

Оригинальная статья / Original article

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-6-84-89>
УДК 635.341:581.192.7

А.М. Артемьева*,
А.Е. Соловьева

ФГБНУ ФИЦ Всероссийский институт
генетических ресурсов растений
имени Н.И. Вавилова (ВИР)
190000, Россия, Санкт-Петербург,
ул. Большая Морская, 42-44

*Автор для переписки: akme11@yandex.ru

Благодарности. Исследование выполнено в рамках проекта «Национальная сетевая коллекция генетических ресурсов растений для эффективного научно-технологического развития РФ в сфере генетических технологий» по задаче «Раскрытие закономерностей изменчивости и генетического контроля содержания метаболитов овощных и бахчевых культур для формирования системы здорового питания». Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по договору № 075-15-2021-1050 от 28.09.2021.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов: Все авторы участвовали в анализе материалов, написании текста статьи и формировании выводов.

Для цитирования: Артемьева А.М., Соловьева А.Е. Питательные и биологически активные соединения капусты краснокочанной. *Овощи России*. 2023;(6):84-89.
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-6-84-89>

Поступила в редакцию: 20.11.2023

Принята к печати: 28.11.2023

Опубликована: 04.12.2023

Anna M. Artemyeva*,
Alla E. Solovyeva

Federal State Budgetary Scientific Organization
Federal Research Centre All-Russian Institute
Of Plant Genetic Resources named on N.I.Vavilov
(VIR); 190000 Saint-Petersburg,
Bolshaya Morskaya str., 42-44;

*Corresponding Author: akme11@yandex.ru

Acknowledgments. The study was carried out within the framework of the project “National Network Collection of Plant Genetic Resources for Effective Scientific and Technological Development of the Russian Federation in the Field of Genetic Technologies” for the task “Disclosure of patterns of variability and genetic control of the content of metabolites of vegetable and melon crops for the formation of a healthy nutrition system.” The work was carried out with the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation under contract No. 075-15-2021-1050 dated September 28, 2021.

Conflict of interest. The authors declare that there are no conflicts of interest.

Authors' Contribution: All authors participated in the analysis of materials, writing the text of the article and forming conclusions.

For citation: Artemyeva A.M., Solovyeva A.E. Nutrients and bioactive compounds of red cabbage. *Vegetable crops of Russia*. 2023;(6):84-89. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2023-6-84-89>

Received: 20.11.2023

Accepted for publication: 28.11.2023

Published: 04.12.2023

Питательные и биологически активные соединения капусты краснокочанной



Резюме

Цель настоящего исследования – оценка биохимических компонентов в кочанах некоторых сортов капусты краснокочанной (русский сорт Михневская, русский гибрид фирмы Седек Прометей F₁, турецкий сорт Mohrenkopf, гибриды из Нидерландов Zomiro F₁, Реску F₁, Ремала F₁, японский гибрид Pretino F₁), при выращивании в условиях Ленинградской области. Определили содержание сухого вещества, питательных соединений белка и сахаров, биологически активных пигментов антоцианов, хлорофиллов, каротиноидов, фенольных кислот, выраженных в эквивалентах галловой кислоты, а также уровень антиоксидантной активности с использованием DPPH. Установлено, что содержание большинства химических компонентов сильно варьировало между образцами, особенно сахаров, пигментов, фенольных соединений. В результате метаболомного профилирования выявлены девять моносахаров (84% от суммы) и два дисахара, в том числе пять сахаров, общих для всех исследованных образцов, преобладающий из них фруктоза. Содержание суммы хлорофиллов в кочанах было в пределах 0,48-50,43 мг/100 г (хлорофилл а составил 70%), каротиноидов в пределах 0,95-15,58 мг/100 г. Каротиноиды включали каротины, представленные в основном β-каротином, лютеины, виолаксантины, ксантофиллы. Основным антоцианом у образцов капусты краснокочанной является цианидин. Всего идентифицировано 19 компонентов профиля антоцианов; из них основных шесть компонентов, на которые приходится 80% общего количества. Идентифицировали 11 фенольных соединений различной природы, при этом все образцы капусты краснокочанной содержали хинную, феруловую, синаповую кислоты. Найдены источники ценных биохимических признаков для селекции на качество для здорового питания: высоким содержанием сухого вещества выделился сорт капусты краснокочанной Mohrenkopf; сахаров – гибрид Zomiro F₁; антоцианов – гибрид Реску F₁; фенольных соединений – Реску F₁ и Mohrenkopf; высокой антиоксидантной активностью – Михневская, Mohrenkopf и Реску F₁.
Ключевые слова: капуста краснокочанная, питательные соединения, биологически активные вещества

