Комплексная биохимическая характеристика кориандра (*Coriandrum sativum* L.)

DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-80-90
УДК:635.74:577.13
Поступление/Received: 20.03.2020
Принято/Accepted: 01.03.2021

CC BY

Complex biochemical characteristics of *Coriandrum sativum* L.

Т. В. ХМЕЛИНСКАЯ, А. Е. СМОЛЕНСКАЯ, А. Е. СОЛОВЬЕВА*

Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, 190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44
t.khmelinskaya@vir.nw.ru
nastya-smolenska.n@ya.ru
** alsol64@mail.ru*

T. V. KHMELINSKAYA, A. E. SMOLENSKAYA, A. E. SOLOVYEVA*

N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42, 44 Bolshaya Morskaya Street, St. Petersburg 190000, Russia
t.khmelinskaya@vir.nw.ru
nastya-smolenska.n@ya.ru
** alsol64@mail.ru*

Актуальность. Кориандр посевной (*Coriandrum sativum* L.) – ценная овощная культура, обладающая скороспелостью и высокими пищевыми достоинствами. Зелень кориандра богата витаминами, особенно аскорбиновой кислотой и каротином. Целесообразность использования кориандра в качестве натуральных добавок в пищу обусловлена его высокой антиоксидантной активностью. Задачей нашего исследования было изучение биохимического состава зеленой массы образцов кориандра (*C. sativum*) мировой коллекции ВИР и выделение образцов, перспективных для селекции на качество.
Материалы и методы. Материалом для исследования была зеленая масса 67 коллекционных образов кориандра из разных стран мира. Посев образцов, агротехнические приемы по выращиванию, изучение, сбор и подготовку растительного материала для биохимических исследований проводили согласно методическим указаниям ВИР.
Результаты. В результате проведенных исследований теоретически обоснована и экспериментально подтверждена целесообразность использования кориандра в качестве источника ценных питательных и биологически активных веществ. Биохимический состав кориандра значительно варьировал в зависимости от происхождения образца. Наиболее высокая изменчивость отмечена по содержанию каротинов (CV = 41%). Выявлены различия по биохимическим показателям у образцов разных групп спелости.
Заключение. Выделены перспективные образцы с улучшенными показателями качества, которые представляют интерес как исходный материал для селекции и практического использования.

Ключевые слова: биохимический состав, сахара, органические кислоты, хлорофиллы, каротиноиды, каротины, β-каротин.

Background. *Coriandrum sativum* L. is a valuable vegetable crop with early maturity and high nutritional benefits. Green biomass of coriander is rich in vitamins, especially ascorbic acid and carotene. The feasibility of using coriander as a natural food additive is due to its high antioxidant activity. The aim of this research was to study the biochemical composition of the green biomass in the accessions of *C. sativum* from the VIR global collection and identify promising accessions for use in breeding for quality.
Materials and methods. The green biomass of 67 coriander accessions from different countries maintained in the VIR collection served as the research material. The study was carried out according to the guidelines developed by VIR.
Results. As a result of the study, the feasibility of using *C. sativum* as a source of bioactive compounds was theoretically justified and experimentally confirmed, thus attesting to the prospects of coriander accessions from the VIR collection for quality-targeted breeding programs. New data were obtained on the biochemical composition of coriander green biomass. A factor determining such biochemical composition is the genotypic features of coriander associated with its origin. Biochemical parameters in coriander varied significantly depending on the origin of an accession. The highest variability was observed in the content of carotenes (CV 41%). The effect of an accession's precocity was not confirmed. Sources for individual quality indicators were highlighted.
Conclusion. Accessions with an optimal component composition for a balanced human diet were identified and recommended for quality-oriented breeding, including the development of cultivars for health-friendly, curative and preventive nutrition. The selected accessions are of interest as source material for breeding programs and practical utilization.

Key words: biochemical composition, sugars, organic acids, chlorophylls, carotenoids, carotenes, β-carotene.

Введение

Кориандр (*Coriandrum sativum* L.) – однолетнее растение семейства Apiaceae Lindl., или Umbelliferae (сельдерейные, или зонтичные). В культуру растение введено еще в глубокой древности. В настоящее время его широко возделывают в средней и южной частях Европы, США, Канаде, Северной Африке, Индии, Китае и ряде других стран. В России (в центральных и юго-восточных областях европейской территории) кориандр получил большое распространение как эфирномасличное растение. Дикорастущий кориандр встречается повсеместно в Западной Азии и Южной Европе (Mahamane et al., 2016).

Под посевы этого растения выделяется более половины всех площадей, отводимых под эфиромасличные культуры. Посевная площадь кориандра во всем мире занимает примерно 300–320 тыс. га. Основная часть используется для пищевого и парфюмерно-косметического производства, и лишь небольшой процент – для получения кормов (Pashtetskiy et al., 2017). Кориандр посевной является ценной овощной культурой в связи со скороспелостью и качеством продукции (Mukhortov, Tikhomirova, 2018). Зелень кориандра богата витаминами, особенно аскорбиновой кислотой и каротином. Пряный запах зелени обусловлен содержанием в ней эфирного масла. Как овощную культуру его возделывают повсеместно в Закавказье, где он известен под названием кинза. Кориандр успешно растет и в северных районах, в том числе в Северо-Западном регионе РФ, где дает хороший урожай зеленой массы, но семена овощных форм здесь обычно не вызревают.

В целом кориандр является источником целого ряда ценных продуктов, таких как эфирное и пищевое растительные масла, зеленые листья и зрелые плоды, а также шроты, жмыхи и порошок. Кроме того, кориандр – один из лучших медоносов, дающий мед высокого качества (Mironenko et al., 2004; Bochkaryov et al., 2014). И. В. Крылова с соавторами (Krylova et al., 2019) отметили, что все продукты переработки плодов кориандра содержали большое количество таких ценных в питательном отношении веществ, как свободные аминокислоты, инозитолы, фенольные соединения и др. Преобладающей фракцией биологически активных веществ являются полисахариды.

В структуре посевов овощных культур кориандр занимает все большее место, прежде всего благодаря своей скороспелости и питательной ценности (Ivanov, 2010). Отдельным направлением является выведение овощных форм с крупными розеточными листьями. В Черноземных областях высокой урожайностью зеленой массы кориандра считается 16–18 ц/га (Poshuev, Rosanov, 2019). Для расширения признакового полиморфизма кориандра посевного перспективны межвидовые скрещивания с кориандром тордилиевым – *C. tordylium* (Fenzl.) Bornm. и межродовая гибридизация с двумя видами рода *Bifora* Hoffm. Основными признаками отбора для селекции овощного кориандра являются вегетационный период (позднеспелые образцы), количество и масса розеточных листьев, устойчивость к рамуляриозу (Bochkaryov et al., 2014).

