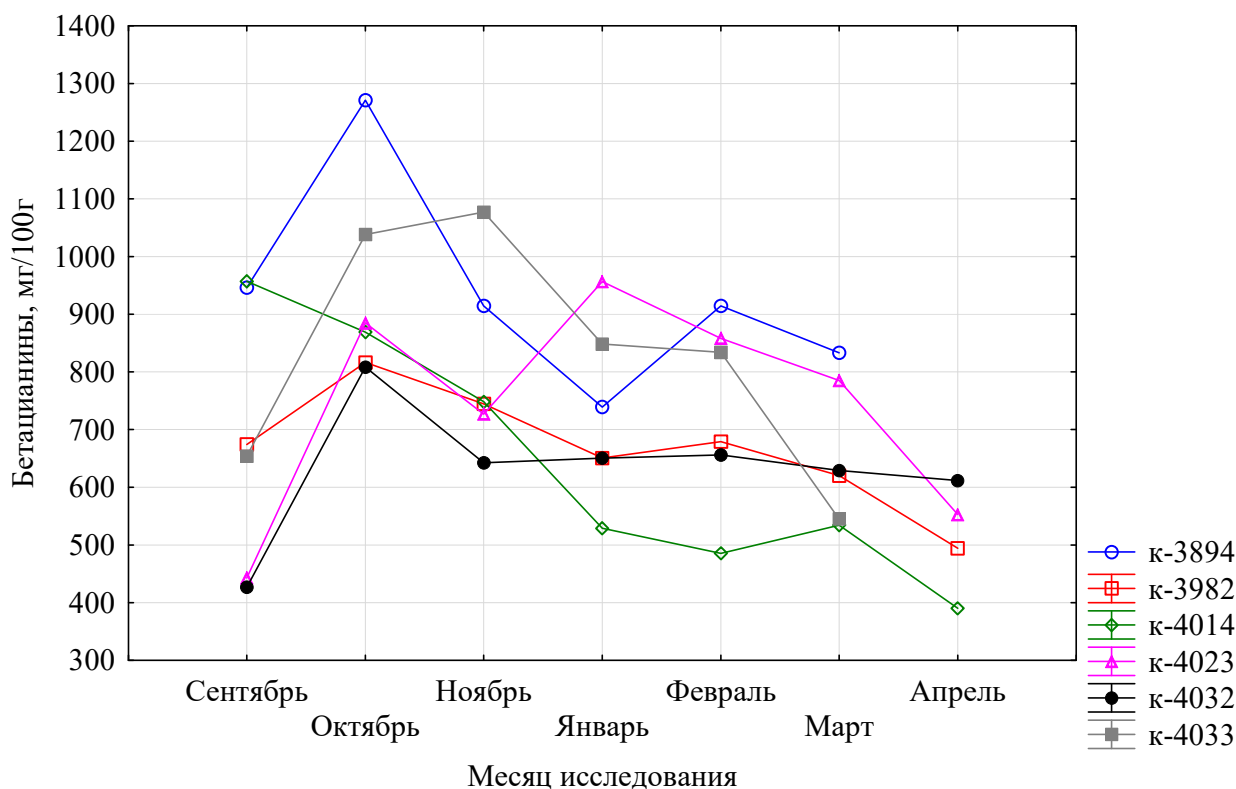


Рис. 5. Динамика изменения содержания бетацонинов у образцов с высоким содержанием бетаина
Fig. 5. Dynamics of betalain content variation in accessions with high betalain content

который изначально не выделялся по содержанию пигментов среди образцов описываемой группы, но в процессе хранения продемонстрировал их значительное накопление, достигнув максимума (1076,88 мг/100 г) через три месяца после уборки урожая. Самые стабильные значения бетацонинов отмечены у образца 'Комбат', у которого начиная с ноября и до конца периода хранения содержание пигмента практически не изменялось. Полученные данные свидетельствуют о преобладании значения конкретного генотипа при выборе сорта для выделения бетанина.