Nutrients and bioactive compounds of red cabbage

Abstract

The purpose of this study is to evaluate the biochemical components in the heads of some red cabbage accessions (Russian cultivar Mikhnevskaya, Russian hybrid from Co Sedek Promethey F₁, Turkish variety Mohrenkopf, hybrids from the Netherlands Zomiro F₁, Pecky F₁, Remala F₁, Japanese hybrid Pretino F₁), during cultivation in the conditions of the Leningrad region. The content of dry matter, nutritional compounds of protein and sugars, biologically active pigments anthocyanins, chlorophylls, carotenoids, phenolic acids expressed in gallic acid equivalents, as well as the level of antioxidant activity using DPPH were determined. It was found that the content of most chemical components varied greatly between accessions, especially sugars, pigments, and phenolic compounds. As a result of metabolomic profiling, nine monosaccharides (84% of the total) and two disaccharides were identified, including five sugars common to all studied accessions, the predominant of which was fructose. The content of total chlorophylls in heads of cabbage was in the range of 0.48-50.43 mg/100 g (chlorophyll a was 70%), carotenoids in the range of 0.95-15.58 mg/100 g. Carotenoids included carotenes, represented mainly by β-carotene, luteins, violaxanthins, xanthophylls. The main anthocyanin in red cabbage accessions is cyanidin. A total of 19 components of the anthocyanin profile were identified; of which there are six main components, that account for 80% of the total. 11 phenolic compounds of various nature were identified, and all studied accessions contained quinic, ferulic, and sinapic acids. Sources of valuable biochemical traits have been found for breeding on quality for healthy nutrition: the cultivar Mohrenkopf stood out for its high content of dry substances; sugars – hybrid Zomiro F₁; anthocyanins – hybrid Pecky F₁; phenolic compounds – Pecky F₁ and Mohrenkopf; high antioxidant activity - Mikhnevskaya, Mohrenkopf and Pecky F₁.

Keywords: red cabbage; nutrients compounds; biologically active compounds

Введение

В XXI веке на фоне увеличивающегося загрязнения окружающей среды, стало актуальной проблемой включение в рацион питания населения большего количества овощной продукции. Население России потребляет в среднем по стране всего 105-109 кг овощей в год, что значительно ниже медицинской нормы (140 кг на человека в год). Улучшить существующее положение можно не только за счет селекции новых сортов, но и за счет более полной реализации генетического потенциала культур. Овощи больше, чем какой-либо другой сельскохозяйственный продукт, нуждаются в улучшении качества, так как используются как диетологическая и лечебная пища. Функциональное питание – это пища, которой придается дополнительная функция, часто связанная с укреплением здоровья или профилактикой заболеваний, путем добавления новых ингредиентов или большего количества существующих ингредиентов [1].

Капуста краснокочанная *Brassica oleracea* L. convar. *capitata* var. *rubra* (DC.) возникла в результате мутации капусты белокочанной в Малой Азии; она широко распространена в мире, прежде всего в Европе [2].

Капуста краснокочанная обладает ценным биохимическим составом кочана и заслуживает расширения использования в Российской Федерации для здорового питания населения. Углеводные соединения в капусте краснокочанной представлены пищевыми волокнами и натуральными сахарами. Употребление продуктов с высоким содержанием клетчатки, таких как капуста краснокочанная, рекомендуется для предотвращения рака толстой кишки, высокого уровня холестерина, диабета и ожирения. Капуста краснокочанная является богатым источником микроэлементов, витаминов и провитаминов, таких как аскорбиновая кислота, токоферолы и каротиноиды, в том числе лупеол, минералов, глюкозинолатов, таких как синигрин и сульфорафан, которые стимулируют активность ферментов и подавляют рост опухолей [3].

Капуста краснокочанная выделяется широким спектром фенольных веществ [4]. Фенольные вещества относятся к категории фитонутриентов, обладающих сильными антиоксидантными свойствами. Их можно классифицировать на простые фенолы, фенольные кислоты, производные гидроксикоричной кислоты и флавоноиды. Сообщалось о способности некоторых фенольных веществ действовать как мощные антиоксидантные компоненты. Возникновение окислительного повреждения может быть значительным фактором развития многих хронических заболеваний, таких как рак и сердечно-сосудистые заболевания [5, 6]. Считается, что капуста краснокочанная содержит одну из самых высоких концентраций антиоксидантов среди всех овощей [3].

Капуста краснокочанная уникальна среди овощей семейства капустные тем, что является одним из съедобных источников натуральных пигментов, в том числе высоким содержанием антоцианов – более 10 г/кг сухого вещества [7], наличие которых обуславливает красно-фиолетовую окраску растений. Антоцианы представляют собой группу флавоноидов, которые в последнее время вновь привлекают все большее внимание к экстракции природных пигментов из-за обще-

ственного беспокойства по поводу безопасности синтетических красителей. Капуста краснокочанная используется в коммерческих целях как один из основных источников пищевых красителей антоцианов [8]. Антоцианы относятся к антиоксидантным [9, 10], антидиабетическим и противовоспалительным питательным веществам [5, 11, 12, 13], участвуют в профилактике рака [3]. Количество их сильно зависит от сорта, методов ведения сельского хозяйства и времени созревания капусты краснокочанной [14].

Антоцианы широко распространены в природе, обладают полезными для здоровья свойствами, высокой совместимостью с биологическими системами и нетоксичностью, и их можно рассматривать как лучшие натуральные красители для использования в пищевой промышленности [15]. Окраска во многом определяет потребительскую привлекательность и существенно влияет на рыночную стоимость продукта. Антоцианы демонстрируют обратимые цветовые свойства, изменяющиеся в зависимости от значения pH. Четыре различные формы антоцианов находятся в равновесии друг с другом в водных растворах: катион флавилия (красный), хиноноидальная (от фиолетового до синего) и бесцветные формы (псевдооснование карбинола и халкон). Таким образом, изменение цвета раствора является следствием одной или нескольких конфигураций антоцианов, полученных при изменении pH среды [16]. В отличие от других культур, капуста краснокочанная является ценным красителем при любых pH среды.

Цель исследований – изучение особенностей накопления питательных и биологически активных соединений в различных сортах капусты краснокочанной.

Материалы и методы

Для наших исследований выбраны 7 образцов капусты краснокочанной, различных по географическому происхождению, агробиологической принадлежности, времени создания сорта/гибрида: российский сорт Михневская (к-175), российский гибрид фирмы Седек Прометей F₁ (вр.к-202), турецкий сорт Mohrenkopf (вр.к-201), гибриды из Нидерландов Zomiro F₁ (к-250), Pecky F₁ (вр.к-198), Ремала F₁ (вр.к-201), японский гибрид Pretino F₁ (вр.к-200).