В настоящее время в Госреестре находится 28 сортов кориандра, в том числе три сорта иностранной селекции (State Register…, 2019).

Анализ литературных данных показал, что до настоящего времени химические исследования кориандра посевного преимущественно посвящены изучению состава и биологической активности компонентов эфирного масла его плодов. Кориандр как овощное растение изучен мало. Исследователей, как правило, интересовали отдельные группы соединений, имеющих пищевое или фармакологическое значение.

Наиболее полно состав биологически активных веществ плодов кориандра из Индии, Египта и Туниса был исследован K. Msaada et al. (2017). Они отметили, что в связи с высокой антиоксидантной активностью плодов изучение кориандра является перспективным. Как новый естественный источник антиоксидантов кориандр целесообразно использовать в качестве натуральных добавок к пище.

В литературе приводятся данные о полисахаридном комплексе, который представлен водорастворимыми полисахаридами, пектиновыми веществами, гемицеллюлозой А и Б. Для каждой из этих фракций установлен состав, где доминирует арабиноза, галактоза, ксилоза и рамноза. Во фракции пектиновых веществ обнаружена галактуроновая кислота (Nersesyan et al., 2006). Следует отметить, что в медицине народов Кавказа кориандр широко используется в качестве гипотензивного и кардиотонического средства. Широкий спектр фармакологической активности обусловлен наличием биологически активных веществ разных классов. В работе Э. Т. Оганесян с соавторами (Oganesyan et al., 2007) рассмотрены фенольные соединения, органические кислоты, аминокислоты, макро- и микроэлементы кориандра.

Соединения фенольной природы у этой культуры представлены флавоноидами, кумаринами и фенолкарбоновыми кислотами. Установлено, что из аминокислот в кориандре преобладают глютамин, аспарагин и аргинин, из минералов – натрий, кальций, магний и фосфор. Содержание аскорбиновой кислоты составляет 24 мг/100 г, а свободных органических кислот в пересчете на яблочную кислоту – 2,35% (Oganesyan et al., 2007).

В мировом генетическом банке ВИР поддерживается обширная коллекция из 728 сортов кориандра с комплексом различных хозяйственно ценных признаков.

Мировой генофонд кориандра посевного в целом довольно беден, однако из-за возделывания его с глубокой древности и до наших дней у этого вида сформировалось большое количество эколого-географических популяций (Bochkaryov et al., 2014).

Целью нашего исследования было изучение биохимического состава зеленой массы образцов кориандра (*C. sativum*) из мировой коллекции ВИР, а также выделение перспективных образцов для использования в селекции на качество.

Материалы и методы исследования

Материалом для исследования послужили образцы зеленой массы 67 образцов кориандра разного эколого-географического происхождения, поступивших в коллекцию Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР) из 44 стран. Основная часть была представлена местными популяциями. В изучение были включены раннеспелые и позднеспелые (овощные) формы (табл. 1).

Растения выращивали на научно-производственной базе (НПБ) «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР» (г. Санкт-Петербург).

Посев образцов, агротехнические приемы по уходу за растениями, изучение, сбор и подготовку растительного материала для биохимических исследований осуществляли по методикам, разработанным в ВИР (Guidelines…, 1981).

Для пробоподготовки брали свежий материал пяти растений каждого образца в начале цветения. Анализ материала осуществляли по методикам ВИР (Ermakov et. al., 1987). Оценку проводили по основным показателям качества: содержанию сухих веществ, сахаров, аскорбиновой кислоты, хлорофиллов, каротиноидов, каротинов, β-каротина, антоцианов.

Содержание аскорбиновой кислоты определяли прямым извлечением из растительной ткани однопроцентной соляной кислотой с последующим титрованием с помощью 2,6-дихлориндофенола, сахара – методом Бер-

Таблица 1. **Эколого-географические группы изученных образцов *Coriandrum sativum* L.**

Table 1. **Ecogeographic groups of the studied accessions of *Coriandrum sativum* L.**

Регион	Происхождение	№ по каталогу ВИР	Длительность вегетации	Количество
Европа	Югославия	11	раннеспелый	11
	Германия	12	раннеспелый	
	Беларусь	100	позднеспелый	
	Чехия	124	позднеспелый	
	Португалия	277	раннеспелый	
	Нидерланды	281	раннеспелый	
	Венгрия	395	раннеспелый	
	Великобритания	443	раннеспелый	
	Португалия	вр.к-459	позднеспелый	
	Польша	вр.к-475	позднеспелый	
	Германия	вр.к-708	позднеспелый	
Северная Азия	Россия	264	позднеспелый	2
	Россия	429	позднеспелый	
Западная Азия	Грузия	1	позднеспелый	19
	Ирак	37	раннеспелый	
	Дагестан	87	позднеспелый	
	Дагестан	91	позднеспелый	
	Иран	93	раннеспелый	
	Иран	94	позднеспелый	
	Грузия	144	раннеспелый	
	Армения	147	раннеспелый	
	Грузия	148	позднеспелый	
	Армения	150	позднеспелый	
	Азербайджан	190	раннеспелый	
	Азербайджан	207	позднеспелый	
	Азербайджан	214	позднеспелый	
	Азербайджан	217	раннеспелый	
	Йемен	324	раннеспелый	
	Сирия	440	позднеспелый	
	Грузия	вр.к-329	позднеспелый	
	Абхазия	вр.к-538	позднеспелый	
	Азербайджан	вр.к-714	позднеспелый	
Средняя Азия	Узбекистан	50	позднеспелый	5
	Казахстан	173	позднеспелый	
	Казахстан	237	позднеспелый	
	Казахстан	269	позднеспелый	
	Узбекистан	вр.к.-518	раннеспелый	
Южная Азия	Индия	28	раннеспелый	9
	Индия	205	позднеспелый	
	Индия	265	раннеспелый	
	Пакистан	278	раннеспелый	
	Индия	321	позднеспелый	
	Индия	357	позднеспелый	
	Индия	вр.к-374	позднеспелый	
	Афганистан	вр.к-450	позднеспелый	
	Бутан	вр.к-693	раннеспелый	
Юго-Восточная Азия	Индонезия	77	раннеспелый	11
	Бирма	328	раннеспелый	
	Вьетнам	343	раннеспелый	
	Вьетнам	346	раннеспелый	
	Лаос	369	раннеспелый	
	Лаос	370	раннеспелый	
	Бирма	вр.к-421	раннеспелый	
	М. Азия	вр.к-452	раннеспелый	
	М. Азия	вр.к-498	раннеспелый	
	Вьетнам	вр.к-576	раннеспелый	
	Вьетнам	вр.к-686	раннеспелый	

Таблица 1. **Окончание**
Table 1. **The end**

Регион	Происхождение	№ по каталогу ВИР	Длительность вегетации	Количество
Африка	Египет Египет Сомали Сомали Гана Египет	233 241 249 304 320 436	раннеспелый раннеспелый раннеспелый раннеспелый раннеспелый позднеспелый	6
Северная Америка	Канада Канада США	39 141 398	раннеспелый раннеспелый раннеспелый	3
Южная Америка	Чили	вр.к-326	позднеспелый	1
Всего:				**67**

трана. Хлорофиллы и каротиноиды выделяли ацетоном, их абсорбцию измеряли на спектрофотометре при 663 нм (хлорофилл *a*), 645 нм (хлорофилл *b*), 440 нм (каротиноиды), 454 нм (β-каротин). Сумму каротинов исследовали методом бумажной хроматографии с последующим определением оптической плотности на спектрофотометре (Ermakov et al., 1987). Сумму антоцианов – спектрометрическим методом, выделяя их однопроцентным раствором соляной кислоты (Chupakhina, Maslennikov, 2004).

