


ИЗМЕНЧИВОСТЬ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ И БИОХИМИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ КРЕСС-САЛАТА (*Lepidium sativum* L.) ИЗ КОЛЛЕКЦИИ ВИР В УСЛОВИЯХ ИНТЕНСИВНОЙ СВЕТОКУЛЬТУРЫ*

А.Б. КУРИНА¹, К.О. ЖЕЛЕЗНОВА¹, А.Е. СОЛОВЬЕВА¹, Н.Г. СИНЯВИНА²,
Г.Г. ПАНОВА², А.М. АРТЕМЬЕВА¹ 

Производство свежей овощной продукции высокого качества для населения России остается важной задачей. Получать урожай в течение всего года позволяет технология интенсивной светокультуры (сити-фермы, вертикальные фермы, фабрики растений). Очевидно, что для такого выращивания требуются сорта и линии, максимально реализующие продукционный потенциал в этих специфических условиях. В последние годы проводятся исследования, направленные на поиск и подбор образцов различных культур для светокультуры, цель которых – повышение эффективности и рентабельности производства, а также расширение ассортимента растительной продукции. Кресс-салат *Lepidium sativum* L. как скороспелая культура с большим разнообразием форм, различающихся по хозяйственно ценным признакам, прежде всего по урожайности и биохимическому составу, представляет значительный интерес для адаптации к подобным технологиям. Однако, влияние условий выращивания, характерных для светокультуры, на проявление признаков продуктивности и качества у образцов кресс-салата, различающихся по эколого-географическому происхождению и ботанической принадлежности, практически не изучено. В настоящей работе мы впервые провели комплексную оценку изменчивости хозяйственно ценных признаков кресс-салата в условиях интенсивной светокультуры. Целью нашей работы было фенологическое, морфологическое, биохимическое изучение 72 образцов *L. sativum* трех разновидностей – кресс-салата цельнолистного (var. *latifolium*), посевого (var. *sativum*) и кудрявого (var. *crispum*) из мировой коллекции ВИР в условиях интенсивной светокультуры и выявление источников ценных признаков. Морфометрическое описание (высота и диаметр розетки, форма и размеры листа), определение весовых (масса) показателей роста растений, товарной продуктивности, содержания сухого вещества, аскорбиновой кислоты, пигментного комплекса (хлорофиллов, каротиноидов и антоцианов) (биохимический анализ) проводили в фазу технической спелости в 3-кратной повторности. В изученной выборке наибольшую изменчивость выявили по содержанию антоцианов ($C_v = 42,5\%$), средней массе растения ($C_v = 40,3\%$), урожайности товарной части продукции ($C_v = 38,3\%$). Остальные признаки характеризовались средней степенью изменчивости. Отмечены особенности позднеспелых образцов: позднее стеблевание, большая масса растения (в среднем 3,6 г) и высокое содержание сухого вещества (в среднем 9,0%), тогда как скороспелые и ультраскороспелые формы накапливают большее количество аскорбиновой кислоты (в среднем $32,8 \pm 5,7$ мг/100 г) и позволяют получать большее число урожаев за год. В среднем наиболее урожайными оказались позднеспелые образцы var. *latifolium* из Ирана (к-91) и Азербайджана (к-112, к-125, к-131), образец var. *sativum* из Ирана (к-92) и образец var. *crispum* из Дании (к-185). Выявлены статистически значимые различия между ботаническими разновидностями по содержанию пигментов. Образцы var. *latifolium* в целом характеризовались большим содержанием суммы хлорофиллов ($124,2 \pm 14,0$ мг/100 г), каротиноидов ($37,3 \pm 4,4$ мг/100 г), каротинов ($6,1 \pm 0,6$ мг/100 г) и β -каротина ($5,0 \pm 0,6$ мг/100 г). Изменчивость по содержанию каротинов была наибольшая в группе образцов var. *sativum* ($C_v = 24,7\%$), по содержанию антоцианов – в группе var. *crispum* ($C_v = 44,7\%$). В результате исследований нами выявлены образцы кресс-салата, которые выделяются по скорости развития, устойчивости к стеблеванию и по формируемой урожайности при выращивании в условиях интенсивной светокультуры, а также потенциальные источники хозяйственно ценных признаков для дальнейшей селекции форм кресс-салата, наиболее адаптированным к этой технологии.

Ключевые слова: *Lepidium sativum* L., кресс-салат, интенсивная светокультура, урожайность, аскорбиновая кислота, хлорофиллы, каротиноиды, изменчивость.

Листовые овощные культуры – наиболее доступный источник биологически активных веществ, в том числе витаминов и антиоксидантов, необходимых для сохранения здоровья человека. Однако в Российской Федерации обеспеченность населения такой продукцией составляет всего 30-34% от рекомендованной нормы (20,4 кг в год на человека) (1, 2). Эти растения

* Исследования выполнены в рамках ГЗ ВИР: номер темы FGEM-2022-0003 «Мировые ресурсы овощных и бахчевых культур коллекции ВИР: эффективные пути раскрытия эколого-генетических закономерностей формирования разнообразия и использования селекционного потенциала».

благодаря короткому периоду вегетации и компактному габитусу, позволяющему размещать их на многоярусных светоустановках, представляются одними из самых перспективных для выращивания в контролируемых условиях интенсивной светокультуры — в фитотехкомплексах (3, 4), на сити-фермах (5), вертикальных фермах (6-8).

В интенсивной светокультуре в световой, корнеобитаемой и воздушной среде можно создать и поддерживать оптимальные условия для роста, развития растений и реализации их максимальной продуктивности (9, 10). В Агрофизическом НИИ (АФИ, г. Санкт-Петербург) предложена методология многомерной оптимизации параметров интенсивной светокультуры для выращивания образцов из коллекций генетических ресурсов. Кроме того, в АФИ создаются высокопродуктивные формы с комплексом хозяйственно ценных признаков, максимально реализуемых в полностью регулируемой интенсивной светокультуре. Разработаны масштабируемые фитотехкомплексы для круглогодичного получения высоких урожаев качественной растительной продукции в непосредственной близости от потребителя (11-15). В контролируемых условиях точность идентификации ценных генотипов и скорость получения линий и сортов для сити-ферм и фабрик растений существенно повышается (16-19).

В последнее время во всем мире растет интерес к функциональному питанию (20). Растения семейства *Brassicaceae* Burnett. служат ценным источником биологически активных веществ — фенольных соединений, растительных пигментов, глюкозинолатов, терпенов, фитоалексинов, алкалоидов (21). При этом многие капустные культуры характеризуются коротким вегетационным периодом, интенсивным ростом и высокой урожайностью при компактных размерах, что позволяет с успехом выращивать их в ярусной светокультуре.

Кресс-салат (*Lepidium sativum* L.) — однолетнее травянистое растение семейства *Brassicaceae*, известное в основном как листовая и пряная культура (22). В пищу используют свежие розеточные листья и молодые побеги, обладающие приятным горчичным вкусом. Точное место происхождения кресс-салата не известно, предполагается, что он произошел из Северо-Восточной Африки (Эфиопия, Эритрея, Египет), где выращивался более 2000 лет назад как масличное растение, и Юго-Западной Азии (Иран) (23). Постепенно культура распространилась в страны Средней и Передней Азии, Закавказья и Средиземноморья, где сформировался вторичный очаг происхождения овощных форм (24, 25).