Заключение

Впервые проведен ежемесячный мониторинг динамики изменения содержания бетаина в корнеплодах столовой свеклы в течение длительного хранения. Выявлено снижение содержания пигмента в среднем на 28%, что связано с особенностью обменных процессов у корнеплодов в конкретных условиях хранения и генотипом. Наименьшие потери бетацонинов в процессе хранения были отмечены в корнеплодах образцов столовой свеклы с низким количеством красящего пигмента.

В результате проведенных исследований выявлено, что накопление бетацонинов и бетаксантинов в корнеплодах столовой свеклы резко возрастало в первый месяц хранения. Показатели увеличивались до 40% от первоначального значения, что необходимо учитывать при выборе оптимальных сроков использования сырья при производстве красителя. Полученные данные могут представлять интерес для последующих исследований, направленных на изучение факторов, влияющих на динамические изменения содержания пигментов в корнеплодах свеклы столовой в течение длительного хранения.

Наиболее перспективным сортом для производства красящего пигмента оказался сорт 'Генеральская' (к-3894, Россия), который обладал максимальным количеством бетацонинов на момент уборки и в первый месяц хранения корнеплодов. Сорта 'Комбат' (к-4032, Россия) и 'Маруся' (к-3982, Россия) обладали наиболее стабильным содержанием пигмента. Данные образцы рекомендуются для выделения красителя в течении всего периода длительного хранения.

Полученные данные важны для производителей натурального пищевого красителя бетанина и для селекционной работы на повышенное содержание бетаина у столовой свеклы.

References / Литература

- Burenin V.I. Genetic resources of the genus *Beta* L. (Beet) (Geneticheskiye resursy roda *Beta* L. [Svekla]). St. Petersburg: VIR; 2007. [in Russian] (Буренин В.И. Генетические ресурсы рода *Beta* L. (Свекла). Санкт-Петербург: ВИР; 2007).
- Casique-Arroyo G., Martinez-Gallardo N., González de la Vara L., Délano-Frier J.P. Betacyanin biosynthetic genes and enzymes are differentially induced by (a)biotic stress in *Amaranthus hypochondriacus*. *PLoS One*. 2014;9(6):e99012. DOI: 10.1371/journal.pone.0099012
- 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] (Чеснокова Н.Ю., Кузнецова А.А., Левочкина Л.В., Тарабаев М.А. Свойства и применение бетаина из районированного сорта столовой свеклы. *Аграрная наука*. 2023;374(9):185-190). DOI: 10.32634/0869-8155-2023-374-9-185-190