Результаты исследований

В результате проведенных исследований нами получены экспериментальные данные, характеризующие биохимический состав образцов кориандра коллекции ВИР по 13 показателям (табл. 2). Наличие значительной изменчивости в содержании веществ отдельных растений дает возможность проводить селекционную работу на улучшение химического состава зеленой массы кориан-

Таблица 2. **Диапазон изменчивости биохимического состава зеленой массы кориандра**
(НПБ «Пушкинские и Павловские лаборатории ВИР», 2019)
Table 2. **Ranges of variability for biochemical components in the green biomass of coriander accessions**
(Pushkin and Pavlovsk Laboratories of VIR, 2019)

Содержание	Единица измерения	Среднее значение	Минимальное значение	Максимальное значение	CV**, %
Сухие вещества	%	14,23 ± 0,28*	9,20	19,68	16,61
Сумма сахаров, в том числе:	%	1,87 ± 0,54	0,49	3,03	29,30
Моносахара	%	1,62 ± 0,07	0,21	2,78	33,61
Дисахара	%	0,25 ± 0,04	0,00	1,36	34,82
Общая кислотность (на яблочную кислоту)	%	0,333 ± 0,01	0,197	0,626	20.33
Аскорбиновая кислота	%	22,27 ± 0,60	12,0	33,60	22,27
Хлорофиллы, в том числе:	мг/100 г	120,2 ± 3,90	50,62	194,0	27,02
Хлорофилл *a*	мг/100 г	84,84 ± 2,81	35,62	135,3	27,61
Хлорофилл *b*	мг/100 г	35,40 ± 1,16	15,00	58,69	27,40
Каротиноиды, в том числе:	мг/100 г	61,85 ± 1,91	27,17	98,70	25,70
Каротины	мг/100 г	8,04 ± 0,39	2,78	17,27	40,97
β-каротин	мг/100 г	5,55 ± 0,19	2,33	8,90	27,79
Антоцианы	мг/100 г	13,40 ± 0,39	7,62	21,54	24,10

* – стандартная ошибка; ** – коэффициент вариации
* – standard error; ** – coefficient of variation

дра, используя образцы, выделенные по другим хозяйственно ценным свойствам.

Кориандр накапливает значительное количество сухих веществ, которое колеблется в пределах от 9,2 до 19,7%. Наибольший размах изменчивости биохимических показателей наблюдался по содержанию каротинов (CV = 41%).

Сахара́. Суммарное содержание сахаров в зеленой массе кориандра составляло в среднем 13% от содержания сухих веществ. Причем преобладающей формой являлись простые сахара (до 90% общего количества). Варьирование этого показателя в зависимости от происхождения образца было значительным (от 0,2 до 2,8%). На рисунке 1 показано соотношение моно- и дисахаров в зеленой массе кориандра различного географического происхождения. Две группы образцов из Южной Америки и России накапливали наравне с моносахарами значительное количество дисахаров.

Сумма сахаров варьировала от 0,42 до 2,78% у раннеспелых образцов и от 0,79 до 3,03% у позднеспелых (CV 28% и 31% соответственно). Сравнение вышеупомянутых групп показало (рис. 2), что при практически равном суммарном содержании (1,90 и 1,83% соответственно)

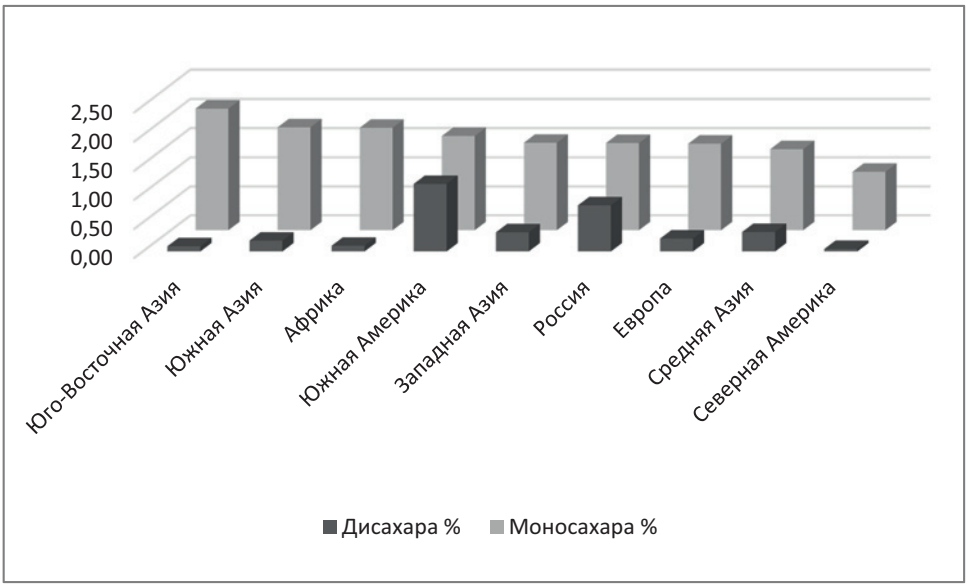

Рис. 1. Распределение моно- и дисахаров в зеленой массе образцов кориандра (*Coriandrum sativum* L.) различного происхождения (в %)

Fig. 1. Distribution of mono- and disaccharides in the green biomass of coriander accessions (*Coriandrum sativum* L.) of different origin (in %)

