

Оригинальные статьи / Original articles

<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-1-79-86>
УДК 635.782:581.19

В.А. Харченко¹, Н.А. Голубкина¹,
А.И. Молдован¹, Д. Карузо²

¹ Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Федеральный научный центр овощеводства" (ФГБНУ ФНЦО) 143072, Россия, Московская область, Одинцовский район, п. ВНИИССОК, ул. Селекционная, д. 14
kharchenkoviktor777@gmail.com,
nastiamoldovan@mail.ru
Corresponding author: segolubkina45@gmail.com

² Неаполитанский государственный университет им. Федерико II
80055, Неаполь, Италия

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов: В.А. Харченко, Н.А. Голубкина, Д. Карузо – разработка задач исследования, статистическая обработка результатов и написание статьи; А.И. Молдован – осуществление эксперимента; А.И. Молдован и Н.А. Голубкина – аналитические исследования и написание статьи.

Для цитирования Харченко В.А., Голубкина Н.А., Молдован А.И., Карузо Д. Обогащение кервеля селеном. *Овощи России*. 2021;(1):79-86.
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-1-79-86>

Поступила в редакцию: 14.12.2020

Принята к печати: 27.01.2021

Опубликована: 25.02.2021

Viktor A. Kharchenko¹, Nadezhda A. Golubkina¹,
Anastasia I. Moldovan¹, Gianluca Caruso²

¹ Federal State Budgetary Scientific Institution Federal Scientific Vegetable Center (FSBSI FSVC) 14, Seleccionnaya str., VNISSOK, Odintsovo district, Moscow region, Russia, 143072
kharchenkoviktor777@gmail.com,
nastiamoldovan@mail.ru
Corresponding author:
segolubkina45@gmail.com

² Department of Agricultural Sciences, University of Naples Federico II
80055 Portici, Naples, Italy
gcaruso@unina.it

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

Authors' Contribution: V.A. Kharchenko, N.A. Golubkina, D. Caruso – development of research tasks, statistical processing of results and writing an article; A.I. Moldovan – implementation of the experiment; A.I. Moldovan and N.A. Golubkina – analytical research and article writing.

For citations: Kharchenko V.A., Golubkina N.A., Moldovan A.I., Caruso G. Biofortification of chervil with selenium. *Vegetable crops of Russia*. 2021;(1):79-86. (In Russ.)
<https://doi.org/10.18619/2072-9146-2021-1-79-86>

Received: 14.12.2020

Accepted for publication: 27.01.2021

Accepted: 25.02.2021

Обогащение кервеля селеном



Резюме

Актуальность. Получение функциональных продуктов питания с высоким антиоксидантным статусом и повышенным содержанием селена является актуальным для защиты организма человека от вирусных, онкологических и кардиологических заболеваний.

Материал и методика. Исследована эффективность внекорневого обогащения селеном натрия в концентрациях 25, 50 и 75 мг Se/л трех сортообразцов кервеля. Установлена межсортовая вариабельность в уровнях обогащения растений микроэлементом (от 15,5 до 31,1 при дозе 25 мг Se/л; от 36,9 до 64,6 при дозе 50 мг Se/л и от 72,9 до 130 при дозе 75 мг Se/л).

Результаты. Выявлено, что при выбранных дозах селена обогащение растений микроэлементом не влияет достоверно на урожай и оказывает слабое влияние на антиоксидантные свойства и содержание фотосинтетических пигментов кервеля. Уровень общей антиоксидантной активности варьировал от 30 до 42 мг ГКЭ/г сухой массы (с.м.), полифенолов – от 9 до 13 мг ГКЭ/г с.м., флавоноидов от 5 до 12 мг-экв кверцетина/г с.м., аскорбиновой кислоты от 33 до 66 мг/100 г сырой массы. Отличительной особенностью кервеля обогащенного и не обогащенного селеном является повышенное содержание каротина. Установлена прямая корреляция между содержанием полифенолов и общей антиоксидантной активностью растений ($r=+0,954$, $P<0,01$), а также между содержанием водорастворимых соединений и уровнем накопления нитратов ($r=+0,920$, $P<0,01$). Обогащение растений селеном не влияло достоверно на элементный состав листьев. Потребление 100 г свежих листьев кервеля, обогащенного селеном, обеспечивает поступление в организм человека от 50 до 75% суточной потребности человека в селене и от 16 до 20% от суточной потребности калия. Принимая во внимание, что селен, так же, как и калий, нормализует работу сердца, полученный функциональный продукт можно рекомендовать в профилактике кардиологических заболеваний и оптимизации селенового статуса населения

Ключевые слова: кервель, селен, антиоксиданты, минеральный состав

Biofortification of chervil with selenium

Abstract

Relevance. Production of functional food with high levels of antioxidant status and selenium is essential for human protection against viral and cardiovascular diseases as well as cancer.

Methods. Evaluation of the efficiency in foliar sodium selenate biofortification (25. 50 and 75 mg Se/L) was achieved on three chervil genotypes.

Results. Intervarietal differences in biofortification level was demonstrated: from 15.5 to 31.1 for 25 mg Se/L dose; from 36.9 to 64.6 for 50 mg Se/L dose; and from 72.9 to 130 for 75 mg Se/L dose. At the chosen doses, selenium supply did not affect significantly the yield, antioxidant properties and photosynthetic content of chervil. Total antioxidant activity was in the range from 30 to 42 mg GAE/g d.w., phenolics content from 9 to 13 mg GAE/g d.w, flavonoids from 5 to 12 mg-eq quercetin/g d.w., ascorbic acid from 33 to 66 mg/100 g fresh w. High levels of carotene were a typical feature of Se fortified and non-fortified chervil. A direct correlation was recorded between phenolics content and total antioxidant activity ($r=+0.954$, $P<0.01$), and between water soluble compounds and nitrates accumulation ($r=+0.920$, $P<0.01$). Biofortification with selenium did not affect significantly the mineral content of plants. Consumption of 100 g of fresh chervil leaves, fortified with selenium, provides from 50 to 75% of the adequate selenium consumption level and from 16 to 20% of potassium. Taking into account that both selenium and potassium normalize heart activity, the new functional food product may be recommended for prophylactics and treatment of cardiovascular diseases and for the human selenium status optimization.