- Das M., Saeid A., Hossain M.F., Jiang G.H., Eun J.B., Ahmed M. Influence of extraction parameters and stability of betacyanins extracted from red amaranth during storage. *Journal of Food Science and Technology*. 2018;56(2):643-653. DOI: 10.1007/s13197-018-3519-x
- Hammer Ø., Harper D.A.T., Ryan P.D. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica*. 2001;4(1):1-9. http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm
- Hayakawa K., Agarie S. Physiological roles of betacyanin in a halophyte, *Suaeda japonica* Makino. *Plant Production Science*. 2010;13(4):351-359. DOI: 10.1626/ppp.13.351
- Herbach K.M., Stintzing F.C., Carle R. Betalain stability and degradation – structural and chromatic aspects. *Journal of Food Science*. 2006;71(4):R41-R50. DOI: 10.1111/j.1750-3841.2006.00022.x
- Herbach K.M., Stintzing F.C., Carle R. Impact of thermal treatment on color and pigment pattern of red beet (*Beta vulgaris* L.) preparations. *Journal of Food Science*. 2004;69(6):491-498. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2004.tb10994.x
- Khan M.I., Giridhar P. Plant betalains: Chemistry and biochemistry. *Phytochemistry*. 2015;117:267-295. DOI: 10.1016/j.phytochem.2015.06.008
- Koldaev V.M. Dynamics of changes in the content of betalain pigments in red beet roots during the growing season and storage. *Vegetable Crops of Russia*. 2023;(3):10-15. [in Russian] (Колдаев В.М. Динамика изменения содержания бетаиновых пигментов в корнеплодах красной свеклы в процессе вегетации и хранения. *Овощи России*. 2023;(3):10-15). DOI: 10.18619/2072-9146-2023-3-10-15
- Kopytko Ya.F., Tolkachev O.N. Location in nature, cell cultures, application and pharmacological action of betalains and their derivatives. *Traditional Medicine*. 2020;2(61):52-59. [in Russian] (Копытько Я.Ф., Толкачев О.Н. Нахождение в природе, клеточные культуры, применение и фармакологическое действие бетаинов и их производных. *Традиционная медицина*. 2020;2(61):52-59).
- Lin X., Li B., Wen J., Wu J., Tang D., Yu Y. et al. Storage stability and in vitro bioaccessibility of liposomal betacyanins from Red Pitaya (*Hylocereus polyrhizus*). *Molecules*. 2022;27(4):1193. DOI: 10.3390/molecules27041193
- Litvinov S.S. Scientific foundations of modern vegetable growing (Nauchnye osnovy sovremennogo ovoshchevodstva). Moscow: VNIIO; 2008. [in Russian] (Литвинов С.С. Научные основы современного овощеводства. Москва: ВНИИО; 2008).
- Minzanova S.T., Mironov V.F., Tsepaeva O.V., Vyshtakaluk A.B., Mindubaev A.Z., Mironova L.G. et al. Phylogenetic betalain pigments: isolation, structure and chemical properties. *Butlerov Communications*. 2010;19(2):1-11. [in Russian] (Минзанова С.Т., Миронов В.Ф., Цепаева О.В., Выштакалук А.Б., Миндубаев А.З., Миронова Л.Г. и др. Бетаиновые пигменты растительного происхождения: выделение, структура и химические свойства. *Бутлеровские сообщения*. 2010;19(2):1-11).
- Miyagawa Y., Fujita H., Adachi S. Kinetic analysis of thermal degradation of betanin at various pH values using deconvolution method. *Food Chemistry*. 2021;361:130165. DOI: 10.1016/j.foodchem.2021.130165
- Paunovic D., Stojanovic B., Dimitrijevic D., Kristic J., Kostic D. Betalains – natural pigments for healthy food. *Chemia Naissensis*. 2020;3(1):32-49. DOI: 10.46793/ChemN3.1.032P
- Saenko I.I., Tarasenko D.V., Deineka V.I., Deineka K.A. Betacyanins of red beetroot root. *Belgorod State University Scientific Bulletin. Natural Sciences*. 2012;3(122):194-200. [in Russian] (Саенко И.И., Тарасенко О.В., Дейнека В.И., Дейнека П.А. Бетацанины корнеплодов красной свеклы. *Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия Естественные науки*. 2012;3(122):194-200).
- Sepúlveda-Jiménez G., Rueda- Benítez P., Porta H., Rocha-Sosa M. Betacyanin synthesis in red beet (*Beta vulgaris*) leaves induced by wounding and bacterial infiltration is preceded by an oxidative burst. *Physiological and Molecular Plant Pathology*. 2004;64(3):125-133. DOI: 10.1016/j.pmp.2004.08.003
- Shachek T.M., Protaseny L.N., Zelenkova E.N. Applications of plant-derived colorant betanin in the coloration of cosmetics. *Food Industry: Science and Technologies*. 2023;16(3):67-78. [in Russian] (Шачек Т.М., Протасеня Л.Н., Зеленкова Е.Н. Применение натурального красителя бетанина в производстве косметической продукции. *Пищевая промышленность: наука и технологии*. 2023;16(3):67-78).
- Slimen I.B., Najar T., Abderradda M. Chemical and antioxidant properties of betalains. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2017;65(4):675-689. DOI: 10.1021/acs.jafc.6b04208
- Sokolova D.V. Dynamic changes in betanin content during the growing season of table beet: their interplay with abiotic factors. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2022;26(1):30-39. [in Russian] (Соколова Д.В. Динамические изменения содержания бетанина в столовой свекле в течение вегетационного периода: их взаимодействие с абиотическими факторами. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2022;26(1):30-39). DOI: 10.18699/VJGB-22-05
- Sokolova D.V., Shvachko N.A., Mikhailova A.S., Popov V.S. Betalain content and morphological characteristics of table beet accessions: their interplay with abiotic factors. *Agronomy*. 2022;12(5):1033. DOI: 10.3390/agronomy12051033
- Strack D., Vogt T., Schliemann W. Recent advances in betalain research. *ChemInform*. 2003;62(3):247-269. DOI: 10.1002/chin.200319225
- Timakova L.N., Dolgoplova M.A. Breeding of table beet in All-Russian Scientific Research Institute of Vegetable Growing – branch of Branch of the FSBSI Federal Scientific Vegetable Center: main directions and results. *News of FSVC*. 2020;(2):21-26. [in Russian] (Тимакова Л.Н., Долгополова М.А. Селекция свеклы столовой во ВНИИО – филиале ФГБНУ ФНЦО: основные направления и результаты. *Известия ФНЦО*. 2020;(2):21-26). DOI: 10.18619/2658-4832-2020-2-21-26
- Ustinova Yu.V., Shevchenko T.V., Popov A.M., Plotnikov K.B. Properties and application of natural betalain dyes. *Technologies for the Food and Processing Industry of AIC – Healthy Food*. 2021;(4):72-79. [in Russian] (Устинова Ю.В., Шевченко Т.В., Попов А.М., Плотников К.Б. Свойства и применение природных бетаиновых красителей. *Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания*. 2021;(4):72-79). DOI: 10.24412/2311-6447-2021-4-72-79
- Valeeva D.I., Sattikhodzhaev H., Shvink K.Yu., Gumerov T.Yu., Reshetnik O.A., Utkin A.V. The effect of pH on the concentration of betalain pigments of plant origin (Vliyaniye pH sredy na kontsentratsiyu betalainovykh pigmentov rastitelnogo proiskhozhdeniya). *Nauchnoye obozreniye. Fundamentalnye i prikladnye issledovaniya = Scientific Review. Fundamental and Applied Research*. 2019;(2):ID55. [in Russian] (Валеева Д.И., Саттиходжаев Х., Швинк К.Ю., Гумеров Т.Ю., Решетник О.А., Уткин А.В. Влияние pH среды

на концентрацию беталаиновых пигментов растительного происхождения. *Научное обозрение. Фундаментальные и прикладные исследования*. 2019;(2):ID55. URL: <https://scientificreview.ru/ru/article/view?id=55> [дата обращения: 29.03.2025].

Vogt T., Ibdah M., Schmidt J., Wray V., Nimtz M., Strack D. Light-induced betacyanin and flavonol accumulation in bladder cells of *Mesembryanthemum crystallinum*. *Phytochemistry*. 1999;52(4):583-592. DOI: 10.1016/S0031-9422(99)00151-X
Wang C.Q., Zhao J.Q., Chen M., Wang B.S. Identification of beta-

cyanin and effects of environmental factors on its accumulation in halophyte *Suaeda salsa*. *Journal of Plant Physiology and Molecular Biology*. 2006;32(2):195-201.

Yang W., Kaimainen M., Järvenpää E., Sandell M., Huopalahti R., Yang B. et al. Red beet (*Beta vulgaris*) betalains and grape (*Vitis vinifera*) anthocyanins as colorants in white currant juice – Effect of storage on degradation kinetics, color stability and sensory properties. *Food Chemistry*. 2021;348:128995. DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.128995

Информация об авторах

Александр Михайлович Зарецкий, аспирант, младший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, 744121296@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-3141-4379>

Диана Викторовна Соколова, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, dianasokol@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9967-7454>

Алла Евгеньевна Соловьева, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44, alsol64@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6201-4294>

Information about the authors

Alexander M. Zaretsky, Postgraduate Student, Associate Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, 744121296@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-3141-4379>

Diana V. Sokolova, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, dianasokol@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9967-7454>

Alla E. Solovyeva, Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher, N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia, alsol64@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6201-4294>

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests: the authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 12.09.2025; одобрена после рецензирования 25.12.2025; принята к публикации 02.04.2026. The article was submitted on 12.09.2025; approved after reviewing on 25.12.2025; accepted for publication on 02.04.2026.