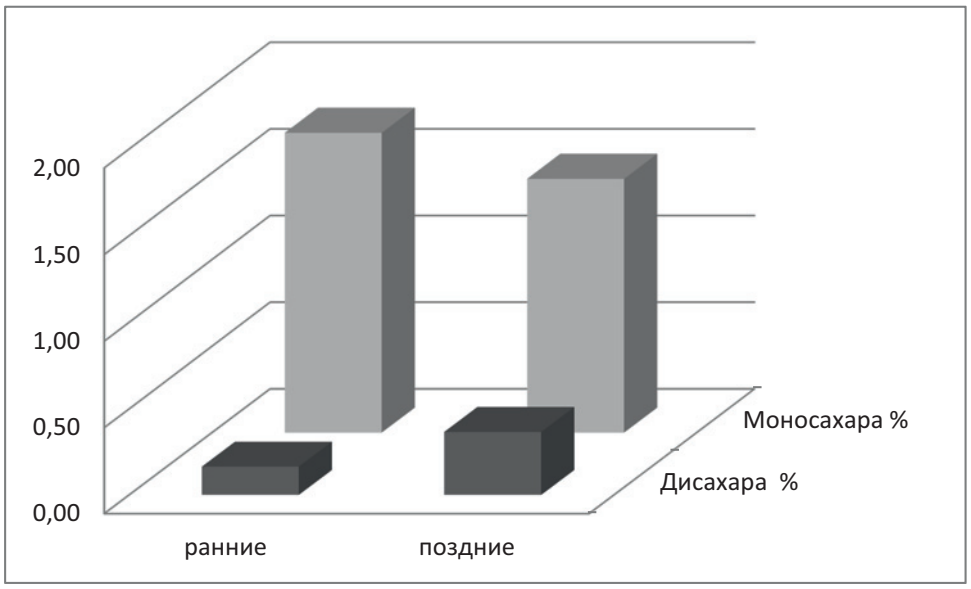

Рис. 2. Распределение моно- и дисахаров в зеленой массе образцов кориандра (*Coriandrum sativum* L.) разных групп спелости (в %)

Fig. 2. Distribution of mono- and disaccharides in the green biomass of coriander accessions (*Coriandrum sativum* L.) across different earliness groups (in %)

у раннеспелых образцов выше количество простых сахаров (1,73 и 1,47%), а у позднеспелых – сахарозы (0,16 и 0,37%).

Среди образцов с высокими показателями сахаров (2,53–3,03%) выявлено два раннеспелых: к-249 (Сомали), к-346 (Вьетнам) и три позднеспелых: к-87 (Дагестан), к-440 (Сирия) и вр.к-326 (Чили).

Органические кислоты. Содержание свободных органических кислот в вегетативных органах у пряных культур невелико и составляет 0,1–0,2% в расчете на яблочную кислоту. В нашем исследовании этот показатель в зеленой массе кориандра составил 0,333% с диапазоном изменчивости от 0,197 до 0,626%. Существенных различий (CV = 20%) между образцами кориандра разных эколого-географических групп не установлено. Однако образцы из Южной и Юго-Восточной Азии содержали немного больше органических кислот (0,372 и 0,349% соответственно).

Сравнение ранне- и позднеспелых образцов кориандра выявило между ними существенные различия по количеству органических кислот в зеленой массе (0,345 ± 0,008 и 0,318 ± 0,014 соответственно) (рис. 3).

с повышенным количеством таковой (в среднем 30,8 мг/100 г). Средние показатели для образцов остальных эколого-географических групп варьировали от 17,6 до 23,7 мг/100 г. Ранне- и позднеспелые формы практически не различались по содержанию витамина С (22,5 и 22 мг/100 г).

Выделено пять образцов с повышенным содержанием аскорбиновой кислоты (более 30 мг/100 г): четыре раннеспелых – к-37 (Ирак), к-190 (Азербайджан), вр.к-452 (М. Азия), вр.к-498 (М. Азия) и один позднеспелый – к-264 (Россия).

Пигменты. К биологическим пигментам (*биохромам*) относятся окрашенные вещества, входящие в состав тканей организмов. Цвет определяется наличием в их молекулах хромофорных групп, избирательно поглощающих свет в определенной части видимого спектра солнечного света (Britton, 1986). Система биохромов – звено, связывающее световые условия окружающей среды и обмен веществ организма. Пигменты играют важную роль в жизнедеятельности живых объектов и являются биологически активными веществами.

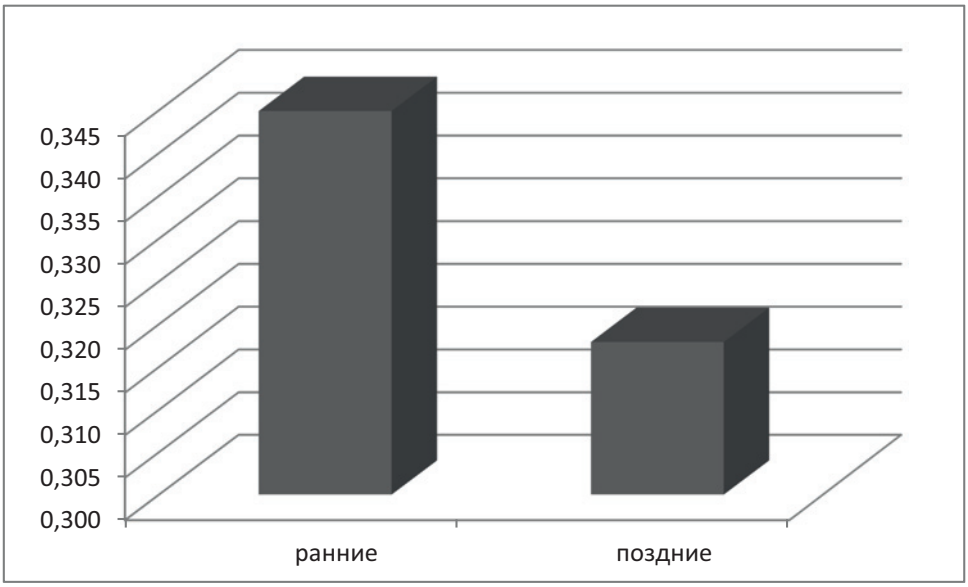

Рис. 3. Распределение суммарного содержания свободных органических кислот в зеленой массе образцов кориандра (*Coriandrum sativum* L.) разных групп спелости (в % на яблочную кислоту)

Fig.3. Distribution of the total free organic acid content in the green biomass of coriander accessions (*Coriandrum sativum* L.) across different earliness groups (in % malic acid)

Из проанализированной выборки у четырех образцов накопление свободных органических кислот превысило 0,422%. Максимальное содержание кислот (0,626%) отмечено в недавно поступившем в коллекцию позднеспелом образце вр.к-329 из Грузии, в остальных таковое достигало 0,422–0,477%: к-28 (Индия), к-265 (Индия) и к-278 (Пакистан). Последние три относятся к скороспелой группе.