Род *Lepidium* L. насчитывает более 175 видов (26). *L. sativum* — полиморфный вид, и попытки его внутривидовой ботанической классификации предпринимались неоднократно. N. Sabaghnia с соавт. (27) разделяют вид *L. sativum* на три ботанические разновидности: обыкновенный — var. *vulgare* Alef., кудрявый — var. *crispum* (Medik.) DC. и широколистный — var. *latifolium* DC. в зависимости от морфологии листа, стебля и корня. В России принята классификация, согласно которой вид *L. sativum* имеет пять основных разновидностей: цельнолистный — var. *latifolium* DC.), посевной — var. *sativum* Alef., тонкорассеченный — var. *nanum* Schtschenk., кудрявый — var. *crispum* (Medik.) DC. и прижатый — var. *adpressum* Schtschenk. (28). Генетическое разнообразие кресс-салата мало связано с эколого-географическим происхождением — по количественным признакам имеется значительная изменчивость, степень которой не зависит от места происхождения образца (27, 29). Свежие листья кресс-салата богаты витамином С (47-74 мг/100 г сырой массы) (30-32). Также они содержат витамины группы В, РР, А, Е, D, К, макро- и микроэлементы Р, К, Са, Mg, Na, Fe, I (24, 33-35), каротин

(36). Некоторые сорта кресс-салата характеризуются повышенным содержанием макроэлементов P, K, Ca, Na и Mg в надземной части по сравнению с образцами салата-латука, шпината, петрушки и капусты (31). Благодаря ценному биохимическому составу кресс-салат — не только листовая овощная культура, широко употребляемая в пищу, но и лекарственное растение (37-39). Кресс-салат используют в медицине для лечения астмы, головной боли, опухолей матки, рака молочной железы (40), желтухи, проблем с печенью, селезенкой и желудочно-кишечных расстройств (41, 42). Показано, что растение обладает жаропонижающими, обезболивающими, коагулянтными (43), гипотензивными (44), мочегонными (45), противоастматическими (46), гипогликемическими, антиоксидантными и противовоспалительными (47) свойствами.

Перспективность интенсивной светокультуры кресс-салата также связана с его скороспелостью, что позволяет получать регулярные урожаи — по данным оригинальных исследований в Агрофизическом институте (г. Санкт-Петербург), до 24 вегетаций в год (персональные сообщения). Селекция кресс-салата ориентирована на создание высокоурожайных сортов с крупными, дважды перисто-рассеченными кудрявыми листьями с высоким содержанием биологически активных веществ (БАВ) и хорошими вкусовыми качествами.

В настоящее время мировая коллекция Российской Федерации, хранящаяся в ВИР (Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова, г. Санкт-Петербург) включает 323 образца кресс-салата. Географическое разнообразие коллекции охватывает Европу, Азию, Кавказ и Закавказье, Африку, Австралию и Северную Америку — всего 46 стран. В коллекции представлены все ботанические разновидности кресс-салата.

В последние годы проводятся исследования по поиску и подбору образцов различных сельскохозяйственных растений для светокультуры, цель которых — повышение эффективности и рентабельности производства, а также расширение ассортимента растительной продукции. Кресс-салат *Lepidium sativum* L. как скороспелая культура с большим разнообразием форм, различающихся по хозяйственно ценным признакам, прежде всего по урожайности и биохимическому составу, представляет значительный интерес для адаптации к подобным технологиям. Однако влияние условий выращивания, характерных для светокультуры, на проявление признаков продуктивности и качества у образцов кресс-салата, различающихся по эколого-географическому происхождению и ботанической принадлежности, практически не изучено.

В настоящей работе мы провели комплексную оценку хозяйственно ценных признаков кресс-салата из мировой коллекции ВИР и впервые определили биохимический состав и пределы изменчивости пигментного состава у растений кресс-салата в интенсивной светокультуре.

Цель настоящего исследования — оценить изменчивость фенотипических признаков в репрезентативной выборке образцов кресс-салата, включая морфометрические характеристики, урожайность и биохимический состав, в условиях интенсивной светокультуры и выделить перспективные формы для использования в овощеводстве и селекции.

Методика. Выборка включала 72 образца, которые различаются по эколого-географическому происхождению и ботанической принадлежности (получены из коллекции ВИР), в том числе 27 образцов цельнолистного (var. *latifolium*), 35 образцов посевного (рассеченнолистного) (var. *sativum*) и 10 образцов кудрявого (var. *crispum*) кресс-салата.

Исследования проводили в оригинальной вегетационной светоустановке АФИ (48), оборудованной лампами ДНаЗ-400 (ООО «Рефлекс», Россия). Облученность в области ФАР — 75-80 Вт/м², продолжительность светового периода — 12 ч, температуру день/ночь — 22±2/20±2 °С. В качестве корнеобитаемой среды использовали торфяной питательный субстрат Агробалт-С (ООО «Пиндструп», Россия), толщина слоя 3 см. Полив осуществляли водой, подкормку — 0,5 н. раствором Кнопа 3 раза в неделю. Влажность почвы поддерживали на уровне 60-70 % ПВ, воздуха — 60-65 %. Повторность опыта 3-кратная, по 15 учетных растений в образце, схема посева 5×5 см.

Фенологические наблюдения (учет дат появления единичных и массовых всходов и начала стеблевания) и морфологическое описание образцов кресс-салата проводили по методике ВИР (49). У растений измеряли высоту и диаметр розетки, длину и ширину листа, длину черешка, определяли массу одного растения, число листьев (количественные признаки) и тип листа (качественные признаки) у образцов кресс-салата, рассчитывали урожайность. Описание растений и биохимический анализ проводили в стадии технической спелости (на 15-е, 17-е и 22-е сут от появления всходов).

Подготовку и биохимический анализ образцов проводили по методике А.И. Ермакова (50): содержание сухого вещества определяли гравиметрически, аскорбиновой кислоты — прямым извлечением из растений 1 % соляной кислотой с последующим титрованием с помощью 2,6-дихлориндофинола (реактив Тильманса). Каротиноиды и хлорофиллы экстрагировали 100 % ацетоном, их концентрацию измеряли по поглощению (OD) при $\lambda = 645$ нм (хлорофилл а), $\lambda = 662$ нм (хлорофилл b), $\lambda = 440$ нм (каротиноиды) $\lambda = 454$ (β-каротин). Антоцианы экстрагировали 1 % соляной кислотой с последующим измерением OD при $\lambda = 510$ нм с пересчетом на цианидин-3,5-дигликозид ($\lambda = 453$ нм). Для внесения поправки на содержание зеленых пигментов одновременно определяли оптическую плотность полученных экстрактов при $\lambda = 657$ нм. Все измерения OD проводили на спектрофотометр Ultrospec II («LKB Vertriebs GmbH», Австрия). Все значения приведены в пересчете на сырое вещество.

Статистический анализ данных выполняли с использованием программного обеспечения STATISTICA v.12.0 («StatSoft, Inc.», США). Для всех значений рассчитывали параметры описательной статистики (среднее M , медиана Me , стандартное отклонение SD , диапазон изменчивости $min-max$). Тестирование данных на нормальность распределения выполняли с помощью критерия Шапиро-Уилка. Средние значения сравнивали с помощью дисперсионного анализа (ANOVA). Для выявления выделившихся образцов использовали HSP_{05} и критерий достоверной значимой разницы Тьюки (HSD , honestly significant difference Tukey) (51, 52).