Растения выращивали в поле овощного севооборота НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР» с использованием общепринятой в Северо-западной зоне РФ агротехники.

Образцы были обработаны и проанализированы, как описано ранее: Содержание сухого вещества муки определяли методом, основанном на взвешивании части измельченной средней пробы до и после высушивания при температуре 100–105°C, до постоянной массы [17]. Сахара определяли по Бертрону, перманганатным методом, который основан на способности редуцирующих сахаров, обладающих свободной карбоксильной группой, восстанавливать в щелочном растворе окисненную медь в закисненную [17]. Общую (титруемую) кислотность – титрованием экстракта 0,1 н щелочью, с пересчетом на яблочную кислоту [17]. Аскорбиновую кислоту – методом прямого извлечения из растений 1% соляной кислотой, с последующим титрованием с помощью 2,6-дихлориндофинола (реактив Тильманса) [17].

Пигменты были выделены с помощью 100% ацетона, и их абсорбция была измерена на спектрофотометре Ultrospec II при различных длинах волн (нм): 645, 662 для хлорофиллов а и в, 440 – для каротиноидов, 454 – для каротинов (суммарное содержание каротинов определяли методом бумажной хроматографии), 454 – для β -каротина, 447 – лютеина, 440 – виолксантина и 443 – ксантофилла [17].

Антоцианы извлечены экстракцией раствором 1% соляной кислоты, с последующим спектрофотометрированием при длине волны 510 нм, в пересчете на цианидин-3,5-дигликозид (453). Для внесения поправки на содержание зеленых пигментов одновременно определяли оптическую плотность полученных экстрактов при 657 нм [18].

Содержание белка определяли по методу Кьельдаля [17]: образец высушивали при температуре 60°C, размалывали, навеску муки минерализовали при нагревании с концентрированной серной кислотой при 420°C в течение полутора часов. Определение азота проводили, используя полуавтоматический анализатор Kjeltac 2200 (FOSS, Швеция) с последующим титрованием 0,1 н раствором серной кислоты. Общее содержание белка рассчитывали по азоту с коэффициентом 6,25 (для овощных культур).

Содержание полифенолов было определено с помощью колориметрического метода Фолина-Чикальтеу (поглощение, измеряемое при 765 нм) на спектрофотометре Ultrospec II [19]. В качестве калибровочного стандарта использовали галловую кислоту, результаты выражены в эквиваленте галловой кислоты.

Антиоксидантную активность изучали с помощью анализа на поглощение свободных радикалов DPPH (2,2-дифенил-1-пикрилгидразил) на спектрофотометре Ultrospec II [18]. Модифицированный метод для количественной оценки антиоксидантного потенциала основан на способности стабильного свободного радикала 2,2-дифенил-1-пикрилгидразила (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl – DPPH•) реагировать с донорами протонов, включая фенолы. Поскольку это соединение обладает очень интенсивным светопоглощением в видимой области спектра (с пиком в диапазоне 515 нм), его концентрация в растворе может быть количественно определена на спектрофотометре. После стадии нейтрализации свободных радикалов в стандартных условиях проводится измерение уровня и скорости окисления радикала DPPH•.

Для исследования антоцианового комплекса листья гомогенизировали под слоем 10% водного раствора муравьиной кислоты [20]. Смесь выдерживали 0,5 ч – 3 ч, экстракт отделяли фильтрованием через бумажный фильтр, добавляя новую порцию экстрагента до обесцвечивания массы (двух последовательных экстракций обычно было достаточно), фильтраты объединяли и доводили до метки экстрагентом. Для ВЭЖХ определения индивидуального состава антоцианового комплекса экстракт очищали методом твердофазной экстракции на концентрирующих патронах ДИАПАК C18. Патроны активировали пропусканием 5 мл ацетона, кондиционировали пропусканием 15-20 мл 0.1М водного раствора HCl. Затем на патроне концентрировали экстракт (10-20 мл). Патрон промывали 2 мл 0.1М водного раствора HCl. Реэкстракцию антоцианов с патро-

на проводили пропусканием раствора, содержащего по 20 об.% муравьиной кислоты и ацетонитрила в воде. Все операции проводили со скоростью 1-2 капли в секунду.

Условия ВЭЖХ определения: в работе использовали хроматограф Agilent 1260 Infinity Infinity II LC (США), включающий 4-х каналный насос, вакуумный дегазатор, автосамплер, термостат колонок, спектрофотометрический детектор, с записью хроматограмм при 520 нм; колонка 100×3 мм Zorbax SB-C18, 1.8 мкм; подвижная фаза: элюент А – 10 об.% раствор муравьиной кислоты, элюент В – 10 об.% раствор муравьиной кислоты, содержащий 50 об.% ацетонитрила (для ВЭЖХ).

Для получения профилей углеводов и фенольных соединений брали 10 г образца, взвешивали, заливали адекватным количеством этанола, пробу настаивали в течение 30 дней при 2...4°C. Экстракт (200 мкл) выпаривали досуха на установке Centri Vap Concentrator фирмы «Labconco» (США). Сухой остаток силилировали с помощью бис(триметилсилил)трифторацетамида. Разделение силилированных соединений проводили на капиллярной колонке HP-5MS5% фенилметилполисилоксан (30,0 м, 250,00 мкм, 0,25мкм) на хроматографе «Agilent 6850» с квадрупольным масс-селективным детектором Agilent 5975B VL MSD фирмы «AgilentTechnologi» (США). Условия проведения хроматографического исследования: скорость потока гелия через колонку 1,5 мл/мин. Программа нагревания колонки: от +70°C до +320°C, скорость нагревания 4°C в минуту. Температура детектора масс спектрометра – +250°C, температура инжектора – +300°C, объем пробы – 1 мкл. Внутренним стандартом служил раствор трикозана в пиридине (1 мкг/мкл). Программное обеспечение: UniChrom; AMDIS (Automated Mass Spectral Deconvolution and Identification System); «NIST/EPA/NIH08» Mass Spectral Library [21].

Статистическая обработка полученных результатов проведена с использованием программы Microsoft Excel.

Результаты и обсуждение

По сравнению с капустой белокочанной краснокочанная характеризуется более высоким содержанием питательных и биологически активных компонентов, которые определяют ее высокие диетические свойства [22].

Изучен диапазон изменчивости питательных и биологически активных соединений. Содержание сухого вещества в среднем составляло для капусты краснокочанной 9,04%, и значительно варьировало в зависимости от сорта – от 7,84 до 10,04%. Наибольшее количество сухого вещества было отмечено у сорта Mohrenkopf (вр.к.-201) – 10,04%, наименьшее у гибрида Zomiro F₁ (к-250) – 7,8%. Согласно исследованиям, содержание сухого вещества капусты может значительно изменяться в зависимости от сорта, региона и способа выращивания и послеуборочной обработки [22].

Около 80% белка из растительных источников усваивается организмом. Уровень сырого протеина в капусте краснокочанной составил в среднем 1,44% на сырое вещество и изменялся от 1,22 до 2,02%. Наименьшее количество сырого белка отмечено у гиб-

рида Zomiro F₁ (к-250) – 1,22%, больше всего белка накапливал сорт Михневская (к-175) – 2,02%.

В Северо-западном регионе России капуста краснокочанная в среднем накапливала 4,43% сахаров (3,60-5,28%), при этом благоприятные для питания моносахара составляли к сумме сахаров 84%. Всего нами было обнаружено 11 сахаров. Все исследованные образцы капусты краснокочанной содержали фруктозу. Из девяти выделенных моносахаров фруктоза являлась преобладающей и в среднем исследованные образцы накапливали 2,15% (0,71-3,86%), далее были выявлены по убывающей: глюкоза (1,45%; 0,47-2,10%), моноза (0,61%; 0,10-1,44%), галактоза (0,16%; 0,03-0,36%). В отдельных образцах было найдено незначительное количество рибозы, ксилозы, сорбозы, ликсозы и глицероальдегида: четыре образца капусты краснокочанной содержали рибозу (0,003%; 0,001-0,005%); три – содержали ксилозу (0,60%; 0,32-1,09%) и сорбозу (0,06%; 0,016-0,13%); один образец – ликсозу (0,003%) и два образца содержали глицеральдегид (0,19 мкг/100 г; 0,08-0,31 мкг/100 г).

Все образцы капусты краснокочанной содержали дисахарид сахарозы (0,69%; 0,11-1,72%), четыре

образца содержали раффинозу, причем российский гибрид Прометей F₁ (вр.к-202) в очень значительных количествах (0,27%; 0,005-1,03%).

Максимальное содержание моносахаров и соответственно суммы сахаров выявлено у гибрида капусты краснокочанной Реску F₁ (вр.к-198, Нидерланды), включая самое большое количество всех общих для капустных культур моносахаров.

Известно, что капуста краснокочанная накапливает большое количество биологически активных соединений. Содержание аскорбиновой кислоты и общей кислотности в наших исследованиях было близким у всех изученных образцов, соответственно 28,15-37,5 мг/100 г и 0,38-0,81% в пересчете на яблочную кислоту.

Большой интерес представляет пигментный комплекс капусты краснокочанной. Содержание суммы фотосинтетических пигментов хлорофиллов в кочанах значительно различалось между образцами – 0,48-50,43 мг/100 г, составляя в среднем 19,51 мг/100 г; содержание хлорофилла а составило 70%. Содержание каротиноидов также значительно варьировало: 0,95-15,58 мг/100 г, в среднем 6,88 мг/100 г. Каротиноиды включали каротины в количестве 0,2-2,59

Таблица. Компоненты антоцианового комплекса капусты краснокочанной, в % к сумме антоцианов (данные приведены на сырое вещество)
Table. Components of the anthocyanin complex of red cabbage, in% of the total anthocyanins (data are based on raw material)

Компоненты	Pretino F ₁ , вр.к-200	Ремала F ₁ , вр.к-199	Прометей F ₁ , вр.к-202	Михневская, к-175	Реску F ₁ , вр.к-198	Mohren kopf, вр.к-201	Zomiro F ₁ , к-250	Среднее ± стандарт- ное отклонение
cy-a-3-diglu-5-glu	15,96 ^c	14,65 ^c	12,67 ^b	19,44 ^d	9,00 ^a	19,54 ^d	13,52 ^b	14,96±3,76
cy-a-3-diglu	2,46 ^b	3,06 ^b	1,00 ^a	2,11 ^a	1,86 ^a	3,43 ^c	2,78 ^b	2,38±0,81
Cya-3-(glycopyranosyl-sin)-diglu-5-glu	0,17 ^b	0,14 ^b	0,05 ^a	0,21 ^c	0,20 ^c	0,19 ^c	0,20 ^c	0,16±0,05
Cya-3-(sin)-diglu-5-glu	3,91 ^a	9,24 ^c	4,97 ^a	6,23 ^b	5,50 ^b	10,68 ^c	4,07 ^a	6,37±2,61
Cya-3-(fer)(fer)-triglu-5-glu	1,15 ^a	1,07 ^a	1,52 ^a	2,81 ^a	3,27 ^c	1,95 ^a	1,05 ^a	1,83±0,89
Cya-3-(fer)-triglu-5-glu	1,79 ^b	1,91 ^b	1,26 ^b	2,14 ^c	1,58 ^b	2,71 ^c	0,79 ^a	1,74±0,61
Cyanidin-3-(sinapoyl)-triglucoside-5-glucoside	2,36 ^c	1,40 ^a	1,73 ^b	1,82 ^b	1,49 ^a	1,60 ^a	1,89 ^b	1,75±0,32
Cya-3-(caff)(p-coum)-diglu-5-glu	0,32 ^c	0,30 ^c	0,09 ^a	0,19 ^b	0,25 ^b	0,33 ^c	0,38 ^c	0,26±0,09
Cya-3-(glycopyranosyl-fer)-diglu-5-glu	0,54 ^a	0,95 ^b	2,25 ^c	1,25 ^b	3,96 ^d	2,10 ^c	0,51 ^a	1,65±1,23
cy-a-3-(p-coum)(sin)-triglu-5-glu	1,34 ^b	2,52 ^c	1,89 ^b	1,50 ^b	3,07 ^c	4,41 ^d	0,80 ^a	2,22±1,22
Cya-3-(fer)(sin)-triglu-5-glu	0,90 ^b	0,57 ^a	0,53 ^a	0,82 ^b	0,52 ^a	0,47 ^a	1,03 ^b	0,69±0,22
Cya-3-(sin)(sin)-triglu-5-glu	0,84 ^a	1,08 ^b	0,92 ^a	0,86 ^a	1,36 ^c	1,52 ^c	0,87 ^a	1,06±0,27
cy-a-3-(p-coum)-diglu-5-glu	11,69 ^b	6,75 ^a	8,12 ^a	14,94 ^c	9,71 ^b	5,12 ^a	13,60 ^c	9,99±3,61
cy-a-3-(fer)-diglu-5-glu	16,76 ^c	9,83 ^b	8,40 ^b	8,39 ^b	5,77 ^a	5,89 ^a	11,97 ^b	9,57±3,83
cy-a-3-(sin)-diglu-5-glu	21,16 ^d	10,97 ^b	15,28 ^c	10,82 ^b	9,21 ^a	5,98 ^a	15,04 ^c	12,63±4,95
Cya-3-(glycopyranosyl-fer)-diglu-5-glu	2,36 ^b	5,77 ^c	11,24 ^d	7,28 ^c	0,90 ^a	6,26 ^c	6,56 ^c	5,77±3,37
cy-a-3-(p-coum)(sin)-diglu-5-glu	2,35 ^b	2,00 ^b	1,36 ^a	0,83 ^a	14,10 ^d	1,32 ^a	2,81 ^c	3,54±1,78
cy-a-3-(fer)(sin)-diglu-5-glu	5,78 ^a	12,53 ^c	11,43 ^c	7,00 ^a	11,19 ^b	11,46 ^c	8,97 ^b	9,76±2,56
cy-a-3-(sin)(sin)-diglu-5-glu	6,95 ^a	13,99 ^c	14,26 ^c	10,46 ^b	16,20 ^d	13,95 ^c	11,59 ^b	12,48±3,08
NI	1,21 ^b	1,28 ^b	1,03 ^a	0,91 ^a	0,87 ^a	1,10 ^b	1,56 ^c	1,14±0,24
Сумма антоцианов мг/100г	92,60 ^a	150,22 ^b	158,44 ^b	205,47 ^c	308,17 ^d	259,69 ^c	130,24 ^b	186,4±75,94
Фенольные соединения (мг*экв ГК/г)	81,05 ^a	99,50 ^a	103,24 ^a	148,99 ^b	204,45 ^c	223,99 ^c	153,66 ^b	144,98±54,42
АОА, мкг*экв АК/100г	58,71 ^a	69,93 ^a	71,25 ^a	130,39 ^b	124,58 ^b	128,67 ^b	81,15 ^a	94,95±31,52
DPPH %	33,38 ^a	39,29 ^a	39,99 ^a	73,09 ^b	70,23 ^b	72,24 ^b	48,90 ^a	53,87±17,44

a-d Значения с разным надстрочным индексом в строке различались статистически значимо при $p < 0,05$ (Tukey's HSD test).

мг/100 г (представленные в основном β -каротином – 0,10-2,14 мг/100 г), лютеины (0,19-1,82 мг/100 г), виолаксантины (0,24-3,55 мг/100 г), ксантофиллы (0,18-2,06 мг/100 г).

Насыщенный красно-фиолетовый цвет капусты отражает концентрацию антоциановых полифенолов, которые способствуют тому, что красная капуста содержит значительно больше защитных фитонутриентов, чем зеленая капуста. У капусты краснокочанной выделено более 15 антоцианов и четыре полностью охарактеризованы [23]. Они основаны на цианидин-3,5-диглюкозиде и цианидин-3-диглюкозид-5-глюкозиде, ацилированном в положении 3 феруловой, п-кумаровой и синаповой кислотами.

Среднее содержание антоцианов у образцов краснокочанной капусты в нашем исследовании составляло 20,30 мг/1 г на сухое вещество (15,58-33,49 мг/1 г). Нами был изучен компонентный состав антоцианов. Основным антоцианом у образцов капусты является цианидин. Всего найдено 25 соединений, идентифицировано 19 компонентов профиля антоцианов; из них основных (в среднем 9,57-14,96%) было шесть компонентов (табл.). Основные пики составляли примерно 80% от общего количества антоцианов. Наиболее часто встречаемые гликозиды цианидина у образцов капусты краснокочанной: *суа-3-diglu-5-glu*, *суа-3-(p-coum)-diglu-5-glu*, *суа-3-(fer)-diglu-5-glu*, *суа-3-(sin)-diglu-5-glu*, *суа-3-(fer)(sin)-diglu-5-glu*, *суа-3-(sin)(sin)-diglu-5-glu*.

Высокое суммарное содержание и интересный качественный состав антоцианов выявлены у образцов капусты краснокочанной Михневская (к-175, Россия), Mohrenkopf (вр.к-201, Турция), Реску F₁ (вр.к-198, Нидерланды), Прометей F₁ (вр.к-202, Россия).

Содержание фенольных кислот в растениях зависит не только от вида и разновидности, но и от стадии зрелости, а также от условий выращивания и хранения [24]. Суммарное содержание фенольных соединений составило в изученном наборе в среднем 15,94 мг*экв ГК/1г сухого вещества (10,32-22,31 мг*экв ГК/1г сухого вещества). Идентифицировали 11 фенольных соединений различной природы, при этом хинную кислоту содержали все образцы капусты краснокочанной, что согласуется с данными других исследователей и нашими предшествующими результатами анализа капустных культур [25]: среднее содержание хинной кислоты составило 29,62 мг/100 г (14,38-83,80 мг/100 г). Количество хинной кислоты, в три раза превосходящее среднюю популяционную, выявлено у японского гибрида Pretino F₁ (вр.к-200).

Все образцы капусты краснокочанной содержали феруловую кислоту, в среднем 2,33 мг/100 г (0,02-8,78 мг/100 г), наибольшее ее количество, в три раза превосходящее среднее значение по исследуемому набору, найдено у голландского гибрида Ремала F₁ (вр.к-199), а также синаповую кислоту, в среднем 5,72 мг/100 г (1,02-10,08 мг/100 г); максимальное количество ее выявлено у голландского гибрида Реску F₁ (вр.к-198) и российского гибрида Прометей F₁ (вр.к-202). Пять образцов капусты краснокочанной содержали кемпферол, в среднем 0,69 мг/100 г (0,06-1,72 мг/100 г); четыре образца – бензойную кислоту – 1,46 мг/100 г (0,06-2,91 мг/100 г), наибольшее количество

ее установлено у гибридов капусты краснокочанной Ремала (вр.к-199, Нидерланды) и Прометей (вр.к-202, Россия). Также четыре образца краснокочанной капусты содержали метиларбутин, в среднем 0,68 мг/100 г (0,28-0,94 мг/100 г). У трех образцов обнаружили гидроксикоричную кислоту, в среднем 2,39 мг/100 г (0,82-3,72 мг/100 г). Три образца капусты краснокочанной содержали кофейную кислоту, в среднем 3,65 мг/100 г (0,88-6,40 мг/100 г), два образца – кверцетин: 2,10-6,95 мг/100 г. Турецкий сорт Mohrenkopf (вр.к-201) содержал также неохлорогеновую (2,57 мг/100 г) и криптохлорогеновую кислоты (0,96 мг/100 г).

Установлено, что российский гибрид Прометей F₁ (вр.к-202) выделялся максимальным содержанием шести фенольных соединений: синаповой, бензойной, гидроксикоричной, кофейной кислот, кемпферола, кверцетина. Гибриды Ремала F₁ (вр.к-199) и Реску F₁ (вр.к-198) могут быть источниками отдельных фенольных соединений.

Важным показателем ценности образца для питания является антиоксидантная активность. Антиоксидантную активность исследуемых сортов капусты краснокочанной оценивали методом с использованием DPPH. Уровень окисления радикала DPPH• составил в среднем для изученных образцов 94,96 мг*экв АК/100 г сырого веса (58,71-130,39 мг*экв АК/100 г). Скорость окисления радикала DPPH• в среднем была 53,87% (33,38-73,09%) и в значительной степени зависела от сорта. Гибрид Pretino F₁ продемонстрировал самую низкую антиоксидантную активность (в среднем на 33% снижается скорость окисления радикалов DPPH). В трех сортах краснокочанной капусты антиоксидантная активность наблюдалась по меньшей мере в два раза выше (более 70%): Михневская (к-175), Реску F₁ (вр.к-198), Mohrenkopf (вр.к-201).

Выводы

Найдены источники ценных биохимических признаков: высоким содержанием сухого вещества (более 10,0%) выделялся сорт капусты краснокочанной Mohrenkopf; сахаров (более 5,8%) – гибрид Zomiro F₁ (к-250); антоцианов (более 33,5 мг/г) – образец Реску F₁ (вр.к-198, компании Сингента); фенольных соединений (более 22,2 мг*экв ГК/г) – два образца Реску F₁ (вр.к-198, Сингента) и Mohrenkopf (вр.к-201, Турция); высокой антиоксидантной активностью (более 13,3 мг*экв АК/г) – образцы Михневская (к-175, Россия, МОВИР) и Реску F₁ (вр.к-198, ф. Сингента); DPPH (более 70%) – образцы Михневская (к-175, Россия, МОВИР), Реску F₁ (вр.к-198, Сингента) и Mohrenkopf (вр.к-201, Турция).

Таким образом, установлено, что российская селекция в целом находится на высоком уровне; интерес представляют также местные образцы и староместные сорта мировой селекции; источники комплекса ценных биохимических признаков для селекции на качество для здорового питания – современный российский гибрид Прометей (вр.к-202, фирмы Седек), широко распространенный российский сорт Михневская (к-175), турецкий сорт Mohrenkopf (вр.к-201), современный голландский гибрид Реску F₁ (вр.к-198, ф. Сингента).

Расширение знаний о пользе капусты краснокочанной имеет важное значение для людей, которые хотят найти доступный способ улучшить жизнь и здоровье.

• Литература

1. Асякина Л.К., Степанова А.А., Тамарина Т.В., Лосева А.И., Величкович Н.С., 2022 Социально-экономический и гуманитарный журнал. 2022;(3):29–41. DOI 10.36718/2500-1825-2022-3-29-41. EDN EMRFLB.
2. Ticha M.B., Haddar W., Meksi N., Guesmi A., Mhenni M.F. Improving dyeability of modified cotton fabrics by the natural aqueous extract from red cabbage using ultrasonic energy. *Carbohydrate polymers*. 2016;(154):287–295. DOI: 10.1016/j.carbpol.2016.06.056
3. Draghici G.A., Lupu M.A., Boroza A.-B., Nica D., Alda S., Alda L., Gogoasa I., Gergen I., Bordean D.-M. Red cabbage, millennium's functional food. *JOURNAL of Horticulture, Forestry and Biotechnology*. 2013;17(4):52–55.
4. Drozdowska M., Leszczyńska T., Koronowicz A., Piasna-Słupecka E., Domagała D., Kusznierevicz B. Young shoots of red cabbage are a better source of selected nutrients and glucosinolates in comparison to the vegetable at full maturity. *European Food Research and Technology*. 2020;246(12):2505–2515. DOI: 10.1007/s00217-020-03593-x
5. Sankhari J.M., Thounaojam M.C., Jadeja R.N., Devkar R.V., Ramachandran A.V. Anthocyanin-rich red cabbage (*Brassica oleracea* L.) extract attenuates cardiac and hepatic oxidative stress in rats fed an atherogenic diet. *J. Sci. Food Agric.* 2012;92(8):1688–1693. DOI: 10.1002/jsfa.5532
6. Khurana S., Venkataraman K., Hollingsworth A., Piche M., Tai T.C. Polyphenols: Benefits to the Cardiovascular System in Health and in Aging. *Nutrients*. 2013;5(10):3779–3827. <http://www.mdpi.com/2072-6643/5/10/3779>
7. Ghareaghajlou N., Hallaj-Nezhadi S., Ghasempour Z. Red cabbage anthocyanins: Stability, extraction, biological activities and applications in food systems. *Food Chemistry*. 2021;(365):130482. DOI: 10.1016/j.foodchem.2021.130482
8. Bridle P., C.F. Timberlake. Anthocyanins as natural food colours – selected aspects. *Food Chemistry*. 1997;58(1–2):103–109.
9. Rossetto M., Vanzani P., Mattivi F., Lunelli M., Scarpa M., Rigo A. Synergistic antioxidant effect of catechin and malvidin 3-glucoside on free radical-initiated peroxidation of linoleic acid in micelles. *Archives of Biochemistry and Biophysics*. 2002;408(2):239–245. DOI: 10.1016/S0003-9861(02)00561-1
10. Saint-Cricq de Gaulejac N., Glories Y., Vivas N. Free radical scavenging effect of anthocyanins in red wines. *Food Research International*. 1999;(32):327–333.
11. Буко В.У., Мороз В.Л., Шляхтун А.Г., Самойлик А.А., Луковская О.Я., Нарута Е.Е., Белановская Е.Б., Сидорович Е.А., Кузьмицкая И.А., Жук О.Н. Иммуномодулирующие эффекты антоцианидинов из краснокочанной капусты при экспериментальном сахарном диабете – Лекарственные растения: биоразнообразие, технологии, применение: сборник научных статей по материалам I Международной научно-практической конференции. Гродно: ГГАУ, 2014. С. 96–99.
12. Нарута Е.Е., Белоновская Е.Б., Кирко С.Н., Луковская О.Я., Кузьмицкая И.А., Жук О.Н., Буко В.У. Изучение антидиабетических свойств флавоноидов из капусты краснокочанной – Лекарственные растения: биоразнообразие, технологии, применение: сборник научных статей по материалам I Международной научно-практической конференции. Гродно: ГГАУ, 2014. С. 167–170.
13. Hosseini S., Gharachorloo M., Ghiassi-Tarzi B., Ghavami M. Evaluation of the organic acids ability for extraction of anthocyanins and phenolic compounds from different sources and their degradation kinetics during cold storage. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*. 2016;66(4):261–270. DOI:10.1515/pjns-2015-0057
14. Podsekdek A., Majewska I., Kucharska A.Z. Inhibitory potential of red cabbage against digestive enzymes linked to obesity and type 2 diabetes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2017;65(33):7192–7199. DOI:10.1021/acs.jafc.7b02499
15. Farooq S., Shah M.A., Siddiqui M.W., Dar B.N., Mir S.A., Ali A. Recent trends in extraction techniques of anthocyanins from plant materials. *Journal of Food Measurement and Characterization*. 2020;14(6):3508–3519. DOI:10.1007/s11694-020-00598-8
16. Freitas P.A.V., Silva R.R.A., de Oliveira T.V., Soares R.R.A., Junior N.S., Moraes A.R.F., Pires A.C.d.S., Soares N.F.F. Development and characterization of intelligent cellulose acetate-based films using red cabbage extract for visual detection of volatile bases. *LWT*. 2020;132(1):109780. DOI:10.1016/j.lwt.2020.109780
17. Ермаков А.И. Методы биохимического исследования растений. Л., 1987.
18. Wu X., Beecher G.r., Holden J.M., Haytowitz D.B., Gebhardt S.E., Prior R.L. Concentration of anthocyanins in common foods in the United States and estimation of normal consumption. *J. Agric. Chem.* 2006;54(11):4069–4075. DOI: 10.1021/jf060300I
19. Singleton V.L., Rossi J.A. Сумма фенольных соединений по методу Фолина и Чокальтеу в модификации Синглтона и Росси. *Am.J. Enol. Vitic.* 1965;(16):144–158.
20. Карбовская Р.В., Борис И.И. Идентификация антоцианов при помощи ВЭЖХ, как метод подтверждения аутентичности фруктово-ягодного сырья и готовой продукции. Журнал Хроматографического товарищества. 2008;VIII(3-4):13–33.
21. Смоликова Г.Н., Шаварда А.Л., Алексейчук И.В., Чанцева В.В., Медведев С.С. Метаболический подход к оценке сортовой специфичности семян *Brassica napus* L. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2015;19(1):121–127. EDN TWQXUJ.
22. Tendaj M.K., Sawicki B., Mysiak. The content of some chemical compounds in red cabbage (*Brassica oleracea* L.var. *capitata f. rubra*) after harvest and long-term storage. *Electronic journal of polish agricultural universities*. 2013;16(2).
23. Idaka E., Yamakita H., Ogawa T., Kondo T., Yamamoto M., Goto T. Structure of Three Diacylated Anthocyanins Isolated from Red Cabbage, *Brassica oleracea*. *Chemistry Letters*. 1987;16(6):1213–1216. <https://doi.org/10.1246/cl.1987.1213>
24. Mattila P., Hellström J. Phenolic acids in potatoes, vegetables, and some of their products. *J. Food Compos. Anal.* 2007;(20):152–160.
25. Solovyeva A.E., Shelenga T.V., Konarev A.K., Kurina A.B., Fateev D.A., Kornukhin D.L., Artemyeva A.M. Nutrient and bioactive substances in VIR Russian brassicas collections. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 2021;45(5):541–556.

• References (in Russ)

1. Asyakina L.K., Stepanova A.A., Tamarina T.V., Loseva A.I., Velichkovich N.S. Functional food russian market for a healthy lifestyle. *Socio-economic and Humanitarian Journal*. 2022;(3):29–41. 2022;(3):29–41. DOI 10.36718/2500-1825-2022-3-29-41. EDN EMRFLB. (in Russ.)
11. Buko V.U., Moroz V.L., Shlyakhtun A.G., Samoylik A.A., Lukivskaya O.Ya., Naruta E.E., Belanovskaya E.B., Sidorovich E.A., Kuzmitskaya I.A., Zhuk O.N. Immunomodulatory effects of anthocyanidins from red cabbage in experimental diabetes mellitus – Medicinal plants: biodiversity, technologies, application: collection of scientific articles based on the materials of the I International Scientific and Practical Conference. Grodno: GGAU, 2014. P. 96–99. (in Russ.)
12. Naruta E.E., Belanovskaya E.B., Kirko S.N., Lukivskaya O.Ya., Kuzmitskaya I.A., Zhuk O.N., Buko V.U. Study of antidiabetic properties of flavonoids from red cabbage – Medicinal plants: biodiversity, technologies, application: collection of scientific articles based on the materials of the I International Scientific and Practical Conference. Grodno: GGAU, 2014. P. 167–170. (in Russ)
17. Ermakov A.I. Methods of biochemical research of plants. L., 1987. Ermakov A.I. Biochemical research methods of plants. Leningrad, 1987. (in Russ)
20. Karbovskaya R. V., Boris I. I. Identification of anthocyanins using HPLC as a method of confirming the authenticity of fruit and berry raw materials and finished products // Journal of Chromatographic Companionship. 2008;VIII(3-4):13–33. (in Russ)
21. Smolikova G.N., Shavarda A.L., Alekseychuk I.V., Chantseva V.V., Medvedev S.S. The metabolomic approach to the assessment of cultivar specificity of *Brassica napus* L. seeds. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Selektii– Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2015;19(1):121–127. EDN TWQXUJ. (in Russ)

Об авторах:

Анна Майевна Артемьева – кандидат с.-х. наук, и. о. заведующего отделом генетических ресурсов овощных и бахчевых культур, ведущий научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0002-6551-5203>, ResearcherID: I-5319-2018; ScopusAuthorID: 14014607500, автор для переписки, akme11@yandex.ru

Алла Евгеньевна Соловьева – кандидат биол. наук, старший научный сотрудник отдела биохимии и молекулярной биологии, <https://orcid.org/0000-0002-6201-4294>, ResearcherID is: B-8742-2017, SPIN-код: 1754-4144, alsol64@yandex.ru

About the Authors:

Anna M. Artemyeva – Cand. Sci. (Agriculture), Acting Head of the Department of Genetic Resources of Vegetable and Melon Crops, Leading Researcher, <https://orcid.org/0000-0002-6551-5203>, ResearcherID: I-5319-2018; ScopusAuthorID: 14014607500, Corresponding Author, akme11@yandex.ru

Alla E. Solovyeva – Cand. Sci. (Biology), Senior Researcher at the Department of Biochemistry and Molecular Biology, <https://orcid.org/0000-0002-6201-4294>, ResearcherID is: B-8742-2017, SPIN code: 1754-4144, alsol64@yandex.ru