Аскорбиновая кислота. Для пряных культур характерно значительное количество витамина С. Изученная нами зеленая масса кориандра содержала в среднем 22 мг/100 г аскорбиновой кислоты (от 12,0 до 33,6 мг/100 г). Выделена группа образцов из России

Хлорофиллы. Известно, что у всех высших растений содержатся хлорофиллы *a* и *b*, играющие важную роль в процессе фотосинтеза и отвечающие за зеленую окраску тканей, прежде всего листьев. Количество хлорофилла *a* в клетках, как правило, больше (примерно в 1,5 раза), чем хлорофилла *b*. Хлорофилл *a* считается универсальным пигментом, который определяет направление и скорость фотосинтеза. Хлорофилл *b* – регулятор продуктивности и развития растений. Если наблюдается недостаток хлорофилла *b*, идет задержка цветения и уменьшение размера листьев, а также преждевременное их старение. Для сельского хозяйства это означает уменьшение биомассы растений и, как следствие, снижение урожайности (Tyutereva et al., 2017).

Общее содержание хлорофиллов в изученных образцах варьировало от 50,62 до 194,0 мг/100 г (среднее значение 120 мг/100 г). В нашем исследовании количество хлорофилла *a* превышало хлорофилл *b* в среднем в 2,5 раза. Диапазон изменчивости хлорофилла *a* установлен в пределах от 35,62 до 135,3 мг/100 г (среднее значение 85 мг/100 г), хлорофилла *b* – от 15,00 до 58,69 мг/100 г (среднее значение 35 мг/100 г). На рисунке 4 видно, что высоким содержанием хлорофиллов отличились 4 группы образцов (по убыванию): из России, из Средней Азии, из Южной Америки и из Западной Азии. Повышенное количество хлорофиллов *a* и *b* было отмечено для позднеспелых форм (рис. 5).

С наибольшим содержанием хлорофиллов (более 170 мг/100 г) выделились пять образцов: два раннеспелых – к-93 (Иран), к-217 (Азербайджан) и три позднеспелых – к-237 (Казахстан), к-440 (Сирия), вр.к.-708 (Германия).

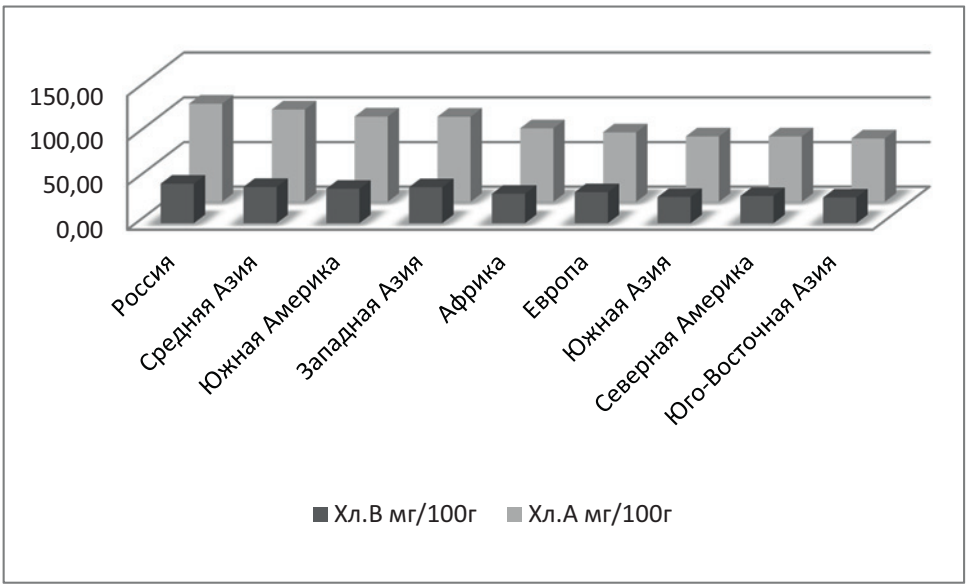

Рис. 4. Распределение хлорофиллов *a* и *b* в зеленой массе кориандра (*Coriandrum sativum* L.) в зависимости от происхождения образцов (в мг/100 г)

Fig. 4. Distribution of chlorophylls *a* and *b* in the green biomass of coriander accessions (*Coriandrum sativum* L.) depending on their origin (in mg/100 g)

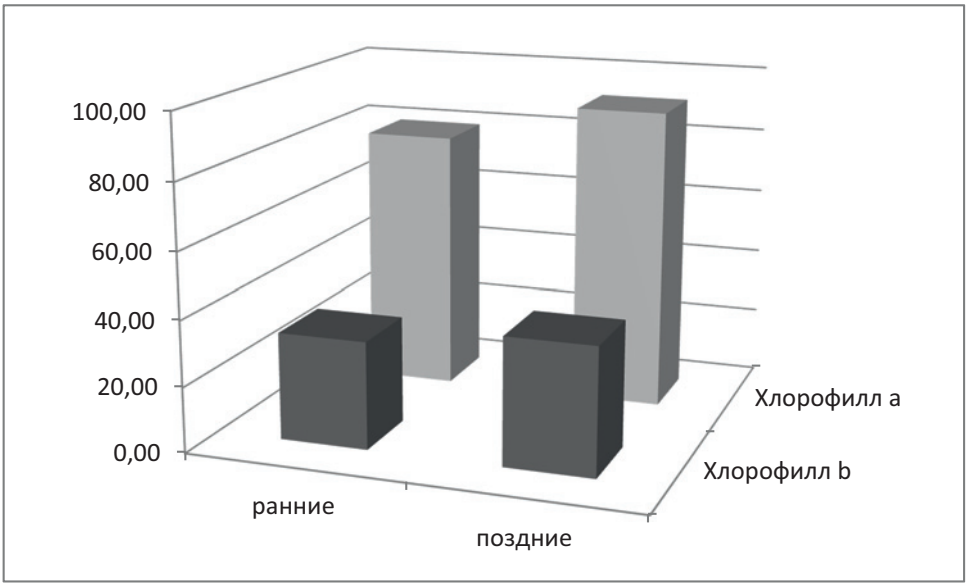

Рис. 5. Распределение хлорофиллов *a* и *b* в зеленой массе образцов кориандра (*Coriandrum sativum* L.) разных групп спелости (в мг/100 г)

Fig. 5. Distribution of chlorophylls *a* and *b* in the green biomass of coriander accessions (*Coriandrum sativum* L.) across different earliness groups (in mg/100 g)

Каротиноиды. Желтые пигменты – каротиноиды – широко распространены в растениях, представляют собой смесь ксантофиллов (60%) и каротинов (40%) и являются биологически активными веществами. Они образуются наряду с хлорофиллом в зеленых тканях растений, и их цвет часто замаскирован молекулами хлорофилла.

Изучение коллекционного материала показало, что содержание каротиноидов в среднем составило 61,85 мг/100 г (27,17–98,70 мг/100 г), каротина – 8,04 мг/100 г (2,78–17,27 мг/100 г), β-каротина – 5,53 мг/100 г (2,33–8,90 мг/100 г). Как видно из таблицы 2, по содержанию каротина наблюдалась высокая изменчивость (CV 41%).

Размах изменчивости каротиноидов и каротинов определялся происхождением образцов. Высоким содержанием данных соединений выделились те же группы, что и при анализе показателей хлорофиллов.

Соотношение β-каротина и суммы каротинов в среднем составляло 74% (45–100%). В зависимости от срока созревания у раннеспелых оно равнялось 76%, у позднеспелых – 62% (рис. 6).

В проанализированной выборке выделилось четыре образца с высоким содержанием каротиноидов (более 90 мг/100 г), два раннеспелых: к-93 (Иран), к-217 (Азербайджан) и два позднеспелых: к-207 (Азербайджан), к-440 (Сирия). Значительные показатели суммы каротинов (более 14 мг/100 г) отмечены у трех позднеспелых форм: к-87 (Дагестан), к-207 (Азербайджан) и к-217 (Азербайджан). В изучаемом наборе выявлено четыре образца с содержанием β-каротина выше 8 мг/100 г, два из которых относятся к раннеспелым: к-93 (Ирак), к-217 (Азербайджан) и два к позднеспелым: к-440 (Сирия) и вр.к-708 (Германия).

Взаимосвязь содержания хлорофиллов с каротиноидами показана в таблице 3, из которой видно, что большая часть образцов (около 70%) характеризовались повышенным (более 100 мг/100 г) содержанием хлорофиллов. При этом большинство из них также отличалось высоким содержанием каротиноидов.

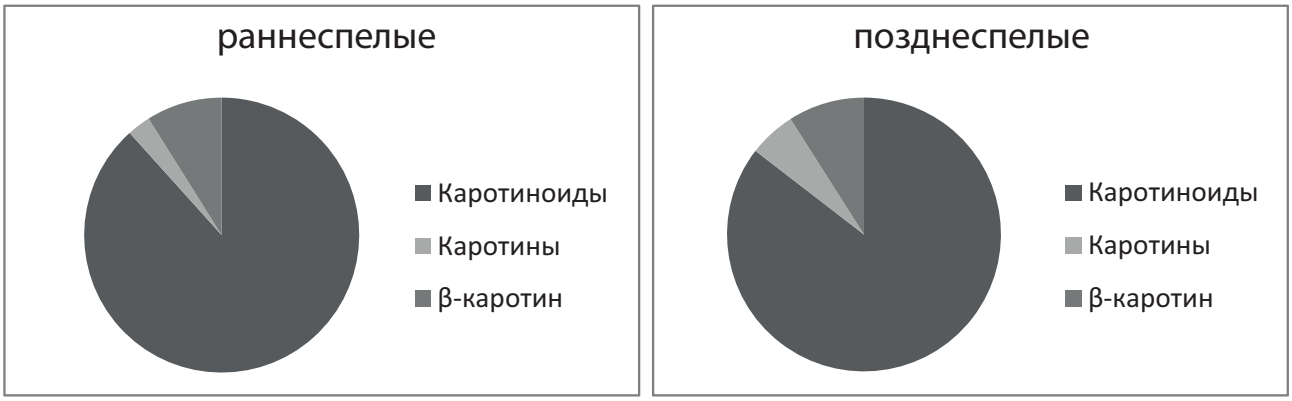

Рис. 6. Распределение каротиноидов, каротинов и β-каротина в зеленой массе образцов кориандра (*Coriandrum sativum* L.) разных групп спелости (в мг/100 г)

Fig. 6. Distribution of carotenoids, carotenes and β-carotene in the green biomass of coriander accessions (*Coriandrum sativum* L.) across different earliness groups (in mg/100 g)

Таблица 3. Распределение образцов кориандра (*Coriandrum sativum* L.) в зависимости от содержания хлорофиллов и каротиноидов (2019 г.)

Table 3. Distribution of coriander accessions (*Coriandrum sativum* L.) depending on the content of chlorophylls and carotenoids (2019)

Содержание хлорофиллов, мг/100 г	Количество образцов с содержанием каротиноидов, мг/100 г						Итого
	≤ 30,0	30,1–45,0	45,1–60,0	60,1–75,0	75,1–90,0	≥ 90	
≤ 50,0	1	–	–	–	–	–	**1**
50,1–75,0	1	5	–	–	–	–	**6**
75,1–100,0	–	2	12	–	–	–	**14**
100,1–125,0	–	–	14	8	–	–	**22**
125,1–150,0	–	–	–	10	1	–	**11**
≥ 150,0	–	–	–	–	9	4	**13**
Итого	**2**	**7**	**26**	**18**	**10**	**4**	**67**

Антоцианы. Еще одна группа растительных пигментов, которые представляют собой окрашенные растительные гликозиды, содержащие в качестве агликона антоцианидины, из группы флавоноидов. Они находятся как в генеративных, так и в вегетативных органах растений, обусловливая красную, фиолетовую и синюю окраски. Антоцианы содержатся в цитоплазме клеток постоянно либо появляются на определенной стадии развития растений, в том числе в результате действия стрессора. Последнее обстоятельство навело ученых на мысль, что антоцианы нужны не только для того, чтобы яркой окраской привлекать насекомых – опылителей и распространителей семян, но и для борьбы с различными типами стрессоров (Karabanov,1981).

В исследуемых образцах диапазон изменчивости содержания антоцианов составлял от 7,62 до 21,54 мг/100 г (в среднем 13,40 мг/100 г). Нами были выделены 4 группы образцов с повышенным содержанием антоцианов (по убыванию): из Америки (Южной и Северной), из Южной Азии и из Европы (средние значения: 17,29, 15,65, 14,90 и 14,82 мг/100 г соответственно). Ранне- и позднеспелые формы кориандра по накоплению антоцианов практически не различались (13,51 и 13,23 мг/100 г).

Выделено четыре образца с повышенным содержанием антоцианов (19,09–21,54 мг/100 г): три раннеспелых: к-77 (Индонезия), к-141 (Канада), к-148 (Аджария) и один позднеспелый – к-321 из Индии.

Проведенный анализ показал как сложную наследственную обусловленность химического состава кориандра, так и непростые взаимосвязи между его компонентами. Поэтому целесообразным является всестороннее изучение исходного материала для выделения биотипов, характеризующихся комплексом биологических и хозяйственно ценных признаков (свойств).

Исходный материал для селекции. Наиболее важные направления использования кориандра, в том числе в селекции, определяются его химическим составом, позволяющим пополнять рацион человека полезными для здоровья биологически активными веществами. Несмотря на то что кориандр не относится к культурам интенсивного типа, подбор биотипов, характеризующихся оптимальным сочетанием целого ряда важных питательных компонентов, остается актуальным. Поэтому выделение образцов со стабильным комплексом хозяйственно ценных признаков – перспективная задача для современного сельского хозяйства на научной основе (табл. 4).

Из таблицы 4 видно, что из числа изученных выделяется образец к-440 (Сирия), у которого повышенное содержание аскорбиновой кислоты (28,8 мг/100 г) сочетается с высоким уровнем хлорофиллов *a* и *b* (184,62 мг/100 г), каротиноидов (90,8 мг/100 г), β-каротина (8,53 мг/100 г), антоцианов (13,72 мг/100 г) и сахаров (3,03%). Приведенные экспериментальные данные свидетельствуют о сложных взаимосвязях между отдельными компонентами биохимического состава кориандра и генотипом образца.

Таблица 4. Выделившиеся по химическому составу образцы *Coriandrum sativum* L. (2019 г.)

Table 4. Accessions of *Coriandrum sativum* L. identified for their chemical composition (2019)

Образец: номер по каталогу ВИР, происхождение	Содержание						
	Сумма сахаров,%	Органические кислоты, в % на ябл.к.*	Аскорбиновая кислота, мг/100 г	Хлорофиллы, мг/100 г	Каротиноиды, мг/100 г	β- каротин, мг/100 г	Антоцианы, мг/100 г
к-77, Индонезия	0,94	0.340	24,0	153,31	79,61	7,05	21,54
к-93, Иран	1,45	0,286	18,4	194,00	90,33	8,90	11,12
к-150, Армения	1,50	0,368	28,8	138,41	69,43	6,58	11,08
к-173, Казахстан	1,10	0,354	22,4	162,71	83,20	7,59	7,77
к-205, Индия	1,35	0,408	25,6	101,22	52.12	4,63	11,56
к-217, Азербайджан	1,50	0,320	28,0	175,46	90,87	8,39	13,10
к-440, Сирия	3,03	0,228	28,8	184,62	90,80	8,53	13,72
к-443, Великобритания	1,58	0,408	22,4	91,86	47,69	4,18	16,04
вр.к-708, Германия	2,03	0,313	15,2	182,48	88,71	8,46	10,26

* – в % на яблочную кислоту

* – in % malic acid

Заключение

В результате проведенных исследований были получены новые данные о биохимическом составе зеленой массы кориандра. Причем фактором, достоверно влияющим на содержание его отдельных компонентов, являются наследственные особенности образца, в частности его происхождение. Наибольший размах изменчивости показателей химического состава отмечен по содержанию каротинов (CV = 41%).

Нами были выделены образцы – потенциальные источники питательных и биологически активных веществ.

У четырех образцов накопление свободных органических кислот превысило 0,422%. Максимальное содержание (0,626%) отмечено у недавно поступившего в коллекцию позднеспелого образца вр.к-329 из Грузии, для остальных – к-28 (Индия), к-265 (Индия) и к-278 (Пакистан) – этот показатель достигал 0,422–0,477. Последние три относятся к скороспелой группе.

Высокое содержание сахаров (2,53–3,03%) отмечено для раннеспелых образцов к-249 (Сомали), к-346 (Вьетнам), позднеспелых: к-87 (Дагестан), к-440 (Сирия), вр.к-326 (Чили);

– аскорбиновой кислоты (более 30 мг/100г) – для раннеспелых: к-37 (Ирак), к-190 (Азербайджан), вр.к-452 (М. Азия), вр.к-498 (М. Азия) и позднеспелого к-264 (Россия);

– хлорофиллов (более 170 мг/100 г) – для раннеспелых: к-93 (Иран), к-217 (Азербайджан) и позднеспелых: к-237 (Казахстан), к-440 (Сирия), вр.к.-708 (Германия);

– каротиноидов (более 90 мг/100 г) – для раннеспелых: к-93 (Иран), к-217 (Азербайджан) и позднеспелых: к-207 (Азербайджан), к-440 (Сирия);

– суммы каротинов (более 14 мг/100 г) – для позднеспелых: к-87 (Дагестан), к-207 (Азербайджан) и к-217 (Азербайджан);

– β-каротина (выше 8 мг/100 г) – для раннеспелых: к-93 (Иран), к-217 (Азербайджан) и позднеспелых: к-440 (Сирия) и вр.к-708 (Германия);

– антоцианов (19,09–21,54 мг/100г) – для раннеспелых: к-77 (Индонезия), к-141 (Канада), к-148 (Аджария) и позднеспелого: к-321 из Индии.

Приведенные выше образцы с оптимальным компонентным составом предлагается использовать в селекции на качество и для получения сортов для здорового функционального и лечебно-профилактического питания человека.

Исследованный полиморфный вид *Coriandrum sativum* имеет сложный биохимический состав, характеризующий данные образцы как «потенциально» высокоценные, что подтверждает необходимость углубленного контроля биохимического состава растений при выведении новых сортов, наравне с другими хозяйственно ценными показателями.

Работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по проекту № 0662-2019-0003 «Генетические ресурсы овощных и бахчевых культур мировой коллекции ВИР: эффективные пути расширения разнообразия, раскрытия закономерностей наследственной изменчивости, использования адаптивного потенциала».

The research was performed within the framework of the State Task according to the theme plan of VIR, Project No. 0662-2019-003 "Genetic resources of vegetable and cucurbit crops in the VIR global collection: effective ways to expand their diversity, disclose the patterns of hereditary variability, and use their adaptive potential".

References / Литература

Bochkaryov N.I., Zelentsov S.V., Moshnenko E.V. Morphology, taxonomy, and breeding coriander (review). *Oil Crops. Scientific and Technical Bulletin of VNIIMK*. 2014;2(159-160):178-195. [in Russian] (Бочкарев Н.И., Зеленцов С.В., Мошненко Е.В. Морфология, таксономия, методы селекции и характеристика сортов кориандра посевного (обзор). *Масличные культуры. Научно-технический бюллетень ВНИИМК*. 2014;2(159-160):178-195).

Britton G. The biochemistry of natural pigments. Moscow: Mir; 1986. [in Russian] (Бриттон Г. Биохимия природных пигментов. Москва: Мир; 1986).

Chupakhina G.N., Maslennikov P.V. (comp.). Methods of vitamin analysis: A practicum (Metody analiza vitaminov. Praktikum). Kaliningrad: Kaliningrad State University; 2004. [in Russian] (Методы анализа витаминов: Практикум / сост. Чупахина Г.Н., Масленников П.В. Калининград: Калининградский государственный университет; 2004). DOI: 10.13140/2.1.1147.7449

Ermakov A.I., Arasimovich V.V., Yarosh N.P. Methods of biochemical research in plants (Metody biokhimicheskogo issledovaniya rasteniy). Leningrad: Agropromizdat; 1987. [in Russian] (Ермаков А.И., Арасимович В.В., Ярош Н.П. Методы биохимического исследования растений. Ленинград: Агропромиздат; 1987).

Guidelines for the maintenance and study of root plant collections (Metodicheskiye ukazaniya po podderzhaniyu i izucheniyu kollektsiy korneplodnykh rasteniy). Leningrad: VIR; 1981. [in Russian] (Методические указания по поддержанию и изучению коллекций корнеплодных растений. Ленинград: ВИР; 1981).

Ivanov M.G. Agronomic assessment of the effectiveness of growing non-traditional spicy and aromatic crops in the Northwest of Russia (Agronomicheskaya otsenka effektivnosti vyrashchivaniya netraditsionnykh pryanoaromaticheskikh kultur na Severo-Zapade Rossii). *Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University.* 2010;19:132-136. [in Russian] (Иванов М.Г. Агрономическая оценка эффективности выращивания нетрадиционных пряноароматических культур на Северо-Западе России. *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. 2010;19:132-136).

Karabanov I.A. Flavonoids in the plant world (Flavonoidy v mire rasteniy). Minsk: Urajay; 1981. [in Russian] (Карабанов И.А. Флавоноиды в мире растений. Минск: Ураджай; 1981).

Krylova I.V., Sidorova V.V., Kerv Yu.A. Biochemical composition of *Coriandrum sativum* L. meal under different methods of extraction of essential oil. *Agrarian Russia*. 2019;8:16-25. [in Russian] (Крылова И.В., Сидорова В.В., Керв Ю.А. Биохимический состав шротов кориандра (*Coriandrum sativum* L.) при различных способах экстракции эфирного масла. *Аграрная Россия*. 2019;8:16-25). DOI: 10.30906/1999-5636-2019-8-16-25

Mahamane K.A., Ahire P., Kadam V., Nikam Y.P. Biochemical investigation of "*Coriandrum sativum*" L. (corian-

der). *International Journal of Advanced Research*. 2016;4(10):1909-1912. DOI:10.21474/IJAR01/2003

Mironenko I.M., Khodykina V.V., Glotov V.A., Shiryaev A.V. Volatile oil plants of Belogorye (Efironosy Belogorya). Belgorod; 2004. [in Russian] (Мироненко И.М., Ходыкина В.В., Глотов В.А., Ширяев А.В. Эфироносы Белогорья. Белгород; 2004).

Msaada K., Jmia M.B., Salem N., Bachrouch O., Sriri J., Tammar S. et al. Antioxidant activity of methanolic extracts from three coriander (*Coriandrum sativum* L.) fruit varieties. *Arabian Journal of Chemistry.* 2017;10:3176-3183. DOI: 10.1016/J.ARABJC.2013.12.011

Mukhortov S.Ya., Tikhomirova I.B. Seed productivity of coriander depending on cultivation techniques. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2018;3(58):32-37. [in Russian] (Мухортов С.Я., Тихомирова И.Б. Семенная продуктивность кориандра посевного в зависимости от приемов возделывания. *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. 2018; 3(58):32-37). DOI: 10.17238/issn2071-2243.2018.3.32

Nersesyan Z.M., Parkhomenko A.Yu., Pogorely V.E., Makarova L.M., Oganesyan E.T. Chemical composition and pharmacological activity of the herb extract from cultivated coriander (Khimicheskiy sostav i farmakologicheskaya aktivnost ekstrakta travy koriandra posevnogo). *Bulletin of Higher Education Institutes. North Caucasus Region. Natural Sciences.* 2006;S23:49-51. [in Russian] (Нерсесян З.М., Пархоменко А.Ю., Погорелый В.Е., Макарова Л.М., Оганесян Э.Т. Химический состав и фармакологическая активность экстракта травы кориандра посевного. *Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки.* 2006;S23:49-51).

Oganesyan E.T., Nersesyan Z.M., Parkhomenko A.Yu. Chemical composition of the above-ground part of *Coriandrum sativum. Pharmaceutical Chemistry Journal*. 2007;3(41):149-153. DOI: 10.1007/s11094-007-0033-2

Pashtetskiy V.S., Verdysh M.V., Popova A.A., Kolesnikova A.V. Analysis of essential oils markets and state of essential production in the Russian Federation. *Construction Economic and Environmental Management*. 2017;4(65):49-54. [in Russian] (Паштецкий В.С., Вердыш М.В., Попова А.А, Колесникова А.В. Анализ рынков эфиромасличной продукции и состояния эфиромасличного производства в Российской Федерации. *Экономика строительства и природопользования*. 2017;4(65):49-54).

Poshuev P.V., Rosanov V.A. The processing impact by minerals on efficiency and productivity of raw materials of a coriander (*Coriandrum sativum* L.). In: *Modern Trends in the Development of Healthcare Technologies: Proceedings of the Seventh Scientific Conference* (*Sovremennye tendentsii razvitiya tekhnologiy zdorovyesberezheniya. Sbornik trydov sedmoy nauchnoy konferentsii*). Moscow: VILAR; 2019. p.72-78. [in Russian] (Почуев П.В., Розанов В.А. Влияние обработки микроэлементами на продуктивность и урожайность сырья кориандра посевного (*Coriandrum sativum* L.). В кн.: *Современные тенденции развития технологий здоровьесбережения. Сборник трудов седьмой научной конференции.* Москва: ВИЛАР; 2019. С.72-78).

State Register for Selection Achievements Admitted for Usage (National List). Vol. 1 “Plant varieties” (official publication). Moscow: Rosinformagrotekh; 2019. [in Russian] (Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т. 1. «Сорта растений» (официальное издание). Москва: Росинформагротех; 2019).

Tyutereva E.V., Dmitrieva V.A., Voitsekhovskaja O.V. Chlorophyll b as a source of signals steering plant development (review). *Agricultural Biology*. 2017;52(5): 843-855. [in Russian] (Тютерева Е.В., Дмитриева В.А., Войцеховская О.В. Хлорофилл b как источник сигналов, регулирующих развитие и продуктивность растений (обзор). *Сельскохозяйственная биология*. 2017;52(5):843-855). DOI: 10.15389/agrobiology.2017.5.843rus

Прозрачность финансовой деятельности / The transparency of financial activities

Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

The authors declare the absence of any financial interest in the materials or methods presented.

Для цитирования / How to cite this article

Хмелинская Т.В., Смоленская А.Е., Соловьева А.Е. Комплексная биохимическая характеристика кориандра (*Coriandrum sativum* L.). Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021;182(1):80-90. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-80-90

Khmelinskaya T.V., Smolenskaya A.E., Solovyeva A.E. Complex biochemical characteristics of *Coriandrum sativum* L. Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2021;182(1):80-90. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-1-80-90

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы / The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work

Дополнительная информация / Additional information

Полные данные этой статьи доступны / Extended data is available for this paper at https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-1-80-90

Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы / The journal’s opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employer

Авторы одобрили рукопись / The authors approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest

ORCID
Tkhmelinskaya T.V. https://orcid.org/0000-0001-5425-1268
Smolenskaya A.E. https://orcid.org/0000-0001-6062-4139
Solovyeva A.E. https://orcid.org/0000-0002-6201-4294