Keywords: chervil, selenium, antioxidants, mineral composition

Введение

Способность селена защищать организм человека от вирусных заболеваний (Nelson et al., 2001; Steinbrenner et al., 2015; Harthill et al., 2011) широко дискутируется в настоящее время в связи с пандемией коронавируса (Kieliszek&Lipinski, 2020; Zhang et al., 2020b). Эпидемиологические исследования, проведенные в Китае, выявили значительно более низкую заболеваемость и смертность от Covid-19 в провинциях с высоким селеновым статусом (Zhang and Liu 2020a). Принимая во внимание низкий селеновый статус населения многих стран мира и прогнозирование возрастания селенодефицита в будущем (Jones, et al. 2017), селен обогатненные продукты могут быть особенно значимы. Для России этот вопрос может иметь особое значение в связи с катастрофическим снижением селенового статуса населения страны за последние годы, вызванное отказом от импорта пшеницы, богатой микроэлементом, из эндемических регионов мира (США, Канада) и переходом на использование исключительно отечественного зерна, бедного селеном (Ковальский и др., 2019; Голубкина и др., 2017). Дополнительными фактами в пользу целесообразности и острой необходимости производства функциональных продуктов с повышенным содержанием селена является способность последнего защищать организм человека от сердечно-сосудистых и раковых заболеваний, улучшать фертильность и умственную активность (Rayman, 2008; Голубкина, Папазян, 2006).

Кроме того, результаты отдельных исследований дают основание утверждать, что полифенолы лекарственных растений также обладают способностью защиты от коронавируса (Haq et al., 2020; Chojnacka et al., 2020). При этом особое значение приобретает факт возможности повышения антиоксидантного статуса растений в условиях обогащения микроэлементом (Pilon-Smits, 2020). Более того, по сравнению с биодобавками, содержащими селен и другие антиоксиданты, обогатненные растения могут обеспечить дополнительное преимущество благодаря синергизму природных антиоксидантов, многочисленности биологически активных соединений и отсутствию побочных эффектов в отличие от биодобавок, где это случается достаточно часто (Голубкина и др., 2012a). В этой связи, обогащение овощей селеном приобретает особое значение, поскольку именно такие продукты обеспечивают наибольший вклад в потребление селена, включая антиоксиданты, по сравнению с биодобавками. Обогащение селеном отдельных представителей рода *Apiaceae* (Acimović M.G., 2017; Ahmad et al., 2017) может оказаться особенно перспективным благодаря высокой антиоксидантной активности растений, широкому спектру биологического действия и популярности среди населения разных стран мира.

Кервель (*Anthriscus cerefolium* (L.) Hoffm.) мало распространен в России, однако популярен в Европейских странах, Средиземноморье и странах Центральной Азии. Это растение отличается нежным вкусом и высоко ценится в традиционной медицине. Кервель, как и его ближайший родственник петрушка, обладает высокой антиоксидантной активностью (Харченко и др., 2020), антиканцерогенным, кардиопротекторным, нейропротекторным действием, проявляет омолаживающий эффект, благоприятно влияя на умственную деятельность человека (Vyas et al., 2012). Поскольку аналогичным действием обладают также соединения селена, а также, учитывая известный факт усиления селенодефицита в России в последние годы (Ковальский и др.,

2018), целью настоящей работы была разработка условий внекорневого обогащения кервеля (*A. cerefolium* L.) селеном и выявление межсортовых различий в биохимических показателях обогатненных и не обогатненных селеном растений. До настоящего времени кервель не обогащали селеном.

Материалы и методы

Объектами исследования явились 3 сортообразца садового кервеля: №24-20, №22-20 и №21-20 коллекции ФГБНУ ФНЦО. Растения выращивали в вегетационных сосудах объемом 10 л (диаметр 20 см) на смеси торфа и перлита в теплице ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства». Характеристика торфа: степень разложения – до 20%, влажность – не более 65%, рН – 5,5-6,2. Перлит вносили с целью повышения рыхлости, пористости и воздухопроницаемости торфа, предотвращения уплотнения и образования поверхностной корки. Плотность посева составила 30 растений/сосуд, Посев семян проводили в два срока: 5 июня и 1 августа.

Эксперимент включал 4 варианта: 1) контроль, 2) опрыскивание растений раствором селената натрия в концентрации 25 мг/л, 3) опрыскивание растений раствором селената натрия в концентрации 50 мг/л, 4) опрыскивание растений раствором селената натрия в концентрации 75 мг/л. Повторность трехкратная. Обработку растений селеном осуществляли на 15 день с момента появления всходов.

В процессе вегетации осуществляли регулярный полив растений. Уборку сортообразцов кервеля осуществляли через 30 дней после начала вегетации.

Пробоподготовка

После уборки урожая черешки растений промывали дистиллированной водой для удаления остатков почвы, листья и черешки разделяли, взвешивали и гомогенизировали. Для определения содержания аскорбиновой кислоты и фотосинтетических пигментов использовали свежие гомогенаты. Остальную часть материала высушили при 50°C до постоянной массы для дальнейшего определения содержания нитратов, водорастворимых соединений, антиоксидантной активности, полифенолов и флавоноидов.