Результаты. Морфологические и фенологические наблюдения, хозяйственная ценность. Изменчивость признаков характеризует норму реакции вида на воздействия факторов среды, его способности к адаптации (53). Оценка фенотипической изменчивости хозяйственно ценных признаков в тех или иных внешних условиях (54), информация о которой позволяет вести эффективный отбор по комплексу признаков (55), необходима для понимания способности культурного вида наиболее полно реализовать адаптивный потенциал и формировать высокий урожай. Мы определили пределы изменчивости фенотипических признаков у растений кресс-салата в условиях светокультуры. Наибольшей изменчивостью характеризовались средняя масса растения и урожайность (C_v соответственно

40,3 и 38,3 %) (табл. 1), изменчивость остальных параметров была средней по величине.

1. Внутривидовая изменчивость кресс-салата *Lepidium sativum* L. из коллекции ВИР по фенотипическим признакам ($N = 3, n = 72$, биополигон ФГБНУ АФИ, г. Санкт-Петербург, 2022 год)

Показатель	<i>M</i>	<i>Me</i>	min	max	$\pm SD$	<i>Cv</i> , %
Вегетационный период, сут	25,0	27,0	15,0	27,0	3,9	15,5
Высота розетки, см	8,0	7,8	5,5	11,8	1,3	15,7
Диаметр розетки, см	15,2	15,3	8,8	21,2	2,4	15,7
Длина листа, см	5,8	5,6	3,4	8,9	1,1	19,2
Ширина листа, см	3,3	3,3	2,1	5,2	0,6	17,9
Масса растения, г	2,8	2,4	1,1	6,6	1,1	40,3
Урожайность, кг/м ²	1,1	1,0	0,5	2,5	0,4	38,3

Для светокультуры наиболее важные хозяйственные признаки — продолжительность вегетационного периода, масса растения и устойчивость к раннему стеблеванию, чем во многом определяются урожайность и товарные качества растительной продукции. В условиях светокультуры 76 % изученных образцов были устойчивы к раннему стеблеванию, 24 % перешли к стеблеванию на 15-19-е сут.

Скороспелые и ультраскороспелые формы относились преимущественно к var. *crispum* и var. *sativum*, позднеспелые — к var. *latifolium*. Позднеспелые образцы характеризуются поздним или замедленным стеблением и ценны высокой урожайностью, но при этом дают 13-14 урожаев в год. Скороспелые формы позволяют чаще получать свежий урожай, а ультраскороспелые формы с периодом вегетации 15 сут — до 24 урожаев в год в условиях светокультуры. Суммарная урожайность за год в расчете на 1 м² у скороспелых и позднеспелых форм кресс-салата мало различалась и в среднем составляла соответственно 16,3±4,5 и 16,1±6,2 кг/м², у образца Местный (к-112, Азербайджан) урожайность составила 33,3 кг/м². О сходных результатах, подтверждающих широкую внутривидовую изменчивость кресс-салата, сообщали другие исследователи (27, 29, 56).

Для выявления доли изменчивости фенологических и морфологических признаков, обусловленной различными факторами, мы провели однофакторный дисперсионный анализ (табл. 2). Установлено, что основной вклад в вариабельность вносил генотип (от 70,0 до 89,4 %), в значительно меньшей степени — ботаническая принадлежность образцов (от 19 до 39 %) (см. табл. 2).

2. Вклад генотипа (Г) и разновидности (Р) в общую дисперсию фенотипических признаков кресс-салата *Lepidium sativum* L. из коллекции ВИР ($p \leq 0,05$, однофакторный дисперсионный анализ) ($N = 3, n = 72$, биополигон ФГБНУ АФИ, г. Санкт-Петербург, 2022 год)

Показатель	SS		df		MS		F		Вклад фактора, %	
	Г	Р	Г	Р	Г	Р	Г	Р	Г	Р
Вегетационный период, сут	3239,83	681,48	71	2	45,63	340,74	—	28,37	—	21,0
Высота розетки, см	237,84	94,11	71	2	3,35	47,05	4,75	40,86	70,1	27,7
Диаметр, см	1007,80	367,56	71	2	14,19	183,78	9,19	45,38	81,9	29,9
Длина листа, см	210,97	51,07	71	2	2,97	25,54	8,06	25,55	79,9	19,3
Ширина листа, см	59,97	22,24	71	2	0,84	11,12	7,70	44,27	79,2	29,4
Масса растения, г	237,54	103,78	71	2	3,34	51,89	17,02	68,20	89,4	39,0
Урожайность, кг/м ²	38,00	16,60	71	2	0,53	8,30	17,02	68,20	89,4	39,0

Примечание. Прочерки означают, что дисперсия достоверно не различается

Биохимический анализ. Содержание сухого вещества и аскорбиновой кислоты. Питательная ценность и полезный выход овощной про-

дукции определяются содержанием сухих веществ. В нашем исследовании диапазон изменчивости между изученными коллекционными образцами по этому показателю составил от 6,3 до 12,7 % ($Cv = 14,4\%$).

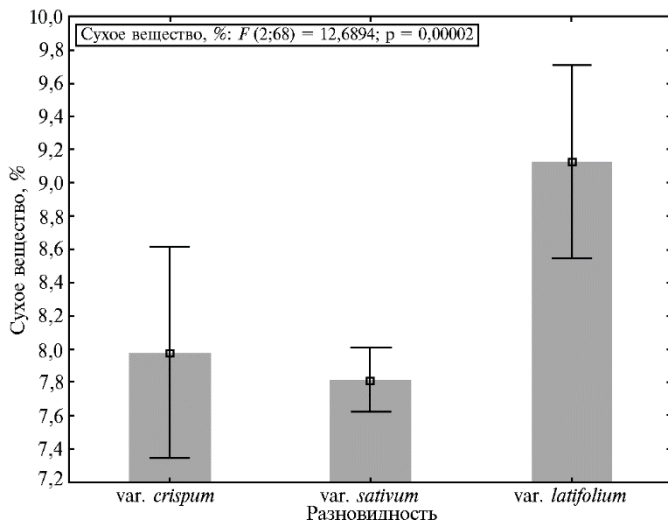


Рис. 1. Изменчивость содержания сухого вещества у кресс-салата *Lepidium sativum* L. из коллекции ВИР в зависимости от разновидности ($n = 72$, биополигон ФГБНУ АФИ, г. Санкт-Петербург, 2022 год). На рисунке представлены средние значения и доверительные интервалы, $M \pm (t_{0,05} \times SD)$.

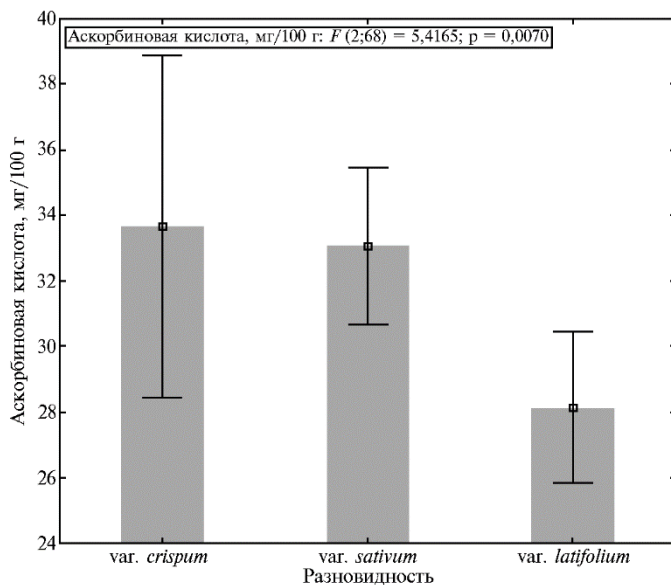


Рис. 2. Изменчивость содержания аскорбиновой кислоты у кресс-салата *Lepidium sativum* L. из коллекции ВИР в зависимости от разновидности ($n = 72$, биополигон ФГБНУ АФИ, г. Санкт-Петербург, 2022 год). На рисунке представлены средние значения и доверительные интервалы, $M \pm (t_{0,05} \times SD)$.

Скороспелые образцы var. *crispum* характеризовались содержанием сухого вещества в пределах 7,2-9,7 %; образцы var. *sativum* — 6,3-8,8 %, при этом у ультраскороспелых образцов этой разновидности содержание сухого вещества было меньше (в среднем 7,6 %) по сравнению со скороспелыми и позднеспелыми формами (в среднем 7,9 %). Образцы var. *latifolium* накапливали сухое вещество в пределах 6,7-12,7 %, у скороспелых форм этой разновидности показатель в среднем оставил 8,7 %, у позднеспелых — 9,4 %

(рис. 1). Высоким содержанием сухого вещества (более 10 %) характеризовались позднеспелые образцы var. *latifolium* из Азербайджана (к-12, к-15, к-132, к-153) и Грузии (к-100, к-106, к-248). Эти данные согласуются с результатами, полученными другими исследователями для различных образцов кресс-салата в фазу хозяйственной спелости — 8,3-13,6 % (24), 11,5-17,0 % (33), 4,1-13,6 % (28).

Содержание в растениях аскорбиновой кислоты — одного из важнейших биологически активных веществ находилось в пределах от 20,0 до 44,0 мг/100 г ($C_v = 20,6\%$). Образцы var. *crispum* и var. *sativum* накапливали в среднем соответственно $33,7 \pm 5,0$ и $33,1 \pm 6,2$ мг/100 г аскорбиновой кислоты, при этом скороспелые и ультраскороспелые формы указанных разновидностей характеризовались большим содержанием витамина С. Образцы var. *latifolium* накапливали в среднем $28,1 \pm 5,8$ мг/100 г аскорбиновой кислоты, значимых различий между скороспелыми и позднеспелыми формами этой разновидности мы не выявили (рис. 2). Высоким содержанием (более 40 мг/100 г) характеризовались ультраскороспелые образцы var. *sativum* (к-42, Россия; к-124, Непал; к-224, Германия) и var. *crispum* (к-245, Зимбабве) и позднеспелый местный образец из Грузии (к-44).

Следует отметить, что биохимический состав кресс-салата в интенсивной светокультуре ранее не изучали. В работах ряда авторов оценены биохимические показатели одного-двух сортов при летнем выращивании в открытом грунте и в условиях гидропоники (30, 31). В открытом грунте содержание аскорбиновой кислоты у двух сортов составляло 54 и 74 мг/100 г.

Содержание пигментов. Количество пигментов и их соотношение существенно влияют на метаболизм растений и могут различаться в зависимости от вида или сорта растения, а также от фазы его онтогенеза (57).

3. Внутривидовая изменчивость пигментного состава (мг/100 г) у образцов кресс-салата *Lepidium sativum* L. из коллекции ВИР ($N = 3, n = 72$, биополигон ФГБНУ АФИ, г. Санкт-Петербург, 2022 год)

Показатель	<i>M</i>	<i>Me</i>	min	max	$\pm SD$	$C_v, \%$
Антоцианы	13,6	11,8	3,9	27,3	5,8	42,5
Хлорофилл а	85,2	83,4	63,7	118,7	13,4	15,8
Хлорофилл б	24,2	23,9	16,0	34,8	4,3	17,8
Сумма хлорофиллов	109,4	106,4	79,7	153,4	17,6	16,1
Каротиноиды	33,2	32,8	24,9	45,7	5,2	15,7
Каротины	5,7	5,8	2,0	8,1	1,1	19,1
β -Каротин	4,4	4,4	3,3	6,1	0,7	15,5

В нашем исследовании впервые определены пределы изменчивости пигментного состава у образцов кресс-салата в условиях светокультуры (табл. 3). Наибольшую вариабельность отмечали по содержанию антоцианов ($C_v = 42,5\%$). Большинство образцов кресс-салата не имели антоциановой окраски, но встречались формы с такой окраской на стебле — Мереживо (вр.334, Украина), Cressona le'noir (к-85, Франция), местные образцы из Пакистана (к118), Армении (к-11, к-51) и Белоруссии (к-99), которые считаются перспективным материалом для селекции. По накоплению остальных пигментов изменчивость была средней (см. табл. 3).

Мы выявили статистически значимые различия между образцами и разновидностями по содержанию хлорофиллов и каротиноидов, включая каротин и β -каротин (рис. 3). По накоплению каротинов наибольшую вариабельность внутри разновидности ($C_v = 24,7\%$) демонстрировали формы var. *sativum*, по содержанию антоцианов ($C_v = 44,7\%$) — var. *crispum*. Образцы var. *latifolium* в целом характеризовались большим содержанием суммы хлорофиллов, каротиноидов, каротинов и β -каротина.

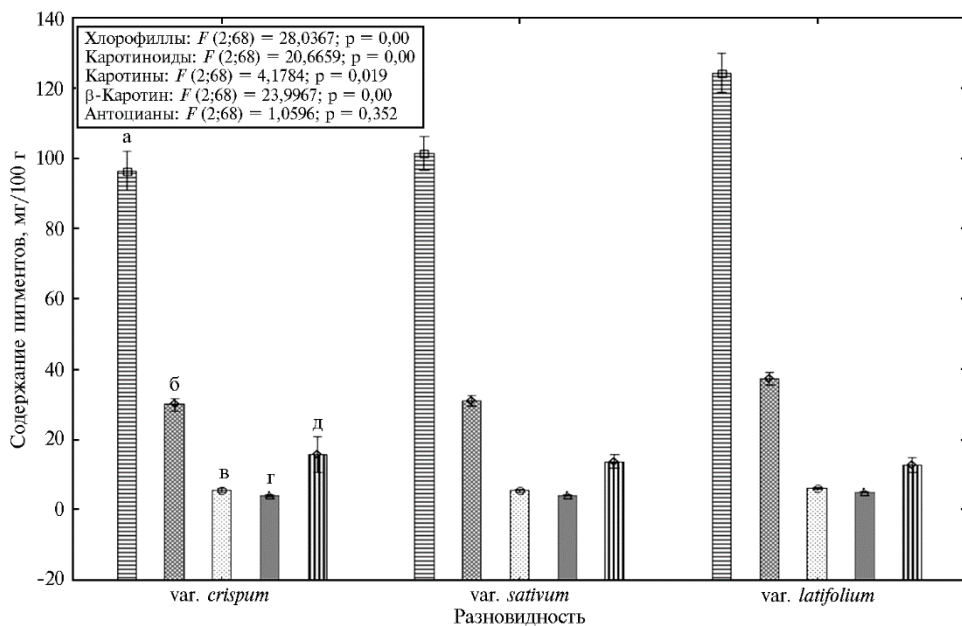


Рис. 3. Изменчивость пигментного состава у кресс-салата *Lepidium sativum* L. из коллекции ВИР в зависимости от разновидности: а — хлорофиллы, б — каротиноиды, в — каротины, г — β-каротин, д — антоцианы ($n = 72$, биополигон ФГБНУ АФИ, г. Санкт-Петербург, 2022 год). На рисунке представлены средние значения и доверительные интервалы, $M \pm (t_{0,05} \times SD)$.

Ранее мы провели сравнительный анализ накопления пигментов в растениях 35 образцов кресс-салата в зависимости от разновидности и условий выращивания — в открытом и защищенном грунте и в светокультуре (58). Наибольшее содержание хлорофиллов, антоцианов и каротинов отмечали в условиях светокультуры, тогда как накопление β-каротина снижалось. Общее содержание каротиноидов увеличивалось при выращивании в открытом грунте (58). В том же исследовании выявлено, что образцы кресс-салата var. *crispum* характеризовались большим накоплением антоцианов, образцы var. *sativum* — большим накоплением суммы хлорофиллов и каротиноидов, образцы var. *latifolium* — каротинов и β-каротина в среднем по всем условиям выращивания (58). В представленной работе по изучению 72 образцов кресс-салата в условиях светокультуры подтвердились результаты по высокому накоплению каротинов ($6,1 \pm 0,6$ мг/100 г) и β-каротина ($5,0 \pm 0,6$ мг/100 г) у образцов var. *latifolium*.

Источники ценных признаков у кресс-салата. На основе фенотипического, морфологического и биохимического анализа 72 образцов кресс-салата из коллекции ВИР в условиях интенсивной светокультуры нами выделен перспективный материал, который может быть использован в селекции. Высокопродуктивными и устойчивыми к раннему стеблеванию были местные образцы var. *latifolium* из Ирана (к-91) и Азербайджана (к-112, к-125, к-131), образец var. *sativum* из Ирана (к-92) и скороспелый образец var. *crispum* Almindelig (к-185, Дания). По содержанию аскорбиновой кислоты выделились два образца — местный образец var. *latifolium* из Грузии (к-44) и образец var. *sativum* из Германии (к-224). Генетическими источниками высокого содержания антоцианов могут считаться образцы var. *crispum* Cressona le noir (к-85, Франция), Мереживо (вр. к-334, Украина) и Curled (к-245, Зимбабве), хлорофиллов и β-каротина — образцы var. *latifolium* из Азербайджана (к-15 и к-125) и образец var. *sativum* из Армении (к-167) (табл. 4). Выделившиеся по признакам скороспелости, продуктивности и содержанию аскорбиновой кислоты и пигментов образцы кресс-

салата представляют наибольший интерес для выращивания в условиях интенсивной светокультуры, а также для использования в качестве источников хозяйственно-ценных признаков в селекционной работе.

4. Образцы кресс-салата *Lepidium sativum* L. из коллекции ВИР, выделившиеся по комплексу хозяйственно ценных признаков в изученной выборке ($n = 72$, $M \pm SD$, биополигон ФГБНУ АФИ, г. Санкт-Петербург, 2022 год)

Образец	Устойчивость к раннему стеблеванию	Годовой урожай с 1 м ² , кг	Содержание, мг/100 г			
			аскорбиновая кислота	антоцианы	хлорофиллы	β-каротин
Разновидность var. <i>latifolium</i>						
к-91, Иран	+	28,77±3,86 ^b	22,0±2,6 ^a	6,9±0,8 ^a	110,4±12,7 ^a	4,4±0,5 ^a
к-131, Азербайджан	+	27,88±1,50 ^b	22,0±3,1 ^a	10,0±1,4 ^b	122,3±16,7 ^b	4,8±0,6 ^a
к-112, Азербайджан	+	33,22±3,14 ^c	35,0±3,9 ^b	11,0±1,4 ^b	105,4±14,6 ^a	4,2±0,6 ^a
к-125, Азербайджан	+	23,61±3,27 ^a	32,0±4,1 ^b	9,4±1,2 ^b	153,4±19,7 ^d	6,1±0,6 ^b
к-15, Азербайджан	+	20,73±1,65 ^a	22,0±2,1 ^a	20,8±2,5 ^c	144,3±19,1 ^c	5,8±0,9 ^b
к-44, Грузия	+	20,17±3,20 ^a	44,0±5,7 ^c	10,1±1,3 ^b	133,6±15,9 ^b	5,5±0,6 ^b
Среднее по разновидности		17,34±5,04	28,2±5,9	12,7±5,2	124,2±14,0	5,0±0,6
Разновидность var. <i>sativum</i>						
к-92, Иран	+	24,82±3,06 ^d	28,0±3,4 ^b	9,1±1,2 ^a	112,2±12,2 ^c	4,5±0,6 ^b
к-167, Армения	+	20,03±2,76 ^c	22,0±3,7 ^a	10,6±1,3 ^a	143,9±18,6 ^d	5,8±0,7 ^c
к-224, Германия	–	20,80±2,66 ^c	44,0±4,6 ^c	9,0±0,1 ^a	79,7±10,8 ^a	3,3±0,5 ^a
к-42, Узколистный 3, Россия	+	8,96±0,73 ^a	42,0±4,8 ^c	14,3±1,8 ^b	96,0±11,5 ^b	3,9±0,5 ^a
к-124, Непал	+	12,27±1,83 ^b	42,0±5,9 ^c	19,9±2,6 ^c	83,5±10,6 ^a	3,4±0,4 ^a
Среднее по разновидности		15,23±4,39	33,1±6,2	13,7±8,8	101,3±13,8	4,1±0,6
Разновидность var. <i>crispum</i>						
к-185, Almindelig, Дания	–	22,90±3,04 ^c	36,0±4,0 ^b	12,8±1,5 ^a	87,6±11,4 ^a	3,6±0,4 ^a
вр. 334, Мереживо, Украина	+	9,41±1,09 ^a	28,0±3,6 ^a	27,3±3,4 ^c	90,3±11,8 ^a	3,8±0,5 ^a
к-85, Cressona le'noir, Франция	+	11,09±1,20 ^a	30,0±3,8 ^a	26,8±3,8 ^c	111,8±15,9 ^c	4,5±0,6 ^b
к-245, Curled, Зимбабве	–	16,80±2,43 ^b	42,0±5,0 ^c	22,2±2,8 ^b	103,4±12,4 ^b	4,3±0,5 ^b
Среднее по разновидности		15,11±3,89	33,7±5,0	15,8±7,0	96,4±7,7	4,0±0,3 ^a
Среднее по коллекции НСРос		16,14±5,44	31,0±6,4	13,6±5,8	109,4±17,6	4,4±0,7
		3,16	2,3	2,0	6,0	0,2

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

Таким образом, в репрезентативной выборке из мировой коллекции кресс-салата трех разновидностей — var. *sativum*, var. *crispum* и var. *latifolium* разного эколого-географического происхождения мы оценили изменчивость морфологических, фенологических и биохимических признаков в условиях интенсивной светокультуры. Показано, что наиболее вариабельны средняя масса растения ($Cv = 40,3 \%$), урожайность ($Cv = 38,3 \%$), и содержанию антоцианов ($Cv = 42,5 \%$), остальные признаки характеризуются средней степенью изменчивости (Cv не более 20 %). Скороспелые и ультраскороспелые формы представлены var. *crispum* и var. *sativum*, позднеспелые — преимущественно образцами var. *latifolium*. Для позднеспелых образцов характерен поздний или замедленный переход к стеблеванию, большая масса растения (в среднем 3,6 г) и высокое содержание сухого вещества (в среднем 9,0 %). Скороспелые и ультраскороспелые формы накапливают большее количество аскорбиновой кислоты (в среднем 32,8±5,7 мг/100 г), при этом более короткий вегетационный период позволяет снимать большее число урожаев за год. В результате суммарная продуктивность с 1 м² за год у позднеспелых и скороспелых форм кресс-салата мало различается и составляет соответственно 16,1±6,2 и 16,3±4,5 кг/м². В изученной выборке наиболее урожайными оказались позднеспелые образцы var. *latifolium* из

Ирана (к-91) и Азербайджана (к-112, к-125, к-131), образец var. *sativum* из Ирана (к-92) и образец var. *crispum* из Дании (к-185). Найдены статистически достоверные различия между образцами и разновидностями по содержанию хлорофиллов и каротиноидов. Наиболее изменчивыми по содержанию каротинов были образцы var. *sativum* ($Cv = 24,7\%$), по содержанию антоцианов — представители var. *crispum* ($Cv = 44,7\%$). Образцы var. *latifolium* в целом характеризовались бóльшим суммарным содержанием хлорофиллов ($124,2 \pm 14,0$ мг/100 г), каротиноидов ($37,3 \pm 4,4$ мг/100 г), каротинов ($6,1 \pm 0,6$ мг/100 г) и β -каротина ($5,0 \pm 0,6$ мг/100 г). Выделены образцы кресс-салата разных разновидностей, представляющие наибольший интерес по скорости роста, устойчивости к стеблеванию и урожайности, формируемой в условиях интенсивной светокультуры, а также потенциальные источники хозяйственно ценных признаков для селекции форм кресс-салата, наиболее адаптированных к условиям интенсивной светокультуры.

¹ФГБНУ ФИЦ Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова, 190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 42-44, e-mail: nastya_n11@mail.ru, bezvestna88@gmail.com, alsol64@yandex.ru, sinad@inbox.ru, gaiane@inbox.ru, akme11@yandex.ru ✉;

²ФГБНУ Агрофизический научно-исследовательский институт, 195220 Россия, г. Санкт-Петербург, Гражданский просп., 14, e-mail: sinad@inbox.ru, gpanova@agrophys.ru

Поступила в редакцию
19 августа 2023 года

Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology], 2023, V. 58, № 5, pp. 889-901

MORPHOLOGICAL AND BIOCHEMICAL VARIABILITY OF VIR GARDEN CRESS (*Lepidium sativum* L.) COLLECTION UNDER INTENSIVE LIGHT CULTURE

A.B. Kurina¹, K.O. Zheleznova¹, A.E. Solovieva¹, N.G. Sinyavina², G.G. Panova²,
A.M. Artemyeva¹ ✉

¹Federal Research Center Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, 42-44, ul. Bol'shaya Morskaya, St. Petersburg, 190000 Russia, e-mail nastya_n11@mail.ru, bezvestna88@gmail.com, alsol64@yandex.ru, sinad@inbox.ru, gaiane@inbox.ru, akme11@yandex.ru (✉ corresponding author);

²Agrophysical Research Institute, 14, Grazhdanskii prosp., St. Petersburg, 195220 Russia, e-mail sinad@inbox.ru, gpano-va@agrophys.ru

ORCID:

Zheleznova K.O. orcid.org/0000-0003-4017-6900

Kurina A.B. orcid.org/0000-0002-3197-4751

Solovieva A.E. orcid.org/0000-0002-6201-4294

Sinyavina N.G. orcid.org/0000-0003-0378-7331

Panova G.G. orcid.org/0000-0002-1132-9915

Artemyeva A.M. orcid.org/0000-0002-6551-5203

The authors declare no conflict of interests

Acknowledgements:

The research was carried out within the framework of the VIR State Task, topic number FGEM-2022-0003 "World resources of vegetable and melon crops of the VIR collection: effective ways to reveal the ecological and genetic patterns of the formation of diversity and the use of breeding potential"

Final revision received August 09, 2022

doi: 10.15389/agrobiol.2023.5.889eng

Accepted September 11, 2023

Abstract

The technology of intensive light culture (city farms, vertical farms, plant factories) is actively developing which allows fresh vegetable products to be available throughout the year. The search for accessions of various crops that maximize their productive potential under these conditions is of great importance for improving the quality of plant products and breeding work. Among the early ripening crops, garden cress (*Lepidium sativum* L.) is of large interest, since it is characterized by a wide variability of forms that differ in economically valuable traits, primarily yield and biochemical composition. However, the influence of growing conditions characteristic of light culture on the manifestation of signs of productivity and quality in garden cress accessions that differ in ecological-geographical origin and botanical affiliation has been practically not studied. In this work, we for the first time carried out a comprehensive assessment of the variability of economically valuable traits of garden cress under conditions of intensive light culture. The purpose of our work was to study phenological, morphological,

biochemical and economic characteristics in 72 accessions of garden cress of three varieties, var. *latifolium* DC., var. *sativum* Alef. and var. *crispum* (Medik.) DC. under conditions of intense light culture, and to identify accessions with valuable traits. Morphological description (height and diameter of the rosette, shape and size of leaves) and biochemical analysis were carried out at the stage of technical ripeness. Biochemical analysis included the determination of the content of dry matter, ascorbic acid, anthocyanins, chlorophylls and carotenoids. The variability of morphological, phenological and biochemical characteristics of garden cress under intensive light culture was determined. It was noted that the greatest variability was observed in the average plant weight ($C_v = 40.3\%$), yield ($C_v = 38.3\%$) and anthocyanin content ($C_v = 42.5\%$), other parameters were characterized by a middle degree of variability. Late-ripening accessions are characterized by late or slow bolting, larger plant weight (mean 3.6 g) and high dry matter content (mean 9.0%), while early-ripening forms allow for more vegetations per year and accumulate more ascorbic acid (mean 32.8 ± 5.7 mg/100 g). On average, among the studied accessions, the late-ripening accessions of var. *latifolium* from Iran (k-91) and Azerbaijan (k-112, k-125, k-131), as well as the accession of var. *sativum* from Iran (k-92) and the accession of var. *crispum* from Denmark (k-185), turned out to be productive. Statistically significant differences were found between the accessions and varieties in terms of the content of chlorophylls and carotenoids. The greatest variability in the content of carotenes was in the accessions of var. *sativum* ($C_v = 24.7\%$), in the content of anthocyanins was in the accessions of var. *crispum* ($C_v = 44.7\%$). The accessions of var. *latifolium* were generally characterized by a high content of the total chlorophylls (124.2 ± 14.0 mg/100 g), carotenoids (37.3 ± 4.4 mg/100 g), carotenes (6.1 ± 0.6 mg/100 g), and β -carotene (5.0 ± 0.6 mg/100 g). We identified accessions of garden cress that are of the greatest interest in terms of development rate, resistance to bolting and formed yield when grown under intensive light culture, as well as potential sources of economically valuable traits for further breeding and obtaining forms of garden cress that are most adapted to conditions of intensive light culture.

Keywords: *Lepidium sativum* L., garden cress, intensive light culture, productivity, ascorbic acid, chlorophylls, carotenoids, variability.

REFERENCES

1. Soldatenko A.V., Pivovarov V.F., Kharchenko V.A., Ivanova M.I. *Ovoshchi Rossii*, 2019, 3: 7-14 (doi: 10.18619/2072-9146-2019-3-7-14) (in Russ.).
2. Ludilov V.A. Ivanova M.I. *Azbuka ovoshchevoda* [Vegetable grower's ABCs]. Moscow, 2004 (in Russ.).
3. Benke K., Tomkins B. Future food-production systems: vertical farming and controlled-environment agriculture. *Sustainability: Science, Practice and Policy*, 2017, 13(1): 13-26 (doi: 10.1080/15487733.2017.1394054).
4. Al-Kodmany, K. The vertical farm: A review of developments and implications for the vertical city. *Buildings*, 2018, 8(2): 24 (doi: 10.3390/buildings8020024).
5. Payen F. T., Evans D. L., Falagán N., Hardman C. A., Kourmpetli S., Liu L., et al. How much food can we grow in urban areas? Food production and crop yields of urban agriculture: A meta-analysis. *Earth's Future*, 2022, 10: e2022EF002748 (doi: 10.1029/2022EF002748).
6. *Plant factory: an indoor vertical farming system for efficient quality food production*. Kozai T., G. Niu, M. Takagaki (eds.). Academic Press, 2019.
7. Reddy R.V.S.K., Omprasad J., Janakiram T. Technological innovations in commercial high tech horticulture, vertical farming and landscaping. *Int. J. Innov. Hort.*, 2022, 11(1): 78-91 (doi: 10.5958/2582-2527.2022.00008.2).
8. Lubna F.A., Lewus D.C., Shelford T.J., Both A.-J. What you may not realize about vertical farming. *Horticulturae*, 2022, 8: 322 (doi: 10.3390/horticulturae8040322).
9. Wong C. E., Teo Z. W. N., Shen L., Yu H. Seeing the lights for leafy greens in indoor vertical farming. *Trends Food Sci. Technol.*, 2020, 106: 48-63 (doi: 10.1016/j.tifs.2020.09.031).
10. Kozai T. Towards sustainable plant factories with artificial lighting (PFALs) for achieving SDGs. *Int. J. Agric. & Biol. Eng. (IJABE)*, 2019, 12(5): 28-37 (doi: 10.25165/ijabe.20191205.5177).
11. Panova G.G., Udalova O.R., Kanash E.V., Galushko A.S., Kochetov A.A., Priyatkin N.S., Arkhipov M.V., Chernousov I.N. *Zhurnal tekhnicheskoy fiziki*, 2020, 90(10): 1633-1639 (doi: 10.21883/JTF.2020.10.49792.429-19) (in Russ.).
12. Egorova K. V., Sinyavina N. G., Artemyeva A. M., Kocherina N. V., Chesnokov Y. V. QTL Analysis of the Content of Some Bioactive Compounds in *Brassica rapa* L. Grown under Light Culture Conditions. *Horticulturae*, 2021, 7(12): 583 (doi: 10.3390/horticulturae7120583).
13. Artemyeva A.M., Sinyavina N.G., Panova G.G., Chesnokov Yu.V. Biological features of *Brassica rapa* L. vegetable leafy crops when growing in an intensive light culture. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya [Agricultural Biology]*, 2021, 56(1): 103-120 (doi: 10.15389/agrobiolog.2021.1.103eng).
14. Kochetov A.A., Mirskaya G.V., Sinyavina N.G., Egorova K.V. *Rossiyskaya sel'skokhozyaystvennaya nauka*, 2021, 6: 29-37 (doi: 10.31857/S2500262721060065) (in Russ.).

15. Kurina A.B., Artem'eva A.M., Sinyavina N.G., Kochetov A.A., Panova G.G. *Kartofel' i ovoshchi*, 2019, 4: 26-29 (doi: 10.25630/PAV.2019.68.78.004) (in Russ.).
16. Hayashi E., Kozai T. Phenotyping- and AI-Based Environmental Control and Breeding for PFAL. *Smart Plant Factory*, 2018, 405-411 (doi: 10.1007/978-981-13-1065-2_25).
17. Watson A., Ghosh S., Williams M. J., Cuddy W. S., Simmonds J., Rey M. D., Hickey L. T. Speed breeding is a powerful tool to accelerate crop research and breeding. *Nat. Plants*, 2018, 4: 23-29 (doi: 10.1038/s41477-017-0083-8).
18. Ghosh S., Watson A., Gonzalez-Navarro O. E., Ramirez-Gonzalez R. H., Yanes L., Hickey L.T. Speed breeding in growth chambers and glasshouses for crop breeding and model plant research. *Nat. Protoc.*, 2018, 13 (12): 2944-2963 (doi: 10.1038/s41596-018-0072-z).
19. Sinyavina N.G., Kochetov A.A., Egorova K.V., Kocherina N.V., Chesnokov Yu.V. *Genetika*, 2022, 58(6): 668-677 (doi: 10.31857/S0016675822060108) (in Russ.).
20. Fotev Yu.V., Artem'eva A.M., Zvereva O.A. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i selektsii*, 2021, 25(4): 442-447 (doi: 10.18699/VJ21.049) (in Russ.).
21. Ramirez D., Abellán-Victorio A., Beretta V., Camargo A., Moreno D.A. Functional ingredients from *Brassicaceae* species: overview and perspectives. *Int. J. Mol. Sci.*, 2020, 21(6): 1998 (doi: 10.3390/ijms21061998).
22. Aqafarini A., Lotfi M., Norouzi M., Karimzadeh G. Induction of tetraploidy in garden cress: morphological and cytological changes. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)*, 2019, 137(3): 627-635 (doi: 10.1007/s11240-019-01596-5).
23. Bedassa T., Eshete M. Genetic divergence analysis of garden cress (*Lepidium sativum* L.). *Int. J. Biodivers. Conserv.*, 2013, 5(11): 770-774 (doi: 10.5897/IJBC2013.0626).
24. Tsiunel' M. M. Kress-salat. *Gavrish*, 2006, 6: 8-9 (in Russ.).
25. Sharma A. A comprehensive review on pharmacological properties of garden cress (*Lepidium sativum*) seeds. *Res. in Pharm. Sci.*, 2020, 10: 13-18 (doi: 10.24092/CRPS.2020.100201).
26. Bansal D., Bhasin P., Yadav O., Punia A. Assessment of genetic diversity in *Lepidium sativum* (Chandrasur) a medicinal herb used in folkore remedies in India using RAPD. *Journal, Genetic Engineering & Biotechnology*, 2012, 10(1): 39-45 (doi: 10.1016/j.jgeb.2012.04.002).
27. Sabaghnia N., Ahadnezhad A., Janmohammadi M. Genetic variation in garden cress (*Lepidium sativum* L.) germplasm as assessed by some morphological traits. *Genet. Resour. Crop Evol.*, 2015, 62(5): 733-745 (doi: 10.1007/s10722-014-0192-4).
28. Girenko M.M., Korovina O.N., Dorofeev V.F. *Kul'turnaya flora SSSR. Tom 12. Listovye ovoshchnye rasteniya (sparzha, reven', shchavel', shpinat, portulak, kress-salat, ukrop, tsikoriy, salat)* [Cultivated flora of the USSR. Volume 12. Leafy vegetable plants (asparagus, rhubarb, sorrel, spinach, purslane, watercress, dill, chicory, lettuce)]. Leningrad, 1988 (in Russ.).
29. Bedassa T., Andargie M., Eshete M. Genetic variability and association among yield, yield related traits and oil content in Ethiopian garden cress (*Lepidium sativum* L.) genotypes. *J. Plant Breed. Crop Sci.*, 2013, 7(5): 141-149 (doi: 10.5897/JPBCS2013.0396).
30. Bepal'ko L.V., Molchanova A.V., Pinchuk E.V., Sirota S.M., Kozar' E.G. *Sel'skokhozyaystvennye nauki*, 2017, 7-1(33): 240-244 (in Russ.).
31. Sat I.G., Yildirim E., Turan M., Demirbas M. Antioxidant and nutritional characteristics of garden cress (*Lepidium sativum*). *Acta Sci. Polonorum-Hort. Cultus*, 2013, 12: 173-179.
32. Malar J., Chairman K., Singh A. R. J., Vanmathi J. S., Balasubramanian A., Vasanthi K. Antioxidative activity of different parts of the plant *Lepidium sativum* Linn. *Biotechnology Reports*, 2014, 3: 95-98 (doi: 10.1016/j.btre.2014.05.006).
33. Chizhikova O.G. *Izvestiya DVFU. Ekonomika i upravlenie*, 2017, 1: 113-118 (in Russ.).
34. Ajdanian L., Mehdi Babaei, Hossein Aroiee. Investigation of photosynthetic effects, carbohydrate and starch content in cress (*Lepidium sativum*) under the influence of blue and red spectrum. *Heliyon*, 2020, 6: e05628 (doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e05628).
35. Hassan L.G., Hassan S.W., Hashim T., Umar K.J., Sani N.A. Determination of nutritive values of garden cress (*Lepidium Sativum* L.) leaves. *Bayero Journal of Pure and Applied Sciences*, 2012, 4: 18-23 (doi: 10.4314/bajopas.v4i2.4).
36. Pinchuk E.V., Bepal'ko L.V., Kozar' E.G., Balashova I.T., Sirota S.M., Shevchenko T.E. *Ovoshchi Rossii*, 2019, 3: 45-53 (doi: 10.18619/2072-9146-2019-3-45-53) (in Russ.).
37. Ajdanian L., Babaei M., Aroiee H. The growth and development of cress (*Lepidium sativum*) affected by blue and red light. *Heliyon*, 2019, 5(7): e02109 (doi: 10.1016/j.heliyon.2019.e02109).
38. Sharma S., Agarwal N. Nourishing and healing prowess of garden cress (*Lepidium sativum* Linn.) — a review. *Indian Journal of Natural Products and Resources*, 2011, 2: 292-297.
39. Buso P., Manfredini S., Reza Ahmadi-Ashtiani H., Sciabica S., Buzzzi R., Vertuani S., Baldiserotto A. Iranian medicinal plants: from ethnomedicine to actual studies. *Medicina*, 2020, 56(3): 97 (doi: 10.3390/medicina56030097).
40. Jahani S., Heidari Z., Azami M., Moudi B. Comparison of anticancer effects of hydroalcoholic extracts of *Camellia sinensis* and *Lepidium sativum* L on hela cell line. *International Journal of Cancer Management*, 2020, 13(11): e98913 (doi: 10.5812/ijcm.98913).
41. Rajab W.J., Ali L.H. Efficacy of *Lepidium sativum* seeds against carbon tetra chloride induced hepatotoxicity in rats. *Biochemical and Cellular Archives*, 2020, 20(1): 1141-1146.

42. Painuli S., Quispe C., Herrera-Bravo J., Semwal P., Martorell M., Almarhoon Z.M., Seilkhan A., Ydyrys A., Rad J.S., Alshehri M.M., Da tan S.D., Taheri Y., Calina D., Cho W.C. Nutraceutical profiling, bioactive composition, and biological applications of *Lepidium sativum* L. *Oxid. Med. Cell Longev.*, 2022, 2022: 2910411 (doi: 10.1155/2022/2910411.a).
43. Al-Yahya M., Mossa J., Ageel A., Rafatullah S. Pharmacological and safety evaluation studies on *Lepidium sativum* L., Seeds. *Phytomedicine*, 1994, 1(2): 155-159 (doi: 10.1016/S0944-7113(11)80035-8).
44. Yadav Y.C., Srivastav D., Seth A., Saini V., Balaraman R., Ghelani T.K. In vivo antioxidant potential of *Lepidium sativum* L. seeds in albino rats using cisplatin induced nephrotoxicity. *International Journal of Phytomedicine*, 2010, 2(3): 292-298.
45. Patel U., Kulkarni M., Undale V., Bhosale A. Evaluation of diuretic activity of aqueous and methanol extracts of *Lepidium sativum* garden cress (*Cruciferae*) in rats. *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*, 2009, 8(3): 215-219 (doi: 10.4314/tjpr.v8i3.44536).
46. Paranjape A.N., Mehta A.A. A study on clinical efficacy of *Lepidium sativum* seeds in treatment of bronchial asthma. *Iranian Journal of Pharmacology & Therapeutic*, 2006, 5(1): 55-59.
47. Raval N.D., Ravishankar B., Ashok B. Anti-inflammatory effect of Chandrashura (*Lepidium sativum* Linn.) an experimental study. *AYU (An International Quarterly Journal of Research in Ayurveda)*, 2013, 34(3): 302 (doi: 10.4103/0974-8520.123132).
48. Panova G.G., Chernousov I.N., Udalova O.R., Aleksandrov A.V., Karmanov I.V., Anikina L.M., Sudakov V.L., Yakushev V.P. *Doklady Rossiyskoy akademii sel'skokhozyaystvennykh nauk*, 2015, 4: 17-21 (in Russ.).
49. Ivanova K.V., Girenko M.M. *Metodicheskie ukazaniya po izucheniyu malorasprostranennykh ovoshchnykh kul'tur* [Guidelines for studying less common vegetable crops]. Leningrad, 1968 (in Russ.).
50. Ermakov A.I., Arasimovich V.V., Yarosh N.P. *Metody biokhimicheskogo issledovaniya rasteniy* [Methods of biochemical research of plants]. Leningrad, 1987 (in Russ.).
51. StatSoft Inc., *Electronic Statistics Textbook (Electronic Version)*, StatSoft, Inc., Tulsa, 2013. Available: <http://www.statsoft.com/textbook>. No date.
52. Nasledov A.D. *Matematicheskie metody psikhologicheskogo issledovaniya. Analiz i interpretatsiya dannykh* [Mathematical methods of psychological research. Data analysis and interpretation]. St. Petersburg, 2012.
53. Pivovarov V.F., Dobrutskaya E.G. *Ekologicheskie osnovy seleksii i semenovodstva ovoshchnykh kul'tur* [Ecological foundations of breeding and seed production of vegetable crops]. Moscow, 2000 (in Russ.).
54. Zhuchenko A.A. *Adaptivnyy potentsial kul'turnykh rasteniy* [Adaptive potential of cultivated plants]. Kishinev, 1988 (in Russ.).
55. Ludilov V.A., Ivanova M.I. *Redkie i malorasprostranennye ovoshchnye kul'tury (biologiya, vyrashchivanie, semenovodstvo)* [Rare and less common vegetable crops (biology, cultivation, seed production)]. Moscow, 2009 (in Russ.).
56. Kumar V., Kumar Yadav H. Assessment of genetic diversity in *Lepidium sativum* L. using inter simple sequence repeat (ISSR) marker. *Physiol. Mol. Biol. Plants*, 2019, 25(2): 399-406 (doi: 10.1007/s12298-018-0622-4).
57. Belova A.Yu., Murashev S.V., Verzhuk V.G. *Nauchnyy zhurnal NIU ITMO. Ser. Protssy i apparaty pishchevykh proizvodstv*, 2012, 1(13): 13 (in Russ.).
58. Zheleznova K.O., Solov'eva A.E., Kurina A.B. *Tezisy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Aromaticheskie i lekarstvennye rasteniya: introduktsiya, selektsiya, agrotehnika, biologicheski aktivnye veshchestva, vliyaniye na cheloveka» (Yalta, 2021 god)* [Proc. Int. Conf. «Aromatic and medicinal plants: introduction, selection, agricultural technology, biologically active substances, impact on humans (Yalta, 2021)»]. Simferopol', 2021: 43 (in Russ.).