

<http://doi.org/10.18619/2072-9146-2019-4-72-79>
УДК 635.342:581.19

Соловьева А.Е.,
Шеленга Т.В.,
Артемьева А.М.

Федеральный исследовательский центр
Всероссийский институт генетических ресурсов
растений имени Н.И. Вавилова (ВИР),
Санкт-Петербург, Россия,
E-mail: alsol64@yandex.ru,
tatianashelenga@yandex.ru, akme11@yandex.ru

Ключевые слова: *Brassica oleracea* L.,
сортоотипы, неспецифический метаболомный
подход, генетические ресурсы, биохимический
состав, полиморфизм признаков

Конфликт интересов: Авторы заявляют об
отсутствии конфликта интересов.

Благодарности: Работа выполнена в рамках
государственного задания «Генетические ресур-
сы овощных и бахчевых культур мировой коллек-
ции ВИР: эффективные пути расширения био-
разнообразия, раскрытия закономерностей
наследственной изменчивости, использования
адаптивного потенциала» (№ 0662-2019-0003),
номер государственной регистрации НИОКТР
(РК) по плану научно-исследовательской работы
ВИР АААА-А19-119013090157-1.

Для цитирования: Соловьева А.Е.,
Шеленга Т.В., Артемьева А.М. Метаболомный
подход к комплексной биохимической
характеристике вида капуста огородная *Brassica
oleracea* L. Овощи России. 2019;(4):72-79.
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2019-4-72-79>

Поступила в редакцию: 11.04.2019
Опубликована: 25.08.2019

Alla E. Solovyeva,
Tatiana V. Shelenga,
Anna M. Artemyeva

Federal Research Center the N.I. Vavilov All-
Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR)
St. Petersburg, Russia
E-mail: alsol64@yandex.ru, tatianashelenga@yan-
dex.ru, akme11@yandex.ru

Keywords: *Brassica oleracea* L., variety types,
nonspecific metabolic approach,
genetic resources, biochemical composition,
polymorphism of traits

Conflict of interest: The authors declare
no conflict of interest.

Acknowledgment: This work was carried out as
part of the state assignment "Genetic resources of
vegetables and melons from the VIR world collec-
tion: effective ways to expand biodiversity, uncover
patterns of hereditary variation, use adaptive poten-
tial" (No. 0662-2019-0003), state registration num-
ber of R&D (RK) according to the plan of scientific
research work VIR АААА-А19-119013090157-1.

For citation: Solovyeva A. E., Shelenga T.V.,
Artemyeva A.M. The metabolomic approach to
the complex biochemical characteristics
of cole *Brassica oleracea* L.
Vegetable crops of Russia. 2019;(4):72-79 (In Russ.)
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2019-4-72-79>

Received: 11.04.2019
Accepted: 25.08.2019

Метаболомный подход к комплексной биохимической характеристике вида капуста огородная *Brassica oleracea* L.



АННОТАЦИЯ Актуальность

Повсеместно культивируемый и востребованный вид овощных культур – капуста огородная *Brassica oleracea* L. – в процессе эволюции и доместикизации разделился на три кластера: капуста листовая, кочанная и брокколи (цветная). Португальская капуста трончуда эволюционно связана с португальской листовой капустой. Она является переходной формой к типично кочанной капусте и представлена листовыми и полукочанными формами. Капуста огородная отличается ценным биохимическим составом, оптимальным соотношением белков, углеводов и витаминов.

Методика

Материал исследований включал 48 образцов капусты белокочанной, в том числе 27 образцов 13 европейских сортоотипов, включая голландские, центрально-европейские и южно-европейские сортоотипы, 8 образцов – двух русских северо-западных и центрально-русских сортоотипов и 13 образцов – пяти восточных сортоотипов кавказского и турецко-балканского происхождения, 9 образцов Португальской капусты трончуда из коллекции ВИР, отражающих эколого-географическое и генетическое разнообразие капусты. Образцы капусты выращивали на научно-производственной базе «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР» (Санкт-Петербург), биохимический анализ проводили в лаборатории биохимии и молекулярной биологии ВИР.

Результаты

Дана характеристика капустных культур вида капуста огородная *Brassica oleracea* L. (разновидности белокочанная и трончуда) по основным наиболее важным биохимическим признакам качества. В результате применения современного неспецифического метаболомного подхода к изучению биохимического состава в образцах капусты белокочанной идентифицировано около 100 компонентов из групп органических кислот, свободных аминокислот, в том числе незаменимых, жирных кислот, в том числе незаменимых, многоатомных спиртов, сахаров, а также фенольных соединений, восков, нуклеозидов и др. Выявлены закономерности в накоплении питательных и биологически активных веществ культурами вида, сортоотипами и отдельными образцами. Капуста огородная в пределах изученных ботанических разновидностей и групп сортоотипов имеет сложный биохимический состав, характеризующий данные образцы как потенциально высокоценные (при этом роль и значение далеко не всех соединений в организации здорового питания человека известна), что подтверждает необходимость углубленного контроля биохимического состава растений при выведении новых сортов. Найдены сортообразцы с оптимальным компонентным составом для сбалансированного питания человека, которые предлагается использовать в селекции на качество, в том числе получения сортов для здорового (функционального) и лечебно-профилактического питания населения РФ.

The metabolomic approach to the complex biochemical characteristics of cole *Brassica oleracea* L.

ANNOTATION Relevance

A commonly cultivated and demanded type of vegetable crops – cabbage *Brassica oleracea* L. – in the process of evolution and domestication was divided into three clusters: leafy cabbage, headed cabbage and broccoli (cauliflower). According to modern data, cabbage originated in culture from the large-leaved forms of leafy cabbage. Portuguese tronchuda is a transitional form to a typical headed cabbage. It is represented by leafy and semi-capped forms and evolutionarily related to Portuguese halega (Galician) leafy cabbage. White cabbage (*Brassica oleracea* L. convar. *capitata* (DC.) Alef. var. *capitata* L. f. *alba* DC.) is the most significant in the world and Russian economy. The characteristic of cultures of *Brassica oleracea* L. (varieties of white cabbage and tronchuda) is given according to the most important biochemical quality characteristics.

Methods

The research material included 48 samples of cabbage, including 27 samples of 13 European cultivar types, including Dutch, Central European and South European cultivar types, 8 samples – two Russian northwestern and central Russian cultivar types and 13 samples – five oriental cultivar types of Caucasian and Turkish-Balkan origin, 9 samples – Portuguese cabbage tronchuda from the VIR collection, reflecting the ecological, geographic and genetic diversity of cabbage. Samples of cabbage were grown at the research and production base "Pushkin and Pavlovsk laboratories VIR" (St. Petersburg), biochemical analysis was carried out in the laboratory of biochemistry and molecular biology of VIR.

Results

As a result of using of the modern non-specific metabolic approach to the study of the biochemical composition in samples of white cabbage, about 100 components have been identified from the groups of organic acids, free amino acids, including essential, fatty acids, including essential, polyhydric alcohols, sugars, and also phenolic compounds, wax, nucleosides, and others. Regularity in the accumulation of nutrient and biologically active substances by cultures of *Brassica oleracea* L., by cultivar types and individual samples were revealed. As a result of our research using modern techniques, including the nonspecific metabolic approach, new data on the biochemical composition of white and semi-capped forms were obtained. The cabbage within the studied botanical varieties and groups of cultivar types has a complex biochemical composition that characterizes cabbage samples as samples with potentially high value (the role and importance of far from all compounds in the organization of healthy human nutrition is known), which confirms the need for in-depth control of the biochemical composition of plants when breeding new varieties. Samples with the optimal component composition for balanced human nutrition, which are proposed to be used in breeding for quality, including obtaining varieties for healthy (functional) and therapeutic and prophylactic nutrition of the population of the Russian Federation were found.

Введение

Кочанная капуста возникла в культуре от крупнолистных форм листовой капусты. Португальская капуста трончуда, представленная листовыми и полукочанными формами, является переходной формой к типично кочанной капусте, эволюционно связана с португальской листовой капустой галега (галисийская) (Лизгунова, 1984; Артемьева, 2012).

Капустные культуры отличаются разнообразием продуктивных органов (листья, кочан – сильно развитая верхушечная почка, кочанчики – развитые боковые почки, головка – сжатое соцветие, стеблеплод – утолщенный стебель), высокой урожайностью; периодами вегетации. Отдельные сортоотипы капустных культур пригодны для длительного хранения, что позволяет обеспечить потребление капусты в течение всего года. Высокая питательная ценность и экономическая (социальная) значимость капустных культур в первую очередь определяются богатым составом биологически активных веществ (БАВ). Селекцию на содержание и состав БАВ мировое научное сообщество объявило приоритетной в 21 веке (XXVI Int. Horticultural Congress. Toronto. Canada. 2002).

Наиболее значима в мировой и российской экономике капуста белокочанная (*Brassica oleracea* L. convar. *capitata* (DC.) Alef. var. *capitata* L. f. *alba* DC.). Практически неизвестная в России Португальская капуста трончуда по классификации Т.В. Лизгуновой (1965, 1984) относится к средиземноморскому подвиду кочанной капусты. Современные ботаники выделяют ее в отдельную от кочанной капусты разновидность ребристая var. *costata* DC. (Gomez-Campo, 1999). Для португальской капусты характерна крупная розетка листьев, полукочан или рыхлый кочан с открытой вершиной, белые цветки. Сорты капусты трончуда распространены в Португалии, Испании, Италии, встречаются на юге Великобритании, в странах восточного Средиземноморья, где широко используются местным населением для приготовления супов-пюре и вторых блюд, особенно в осенне-зимний период.

Капуста огородная отличается ценным биохимическим составом. Кочаны капусты белокочанной содержат 7-8% сухого вещества, 4-6% сахаров, 1-2% белка, в среднем 30 мг/100 г аскорбиновой кислоты, витамины В1, В2, В3, РР; соли калия, натрия, кальция, магния, железа, фосфора, серы. Капуста обладает оптимальным соотношением белков, углеводов и витаминов (Ксенз и др., 2008). Необходимость использования капустных культур в качестве ежедневной пищи описана во многих работах (Jahangir et al., 2009; Tribulato et al., 2013; Novio et al., 2016).

Мировая коллекция вида *B. oleracea* ВИР включает 2421 образец (обр.) из 95 стран, в том числе 1032 образца капусты белокочанной, 15 образцов капусты трончуда, 125 образцов капусты краснокочанной, 118 образцов – савойской, 141 образец кольраби, 148 образцов листовой капусты, 50 образцов брюссельской, 670 образцов цвет-

Таблица 1. Сортоотипы и сортообразцы капусты белокочанной
Table 1. Cultivar types and varieties of white cabbage

Сортоотип	№ каталога	Название	Происхождение
Амагер	1128	Amack short stem	Нидерланды
	1331	Westfalia dauer	Австрия
	1822	Amager on tall stem	Германия
	1984	Marble head round headed medium late	Нидерланды
	2787	Белоснежка экстра	Украина
Белорусская	1918	Белорусская 85	Белоруссия
	1919	Юбилейная 29	Белоруссия
	2004	Зимняя грибовская	Россия
	2026	Плотнокочанная	Россия
Бычье сердце	1957	Erstling	Германия
	2353	McDonalds selected Jersey	Канада
Вальватьевская	1449	Вальватьевская	Россия
Виннигштадтская	474	Fieldkraut	Германия
	2135	Winnigstadt	Дания
Голландская плоская	856	All-head Early	США
	2624	Местный 2	Китай
Голландская ранняя	1983	Early round headed	Нидерланды
Грузинская	2027	Грузинская	Грузия
	2037	Треалецкая поздняя	Грузия
Завадовская	2071	Молоканка	Россия
	2342	Молоканка	Украина
	2528	Progress	Болгария
Капорка	2167	Varazdinsko zelje	Сербия
	2295	Baby head	Сербия
Ладожская	1662	Ладожская	Россия
	1904	Истобенка	Россия
	2052	Местная	Россия
	2118	Местная	Россия
Лангендейкская зимняя	1978	Jong's Original "Succes"	Нидерланды
	1981	Langedijker Late Storable	Нидерланды
	2133	Langedijker Dauer	Нидерланды
	2141	Orig. L'dijk Winter	Нидерланды
Лангендейкская осенняя	2063	Orig. Langedijker Autumn	Нидерланды
	2578	Langedijker Fruher Herbst	Нидерланды
Ликуришка	1004	Ликуришка сиво	Болгария
	1988	Domahu	Сербия
	2637	Славянка	Россия
Ликуришка сизая	1397	Шовгеновская местная	Россия
Марнополка	1944	Судья	Узбекистан
	1975	Судья	Туркменистан
	1987	Ljubljanski	Словения
	2215	Узбекистанская 133	Узбекистан
Московская поздняя	1826	Клыковка	Россия
Несравненная	1059	Early Rainham	Великобритания
	2354	Christmas Drumhead	Великобритания
Слава	26	Gloire de Flandres	Франция
Швейнфуртская	1363	Schweinfurter	Германия
Эльзасская	32	Quintald'Auvergne	Франция

ной капусты, 110 образцов брокколи и 12 образцов белоцветковой капусты.

В ходе многолетних исследований коллекции капусты ВИР изучено более 80% образцов коллекции, определены особенности накопления основных элементов биохимического состава в зависимости от ботанической принадлежности, географического происхождения и распространения каждой культуры и сортотипа.

Исследование химических элементов в растительном сырье актуально как с теоретической, так и с практической точки зрения. Химические составляющие нативных комплексов растений могут быть использованы в качестве лекарственных и профилактических средств в терапии различных заболеваний, а также как маркеры и индикаторы при проведении биогеохимических, экологических и фитохимических исследований. Накопление отдельных элементов могут рассматриваться как проявление видоспецифичности растений. Кроме того, существуют корреляции между концентрациями определенных элементов в растительных организмах и накоплением биологически активных веществ различного физиологического действия (Ловкова и др., 1990).

В последние годы новый методический подход, основанный на самом полном описании метаболитного профиля, т.е. его качественной и количественной характеристики, приобрел особую важность в физиологических исследованиях живых объектов. Согласно современным представлениям, метаболитный профиль есть суммарный результат деятельности клетки на молекулярно-генетическом и биохимическом уровнях. Анализ метаболитных профилей позволяет идентифицировать определенное число биохимических маркеров, отражающих активность биологических процессов, в том числе окультуривания и стрессовых факторов окружающей среды. Анализируя полученные метаболитические профили можно получить своеобразный «отпечаток» (fingerprint), отражающий физиологическое (метаболическое) состояние организма. Современные методы исследования биохимических соединений (хроматография с масс-спектрометрией и др.) позволяют изучить метаболиты, в том числе вещества, имеющие питательное и кормовое значение и др., в динамике, а также в различных условиях произрастания (Лоскутов и др., 2016; Конарев и др., 2015; Puzanskiy et al., 2015).

Таким образом, метаболомный подход к исследованию биохимического состава пищевых, кормовых и других культур с использованием ГХ с МС дает уникальную возможность определения количественного и качественного состава метаболитов. Благодаря такому подходу мы можем получить новые данные о биохимическом составе интересующих нас культур, сравнить хозяйственно-ценные признаки разных образцов. Исследования, посвященные изучению профилей химических соединений, связанных с пищевыми и диетическими показателями качества, с

использованием репрезентативной выборки образцов мировой коллекции капусты ВИР, отражающей разнообразие культуры, ранее не проводились.

Материал, место, методика исследований

Материал исследований включал 48 образцов капусты белокачанной (табл. 1), в том числе 27 образцов 13 европейских сортотипов, включая голландские, центрально-европейские и южно-европейские сортотипы, 8 образцов – двух русских северо-западных и центрально-русских сортотипов и 13 образцов – пяти восточных сортотипов кавказского и турецко-балканского происхождения, 9 образцов Португальской капусты трончуда из коллекции ВИР. Таким образом, для метаболомного анализа выделены формы, отражающие значительное эколого-географическое и генетическое разнообразие капусты.

Образцы капусты выращивали на научно-производственной базе «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР» (Санкт-Петербург), биохимический анализ проводили в лаборатории биохимии и молекулярной биологии ВИР. Подготовку проб осуществляли следующим образом: анализировали свежий материал, 5

растений каждого образца. Аскорбиновую кислоту определяли титрованием краской Тильманса (Ермаков и др., 1987).

Для метаболомного анализа брали 10 г образца, взвешивали, гомогенизировали с адекватным количеством этанола, пробу настаивали в течение 30 дней при 5...6°C. Экстракт (200 мкл) выпаривали досуха на установке CentriVapConcentrator фирмы «Labconco» (США). Сухой остаток силилировали с помощью бис(триметилсилил)трифторацетамидом. Разделение силилированных соединений проводили на капиллярной колонке HP-5MS 5% фенилметилполисилоксан (30,0 м, 250,00 мкм, 0,25 мкм) 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).

Полученные результаты обрабатывались с помощью программы

Таблица 2. Состав и содержание сахаров в белокачанной и полукочанной капусте, в %
Table 2. Composition and sugar content in white and semi-capped forms of cabbage, in %

Сахара	Белокачанная	Полукочанная
Глицероальдегид	0,831±0,582*	0,37±0,23
Арабиноза	0,04±0,03*	0,29±0,14
Рибоза	0,07±0,05	0,02±0,01
Ксилоза	0,03±0,02	0,03±0,02
Альтроза	0,01±0,01*	–
Фруктоза	0,72±0,30	0,85±0,32
Сорбоза	0,16±0,14	0,29±0,14
Галактоза	0,44±0,36	0,35±0,26
Манноза	0,50±0,47	0,36±0,24
Глюкозамин	0,46±0,20	0,65±0,36
Глюкоза	1,11±0,36	1,20±0,39
Сахароза	0,33±0,20	0,46±0,32
Мальтоза	0,01±0,01	0,01±0,01
Раффиноза	0,01±0,01*	0,008±0,001
Сумма	3,56±0,92	4,25±0,66

1 – среднее значение

2 – стандартное отклонение

* – показатели, по которым найдены достоверные различия между изучаемыми группами образцов при 5% уровне значимости.

“UniChrom”, “AMDIS” и библиотек масс спектров NIST 2010, научного парка Санкт-Петербургского университета и ботанического института Российской академии наук (Смоликова и др., 2015).

Все данные представлены на сырое вещество.

Результаты

Применяя неспецифический метаболомный подход установлено около 200 компонентов биохимического состава образцов белокочанной капусты, взятых в изучение.

Идентифицировано 98 компонентов из групп органических кислот, свободных аминокислот, в том числе незаменимых, жирных кислот, в том числе незаменимых, многоатомных спиртов, сахаров, а также фенолсодержащих соединений, восков, нуклеозидов и др.

Углеводный состав

80% сухого вещества капусты представлено углеводным комплексом, состоящим из сахара, крахмала, клетчатки, гемицеллюлозы и пектиновых веществ. Содержание сахаров в капусте белокочанной (табл. 2) в среднем составило 3,56% (от 1,28 до 5,97%). Основная часть сахаров – это моносахара: 3,23% (от 1,28 до 5,69%), которые представлены большей частью гексозами 3,41% (от 1,81 до 5,69%), пентозы составили 0,04% (от 0,00 до 0,52%). Олигосахара представлены дисахарами – сахарозой, мальтозой и рутинозой, трисахарами – раффинозой. Сумма олигосахаров – 0,33% (от 0,12 до 0,94 %). В полукочанной капусте общее содержание сахаров – 4,25% (от 3,40 до 5,08%), где моносахара (гексозы) также составляют большую часть – 3,79% (от 3,14 до 4,55%). Сумма олигосахаров, главным образом дисахаров, была чуть выше по сравнению с белокочанной капустой – 0,46% (от 0,26 до 0,68%). Полученные нами данные согласуются с результатами работ, проведенных в США (Thavarajah et al., 2016).

В целом, у изученных представителей вида капуста огородная идентифицировано 14 моно- и олигосахаров (табл. 2). Общими для капусты белокочанной и полукочанной оказались фруктоза, глюкоза, галактоза, сорбоза и сахароза. 85% образцов содержали маннозу и 41% – рибозу, 41% – мальтозу, 35% – раффинозу. Отдельные образцы капусты белокочанной содержали альтрозу и ксилосу, 9 образцов – арабинозу.

Определены метаболически активные производные сахаров – лактонные (глюкоза-1,4 лактон), фосфатные (глицерол-3-фосфат, фруктоза-6-фосфат, глюкоза-1-фосфат, рибоза-5-фосфат) и метильные формы (метилманнозид, метилпентафуранозид, метилглюкофуранозид, метилглюкозид). Суммарное содержание производных сахаров в капусте белокочанной составило 25,25 мг/100 г (от 0 до 232 мг/100 г), а в полукочанной – 30,16 мг/100 г (от 0 до 102 мг/100 г)

Высокое суммарное содержание сахаров (более 4,2%) установлено для трех сортов капусты белокочанной, принадлежащих к трем разным эколого-географическим группам: Марнополка (восточная),

Таблица 3. Состав и содержание органических кислот в белокочанной и полукочанной капусте, в мг/100 г
Table 3. Composition and content of organic acids in white and semi-capped forms of cabbage, in mg/100 g

Органические кислоты	Белокочанная	Полукочанная
Молочная	2,491±1,582	1,28±0,58
Щавелевая	0,66±0,25*	0,26±0,08
Пировиноградная	0,20±0,20	0,12±0,04
Метилмалоновая	0,22±0,04	0,20±0,08
Фосфорная	18,13±9,85	20,28±11,19
Малеиновая	0,29±0,10*	0,13±0,09
Янтарная	4,92±3,79	2,02±0,71
Глицериновая	2,13±1,47	1,53±0,99
Фумаровая	1,24±0,48	2,06±1,57
Малоновая	0,17±0,11*	-
Яблочная	73,88±30,72	65,39±28,56
Эритроновая	1,93±1,01	2,72±1,90
Треоновая	6,73±2,49	6,75±1,80
Кетоглюконовая	1,08±0,42*	-
Винная	0,67±0,39*	-
Аконитовая	0,30±0,15*	-
Рибоновая	0,84±0,35	0,53±0,28
Лимонная	52,73±29,56	24,84±15,90
Аскорбиновая	26,10±4,19*	46,78±10,05
Глюконовая	1,37±0,81	0,96±0,36
Дегидроабиебионовая	0,15±0,05*	-
Олеоноловая	0,53±0,28	1,11±0,34
Урсоловая	1,83±1,49	3,98±1,76
Сумма	188,83±105,14	176,90±69,45

1 – среднее значение

2 – стандартное отклонение

* – показатели, по которым найдены достоверные различия между изучаемыми группами образцов при 5% уровне значимости.

Вальватъевская (русская) и Капорка (европейская).

Органические кислоты

Капустные культуры обладают повышенным содержанием органических кислот в форме солей и свободном виде. Органические кислоты являются активными метаболитами углеводного обмена, обладают дезинфицирующей функцией, участвуют в процессах пищеварения, придают продуктам более яркий вкус. Они являются основными и промежуточными продуктами основных путей обмена веществ, играют защитную роль от биотических и абиотических факторов внешней среды (Yao et al, 1998).

Установлены общие для всех образцов 23 органические кислоты, при этом 13 часто встречающиеся (табл. 3). Отмечено наибольшее количество яблочной кислоты (73,88 мг/100 г), далее по убывающей – лимонной (52,73 мг/100 г), аскорбиновой (26,10 мг/100 г) и фосфорной

(18,13 мг/100 г). Остальные органические кислоты присутствовали в количестве менее 10 мг/100г. В целом, соотношение кислот в белокочанной и полукочанной капусте было близким, исключение относилось к лимонной и аскорбиновой кислотам. Количество лимонной кислоты наблюдалось в 2 раза выше в белокочанной (52,73 и 24,84 мг/100 г), а аскорбиновой кислоты было выше в полукочанной (26,1 и 46,78 мг/100 г), однако достоверными оказались только различия по показателю – аскорбиновая кислота.

Рибоновая, глюконовая и эритроновая кислоты отражают процессы окисления соответствующих сахаров. Глицериновая кислота опосредовано характеризует процессы окисления триглицеридов жирных кислот. Остальные органические кислоты встречались в незначительном количестве. Молочная и винная кислоты – продукты гликолиза. Пировиноградная кислота участвует в обмене аминокислот. Щавелевая кислота – один из самых распространенных продуктов

обмена веществ, в капусте белокочанной ее содержалось в среднем 0,66 мг/100 г (диапазон изменчивости от 0,1 до 1,69 мг/100 г). В капусте огородной в подавляющем количестве определялись кислоты, составляющие процессы клеточного дыхания, в том числе цикла Кребса (яблочная, лимонная метилмалоновая, янтарная, фумаровая, малеиновая, аконитовая). Малоновая кислота в виде малонилкофермента является важнейшим промежуточным продуктом при синтезе насыщенных жирных кислот.

Кроме того, идентифицированы лактонные и фосфатные формы кислот. Лактонные (треоно-1,4-лактон, глюконовая кислота-1,4-лактон) – биологически активные формы органических кислот, способные к связыванию тяжелых металлов, защищающие клетку от повреждения внешними факторами. Наличие фосфатных форм (глюконовая кислота-6-фосфат) отражает активность процессов обмена в растении (Ailia et al., 2015; Casete-Rodriguez et al., 2015). Следует отметить, что вышеперечисленные лактонные и фосфатные формы органических кислот составляли в сумме менее 4 мг/100 г в капусте белокочанной и 14 мг/100 г – в капусте полукочанной.

Содержание органических кислот в образцах капусты белокочанной в среднем составило 0,14% или 138,97 мг/100 г, при диапазоне колебаний от 0,07 до 0,254% (72,80 и 253,86 мг/100 г, соответственно), в капусте полукочанной суммарные показатели кислот были чуть выше – 0,17 или 170,58 мг/100 г, а диапазон – от 0,10 до 0,280% (102,62 и 281,49 мг/100 г, соответственно).

Наибольшее количество органических кислот отмечено у представителей трех европейских сортов капусты белокочанной: Голландская ранняя (0,22%), Лангендейкская осенняя (0,22%) и Слава (0,25%).

Таблица 4. Состав и содержание фенольных соединений в белокочанной и полукочанной капусте, в мг/100г
Table 4. Composition and content of phenolic compounds in white and semi-capped forms of cabbage, in mg/100g

Фенольные соединения	Белокочанная	Полукочанная
Никотиновая кислота	-	0,04±0,01*
Бензойная кислота	0,031±0,012*	-
Пирогаллол	0,11±0,06*	-
Хинная кислота	18,37±9,50	14,54±4,08
(Е)-Феруловая кислота	-	0,40±0,18*
Кофейная кислота	-	0,17±0,10*
(Е)-Синаповая	0,51±0,22*	1,59±0,62
а-Токоферол	-	0,10±0,03*
Хлорогеновая кислота	0,28±0,17*	1,24±0,47
Сумма	17,71±9,92	14,90±6,85

1 – среднее значение

2 – стандартное отклонение

* – показатели, по которым найдены достоверные различия между изучаемыми группами образцов при 5% уровне значимости.

Таблица 5. Состав и содержание свободных аминокислот в белокочанной и полукочанной капусте, в мг/100 г
Table 5. Composition and content of free amino acids in white and semi-capped forms of cabbage, in mg/100 g

Аминокислоты	Белокочанная	Полукочанная
Валин	1,721±1,622	0,42±0,36
а-Аланин	4,17±3,90	0,50±0,31
Серин	4,60±4,41	0,70±0,52
Лейцин	1,25±0,63	0,32±0,19
Глицин	0,79±0,62	0,10±0,08
Пролин	4,13±3,62*	-
Н-ацетилглутаминовая	2,08±1,08*	0,66±0,30
Пипеколиновая	0,92±0,13	0,07±0,02
ГАМК	2,92±1,64*	0,68±0,39
Треонин	1,84±1,41	0,53±0,42
Метионин	0,82±0,28*	-
Н-ацетилсерин	0,65±0,45*	-
Оксипролин	10,37±6,94	4,14±2,11
Аспарагиновая	7,42±6,29	1,14±1,24
Орнитин	4,31±3,07	0,51±0,70
Глутаминовая	6,35±3,99	1,91±1,18
Фенилаланин	0,48±0,48	0,24±0,20
Аспарагин	2,89±2,88	1,01±0,16
Глутамин	20,46±17,09*	2,02±1,45
Лизин	4,29±4,00*	-
Гистидин	1,50±0,61*	-
Тирозин	1,07±0,55*	-
Триптофан	0,26±0,14	0,70±0,32
Сумма	66,05±50,30*	10,32±4,31

1 – среднее значение

2 – стандартное отклонение

* – показатели, по которым найдены достоверные различия между изучаемыми группами образцов при 5% уровне значимости.

Фенольные соединения

В *V. oleracea* найдены девять летучих фенольных соединений (ФС): семь относились к органическим кислотам (никотиновая, хинная, феруловая, кофейная, синаповая и хлорогеновая), одно – к витаминам (токоферол) и триоксибензол – пирогаллол. ФС являются биологически активными веществами и участвуют в процессах дыхания, фотосинтеза, в формировании иммунитета и т.п. Суммарное содержание ФС в капусте белокочанной изменялось в пределах от 0,74 до 50,13 мг/100 г, в полукочанной этот диапазон был уже – от 1,80 до 26,56 мг/100 г (табл. 4). Основным ФС в огородной капусте является хинная кислота, содержание которой составляет до 90% ФС. Найдены образцы Португальской капусты, содержащие феруловую, кофейную кислоты и токоферол. Отдельные образцы капусты огородной содержали бензойную кислоту, пирогаллол, хлорогеновую и синаповую кислоты. Шикимовая кислота является показателем активности шикиматного пути синтеза ФС, концентрация которых изменяется в зависимости от силы воздействия

Таблица 6. Состав и содержание свободных жирных кислот в белокочанной и полукочанной капусте, в мг/100 г
Table 6. Composition and content of free fatty acids in white and semi-capped forms of cabbage, in mg/100g

Жирные кислоты	Белокочанная	Полукочанная
Пальмитиновая	2,091±1.212	3,07±0,81
Метиллиноленовая	0,46±0.22*	-
Линолевая	2,16±1.68	2,99±0,77
Линоленовая	2,45±1.50	3,83±1,46
Олеиновая	0,99±0.90	1,05±0,53
Стеариновая	0,44±0.26	0,66±0,14
Сумма	5.36±4.61	9.97±4,08

1 – среднее значение

2 – стандартное отклонение

* – показатели, по которым найдены достоверные различия между изучаемыми группами образцов при 5% уровне значимости.

факторов внешней среды на растение (Yao et al., 1998).

Наиболее высоким накоплением ФС в нашем исследовании выделился сортотип Грузинская, среднее содержание – 33,8 мг/100 г.

Аминокислоты

Аминокислоты участвуют в обмене азотистых веществ (исходное соединение при биосинтезе гормонов, витаминов, медиаторов, пигментов, пуриновых и пиримидиновых оснований, алкалоидов и др.). В составе небелковых азотсодержащих соединений вида капуста огородная найдены 23 свободных аминокислоты, включая незаменимые.

Диапазон изменчивости аминокислот в образцах белокочанной капусты варьировал от 6,8 до 210,2 мг/100 г (среднее значение – 66,0 мг/100г, табл.5). Накопление свободных аминокислот в образцах полукочанной капусты отмечалось несколько ниже – от 2,6 до 20,7 мг/100 г (среднее значение – 10,2 мг/100 г). Общими у изученных образцов были глутамин, оксипролин, аспарагин, серин, аланин. Большая часть изученных образцов коллекции содержала глутаминовую, аспарагиновую, а также незаменимые аминокислоты треонин, валин и лейцин. Установлены особенности накопления незаменимых аминокислот: образцы Португальской капусты накапливали фенилаланин, капусты белокочанной – метионин, тирозин, лизин, гистидин, отдельные образцы капусты белокочанной содержали

триптофан, староместный образец капусты белокочанной Виннигштадская (Германия) содержал все незаменимые аминокислоты.

Нами выделены 5 сортотипов капусты белокочанной с высоким содержанием свободных аминокислот (более 100 мг/100 г): Слава (101 мг/100 г), Вальватьевская (108 мг/100г), Лангендейкская зимняя (110 мг/100 г), Капорка (114 мг/100 г), и наивысшее значение отмечено у сортотипа Московская поздняя – 165 мг/100 г.

Жирные кислоты

Найдено 6 жирных кислот (ЖК), которые в организме человека присутствуют в свободном состоянии и в составе нейтральных жиров, фосфолипидов и других соединений, являются основными структурными компонентами биологических мембран. ЖК участвуют в одном из важнейших процессов в организме – окислении жирных кислот, которое дает около половины всей энергии, необходимой человеку.

Суммарное содержание свободных ЖК варьировало в капусте белокочанной от 0,77 до 20,78 мг/100 г (среднее значение – 5,36 мг/100 г, табл. 6), в полукочанной капусте содержание немного ниже – от 0,53 до 16,93 мг/100 г, при этом среднее значение было выше – 9,97 мг/100 г, хотя состав ограничен пятью ЖК.

Жирные кислоты, найденные нами, делятся на насыщенные (пальмитиновая, стеариновая), моно- и полиненасыщенные (олеиновая (омега-9), метиллиноленовая), в том числе незаменимые (эссенциаль-

Таблица 7. Состав и содержание спиртов в белокочанной и полукочанной капусте, в мг/100 г
Table 7. Composition and alcohol content in white and semi-capped forms of cabbage, in mg / 100g

Спирты	Белокочанная	Полукочанная
Этаноламин	0,251±0,132*	0,09±0,02
Глицерол	0,95±0,60	1,74±1,04
Эритритол	0,23±0,06*	-
Ксилитол	0,62±0,41*	-
Сорбитол	0,96±0,73	0,36±0,11
Дульцитол	540,12±184,84*	-
Ононитол	-	3,04±2,23*
Инозитол	22,17±14,35	49,78±42,67
Фитол	0,21±0,12	0,75±0,64
Галактинол	1,79±1,50*	-
Сумма	147.43±12,14*	51.78±43,60

1 – среднее значение

2 – стандартное отклонение

* – показатели, по которым найдены достоверные различия между изучаемыми группами образцов при 5% уровне значимости.

ные) линолевая и линоленовая (омега-3). Соотношение насыщенных и ненасыщенных жирных кислот в капусте белокочанной – 1/1,13, в полукочанной капусте – 1/1,7.

Все образцы капусты содержали пальмитиновую кислоту. Образцы Португальской, европейские сортотипы капусты белокочанной содержали линолевую и линоленовую кислоты, образцы белокочанной капусты голландских сортотипов – олеиновую, образцы Португальской капусты и отдельные образцы белокочанной – стеариновую кислоту. Местный русский сорт Вальватьевская содержал бегеновую, пеларгоновую и лауриновую кислоты.

Наиболее высоким содержанием свободных ЖК отличался сортотип Несравненная – 10,9 мг/100 г.

Спирты

В образцах капусты найдено 10 многоатомных спиртов, девять из которых относятся к сахароспиртам (глицерол, эритритол, ксилитол, сорбитол, дульцитол, ононитол, инозитол и галактинол), один – простейший стабильный аминспирт (этанолламин) и однонасыщенный дитерпеновый спирт – фитол (табл.7).

Содержание спиртов в образцах капусты белокочанной варьировало от 1,8 до 859,8 мг/100 г (среднее значение – 147,4 мг/100 г). Накопление многоатомных спиртов в образцах полукочанной капусты отмечалось в несколько раз ниже – от 7,7 до 128,2 мг/100 г (среднее значение – 51,8 мг/100 г).

Самым широко представленным многоатомным спиртом для образцов Brassica оказался мио-инозитол, содержание которого доходило до 126 мг/100 г в полукочанной капусте и до 54 мг/100 г – в белокочанной. В 55% образцов капусты огородной был найден глицерол (образцы русской и восточной групп белокочанной капусты). Все образцы этих групп содержали эритритол и галактинол. Отдельные образцы капусты содержали большое количество дульцитолола (до 846 мг/100 г). Все образцы Португальской капусты имели в своем составе фитол. Некоторые образцы капусты содержали сорбитол и ксилитол.

Высоким накоплением спиртов выделялся сортотип Эльзасская (846

мг/100 г), где главным компонентом выступал дульцитол.

Фитостеролы

Фитостеролы являются широким классом растительных веществ (порядка 100 соединений), чрезвычайно близких по структуре животному продукту – холестерину (Patterson, 1991). Они являются натуральными компонентами клеточных мембран растений. Структура фитостеролов подобна структуре холестерина, и они могут легко связываться с желчными и жирными кислотами вместо холестерина, снижая тем самым сорбцию холестерина в просвете кишечника и улучшая выведение его из организма.

В изученных образцах капусты огородной были идентифицированы два фитостерола: кампестерол и бета-ситостерол. Ситостерол. один из наиболее распространенных и биологически активных фитостеролов, характерен для всех образцов, кампестерол – для 55% (европейская группа белокочанной капусты). Содержание фитостеролов в белокочанной капусте варьировало от 0,40 до 4,07 мг/100 г (в среднем – 1,66 мг/100 г), в полукочанной – от 0,56 до 2,70 мг/100 г (в среднем – 1,49 мг/100 г).

В изученных нами сортотипах наиболее высокое накопление фитостеролов отмечалось в пяти (более 2 мг/100 г): Виннигштадтская (3,09), Московская поздняя (2,85), Ликуришка сизая (2,57), Марнополка (2,26) и Амагер (2,03).

Обсуждение

Таким образом, в результате проведенных нами исследований с использованием метаболомного подхода были получены новые данные о биохимическом составе белокочанной и полукочанной капусты. Исследованный сложный биохимический состав капусты огородной в пределах изученных разновидностей и групп сортотипов характеризует их как потенциально высокоценные (при этом роль и значение далеко не всех соединений в организации здорового питания человека известна), что подтверждает необходимость продолжения углубленного контроля биохимического состава растений при выведении новых сортов.

Дана качественная и количественная характеристика капустных культур вида капуста огородная Brassica oleracea L. (разновидности белокочанная и трончуда) по основным наиболее важным биохимическим признакам качества: сахара, свободные аминокислоты, органические кислоты, жирные кислоты, фенольные соединения, спирты, фитостеролы. Выявлены достоверные различия при $p > 0,05$ между образцами капусты белокочанной и полукочанной в накоплении сахаров (глицеральдегида, арабинозы, альтрозы, раффинозы); органических кислот (щавелевой, малеиновой, малоновой, кетоглюконовой, винной, аскорбиновой, аскорбиновой, дегидроаскорбиновой кислот); ФС (никотиновой, бензойной, феруловой, кофейной, синаповой, хлорогеновой кислот, пирогаллола, токоферола); свободных аминокислот (пролина, N-ацетилглутаминовой кислоты, ГАМК, метионина, N-ацетилсерина, глутамина, лизина, гистидина, тирозина); жирных кислот (метиллиноленовой кислоты); многоатомных спиртов (этанолламина, эритритолола, ксилитолола, дульцитолола, ононитолола, галактинола). По содержанию фитостеролов отличий между белокочанной и полукочанной капустами выявлено не было. Выделены сортотипы с высоким содержанием отдельных питательных и биологически активных веществ.

Выявленные различия в биохимическом составе позволяют обосновать необходимость увеличения в питании человека доли отдельных разновидностей капусты, например, Португальской, и отдельных сортотипов, прежде всего, русской группы Вальватьевская и Московская поздняя. Найдены сортообразцы с оптимальным компонентным составом для сбалансированного питания человека, которые предлагается использовать в селекции на качество, в том числе получения сортов для здорового (функционального) и лечебно-профилактического питания, и расширения ассортимента и сортимента капустных культур в рационе питания населения РФ.

Таблица 8. Состав и содержание фитостеролов в белокочанной и полукочанной капусте, в мг/100 г
Table 8. The composition and content of phytosterols in white and semi-capped forms of cabbage, in mg/100 g

Фитостеролы	Белокочанная	Полукочанная
Кампестерол	0,401±0,121	0,40±0,24
Ситостерол	1,48±0,65	1,26±0,41
Сумма	1,66±0,82	1,49±0,59

1 – среднее значение

2 – стандартное отклонение

* – показатели, по которым найдены достоверные различия между изучаемыми группами образцов при 5% уровне значимости.

Об авторах:

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

Шеленга Татьяна Васильевна – кандидат биол. наук, ведущий научный сотрудник отдела биохимии и молекулярной биологии
orcid.org/0000-0003-3992-5353

Артемьева Анна Майевна – кандидат с-х. наук, заведующая отделом генетических ресурсов овощных и бахчевых культур
orcid.org/0000-0002-6551-5203
ResearcherID: I-5319-2018;
ScopusAuthorID: 14014607500

About the authors:

Alla E. Solovyeva – Ph. D. of biology, Senior Researcher of Department of Biochemistry and Molecular Biology
orcid.org/0000-0002-6201-4294
ResearcherID: B-8742-2017
SPIN-код: 1754-4144

Tatiana V. Shelenga – Ph. D. of biology, Leading Researcher of Department of Biochemistry and Molecular Biology
orcid.org/0000-0003-3992-5353

Anna M. Artemyeva – Ph. D. of agricultural sciences, Head of Vegetable crops and Cucurbits Genetic Resources Department
orcid.org/0000-0002-6551-5203
ResearcherID: I-5319-2018;
ScopusAuthorID: 14014607500

● **Литература**

Артемьева А.М., Чесноков Ю. В. Коллекция капусты ВИР: этапы формирования и изучения. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2012; 16 (4/2): 1047-1060.

Ермаков А.И., Арасимович В.В., Ярош Н.П. Методы биохимического исследования растений. Л., 1987.

Конарев А.В., Шеленга Т.В., Перчук И.Н., Блинова Е.В., Лоскутов И.Г. Характеристика разнообразия овса (*Avena L.*) из коллекции ВИР – исходного материала для селекции на устойчивость к фузариозу. *Аграрная Россия*. 2015;5:2-10.

Ксенз М.В., Лобанов В.Г. Капуста ценный компонент рецептов диетических кулинарных изделий. *Известия вузов. Пищевая технология*. 2008;1:9-11.

Лизгунова Т.В. Культурная флора СССР. Т. XI. Капуста. Л., 1984.

Ловкова М.Я., Рабинович А.М., Пономарева С.М., Бузук Г.Н., Соколова С.М. Почему растения лечат. М., 1990.

Лоскутов И.Г., Шеленга Т.В., Конарев А.В., Шаварда А.Л., Блинова Е.В., Дзюбенко Н.И. Метаболомный подход к сравнительному анализу диких и культурных видов овса (*Avena L.*). Вавиловский журнал генетики и селекции. 2016;20(5):636-642. DOI 10.18699/VJ16.185

Соловьева А. Е., Артемьева А. М. Биохимические исследования коллекции капусты: традиции и перспективы // *Тр. по прикл. ботанике, генетике и селекции*. 2012; 169: 137-146.

Смоликова Г.Н., Шаварда А.Л., Алексейчук И.В., Чанцева В.В., Медведев С.С. Метаболомный подход к оценке сортовой специфичности семян *Brassica napus L.* Вавиловский журнал генетики и селекции. 2015;19(1):121-127.

Ailia D., A. Vassiliev, J. O. Jensen, T. J. Schmidt, Q. Li. Methyl phosphate formation as a major degradation mode of direct methanol fuel cells with phosphoric acid based electrolytes. *J. of Power Sources*. Volume. 2015; 279: 517-521. DOI: 10.1016/j.jpowsour.2015.01.010

Cacete-Rodriguez A.M., Santos-Duecas I.M., Jimenez-Hornero J.E., Ehrenreich A., Liebl W., Garcha-Garcha I. Gluconic acid: Properties, production methods and applications—An excellent opportunity for agro-industrial by-products and waste bio-valorization. *Process Biochemistry*. 2016;51(12):1891-1903. doi.org/10.1016/j.procbio.2016.08.028

Gomez-Campo C., Prakash S. Origin and domestication. In book: *Biology of Brassica coenospecies*. 1999: 33-58.

Jahangir M., H. K. Kim, Y. H. Choi, R. Verpoorte. Health-Affecting Compounds in Brassicaceae. *Food Sci. and Food Saf.* 2009; 8(2):31 – 43. DOI: 10.1111/j.1541-4337.2008.00065.x

Jonsson P., Gullberg J., Nordstrom A., Kusano M., Kowalczyk M., Sjoström M., Moritz T. A strategy for identifying differences in large series of metabolomics samples analyzed by GS/MS. *Anal. Chem.* 2004; 7: 1738-1745.

Li X., Pang W., and Piao Z. Omics Meets Phytonutrients in Vegetable Brassicas: For Nutritional Quality Breeding. *HPJ*. 2017; 3(6): 247-254. doi.org/10.1016/j.hpj.2017.11.001

Mahmud J.A., Hasanuzzaman M., Nahar K., Rahman A., Hossain M.S., Fujita M. Maleic acid assisted improvement of metal chelation and antioxidant metabolism confers chromium tolerance in Brassica juncea. *Ecotoxicol Environ Saf.* 2017;144:216-226. doi: 10.1016/j.ecoenv.2017.06.010.

Новно С., М. Е. Картеа, Р. Соенгас, М. Фрейре-Гарабал и М. Ж. Ньезе-Иglesias. Effects of Brassicaceae Isothiocyanates on Prostate Cancer. *Molecules*. 2016; 21(5), 626. doi: 10.3390/molecules21050626. Review

Physiology and Biochemistry of Sterols (Patterson, G.W., and Nes, W.D., eds.). *American Oil Chemists*. 1991: 229-256.

A Proceedings of the XXVI International Horticultural Congress. Toronto. Canada 11-17 August 2002. Toronto, 2002; 11–15.

Puzanskiy R.K., Shavarda A.L., Tarakhovskaya E.R., Shishova M.F. Analysis of metabolic profile of *Chlamydomonas reinhardtii* cultivated under autotrophic conditions. *Appl. Biochem. Microbiol.* 2015; 51(1): 83-94. doi.org/10.1134/S0003683815010135.

Thavarajah D., P. Thavarajah, A. Abare, S. Basnagala, C. Lacher, P. Smith, G. F. Combs Jr. Mineral micronutrient and prebiotic carbohydrate profiles of USA-grown kale (*Brassica oleracea L. var. acephala*). *J. Food Compos. Anal.* 2016; 52: 9-15. doi.org/10.1016/j.jfca.2016.07.003

Tribulato A., Branca F., Ragusa L., Lo Scalzo R. and Picchi V. Survey of Health-Promoting Compounds in Seeds and Sprouts of Brassicaceae. *Acta Hort.* 2013; 1005: 323-330. DOI: 10.17660/ActaHortic.2013.1005.37

Wang G.H., Li X. and Song J. Vegetable Genetic Resources in China. *HPJ*. 2018; 4(2): 83-88. doi.org/10.1016/j.hpj.2018.03.003

Yao S.Z., Chen P., Yang X.Y., Fung Y.S., Si S.H. Herbal Organic Acids. In *Advanced Chromatographic and Electromigration methods in BioSciences*, Edited by Deyl Z., Miksik I., Tagliaro F. and Tesarova E. J. of Chromatogr. Library Series. 1998; 60: 344-370.

● **References**

Artemyeva A.M., Chesnokov Yu.V. Vavilov Institute Cabbage Collection: Stages of Formation and Research. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Selektzii – Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2012; 16 (4/2): 1047-1060. <https://doi.org/10.18699/105> [In Russian]

Ermakov A. I., Arasimovich V. V., Jarosh N. P. et al. Methods of biochemical research in plants. (*Metody biohimicheskogo issledovanija rastenij*). Leningrad, 1987. [In Russian]

Konarev A.V., Shelenga T.V., Perchuk I.N., Blinova E.V., Loskutov I.G. Characteristic of Oat Diversity (genus *Avena L.*) from the Collection of N. I. Vavilov All-Russia Research Institute of Plants - an Initial Material for Oat Fusarium Resistance Selection. *Agrar. Ross.* 2015;5:2-10. [in Russian]

Ksenz M.V., Lobanov V.G. Cabbage is a valuable component of dietary food recipes. *News of universities. Food technology*. 2008; 1: 9-11. [In Russian]

Lizgunova T.V. Cultural flora of the USSR. T. XI. Cabbage. L., 1984. [in Russian]

Lovkova M.Y., Rabinovich A.M., Ponomareva S.M., Buzuk G.N., Sokolova S.M. Why are plants treated? M., 1990. [In Russian]

Loskutov I.G., Shelenga T.V., Konarev A.V., Shavarda A.L., Blinova E.V., Dzubenko N.I. The metabolomic approach to the comparative analysis of wild and cultivated species of oats (*Avena L.*). *Russian Journal of Genetics: Applied Research*. 2016;20(5):636-642. [in Russian]

Solovjeva A.E., Artemyeva A.M. Biochemical Investigation of VIR Cabbage Collection: Results and Perspective. The journal Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2012; 169: 137-146. [In Russian]

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 Selektzii – Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2015;19(1):121-127. [In Russian]

Ailia D., A. Vassiliev, J. O. Jensen, T. J. Schmidt, Q. Li. Methyl phosphate formation as a major degradation mode of direct methanol fuel cells with phosphoric acid based electrolytes. *J. of Power Sources*. Volume. 2015; 279: 517-521. DOI: 10.1016/j.jpowsour.2015.01.010

Cacete-Rodriguez A.M., Santos-Duecas I.M., Jimenez-Hornero J.E., Ehrenreich A., Liebl W., Garcha-Garcha I. Gluconic acid: Properties, production methods and applications—An excellent opportunity for agro-industrial by-products and waste bio-valorization. *Process Biochemistry*. 2016;51(12):1891-1903. doi.org/10.1016/j.procbio.2016.08.028

Gomez-Campo C., Prakash S. Origin and domestication. In book: *Biology of Brassica coenospecies*. 1999: 33-58.

Jahangir M., H. K. Kim, Y. H. Choi, R. Verpoorte. Health-Affecting Compounds in Brassicaceae. *Food Sci. and Food Saf.* 2009; 8(2):31 – 43. DOI: 10.1111/j.1541-4337.2008.00065.x

Jonsson P., Gullberg J., Nordstrom A., Kusano M., Kowalczyk M., Sjoström M., Moritz T. A strategy for identifying differences in large series of metabolomics samples analyzed by GS/MS. *Anal. Chem.* 2004; 7: 1738-1745.

Li X., Pang W., and Piao Z. Omics Meets Phytonutrients in Vegetable Brassicas: For Nutritional Quality Breeding. *HPJ*. 2017; 3(6): 247-254. doi.org/10.1016/j.hpj.2017.11.001

Mahmud J.A., Hasanuzzaman M., Nahar K., Rahman A., Hossain M.S., Fujita M. Maleic acid assisted improvement of metal chelation and antioxidant metabolism confers chromium tolerance in Brassica juncea. *Ecotoxicol Environ Saf.* 2017;144:216-226. doi: 10.1016/j.ecoenv.2017.06.010.

Novno S., M. E. Cartea, P. Soengas, M. Freire-Garabal and M. J. Nьезе-Iglesias. Effects of Brassicaceae Isothiocyanates on Prostate Cancer. *Molecules*. 2016; 21(5), 626. doi: 10.3390/molecules21050626. Review

Physiology and Biochemistry of Sterols (Patterson, G.W., and Nes, W.D., eds.). *American Oil Chemists*. 1991: 229-256.

A Proceedings of the XXVI International Horticultural Congress. Toronto. Canada 11-17 August 2002. Toronto, 2002; 11–15.

Puzanskiy R.K., Shavarda A.L., Tarakhovskaya E.R., Shishova M.F. Analysis of metabolic profile of *Chlamydomonas reinhardtii* cultivated under autotrophic conditions. *Appl. Biochem. Microbiol.* 2015; 51(1): 83-94. doi.org/10.1134/S0003683815010135.

Thavarajah D., P. Thavarajah, A. Abare, S. Basnagala, C. Lacher, P. Smith, G. F. Combs Jr. Mineral micronutrient and prebiotic carbohydrate profiles of USA-grown kale (*Brassica oleracea L. var. acephala*). *J. Food Compos. Anal.* 2016; 52: 9-15. doi.org/10.1016/j.jfca.2016.07.003

Tribulato A., Branca F., Ragusa L., Lo Scalzo R. and Picchi V. Survey of Health-Promoting Compounds in Seeds and Sprouts of Brassicaceae. *Acta Hort.* 2013; 1005: 323-330. DOI: 10.17660/ActaHortic.2013.1005.37

Wang G.H., Li X. and Song J. Vegetable Genetic Resources in China. *HPJ*. 2018; 4(2): 83-88. doi.org/10.1016/j.hpj.2018.03.003

Yao S.Z., Chen P., Yang X.Y., Fung Y.S., Si S.H. Herbal Organic Acids. In *Advanced Chromatographic and Electromigration methods in BioSciences*, Edited by Deyl Z., Miksik I., Tagliaro F. and Tesarova E. J. of Chromatogr. Library Series. 1998; 60: 344-370.