Содержание сухого вещества

Содержание сухого вещества определяли гравиметрически после высушивания образцов при 50°C до постоянной массы (ГОСТ, 2012).

Аскорбиновая кислота

Содержание аскорбиновой кислоты устанавливали методом визуального титрования 2,6-дихлорфенол индофенолятом натрия (реактивом Тиллманса) (Голубкина и др., 2020).

Полифенолы

Содержание полифенолов определяли спектрофотометрически с помощью реактива Фолина-Чиокалтеу (Голубкина и др., 2020). 1 г сухого порошка образцов растительного материала экстрагировали в течение часа при 80°C 20 мл 70% этанола. Раствор охлаждали до комнатной температуры, переносили количественно в 25 мл мерную колбу и доводили до метки 70% спиртом. Полученный экстракт перемешивали и фильтровали через складчатый фильтр. В мерную колбу на 25 мл добавляли 1 мл экстракта, 2,5 мл насыщенного раствора карбоната натрия Na_2CO_3 и 0,25 мл разбав-

ленного вдвое дистиллированной водой реактива Фолина-Чиокалтеу. Полученную смесь после интенсивного перемешивания доводили до метки дистиллированной водой. Через час после окончания реакции измеряли показатель поглощения раствора при 730 нм на спектрофотометре Unicо 2804 UV (США). Содержание полифенолов рассчитывали по стандартной кривой, полученной с использованием 6 растворов галловой кислоты (Sigma) в интервале концентрации 0-90 мкг/мл. Результаты определения выражали в мг-экв галловой кислоты/г сухой массы (мг ГКЭ/г с.м.).

Антиоксидантная активность (АОА)

Для определения антиоксидантной активности использовали колориметрический метод (Голубкина и др., 2020), основанный на титровании раствора 0.01 N $KMnO_4$ в кислой среде этанольным экстрактом кервеля до обесцвечивания раствора, свидетельствующего о полном восстановлении Mn^{+6} до Mn^{+2} . В качестве внешнего стандарта использовали галловую кислоту. Результаты определения выражали в мг-экв галловой кислоты/г сухой массы (мг ГКЭ/г с.м.).

Флавоноиды

Содержание флавоноидов устанавливали спектрофотометрически по величине поглощения комплекса флавоноидов с хлористым алюминием при 415 нм (Голубкина и др., 2020). В качестве внешнего стандарта применяли кверцетин (Sigma).

Фотосинтетические пигменты

Содержание фотосинтетических пигментов определяли спектрофотометрически на спиртовых экстрактах листьев с использованием уравнений, предложенных Lichtenthaler (1987):

$$\begin{aligned} Ch-a &= 13.36A664-5.19A649; \\ Ch-b &= 27.43A649-8.12A664; \\ Cc &= (1000A470-2.13Ch-a-97.63C-b)/209 \end{aligned}$$

где A = абсорбция, Ch-a = хлорофилл a, Ch-b = хлорофилл b, Cc = каротин

Результаты выражали в мг/г сырой массы.

Водорастворимые соединения

Уровень накопления водорастворимых соединений определяли в водных экстрактах образцов с использованием портативного кондуктометра TDS-3 (Корея) (Харченко и др., 2020).

Нитраты

Уровень нитратов регистрировали в водных экстрактах с применением ион селективного электрода на иономере Эксперт 001 (Эконикс, Россия) (Харченко и др., 2020).

Статистический анализ

Достоверность различий между показателями оценивалась с использованием теста Дункана и компьютерной статистической программы Excel

Результаты и обсуждение

1. Биометрические показатели, сухое вещество, водорастворимые соединения, нитраты

Анализ биометрических и некоторых биохимических показателей растений позволяет охарактеризовать сортобразец №22, как более низкорослый с более низкими показателями содержания сухого вещества, однако достоверно большими уровнями накопления водорастворимых соединений в листьях и черешках и

Таблица 1. Биометрические показатели и содержание сухого вещества в кервеле обогащенном и не обогащенном селеном
Table 1. Biometrical parameters and dry matter content in chervil fortified and non-fortified with selenium

| | Сортообразец Genotype | Контроль Contro | 25 мг Se/л 25 mg Se/L | 50 мг Se/л 50 mg Se/L | 75 мг Se/л 75 mg Se/L |
|---|--------------------------|--------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Высота, см Height. cm | №21-20 | 40±4a | 45±5b | 45±5b | 43±4c |
| | №24-20 | 45±5a | 50±5b | 46±4a | 41±4c |
| | №22-20 | 38±4a | 35±3b | 42±4c | 32±3d |
| Масса растений в горшке, г Plants mass in a pot, g | №21-20 | 282.9±26.1a | 377.9±38.0b | 345.6±33.4b | 348.4±35.1b |
| | №24-20 | 341.2±35.1a | 375.3±36.5a | 350.7±34.8a | 375.7±37.6a |
| | №22-20 | 154.0±13.9a | 189.0±17.9a | 195.9±19.7b | 164.9±15.8a |
| Сухое вещество, % Листья Leaves dry matter, % | №21-20 | 11.67±1.0a | 10.03±0.1a | 10.17±0.1a | 8.91±0.8b |
| | №24-20 | 10.93±1.0a | 10.62±1.0a | 9.64±0.9ab | 7.44±0.7b |
| | №22-20 | 8.40±0.8a | 8.40±0.8a | 7.78±0.7a | 8.56±0.8a |
| Сухое вещество, % Черешки Stems dry matter, % | №21-20 | 7.99±0.8a | 6.25±0.6b | 6.13±0.6b | 4.52±0.4c |
| | №24-20 | 7.12±0.7a | 5.04±0.5b | 4.98±0.5b | 4.51±0.4c |
| | №22-20 | 4.33±0.4a | 4.24±0.4a | 4.94±0.5b | 4.69±0.4ab |

* Значения в столбцах с одинаковыми индексами статистически не различаются согласно тесту Дункана при $p < 0.05$
Values in columns with similar indexes do not differ statistically according to Duncan test at $P < 0.05$

нитратов в листьях. Общей тенденцией для всех трех сортообразцов было слабое ингибирование роста кривеля селеном в концентрации 75 мг/л и ростостимулирующий эффект при дозах 25-50 мг/л. Уровень сухого вещества в листьях не изменялся при обогащении селеном сортообразца №22-20, однако достоверно снижался в сортообразцах №21-20 и №24-20 при использовании максимальной дозы селената натрия в 75 мг/л. В черешках снижение уровня сухого вещества по мере возрастания дозы селена было более выражено для сортообразцов №21-20 и №24-20 и достоверно не изменялось для сортообразца №22-20.

тер изменений, что и для водорастворимых соединений, что косвенно свидетельствовало о важной роли нитратов в формировании пула водорастворимых соединений. Действительно, между этими показателями нами была установлена прямая корреляция ($r=+0,92$; $P<0,001$; рис.1).

Отличительной особенностью обогащения кривеля селеном является достоверное повышение уровня нитратов в листьях и черешках при возрастании дозы микроэлемента (табл.2). С одной стороны, этот факт противоречит известным литературным данным о снижении уровня нитратов в растениях при обогащении микроэле-

Таблица 2. Влияние обогащения кривеля селеном на показатели содержания водорастворимых соединений и нитратов
Table 2. Effect of chervil selenium biofortification on water soluble compounds and nitrates content

| Показатель | Орган Organ | Сортообразец Genotype | Контроль Control | 25 мг Se/л 25 mg Se/L | 50 мг Se/л 50 mg Se/L | 75 мг Se/л 75 mg Se/L |
|--|---------------|-----------------------|------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| BPC, г /кг с.м. TDS, g/kg d.w. | Листья Leaves | №21-20 | 9.86±0.98a | 11.10±1.11ab | 10.72±1.07ab | 13.60±1.36cd |
| | | №24-20 | 10.20±1.02a | 10.98±1.09ab | 12.50±1.25bc | 15.52 ±1.55d |
| | | №22-20 | 16.65±1.66d | 13.94±1.39cd | 13.70±1.37cd | 16.25±1.62cd |
| | Черешки Stems | №21-20 | 11.20±1.12a | 11.88±1.19ab | 13.20±1.32ac | 21.91±2.19d |
| | | №24-20 | 10.70±1.07a | 13.96±1.39bc | 19.96±1.99d | 19.62±1.96d |
| | | №22-20 | 17.20±1.31d | 18.35±1.52d | 178.4±14.0d | 19.01±1.57d |
| Нитраты, г/кг с.м. Nitrates, g/kg d.w. | Листья Leaves | №21-20 | 3.9±0.3a | 5.2±0.5bc | 5.2±0.5bc | 7.2±0.7cd |
| | | №24-20 | 4.8±0.4b | 5.3±0.5bc | 6.2±0.6c | 7.6±0.7cd |
| | | №22-20 | 8.1±0.8d | 6.8±0.7cd | 6.5±0.6c | 7.1±0.7cd |
| | Черешки Stems | №21-20 | 5.6±0.5a | 5.5±0.5a | 7.0±0.7b | 9.7±0.9c |
| | | №24-20 | 5.7±0.6a | 7.4±0.7b | 9.3±0.9c | 10.8±1.0c |
| | | №22-20 | 6.8±0.5b | 7.0±0.6b | 8.0±0.7c | 8.0±0.7c |

BPC - водорастворимые соединения; значения каждого показателя для листьев и черешков с одинаковыми индексами статистически не различаются согласно тесту Дункана при $P<0.05$
TDS- total dissolved solids; Values for each parameter for leaves and stems with similar indexes do not differ statistically according to Duncan test at $p<0.05$

Уровень водорастворимых соединений в листьях и черешках кривеля оказался максимальным при дозе 75 мг селената натрия/л для сортообразцов №21-20 и №24-20 и не различался по другим вариантам. Напротив, сортообразец №22-20 имел постоянный более высокий уровень водорастворимых соединений не зависимо от дозы вносимого селена.

При анализе уровней накопления нитратов в листьях и черешках кривеля был выявлен практически тот же харак-

ментом. Известно, что селен способен повысить активность нитратредуктазы (Rios et al., 2010). С другой стороны, наблюдаемое явление косвенно свидетельствует в пользу изменения гормонального статуса растения. Действительно, ранее на шпинате было выявлено снижение уровня нитратов под действием селената натрия в женских растениях и достоверное увеличение в мужских формах (Golubkina et al., 2017). Исследование влияния фитогормонов на усвоение азота растениями указывает на участие цитокининов и гиббереллинов в накоплении нитратов, причем эти гормоны проявляют разнонаправленное действие (Garg, 2013). Очевидно, что выявление механизма возрастания уровня нитратов при обогащении кривеля селеном требует дополнительных исследований.

2. Фотосинтетические пигменты

Отличительной особенностью фотосинтетического аппарата кривеля является достоверно более высокие уровни биосинтеза каротина по сравнению с петрушкой (Молчанова и др., 2019). Поэтому у кривеля более светлые золотистые листья по сравнению с петрушкой.

Известно, что соединения селена участвуют в биосинтезе хлорофилла, что является причиной возрастания уровня фотосинтетических пигментов, в частности, при внекорневом внесении микроэлемента (Saffariadzi et al., 2012). Сравнение трех сортообразов кривеля по содержанию фотосинтетических пигментов указывает, что сортообразец №22-20 отличается более низкими уровнями

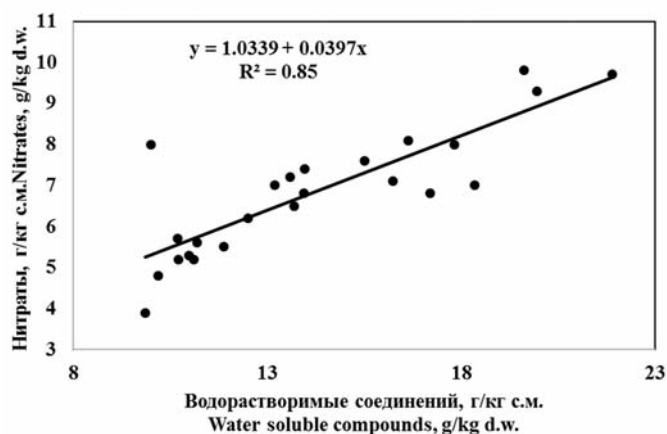


Рис.1. Взаимосвязь уровней накопления нитратов и водорастворимых соединений в обогащенном и не обогащенном селеном кривеле ($r=+0,92$; $P<0,001$)
Fig. 1. Relationship between nitrates and watersoluble compounds content in selenium fortified and non-fortified chervil

Таблица 3. Влияние обогащения кервеля селеном на накопление фотосинтетических пигментов в листьях растений
Table 3. Effect of selenium biofortification of photosynthetic pigments accumulation of chervil leaves

| Показатель Parameter | Обработки Treatment | Сортообразец Genotype | | |
|--------------------------------|------------------------|-----------------------|-------------|--------------|
| | | №21-20 | №24-20 | №22-20 |
| Хлорофилл а* Chlorophyll a* | control | 1.58±0.15a | 1.77±0.17ac | 1.24±0.12b |
| | 25 Se | 1.62±0.16a | 1.89±0.18c | 1.24±0.12b |
| | 50 Se | 1.88±0.19c | 1.38±0.13ab | 1.43±0.14a |
| | 75 Se | 1.32±0.13b | 1.69±0.17ac | 1.33±0.13b |
| Хлорофилл b* Chlorophyll b* | control | 0.66±0.06a | 0.54±0.05c | 0.55±0.05a |
| | 25 Se | 0.88±0.09b | 0.58±0.06a | 0.65±0.06a |
| | 50 Se | 0.78±0.08b | 0.45±0.04c | 0.58±0.06a |
| | 75 Se | 0.59±0.06a | 0.50±0.05a | 0.52±0.05c |
| Каротин* Carotene* | control | 0.59±0.06abe | 0.79±0.08d | 0.48±0.05e |
| | 25 Se | 0.67±0.06bc | 0.81±0.08d | 0.50±0.05ae |
| | 50 Se | 0.77±0.08cd | 0.66±0.06c | 0.61±0.06ab |
| | 75 Se | 0.56±0.06abe | 0.70±0.07bc | 0.58±0.06abe |

*значения представлены в мг/г сырой массы. Значения для каждого показателя с одинаковыми индексами статистически не различаются согласно данным теста Дункана при $P < 0.05$
Values are presented in mg/g fresh weight. Values for each parameter with similar indexes do not differ statistically according to Duncan test at $p < 0.05$

показателей. Однако доля каротиноидов в листьях выше, чем в сортообразцах №21-20 и №24-20, что придает золотистый цвет листьям. Для каждого сортообразца был характерен свой максимум накопления фотосинтетических пигментов при обработке растений раствором селената натрия: для №21-20 и №22-20 – при дозе селена 50 мг Se/л, для №24-20 – при дозе 25 мг Se/л.

3. Антиоксидантная активность и содержание полифенолов

Значительных изменений в накоплении антиоксидантов листьями и черешками кервеля при обогащении селеном выявлено не было, хотя проявлялась тенденция к возрастанию общей антиоксидантной активности, содержанию полифенолов и флавоноидов при внесении селена. Напротив, уровень аскорбиновой кислоты в листьях был максимален при дозе 25 мг/л (табл.4).

Таблица 4. Влияние обогащения кервеля селеном на уровень накопления полифенолов, флавоноидов, аскорбиновой кислоты и общей антиоксидантной активности

Table 4. Effect of selenium biofortification on phenolics, flavonoids, ascorbic acid content and total antioxidant activity in chervil leaves and stems

| Показатель Parameter | Орган Organ | Сорто-образец Genotype | Контроль Control | 25 mg Se/L | 50 mg Se/L | 75 mg Se/L |
|--|------------------|---------------------------|---------------------|---------------|---------------|---------------|
| АОА, мг ГКЭ/г с.м. AOA mg GAE/g d.w. | Листья Leaves | 21-20 | 35.68ac | 41.71c | 40.89c | 33.12a |
| | | 24-20 | 32.99a | 33.17a | 35.06ac | 31.55a |
| | | 22-20 | 33.72a | 37.12ac | 34.07a | 30.83ab |
| | Черешки Stems | 21-20 | 27.69b | 26.76b | 22.87bd | 14.67eg |
| | | 24-20 | 21.53d | 21.93d | 18.78d | 16.69ed |
| | | 22-20 | 13.23gh | 14.25eg | 14.04eg | 12.19h |
| Полифенолы, мг ГКЭ/г с.м. Phenolics, mg GAE/g d.w. | Листья Leaves | 21-20 | 10.81a | 10.48a | 12.72b | 10.54a |
| | | 24-20 | 11.88ab | 12.90b | 11.51ab | 9.80a |
| | | 22-20 | 8.72 | 11.64ab | 10.93a | 9.59a |
| | Черешки Stems | 21-20 | 6.35cd | 6.89cd | 7.62c | 4.60e |
| | | 24-20 | 4.29e | 5.85d | 5.69d | 4.18 |
| | | 22-20 | 4.04e | 4.11e | 4.80e | 3.86e |
| Флавоноиды, мг-экв кверцетина/г с.м. Flavonoids. Mg-eq /g d.w. | Листья Leaves | 21-20 | 5.7ab | 6.6 a | 6.3a | 5.2b |
| | | 24-20 | 5.0b | 5.1b | 6.0a | 5.7a |
| | | 22-20 | 9.8 c | 12.4d | 11.2cd | 10.8c |
| | Черешки Stems | 21-20 | 2.3e | 2.4e | 2.3e | 2.2e |
| | | 24-20 | 2.3e | 3.4f | 3.4f | 2.1e |
| | | 22-20 | 6.7a | 7.1a | 6.5a | 5.9a |
| Аскорбиновая к-та, мг/100 г сырой м. AA, mg/100 g f.w. | Листья Leaves | 21-20 | 56.8a | 66.4b | 63.5ab | 37.3c |
| | | 24-20 | 50.6ad | 54.4a | 34.5c | 32.9c |
| | | 22-20 | 35.2c | 47.1d | 34.8c | 34.1c |
| | Черешки Stems | 21-20 | 16.4e | 18.6e | 16.0e | 12.4 |
| | | 24-20 | 8.7 | 15.5ef | 13.0 f | 7.6h |
| | | 22-20 | 9.9gh | 13.8g | 15.0fg | 13.1g |

Значения для каждого биохимического показателя с одинаковыми индексами статистически не различаются согласно тесту Дункана при $P < 0.5$
Values for each parameter with similar indexes do not differ statistically according to Duncan test at $p < 0.05$

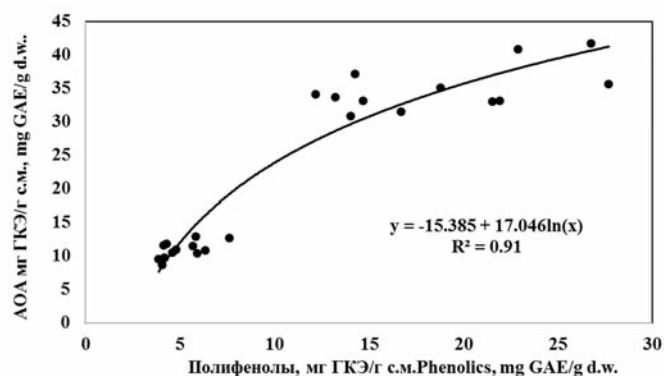


Рис. 2. Взаимосвязь между общей антиоксидантной активностью листьев и черешков кервеля и содержанием полифенолов ($r=+0,954$; $P<0,01$)
 Fig.2. Relationship between AOA and phenolics in leaves and stems of chervil ($r=+0.954$; $P<0.01$)

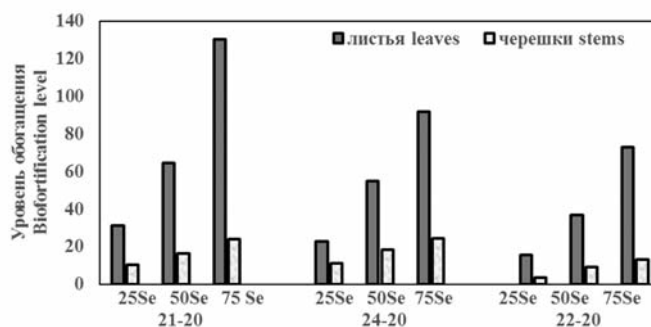


Рис. 3. Уровни обогащения селеном трех сортообразцов кервеля при разных дозах микроэлемента
 Fig.3. Intervarietal differences of selenium biofortification level at different selenium doses

Таблица 5. Уровни накопления селена листьями и черешками кервеля при внекорневом обогащении растений раствором селената натрия разной концентрации
 Table 5. Selenium accumulation by leaves and stems of chervil under foliar application of sodium selenate of different concentrations

| | Сортообразец Genotype | Контроль Control | 25 mg Se/L | 50 mg Se/L | 75 mg Se/L |
|---|-----------------------|------------------|------------|------------|------------|
| Se листьев, мкг/кг с.м. Leaves Se, µg/kg d.w. | №21-20 | 82±7a | 2552±211c | 5298±421e | 10663±902f |
| | №24-20 | 110±10b | 2502±205c | 6026±434e | 10077±900f |
| | №22-20 | 85±7ab | 1314±106d | 3133±256g | 6196±514e |
| Se черешков, мкг/кг с.м. Stems Se, µg/kg d.w. | №21-20 | 95±8ab | 971±85h | 1541±114d | 2272±212c |
| | №24-20 | 87±7a | 956±82h | 1585±123d | 2105±199c |
| | №22-20 | 72±6a | 256±20j | 655±53k | 955±82h |

Значения с одинаковыми индексами статистически не различаются согласно тесту Дункана при $P<0,05$
 Values with similar indexes do not differ according to Duncan test at $P<0.05$

4. Аккумуляция селена

Чувствительность растений к воздействию селена является определяющей в эффективности получения функциональных продуктов питания, обогащенных микроэлементами. Кервель, как и другие представители семейства Ариáceае относится к растениям, не аккумуляторам селена, что вызывает необходимость четкого выбора дозы вносимого микроэлемента без достоверного снижения урожая и качества получаемой продукции. Оценка межсортовых различий в накоплении селена кервелем в условиях внекорневого внесения микроэлемента выявила, что сортообразец №22-20 в 1,5-2 раза меньше накапливает микроэлемент в листьях и в 2,4-4,8 раза – в черешках по сравнению с сортообразцами №21-20 и №24-20 (табл.5). Уровень обогащения селеном во всех случаях был дозозависимым и максимальным при обработке растений раствором в концентрации 75 мг Се/л. В этих условиях 10 г сухих листьев кервеля обеспечивают 150% суточной потребности человека в селене при использовании сортообразцов №21-20 и №24-20 и 90% суточной потребности – для сортообразца №22-20. Поскольку доза 50 мг селената натрия/л обеспечивает более высокую урожайность и максимальное накопление биологически активных соединений: полифенолов, флавоноидов, аскорбиновой кислоты, этот вариант обработки представляется оптимальным. Действительно, 10 г сухих листьев при выбранной дозе будет обеспечивать 86% от рекомендуемого суточного потребления селена (70 мкг) для сортообразцов №21-20 и №24-20 и 45% – для сортообразца №22-20.

Данные рисунка 3 показывают, что уровни обогащения селеном кервеля являются сортоспецифичными при минимальных значениях, характерных для сортообразца №22-20.

Известно, что наиболее биологически активными в растениях являются водорастворимые подвижные формы селена (Голубкина, Папазян, 2006). Сравнение уровней накопления водорастворимых форм селена в кервеле и петрушке, обогащенных селеном, показала более высокие уровни у кервеля по сравнению с листовыми формами петрушки (рис.4).

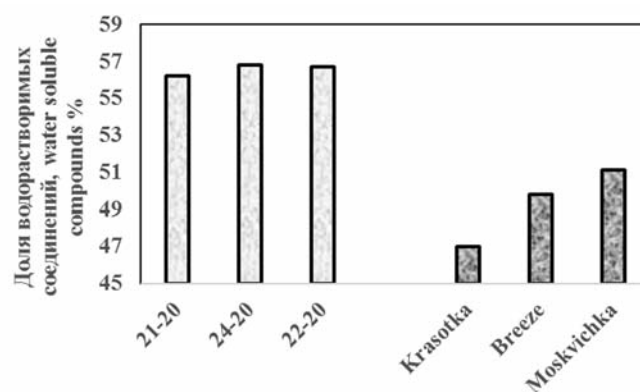


Рис. 4. Доля водорастворимых соединений селена в листьях кервеля и листовой петрушки в условиях внекорневого обогащения селеном
 Fig. 4. Water soluble selenium in leaves of chervil and parsley under foliar application of 25 mg Se/L dose

5. Элементный состав

Исследование элементного состава кервеля, обогащенного и не обогащенного селеном, показало отсутствие значимых различий между обогащенными и не обогащенными образцами, однако значимые различия в элементном составе наблюдались между сортами. Так, сортообразец №21-20 отличался повышенным

содержанием алюминия, бора, кобальта, меди, калия и фосфора и минимальным уровнем стронция. Сортообразец №24-20 отличался повышенным содержанием хрома, никеля и кремния, в то время как сортообразец №22-20 характеризовался наименьшими уровнями накопления тяжелых металлов, мышьяка и алюминия (табл.6).

Таблица 6. Усредненные показатели элементного состава сортообразцов кервеля
Table 6. Mean levels of chervil leaves mineral content

| | №22-20 | №24-20 | №21-20 |
|---|-------------|--------------|--------------|
| Макроэлементы Macroelements | | | |
| Ca | 24059±2406a | 25986±2599a | 25058±2506a |
| K | 38295±3830a | 41528±4153ab | 48276±4828b |
| Mg | 3397±340a | 3340±334a | 3176±318a |
| Na | 456±46a | 444±44ab | 363±36b |
| P | 4208±421a | 4626±463a | 6054±605b |
| Тяжелые металлы и алюминий и мышьяк Heavy metals, aluminum and arsenic | | | |
| Al | 28.01±2.8a | 31.35±3.14a | 45.89±4.59b |
| As | 0.04±0.007a | 0.07±0.011b | 0.07±0.011b |
| Cd | 0.73±0.087a | 0.89±0.106a | 0.93±0.111a |
| Cr | 1.48±0.15a | 2.42±0.24b | 1.62±0.16a |
| Cu | 5.8±0.58a | 7.23±0.72b | 8.8±0.88b |
| Ni | 0.79±0.095a | 1.72±0.17b | 0.9±0.108a |
| Pb | 0.33±0.039a | 0.46±0.055b | 0.45±0.054b |
| Sn | 0.01±0.002a | 0.01±0.002a | 0.01±0.002a |
| Sr | 121±12a | 128±13a | 96.3±9.63b |
| V | 0.14±0.017a | 0.25±0.03b | 0.21±0.025b |
| Микроэлементы Microelements | | | |
| I | 0.19±0.022a | 0.24±0.029a | 0.22±0.027a |
| B | 22.83±2.28a | 25.06±2.51ab | 27.77±2.78b |
| Co | 0.07±0.011a | 0.08±0.012ab | 0.1±0.015b |
| Fe | 228±23a | 246±25ab | 279±28b |
| Li | 1.99±0.2a | 2.11±0.21a | 1,84±0.18a |
| Mn | 152±15a | 175±17a | 174±17a |
| Mo | 4.22±42a | 4.92±0.49a | 5.18±0.52a |
| Se | 6.310.63 | 9.520.95 | 11.181.12 |
| Si | 27.32±2.73a | 44±4.4b | 25.8±2.58a |
| Zn | 52.64±5.26a | 60.84±6.08ab | 64.81±6.48ab |

Заключение

Проведенные исследования по обогащению кервеля селеном выявили значительные межсортные различия в уровнях обогащения микроэлементов и незначительное влияние вносимого селена на антиоксидантный статус растений, при незначительном снижении показателей для максимальной дозы селената натрия в 75 мг/л. Данные элементного состава

растений выявили отсутствие значимого влияния обогащения селеном на минеральный состав растений и сортоспецифические особенности накопления отдельных элементов. В целом, результаты исследования свидетельствуют о перспективности обогащения кервеля селеном с целью получения функционального продукта с повышенным содержанием микроэлемента.

Об авторах:

Виктор Александрович Харченко – кандидат с.-х. наук, зав. лаб. селекции и семеноводства зеленных, пряно-вкусовых и цветочных культур, <https://orcid.org/0000-0003-2775-9140>

Надежда Александровна Голубкина – доктор с.-х. наук, главный научный сотрудник лабораторно-аналитического отдела, <https://orcid.org/0000-0003-1803-9168>, segolubkina45@gmail.com

Анастасия Ильинична Молдован – аспирант, мл. научный сотрудник лаборатории зеленных культур, nastiamoldovan@mail.ru

Джанлука Карузо – проф. Неаполитанского университета, gcaruso@unina.it, <http://orcid.org/0000-0002-7301-8151>

About the authors:

Viktor A. Kharchenko – Cand. Sci. (Agriculture), Head of Laboratory of Selection And Seed Production Of Green, Spice-Flavoring and Flower Crops, kharchenkoviktor777@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2775-9140>

Nadezhda A. Golubkina – Doc. Sci. (Agriculture), Chief Researcher Laboratory Analytical Department, <https://orcid.org/0000-0003-1803-9168>, segolubkina45@gmail.com

Anastasia I. Moldovan – Graduate Student, junior researcher, laboratory of Selection And Seed Production Of Green, Spice-Flavoring and Flower Crops, nastiamoldovan@mail.ru

Gianluca Caruso – prof. Naples State University, gcaruso@unina.it, <http://orcid.org/0000-0002-7301-8151>

• Литература / References

1. Голубкина Н.А., Папазян Т.Т. Селен в питании. Растения, животные, человек. М., *Печатный город*. 2006. [Golubkina N.A., Papazyan T.T. Selenium in nutrition. Plants, animals, man. M., *Printing town*. 2006. (In Russ.)]
2. Голубкина Н.А., Синдирева А.В., Зайцев В.Ф. Внутрорегиональная вариабельность селенового статуса населения России. *Юг России. Экология и развитие*. 2017;12(1):107-127. [Golubkina N.A., Sindireva A.V., Zaitsev V.F. Intraregional variability of the selenium status of the population of Russia. *South of Russia. Ecology and development*. 2017;12(1):107-127. (In Russ.)]
3. Голубкина Н.А. Антиоксиданты растений и методы их определения. М., *Инфра-М*. 2020. [Golubkina N.A. Plant antioxidants and methods for their determination. M., *Infra-M*. 2020. (In Russ.)]
4. Голубкина Н.А., Надежкин С.М., Лосева Т.А., Соколова А.Я. Глобальный экологический кризис. Проблемы и решения. М. *ВНИИССОК*, 2012. [Golubkina, N.A., Nadezhkin, S.M., Loseva, T.A., Sokolova, A.J. Global ecological crisis. Problems and decisions. Moscow, *VNISSOK*. 2012. (in Russ.)]
5. ГОСТ 31640-2012 Межгосударственный стандарт «Корма. Методы определения содержания сухого вещества». ["Feeds. Methods for determination of dry matter content".]
6. Ковальский Ю.Г., Голубкина Н.А., Папазян Т.Т., Сенькевич О.А. Селеновый статус жителей Хабаровского края. *Микроэлементы в медицине*. 2019;20(3):45-53. [Kovalsky Yu.G., Golubkina N.A., Papazyan T.T., Senkevich O.A. Selenium status of residents of the Khabarovsk Territory. *Trace elements in medicine*. 2019;20(3):45-53. (In Russ.)]
7. Молчанова А.В., Голубкина Н.А., Кошеваров А.А., Харченко В.А., Шевченко Ю.П. Биохимическая характеристика сортов петрушки различных разновидностей (*Petroselinum crispum* [Mill.] Nym. ex A.W. Hill.). *Овощи России*. 2019;(3):74-79. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2019-3-74-79> [Molchanova A.V., Golubkina N.A., Koshevarov A.A., Kharchenko V.A., Shevchenko J.P. Biochemical characteristics of parsley varieties (*Petroselinum crispum* [Mill.] Nym. ex A.W. Hill.). *Vegetable crops of Russia*. 2019;(3):74-79. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2019-3-74-79>]
8. Харченко В.А., Молдован А.И., Голубкина Н.А., Гинс М.С., Шафигуллин Д.Р. Сравнительная оценка содержания некоторых биологически активных соединений в лесном купуре *Anthriscus sylvestris* (L.) Hoffm. и садовом кервеле *Anthriscus cerefolium* (L.) Hoffm. *Овощи России*. 2020;(5):81-87. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2020-5-81-87> [Kharchenko V.A., Moldovan A.I., Golubkina N.A., Gins M.S., