

УДК 635.654 [577.118 57.033] 543.421

ИЗУЧЕНИЕ ВАРИАБЕЛЬНОСТИ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА СЕМЯН СОРТООБРАЗЦОВ *VIGNA UNGUICULATA* (L.) WALP. НА ЮГЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ И В КРЫМУ

© Ю.В. Фотев^{1*}, О.М. Шевчук², А.И. Сысо³

¹ Центральный сибирский ботанический сад СО РАН,
ул. Золотодолинская, 101, Новосибирск, 630090 (Россия),
e-mail: fotev_2009@mail.ru

² Ордена Трудового Красного Знамени Никитский ботанический сад –
Национальный научный центр РАН, Никитский спуск, 52, Ялта,
п/т Никита, 298648 (Россия)

³ Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, пр. Академика
Лаврентьева, 8/2, Новосибирск, 630090 (Россия)

Разные экологические факторы могут вызывать изменения элементного состава растений. В исследовании принята попытка перенести акцент с изучения влияния почвы в отношении элементного состава растений на оценку воздействия мультифакторных экологических блоков на этот показатель. Методом атомно-абсорбционного анализа определено содержание K, Na, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu, Mn, Co, Li в семенах 5 сортобразцов новой для России культуры – вигны (*Vigna unguiculata*) при выращивании растений на юге Западной Сибири (54°с.ш. 83°в.д.) и в Крыму (44° с.ш., 34° в.д.). Коэффициент вариации (CV) содержания макро- и микроэлементов у образцов вигны в двух регионах оказался значительным – от 14 до 53%. Наиболее высоким гомеостазом в накоплении макро- и микроэлементов характеризовался сорт Сибирский размер (CV =15–23%), макроэлементов – *Vigna catjang* (CV=14%). Оба образца отличались пониженным, относительно других сортобразцов, накоплением K, Na, Mg, Mn и, особенно, Fe. Остальные сортобразцы имели высокий показатель варьирования элементного состава в разных условиях (CV=29–53%). Относительно меньшей изменчивостью накопления в семенах вигны по образцам и региону выращивания отличались K, Mg, Ca, Zn и Mn, наибольшей – Na, Co, Li и Cu. Наивысшими показателями накопления Ca (882–1357 мг/кг) и Fe (96–196 мг/кг) в обоих регионах характеризовались сорт вигны Юньнаньская, Mg – форма Красная поздняя (1632–2131 мг/кг) и Красно-пестрая (1737–1986 мг/кг).

Ключевые слова: *Vigna unguiculata*, семена, макро- и микроэлементы, изменчивость, гомеостаз, юг Западной Сибири, Крым.

Введение

Вигна, или спаржевая вигна (англ. – asparagus bean), *Vigna unguiculata* (L.) Walp. (Fabaceae) – новая для России овощная культура, широко выращиваемая в настоящее время в странах Юго-Восточной Азии, Африки, Южной Америки и США. К югу от Сахары эта культура представляет собой важный продукт питания и основной источник белка для более 200 миллионов человек, а в КНР входит в топ 10 выращиваемых овощных культур [1].

Фотев Юрий Валентинович – кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, e-mail: fotev_2009@mail.ru

Шевчук Оксана Михайловна – доктор биологических наук, заместитель директора по науке, e-mail: oksana_shevchuk1970@mail.ru

Сысо Александр Иванович – доктор биологических наук, заместитель директора по научной работе, e-mail: soil@issa-siberia.ru

В Центральном сибирском ботаническом саду СО РАН (ЦСБС СО РАН) в 2006 г. на основе созданной коллекции, включающей более 10000 сортобразцов семян и живых растений (УНУ № USU 440534), были селектированы и включены в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию первые в России два сорта этой культуры – Сибирский размер

* Автор, с которым следует вести переписку.

и Юньнаньская. О перспективности и востребованности культуры в стране говорит, например, тот факт, что к 2020 г. сортимент вигны в России расширился до 25 сортов [2]. Причиной столь резкого возрастания интереса к культивированию (и селекции) вигны является ее достаточно высокая урожайность (3.5–5.5 кг/м²) и нетребовательность к условиям выращивания. Кроме того, вигна обладает высокой биохимической ценностью, представляя собой функциональный продукт питания [3–5]. Обладая низкой калорийностью, она способна «полноценно покрывать основные пищевые потребности человеческого организма» [6] в значительной мере, включая и макро- и микроэлементный состав растений.

Химический состав вигны, как и любого другого растения, зависит от элементного состава и климатической составляющей среды обитания, а также отражает видовые и индивидуальные особенности растения и его отдельных частей (органов). Ранее был проведен элементный анализ по накоплению макро- (K, P, Na, Ca, Mg, Fe) и микроэлементов (Mn, Zn, Cu, Ni) в разных частях фитомассы растений сорта спаржевой вигны Сибирский размер (плоды, листья, стебли, корни) [7]. Расположение образцов в плоскости первых двух главных компонент позволило сделать вывод о том, что части фитомассы, а не отдельные виды растений оказывают большее влияние на содержание в них микроэлементов. В исследовании P.A Sombié et al. [8] было показано, что у разных сортообразцов вигны отличия по накоплению биофильных макро- и микроэлементов достигают более, чем 4-кратного уровня. По данным A.S. Gerrano et al., [9] изменчивость элементного состава в листьях растений вигны (*Vigna unguiculata*) является генетически детерминированным признаком, причем существует широкая генетическая изменчивость, которая может быть использована в селекции.

С точки зрения динамической модели продукционного процесса при экологическом испытании все сортообразцы в каждой из сред находятся в одинаковых взаимодействующих «экологических блоках» (биотическом и абиотическом) [10]. Содержание элементов в почве и ризосфере – лишь одна из причин существенного различия между концентрациями макро- и микроэлементов в одних и тех же видах растений, собранных на разных участках [11]. В этой работе получены данные, показывающие, что вариации элементного состава растений, обусловленные почвой, были почти такими же, как и вариации в концентрациях элементов, которые могли быть обусловлены филогенетическим фактором. Оба фактора влияют на концентрацию элементов в растениях, однако оценить вклад в каждом конкретном случае оказалось довольно сложно.

Важное значение для понимания баланса макро- и микроэлементов отводится гомеостазу, то есть «способности организма сохранять внутреннее постоянство под действием неблагоприятных факторов» [12]. Соответственно, различают высокий гомеостаз у устойчивых растений и низкий – у неустойчивых. Установлено, что поддержание гомеостаза клеточных ионов, основанное на выстроенном равновесии между цитозольным и вакуолярным пулами ионов, существенно зависит от вида растений [13]. В работе P. Patel et al. [14] обсуждается участие микроРНК в гомеостазе питательных микроэлементов: бора, марганца, цинка, меди, железа, молибдена и никеля. Как известно, микроРНК принимают участие в транскрипционной и посттранскрипционной регуляции экспрессии генов путем РНК-интерференции.

Разные экологические факторы значительно влияют на аккумуляцию элементов в фитомассе растений. Например, в опытах G. Parad et al., [15] при переувлажнении почвы, создающем условия для перехода железа и марганца из менее подвижных окисленных форм Fe³⁺ и Mn⁴⁺ в более подвижные и доступные растениям восстановленные формы Fe²⁺ и Mn²⁺, концентрация Mn в листьях *Quercus castaneifolia* увеличивается в 2.5 раза относительно контроля (оптимальное увлажнение), а Fe, соответственно, – в 3.5 раза. Именно поэтому в настоящем исследовании предпринята попытка перенести акцент с изучения влияния почвы в отношении биохимического состава растений на оценку воздействия мультифакторных экологических блоков на этот показатель. Кроме того, затрагиваемая настоящим исследованием тема лежит в русле еще одного важного направления – оценки влияния изменения климатической составляющей параметров среды в мире на изменчивость пищевой/питательной полезности продуктов питания [16].

В качестве объекта исследования были взяты представители двух значительно различающихся по комплексу морфологических и биологических признаков подвидов рода *Vigna* Savy: спаржевая вигна *Vigna unguiculata* (L.) Walp. ssp. *sesquipedalis* (L.) Verdc. и вигна – коровий горох ("cowpea") *Vigna unguiculata* (L.) Walp. ssp. *cylindrica* (L.) Verdc. = *Vigna catjang* (Burmf.) Walp. [17]. Спаржевая вигна распространена в качестве овощной культуры в Юго-Восточной Азии, а коровий горох – в качестве зерновой и овощной (в виде проростков) культуры в африканских странах, Индии, странах Южной Америки и США. Представители этих видов и подвидов перспективны в качестве овощных и зернобобовых культур и представляют значительный интерес для выращивания в разных регионах России.

Для выделения стабильных по признаку накопления макро- и микроэлементов видов и форм *V. unguiculata* необходима оценка биохимического состава растений, выращенных в разных экологических блоках. Цель исследования – определить варьирование накопления макро- и микроэлементов семенами вигны при выращивании растений в разных экологических условиях – на юге Западной Сибири и в условиях Крыма, а также выделить более стабильные по этому признаку формы.

Материал и методы

В качестве объекта исследования использовали семена новой для России культуры – спаржевой вигны *Vigna unguiculata* (L.) Walp. ssp. *sesquipedalis* (L.) Verdc. сортов Сибирский размер, Юньнаньская, формы Красная поздняя, формы Красно-пестрая, а также коллекционной формы вигны – коровьего гороха (*cowpea*) *Vigna unguiculata* (L.) Walp. ssp. *cylindrica* (L.) Verdc.=*Vigna catjang* (Burm. f.) Walp., относящихся к семейству Fabaceae из «Коллекции живых растений в условиях открытого и защищенного грунта» (УНУ № USU 440534). Для сравнения использовали также близкородственный спаржевой вигне вид традиционной овощной культуры – фасоли обыкновенной (*Phaseolus vulgaris* L., сорт Королева Неккар). Растения выращивали в Центральном сибирском ботаническом саду СО РАН (ЦСБС СО РАН, ЦСБС), г. Новосибирск (54° с.ш., 83° в.д.) и в Никитском ботаническом саду – Национальном научном центре РАН (НБС-ННЦ, НБС) (44° с.ш., 34° в.д.), в защищенном и открытом грунте в вегетационный период 2018 г. в экологических блоках, рекомендуемых для теплолюбивых бобовых: в ЦСБС СО РАН в необогреваемой пленочной теплице, в НБС-ННЦ – в открытом грунте.

Весной перед боронованием почвы в грунт вносили минеральное комплексное удобрение «Азофоску» с соотношением N : P : K 16 : 16 : 16 (ТУ 2186-030-00206486) в дозе 90 г/м². Площадь учетной делянки – 5.2 м². Растения размещали однострочно: 4.6 раст./м². Семена выделяли из плодов в биологической спелости. Объединенную пробу формировали из четырех точечных проб с разных участков делянок [18]. Масса семян в каждом образце для последующего анализа – 100 г.

Общее содержание эссенциальных макро- и микроэлементов (K, Na, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu, Mn, Co, Li) определяли после сухого озоления растительного материала при 500 °С в течение 4 ч с помощью атомно-абсорбционного спектрофотометра AAnalyst 400, производства «PerkinElmer Instruments LLC» (США). Все анализы выполняли в 3-кратной повторности. Полученные в исследовании данные сравнивали со сводными данными по суточной потребности и токсической дозе макро- и микроэлементов (табл. 1).

В работе использовали условное деление элементов на макро- (K, Na, Ca, Mg, Fe) и микроэлементы (Mn, Zn, Cu, Li). Полученные данные анализировали методами описательной статистики с использованием программы STATISTICA 7.0. Использованные сокращения: ЮБК – южный берег Крыма, CV – коэффициент вариации, %.

Результаты и обсуждение

Результаты исследования показали заметную разницу между сортообразцами вигны в накоплении макро- и микроэлементов в ЦСБС и НБС (табл. 2). Даже внутри одного экологического блока содержание элементов у разных сортообразцов вигны значительно различалось. Например, в условиях НБС содержание Ca в зависимости от генотипа вигны изменялось в 1.8–3.5 раза, Fe – в 1.4–2.4, Mn – 1.2–1.9, Cu – 1.1–2.3 раза. Содержание Na в семенах *V. unguiculata* в условиях НБС также характеризовалось высокой изменчивостью между образцами (в 2.6–5.6 раза) и, в среднем, в 4 раза превышало уровень этого элемента при их выращивании в условиях ЦСБС СО РАН. Единственный элемент, отличавшийся относительно более стабильным содержанием у сортов и форм вигны в двух пунктах выращивания – калий. Наивысшими показателями накопления Ca и Fe в обоих регионах характеризовались сорт вигны Юньнаньская (выше других форм вигны на 60–136 и 30–72% соответственно), Mg – формы Красная поздняя и Красно-пестрая, а также фасоль обыкновенная. По степени убывания среднее содержание макроэлементов в сортообразцах вигны можно представить в виде следующего ряда: K>Mg>Ca>Na>Fe. Расположение в этом ряду Na определяется местом выращивания образцов – на ЮБК Na накапливается в 2–10 раз более интенсивно; в условиях Новосибирска Na уступает место Fe.

Таблица 1. Суточная потребность и токсическая доза макро- и микроэлементов, мг/сутки [20]

Показатель	K	Na	Ca	Mg	Fe	Zn	Cu	Mn	Co	Li
Суточная потребность, мг	2000–2700	1000–1500	800–2000	250–500	6–40	15–20	0.5–6	0.4–10	0.005–1.8	0.1–2
Токсическая доза, мг	6000	–	–	–	150–200	150–600	>250	10–20	500	92–200

Таблица 2. Содержание макроэлементов в семенах вигны *V. unguiculata* (1–5) и фасоли *Ph. vulgaris* (6) при выращивании растений на юге Западной Сибири (ЦСБС) и в Крыму (НБС), мг/кг воздушно-сухой массы

Сортообразец*	Место выращивания растений	Содержание элементов, мг/кг				
		K	Na	Ca	Mg	Fe
1	НБС	14567±1185	110±42	353±85	1457±291	76±17
	ЦСБС	14471±1179	55±31	482±116	1535±307	76±17
2	НБС	14169±1158	543±129	1357±326	1809±362	196±47
	ЦСБС	13664±1123	55±31	882±212	1543±309	96±22
3	НБС	15079±1220	205±61	410±98	2131±426	128±30
	ЦСБС	16752±1336	64±33	344±82	1632±326	76±17
4	НБС	13213±1092	191±58	764±183	1986±397	178±43
	ЦСБС	16707±1333	79±36	747±179	1737±347	75±17
5	НБС	13323±1099	106±41	768±184	1490±298	74±16
	ЦСБС	12333±1031	56±31	628±151	1570±314	69±15
6	НБС	21253±1646	72±34	1801±432	1801±360	156±37
	ЦСБС	21169±1641	22±24	1279±307	1632±326	81±18
ТМЗг-01 (10-291-20013)		25573±1945	1309±282	9061±2175	2819±564	156±24
ТМЗг-01 (аттестованные значения)		25700±2327		9200±1322		195,0±55,0
ТМБР (10-209-2015)		25466±1937	194±59	9720±2333	2722±544	216±66
ТМБг (аттестованные значения)		26300±2377		11200±1518		195,1±55,1

* – 1 – Спаржевая вигна, *Vigna unguiculata* subsp. *sesquipedalis* (*V.un.* ssp. s.) сорт Сибирский размер, 2 – *V.un.* ssp. s., сорт Юньнаньская, 3 – *V.un.* ssp. s., форма Красная поздняя, 4 – *V.un.* ssp. s., форма Красно-пестрая, 5 – коровий горох, *Vigna unguiculata* ssp. *cylindrica*=*V.catjang*, форма «Вигна катъянг», 6 – фасоль обыкновенная, *Phaseolus vulgaris* L., сорт Королева Неккар.

Содержание микроэлементов в образцах вигны различалось в зависимости от сортообразца и региона выращивания (табл. 3). В условиях НБС Mn в среднем содержалось на 29%, а Zn – на 15% больше при значительных флуктуациях между образцами. Наибольшим содержанием Zn отличалась форма Красная поздняя (34.4–46.7 мг/кг, превышение на 13–37% по сравнению с другими формами вигны). Самым высоким показателем накопления Fe в обоих регионах характеризовался сорт спаржевой вигны Юньнаньская. Недавно получены данные [19], показавшие, что генотипы с повышенным содержанием Fe и Zn могут также иметь высокий уровень азотфиксации, что требует дополнительной проверки. Тем не менее ранее были подтверждены высокие уровни нодуляции и азотфиксации у сорта Юньнаньская при инокуляции растений разными штаммами *Bradyrhizobium* sp. [21].

Отмечено 2–3-кратно большее накопление Cu семенами сортообразцов вигны в условиях ЮБК по сравнению с условиями на юге Западной Сибири. Условия НБС обусловили более высокие концентрации Co у всех выращенных сортообразцов по сравнению с образцами, выращенными в ЦСБС, где содержание этого элемента было ниже предела обнаружения (<0.25 мг/кг). Обнаруженные концентрации Cu и Co в семенах сортообразцов вигны выращенных в условиях ЦСБС оказались ниже уровня их нормального содержания в растениях [22], что может быть критично для растений, их репродукции, а в долговременном тренде и для здоровья человека.

При суточной потребности в кобальте 0.005–1.8 мг [20] этот элемент, помимо участия в синтезе витамина B₁₂, способствует оптимальному функционированию пищеварительной, нервной и костной систем в организме человека [23]. Содержание Li, в целом, у большинства сортообразцов было относительно низким, за исключением формы Красно-пестрая, которая накапливала этот элемент в количестве от 2 до 12 раз больше (0.15–0.49 мг/кг), по сравнению с другими сортообразцами, как в условиях НБС, так и в ЦСБС. Биологическая потребность в Li для человека пока четко не определена в имеющихся отечественных нормативах, хотя, по мнению В.А. Барашкова и др. [20], его суточная потребность для человека 0.1–2 мг и по последним данным он оказывает специфическое воздействие на организм человека. Так, длительное (в течение

4 лет) наблюдение за физически здоровыми пожилыми людьми (n=61) показало, что повышенные (субтерапевтические) концентрации лития ослабляют функциональное снижение умеренных когнитивных нарушений амнестического типа – клинического состояния, связанного с высоким риском болезни Альцгеймера [24]. Литий может действовать как селективный эстроген-опосредованный сигнальный модулятор в целях паллиативной терапии деменции [25]. По степени убывания содержания в исследованных сортообразцах микроэлементы можно представить в виде следующего ряда: Zn > Mn > Cu > Co > Li (* – только для условий ЮБК). Среди исследованных микроэлементов меньшей изменчивостью накопления в семенах вигны по образцам и регионам выращивания отличался Zn и Mn, наибольшей – Co, Li и Cu.

Семена традиционной культуры – фасоли имели сопоставимое с вигной содержание макро- и микроэлементов, за исключением калия и кальция, превышающее аналогичные показатели вигны, соответственно, в 1.3–1.7 и 1.4–5.1 раза.

В целом, уровни содержания макро- и микроэлементов в семенах вигны и фасоли находились в пределах безопасных значений, при условии соблюдения рекомендованных ВОЗ [26] норм потребления продукции бобовых культур (150–200 г/день) и были значительно меньше порога токсичности.

Диапазон варьирования (CV) содержания макро- и микроэлементов у образцов вигны в двух регионах России оказался значительным – от 14 до 53% (рис. 1). При этом сорт Сибирский размер и *V. catjang* имели наиболее низкие значения этого показателя (15 и 14% соответственно) по накоплению макроэлементов, а сорт Сибирский размер выделялся относительно невысоким варьированием также по микроэлементам. Интересно, что этот созданный впервые в России в ЦСБС СО РАН сорт спаржевой вигны также отличается высокой продуктивностью и стабильностью показателя урожайности по годам в сравнении с другими сортами и формами спаржевой вигны. Остальные сортообразцы вигны и фасоль характеризовались значительной изменчивостью элементного состава в семенах с CV=30–53%. В целом, оба образца отличались пониженным относительно других сортообразцов накоплением K, Na, Mg, Mn и особенно – Fe. Известно [27], что Fe играет незаменимую роль в снижении стресса, вызванного засолением, засухой и тяжелыми металлами. Есть предположение, что чем устойчивее генотип к абиотическим стрессам, тем меньше процентное изменение в содержании элементов и такие корреляции были значимыми для Ca, Co, Cr, K, Mg, Mn, Ni и Zn [28].

Минимальная изменчивость накопления в семенах макро- и микроэлементов внутри каждого из экологических блоков, как в ЦСБС так и в НБС, была отмечена для K (CV=6–13%), Mg (CV=5–17%) и Zn (CV=7–22%), а максимальная – для Co (CV=53%, только по НБС) и Li (CV=146%).

Таблица 3. Содержание микроэлементов в семенах вигны *V. unguiculata* (1–5) и фасоли *Ph. vulgaris* (6) при выращивании растений на юге Западной Сибири (ЦСБС) и в Крыму (НБС), мг/кг воздушно-сухой массы

Сортообразец*	Место выращивания растений	Содержание элементов, мг/кг				
		Mn	Zn	Cu	Co	Li
1	НБС	10.8±4.9	39.3±8.3	7.7±1.8	0.6±0.2	0.05±0.001
	ЦСБС	10.1±4.8	31.8±6.7	2.5±0.6	<0.25**	0.04±0.002
2	НБС	18.9±6.2	22.7±4.8	4.4±1.0	1.8±0.8	0.12±0.005
	ЦСБС	11.5±5.0	29.5±6.2	2.2±0.5	<0.25**	0.06±0.003
3	НБС	15.9±5.7	46.7±9.8	8.8±2.0	1.1±0.5	0.08±0.004
	ЦСБС	11.5±5.0	34.4±7.2	2.0±0.5	<0.25**	0.04±0.002
4	НБС	16.8±5.8	39.3±8.3	10.0±2.3	0.9±0.4	0.07±0.003
	ЦСБС	10.3±4.8	29.5±6.2	2.6±0.6	<0.25**	0.02±0.002
5	НБС	10.1±4.8	35.1±7.4	8.8±2.0	0.5±0.2	0.14±0.006
	ЦСБС	8.2±4.5	30.3±6.4	2.6±0.6	<0.25**	0.46±0.023
6	НБС	13.3±5.3	44.1±9.3	10.1±2.1	0.9±0.4	0.04±0.002
	ЦСБС	12.3±5.1	33.8±7.1	4.6±1.1	<0.25**	0.12±0.006
ТМЗг-01 (10-291-20013)		94±18	30.2±6.3	1.96±0.45	0.14	0.220
ТМЗг-01 (аттестованные значения)		97.5±22.2	32.0±6.7	2.45±0.56		0.191
ТМБР (10-209-2015)		62±13	18.9±4.0	5.6±1.3	0.24	0.187±0.004
ТМБг (аттестованные значения)		53.75±13.9	21.28±4.5	5.7±1.3		

* – 1 – Спаржевая вигна, *Vigna unguiculata* subsp. *sesquipedalis* (*V.un.* ssp. *s.*) сорт Сибирский размер, 2 – *V.un.* ssp. *s.*, сорт Юньнаньская, 3 – *V.un.* ssp. *s.*, форма Красная поздняя, 4 – *V.un.* ssp. *s.*, форма Красно-пестрая, 5 – коровий горох, *Vigna unguiculata* ssp. *cylindrica*=*V.catjang*, форма «Вигна катъянг», 6 – фасоль обыкновенная, *Phaseolus vulgaris* L., сорт Королева Неккар;

** – содержание элемента ниже чувствительности прибора.

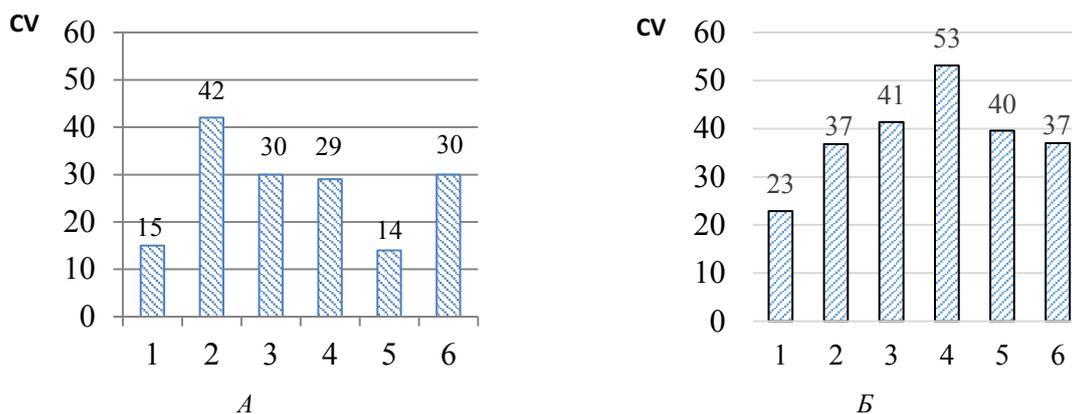


Рис. 1. Варьирование содержания макро- [K, Na, Ca, Mg, Fe], (А) и микроэлементов [Mn, Zn, Cu, Li], (Б) в семенах сортообразцов вигны (1–5) и фасоли (6) при выращивании растений на юге Западной Сибири и в Крыму: 1 – сорт Сибирский размер, 2 – сорт Юньнаньская, 3 – форма Красная поздняя, 4 – форма Красно-пестрая, 5 – форма *V. catjang*, 6 – *Ph.vulgaris* L. (сорт Королева Неккар). CV – коэффициент вариации, %

Расположение сортообразцов вигны и фасоли по содержанию макро- и микроэлементов в ЦСБС и НБС, а также показателям их варьирования (CV) в плоскости первых двух главных компонент показывает значительные различия между ними (рис. 2). Обращает на себя внимание близкое расположение на плоскости точек, обозначающих сорт Сибирский размер и форму *V. catjang*, относительно других образцов. Характер изменчивости признаков у сорта Юньнаньская определил его отдельное от других образцов расположение. При этом первая и вторая главные компоненты описывают большую часть (72%) варьирования рассматриваемых объектов.

Для сравнения изменчивости содержания макро- и микроэлементов в семенах *V. unguiculata*, выращенных на почвах разных природно-климатических районов России (юг Западной Сибири, Крым) и регионов, входящих в африканский центр происхождения и разнообразия видов и форм *Vigna Savy* (Гана, Танзания, Бенин, Буркина Фасо, Нигерия и ЮАР), в таблице 2 приводятся пределы их содержания (min–max) в каждом из регионов (табл. 4).

Обращает на себя внимание большой размах варьирования содержания элементов у сортообразцов, даже в одном регионе выращивания. Так, в исследовании 30 образцов вигны в Буркина Фасо [8] содержание, например, Ca по образцам (min–max) изменялось в 2.2 раза, Na – в 4.6, Fe – в 2.5, Zn – в 2.4, Mg – в 2 раза. Интересно, что для этой страны предлагаются сорта вигны, накапливающие максимальное относительно других образцов количество эссенциальных макро- и микроэлементов: Mg, Ca, Zn и Fe, например, сорт IT81D–994. В опытах I. Asante et al. [29] содержание Mn в наборе из 30 сортообразцов изменялось в 5.7 раза, Cu – 3.7 раза. В ЦСБС СО РАН и НБС-ННЦ также отмечены, с одной стороны, значительные флуктуации элементного состава, подтверждающие необходимость массового скрининга сортообразцов в разных экологических условиях, а с другой стороны, показана возможность выделения константных по этому признаку форм.

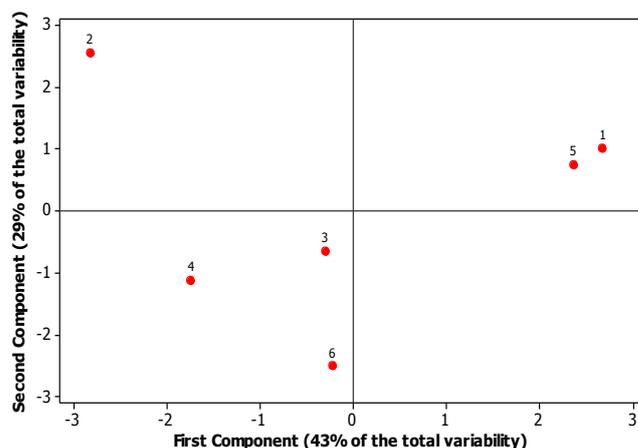


Рис. 2. Расположение сортообразцов вигны и фасоли по содержанию в семенах макро- и микроэлементов в плоскости первых двух главных компонент: 1 – сорт Сибирский размер, 2 – сорт Юньнаньская, 3 – форма Красная поздняя, 4 – Форма Красно-пестрая, 5 – форма *V. catjang*, 6 – *Ph.vulgaris* L. (сорт Королева Неккар)

Таблица 4. Содержание макро- и микроэлементов в семенах *Vigna unguiculata* по данным разных авторов*

Элемент	[29]	[30]	[31]	[8]	[32]	[19]	ЦСБС СО РАН	НБС-ННЦ
	Страна выращивания / количество сортов/образцов							
	Гана n=30	Танзания n=15	Бенин n=12	Буркина Фасо n=30	Юго-Запад Нигерии n=6	Гана и ЮАР n=32	n=5	
K	8595.0–16820.0			8348.8–12019.7	960.0–1200.0		12333–16752	13213–15079
Na	68.2–145.6			11.9–54.5	400.0–500.0		55–79	106–543
Ca	628.2–2096.0	358.1–992.4	661.6–1444.5	570.6–1233.9	1570.0–3040.0		344–882	353–1357
Mg	690.0–5170.0			1187.8–2398.0	1800.0–1933.0		1535–1737	1457–2131
Fe		32.6–28.9	55.7–104.3	28.2–70.7	33.0–56.0	45.1–66.9	69–96	74–196
Mn	10.0–57.5				24.0–29.0	10.1–17.4	8.2–11.5	10.1–18.9
Zn		32.6–28.9	36.7–54.1	18.1–44.2	11.0–56.0	33.9–69.1	29.5–34.4	22.7–46.7
Cu	3.3–12.3				4.0–10.0	5.2–8.1	2.0–2.6	4.4–10.0

* Данные в публикациях пересчитаны в мг/кг воздушно-сухой массы.

Заключение

Результаты выращивания сортов/образцов *V. unguiculata* в разных регионах страны (на ЮБК и юге Западной Сибири) показали, что высоким гомеостазом в накоплении в семенах вигны макро- и микроэлементов и, соответственно, наименьшим варьированием (CV) отличается сорт вигны Сибирский размер (CV=15–23%), макроэлементов – *V. catjang* (CV=14%). Оба образца отличались пониженным, относительно других сортов/образцов, накоплением K, Na, Mg, Mn и, особенно, Fe. Остальные сорта/образцы имели высокий показатель варьирования элементного состава (CV=29–53%). Среди исследованных элементов относительно меньшую изменчивость накопления в семенах вигны по образцам и региону выращивания имели K, Mg, Ca, Zn и Mn, наибольшую – Na, Co, Li и Cu. Наивысшими показателями накопления Ca (882–1357 мг/кг) и Fe (96–196 мг/кг) в обоих регионах характеризовались сорт вигны Юньнаньская, Mg – форма Красная поздняя (2131–1632 мг/кг) и Красно-пестрая (1986–1737 мг/кг). Форма Красная поздняя имела наибольшее содержание Zn (34.4–46.7 мг/кг, превышая на 13–37% другие формы спаржевой вигны.

По степени убывания среднее содержание макроэлементов в сортах/образцах вигны можно представить в виде следующего ряда: K>Mg>Ca>Na>Fe. Расположение в этом ряду Na определяется местом выращивания образцов – на ЮБК Na накапливается в 2–10 раз более интенсивно; в условиях Новосибирска Na уступает место Fe.

Пределы содержания (min–max) макро- и микроэлементов в семенах вигны при выращивании в условиях Сибири и Крыма соответствуют аналогичным показателям для семян большого набора сортов и форм вида, выращенных разными исследователями в регионах африканского центра происхождения и разнообразия видов и форм рода *Vigna* Savy.

Установлено, что различия природно-климатических и почвенных условий выращивания растений вигны могут отражаться в макро- и микроэлементном составе их семян.

Список литературы

1. Consensus document on the biology of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). Series on Harmonisation of Regulatory Oversight in Biotechnology. Paris, 2015. N60. 44 p.
2. ФГБУ «Госсорткомиссия» – Государственный реестр селекционных достижений [Электронный ресурс]. URL: <http://reestr.gossortrf.ru/reestr/culture/523.html>.
3. Zia-Ul-Haq M., Ahmad S., Amarowicz R., De Feo V. Antioxidant activity of the extracts of some cowpea (*Vigna unguiculata* (L) Walp.) cultivars commonly consumed in Pakistan // *Molecules*. 2013. Vol. 18. Pp. 2005–2017. DOI: 10.3390/molecules18022005.
4. Фотев Ю.В. К методике интродукции теплолюбивых овощных растений в Сибири // *Вестник НГАУ*. 2018. №4. С. 104–118. DOI: 10.31677/2072-6724-2018-49-4-104-118.
5. Fotev Y.V., Syso A.I., Shevchuk O.M. Introduction in Siberia (Russia) of new vegetable species with a high biochemical value // *Current Challenges in Plant Genetics, Genomics, Bioinformatics, and Biotechnology*. 2019. Pp. 12–14. DOI: 10.18699/ICG-PlantGen2019-01.

6. Gonçalves A., Goufo P., Barros A., Domínguez-Perles R., Trindade H., Rosa E., Ferreira L., Rodrigues M. Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp), a renewed multipurpose crop for a more sustainable agri-food system: nutritional advantages and constraints // *J. Sci. Food Agr.* 2016. Vol. 95. N9. Pp. 2941–2951. DOI: 10.1002/jsfa.7644.
7. Наумова Н.Б., Фотев Ю.В., Бугровская Г.А., Белоусова В.П. Макро и микроэлементный состав вигны, кивано, момордики и бенинказы при тепличном выращивании // *Овощи России.* 2014. №3. С. 11–17. DOI: 10.18619/2072-9146-2014-3-11-17.
8. Sombié P.A., Ouedraogo I., Tignegré J.B., Hilou A., Ouedraogo T.J., Kiendrébéogo M. Genotypic variation of mineral elements and phytate levels of thirty cowpeas (*Vigna unguiculata* L. Walp.) varieties cultivated in Burkina Faso // *J. Food Chem. Nutr.* 2018. Vol. 6. N1. Pp. 13–20. DOI: 10.33687/jfcn.006.01.2343.
9. Gerrano A.S., Adebola P.O., Jansen W.S.R., Venter S.L. Genetic variability and heritability estimates of nutritional composition in the leaves of selected cowpea genotypes [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] // *HortScience.* 2015. Vol. 50. N10. Pp. 1435–1440. DOI: 10.21273/HORTSCI.50.10.1435.
10. Ризниченко Г.Ю. Математические модели в биофизике и экологии. М.; Ижевск, 2003. 184 с.
11. Shtangeeva I., Viksna A., Grebnevs V. Geochemical (soil) and phylogenetic (plant taxa) factors affecting accumulation of macro- and trace elements in three natural plant species // *Environ Geochem Health.* 2020. Vol. 42. Pp. 209–219. DOI: 10.1007/s10653-019-00337-z.
12. Чудинова Л.А., Орлова Н.В. Физиология устойчивости растений. Пермь, 2006. 124 с.
13. Osmolovskaya N., Shumilina J., Bureiko K., Chantseva V., Bilova T., Kuchaeva L., Laman N., Wessjohann L.A., Frolov A. Ion homeostasis response to nutrient-deficiency stress in plants, cell growth, Biba Vikas and Michael Fasullo // *IntechOpen.* 2019. DOI: 10.5772/intechopen.89398.
14. Patel P., Yadav K., Ganapathi T.R. Small and hungry: micrnas in micronutrient homeostasis of plants // *MicroRNA.* 2017. Vol. 6. P. 22. DOI: 10.2174/2211536606666170117160338.
15. Parad G., Tabari M., Sadati S. Changes of macro and micro elements concentration in shoots and soil of *Quercus castaneifolia* seedling grown in flooding conditions // *Iranian Journal of Forest.* 2014. Vol. 6. Pp. 23–34.
16. Soares, J.C., Santos, C.S., Carvalho, S.M.P. Preserving the nutritional quality of crop plants under a changing climate: importance and strategies // *Plant Soil.* 2019. Vol. 443. Pp. 1–26. DOI: 10.1007/s11104-019-04229-0.
17. Pasquet R.S. Morphological study of cultivated cowpea *Vigna unguiculata* (L.) Walp. Importance of ovule number and definition of cv gr *Melanophthalmus* // *Agronomie.* 1998. Vol. 18. Pp. 61–70. DOI: 10.1051/agro:199801041998.
18. Методические указания по определению металлов в почвах с/х угодий и продукции растениеводства. М., 1992. 61 с.
19. Dakora F.D., Belane A.K. Evaluation of protein and micronutrient levels in edible cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) leaves and seeds // *Frontiers in Sustainable Food Systems.* 2019. Vol. 3. Pp. 1–10. DOI: 10.3389/fsufs.2019.00070.
20. Барашков В.А., Колосова Т.С., Белых А.И., Звзгина Н.В., Лукина С.Ф., Морозова Л.В., Соколова Л.В. Химические элементы в организме человека. Архангельск: Изд-во ПГУ им. М.В. Ломоносова. 2001. 45 с.
21. Фотев Ю.В., Сидорова К.К., Новикова Т.И., Белоусова В.П. Изучение нодуляции и азотфиксации у двух сортов вигны [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] при инокуляции разными штаммами ризобий (*Bradyrhizobium* sp.) // *Вавиловский журнал генетики и селекции.* 2016. Т. 20. №3. С. 348–354. DOI: 10.18699/VJ16.099.
22. Kabata-Pendias A. Trace elements in soils and plants/Fourth Edition. CRC Taylor and Francis Group, 2011. 505 p.
23. Soylak M., Cihan Z., Yilmaz E. Evaluation of trace element contents of some herbal plants and spices retailed in Kayseri, Turkey // *Environmental Monitoring & Assessment.* 2012. Vol. 184. N6. Pp. 3455–3461. DOI: 10.1007/s10661-011-2199-z.
24. Forlenza O.V., Radanovic M., Talib L.L., Gattaz W.F. Clinical and biological effects of long-term lithium treatment in older adults with amnesic mild cognitive impairment: randomised clinical trial // *Br. J. Psychiatry.* 2019. Vol. 5. Pp. 1–7. DOI: 10.1192/bjp.2019.76.
25. Valdés J.J., Weeks O.I. Lithium: a potential estrogen signaling modulator // *J. Appl. Biomed.* 2009. Vol. 7. Pp. 175–188.
26. Healthy food and nutrition for women and their families: training course for health professionals. World Health Organization. Regional Office for Europe & Food and Agriculture Organization of the United Nations. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, 2001. URL: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/108438>.
27. Tripathi D.K., Singh S., Gaur S., Singh S., Yadav V., Liu S., Singh V.P., Sharma S., Srivastava P., Prasad S.M. Acquisition and homeostasis of iron in higher plants and their probable role in abiotic stress tolerance // *Front. Environ. Sci.* 2018. DOI: 10.3389/fenvs.2017.00086.
28. Белимов А.А., Пухальский Я.В., Шапошников А.И., Азарова Т.С., Макарова Н.М., Сафронова В.И., Носиков В.В., Литвинский В.А., Завалин А.А., Вишнякова М.А., Семенова Е.В., Косарева И.А., Тихонович И.А. Роль симбиотических микроорганизмов в устойчивости *Pisum sativum* L. к абиотическим стрессам // *Мат. конф. «Экспериментальная биология растений: фундаментальные и прикладные аспекты», 18-24 сентября 2017 г. М., 2017. С. 23.*
29. Asante I., Adu-Dapaah H., Acheampong A. Determination of some mineral components of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) using instrumental neutron activation analysis // *West African Journal of Applied Ecology.* 2009. Vol. 11. Pp. 1–6. DOI: 10.4314/wajae.v11i1.45721.
30. Mamiro P.S., Mbwaga A.M., Mamiro D.P., Mwanri A.W., Kinabo J.L. Nutritional quality and utilization of local and improved cowpea varieties in some regions in Tanzania // *Afr. J. Food Agr. Nutr. Dev.* 2011. Vol. 11. N1. Pp. 4490–4506.

31. Madode Y.E.E., Linnemann A., Nout M.J., Vosman B., Hounhouigan D., Boekel M. Nutrients, technological properties and genetic relationships among twenty cowpea landraces cultivated in West Africa // *Int. J. Food Sci. Tech.* 2012. Vol. 47. Pp. 2636–2647. DOI: 10.1111/j.1365–2621.2012.03146.x.
32. Nwobi N.L., Nwobi J.C. Nutrient and phytochemical compositions of cowpea (*Vigna unguiculata*) varieties in South-West Nigeria: implication on children's health // *The Pharmaceutical and Chemical Journal.* 2019. Vol. 6. N4. Pp. 25–31.

Поступила в редакцию 19 марта 2020 г.

После переработки 17 февраля 2021 г.

Принята к публикации 26 февраля 2021 г.

Для цитирования: Фотев Ю.В., Шевчук О.М., Сысо А.И. Изучение вариабельности элементного состава семян сортообразцов *Vigna unguiculata* (L.) Walp. на юге Западной Сибири и в Крыму // *Химия растительного сырья.* 2021. №2. С. 217–226. DOI: 10.14258/jcrpm.2021027543.

Fotev Yu.V.^{1*}, Shevchuk O.M.², Syso A.I.³ VARIABILITY OF MACRO- AND MICROELEMENT COMPOSITION OF ACCESSIONS OF *VIGNA UNGUICULATA* (L.) WALP. IN THE SOUTH OF WESTERN SIBERIA AND IN THE CRIMEA

¹ Central Siberian Botanical Garden SB RAS, ul. Zolotodolinskaya, 101, Novosibirsk, 630090 (Russia), e-mail: fotev_2009@mail.ru

² Orders of the Red Banner of Labor Nikitsky Botanical Garden - National Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Nikitsky Spusk, 52, Yalta, Nikita, 298648 (Russia)

³ Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS, pr. Akademika Lavrent'eva, 8/2, Novosibirsk, 630090 (Russia)

Different environmental factors can cause changes in the elemental composition of plants. The research attempts to shift the focus from studying the effect of soil on the elemental composition of plants to assessing the impact of multifactorial ecological blocks on this index. Using the method of atomic absorption spectroscopy, the content K, Na, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu, Mn, Co, Li was determined in the seeds of 5 accessions of a new for Russia crop – vigna (*Vigna unguiculata*) when growing plants in the south of Western Siberia (54° N 83° E) and in the Crimea (44° N, 34° E)]. The Coefficient of Variation (CV) of the element contents in cowpea accessions in two regions was significant – from 14 to 53%. The highest homeostasis in the accumulation of macro- and microelements was noted in the cultivar Sibirskiy razmer (CV = 15–23%), macroelements – *Vigna catjang* (CV = 14%). Both accessions were characterized by a reduced accumulation of K, Na, Mg, Mn and, especially, Fe compared to other cultivars. The rest of the accessions showed a high rate of variation in the elemental composition under different conditions (CV = 29–53%). K, Mg, Ca, Zn, and Mn differed by a relatively lower variability of accumulation in cowpea seeds – both by the accessions and the regions of cultivation, while Na, Co, Li, and Cu was the highest. Cultivar Yunnanskaya had the highest rates of Ca (882–1357 mg/kg) and Fe (96–196 mg/kg) accumulation in both regions whereas accessions Krasnaya pozdniaya and Krasno-pestraya had the highest rate of Mg content – 1632–2131 and 1737–1986 mg/kg, respectively.

Keywords: *Vigna unguiculata*, seeds, macro- and microelements, variability, homeostasis, south of Western Siberia, Republic of Crimea.

* Corresponding author.

References

1. *Consensus document on the biology of cowpea (Vigna unguiculata (L.) Walp.). Series on Harmonisation of Regulatory Oversight in Biotechnology*. Paris, 2015, no. 60, 44 p.
2. FGBU «Gosortkomissiya» – Gosudarstvennyy reyestr selektsionnykh dostizheniy [FSBI "State Breeding Commission" – State Register of Breeding Achievements]. URL: <http://reestr.gosortrf.ru/reestr/culture/523.html>. (in Russ.).
3. Zia-Ul-Haq M., Ahmad S., Amarowicz R., De Feo V. *Molecules*, 2013, vol. 18, pp. 2005–2017. DOI: 10.3390/molecules18022005.
4. Fotev Yu.V. *Vestnik NGAU*, 2018, no. 4, pp. 104–118. DOI: 10.31677/2072-6724-2018-49-4-104-118. (in Russ.).
5. Fotev Y.V., Syso A.I., Shevchuk O.M. *Current Challenges in Plant Genetics, Genomics, Bioinformatics, and Biotechnology*, 2019, pp. 12–14. DOI: 10.18699/ICG-PlantGen2019-01.
6. Gonçalves A., Goufo P., Barros A., Domínguez-Perles R., Trindade H., Rosa E., Ferreira L., Rodrigues M. *J. Sci. Food Agr.*, 2016, vol. 95, no. 9, pp. 2941–2951. DOI: 10.1002/jsfa.7644.
7. Naumova N.B., Fotev Yu.V., Bugrovskaya G.A., Belousova V.P. *Ovoshchi Rossii*, 2014, no. 3, pp. 11–17. DOI: 10.18619/2072-9146-2014-3-11-17. (in Russ.).
8. Sombié P.A., Ouedraogo I., Tignegré J.B., Hilou A., Ouedraogo T.J., Kiendrébéogo M. *J. Food Chem. Nutr.*, 2018, vol. 6, no. 1, pp. 13–20. DOI: 10.33687/jfcn.006.01.2343.
9. Gerrano A.S., Adebola P.O., Jansen W.S.R., Venter S.L. *HortScience*, 2015, vol. 50, no. 10, pp. 1435–1440. DOI: 10.21273/HORTSCI.50.10.1435.
10. Ryznichenko G.Yu. *Matematicheskiye modeli v biofizike i ekologii*. [Mathematical models in biophysics and ecology]. Moscow; Izhevsk, 2003, 184 p. (in Russ.).
11. Shtangeeva I., Viksna A., Grebnevs V. *Environ Geochem Health*, 2020, vol. 42, pp. 209–219. DOI: 10.1007/s10653-019-00337-z.
12. Chudinova L.A., Orlova N.V. *Fiziologiya ustoychivosti rasteniy*. [Physiology of plant resistance]. Perm', 2006, 124 p. (in Russ.).
13. Osmolovskaya N., Shumilina J., Bureiko K., Chantseva V., Bilova T., Kuchaeva L., Laman N., Wessjohann L.A., Frolov A. *IntechOpen*, 2019. DOI: 10.5772/intechopen.89398.
14. Patel P., Yadav K., Ganapathi T.R. *MicroRNA*, 2017, vol. 6, p. 22. DOI: 10.2174/2211536606666170117160338.
15. Parad G., Tabari M., Sadati S. *Iranian Journal of Forest*, 2014, vol. 6, pp. 23–34.
16. Soares, J.C., Santos, C.S., Carvalho, S.M.P. *Plant Soil*, 2019, vol. 443, pp. 1–26. DOI: 10.1007/s11104-019-04229-0.
17. Pasquet R.S. *Agronomie*, 1998, vol. 18, pp. 61–70. DOI: 10.1051/agro:199801041998.
18. *Metodicheskiye ukazaniya po opredeleniyu metallov v pochvakh s/kh ugodiy i produktii rasteniyevodstva*. [Guidelines for the determination of metals in soils of agricultural land and crop production]. Moscow, 1992. 61 p. (in Russ.).
19. Dakora F.D., Belane A.K. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 2019, vol. 3, pp. 1–10. DOI: 10.3389/fsufs.2019.00070.
20. Barashkov V.A., Kolosova T.S., Belykh A.I., Zvyagina N.V., Lukina S.F., Morozova L.V., Sokolova L.V. *Khimiicheskiye elementy v organizme cheloveka*. [Chemical elements in the human body]. Arkhangel'sk, 2001, 45 p. (in Russ.).
21. Fotev Yu.V., Sidorova K.K., Novikova T.I., Belousova V.P. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i selektsii*, 2016, vol. 20, no. 3, pp. 348–354. DOI: 10.18699/VJ16.099. (in Russ.).
22. Kabata-Pendias A. *Trace elements in soils and plants/Fourth Edition*. CRC Taylor and Francis Group, 2011, 505 p.
23. Soyлак M., Cihan Z., Yilmaz E. *Environmental Monitoring & Assessment*, 2012, vol. 184, no. 6, pp. 3455–3461. DOI: 10.1007/s10661-011-2199-z.
24. Forlenza O.V., Radanovic M., Talib L.L., Gattaz W.F. *Br. J. Psychiatry*, 2019, vol. 5, pp. 1–7. DOI: 10.1192/bjp.2019.76.
25. Valdés J.J., Weeks O.I. *J. Appl. Biomed.*, 2009, vol. 7, pp. 175–188.
26. *Healthy food and nutrition for women and their families: training course for health professionals*. World Health Organization. Regional Office for Europe & Food and Agriculture Organization of the United Nations. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, 2001. URL: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/108438>.
27. Tripathi D.K., Singh S., Gaur S., Singh S., Yadav V., Liu S., Singh V.P., Sharma S., Srivastava P., Prasad S.M. *Front. Environ. Sci.*, 2018. DOI: 10.3389/fenvs.2017.00086.
28. Belimov A.A., Pukhal'skiy YA.V., Shaposhnikov A.I., Azarova T.S., Makarova N.M., Safronova V.I., Nosikov V.V., Litvinskiy V.A., Zavalin A.A., Vishnyakova M.A., Semenova Ye.V., Kosareva I.A., Tikhonovich I.A. *Mat. konf. "Eksperimental'naya biologiya rasteniy: fundamental'nyye i prikladnyye aspekty", 18-24 sentyabrya 2017 g.* [Mat. conf. "Experimental plant biology: fundamental and applied aspects", September 18-24, 2017]. Moscow, 2017, p. 23. (in Russ.).
29. Asante I., Adu-Dapaah H., Acheampong A. *West African Journal of Applied Ecology*, 2009, vol. 11, pp. 1–6. DOI: 10.4314/wajae.v11i1.45721.
30. Mamiro P.S., Mbwaga A.M., Mamiro D.P., Mwanri A.W., Kinabo J.L. *Afr. J. Food Agr. Nutr. Dev.*, 2011, vol. 11, no. 1, pp. 4490–4506.
31. Madode Y.E.E., Linnemann A., Nout M.J., Vosman B., Hounhouigan D., Boekel M. *Int. J. Food Sci. Tech.*, 2012, vol. 47, pp. 2636–2647. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2012.03146.x.
32. Nwobi N.L., Nwobi J.C. *The Pharmaceutical and Chemical Journal*, 2019, vol. 6, no. 4, pp. 25–31.

Received March 19, 2020

Revised February 17, 2021

Accepted February 26, 2021

For citing: Fotev Yu.V., Shevchuk O.M., Syso A.I. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2021, no. 2, pp. 217–226. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.2021027543.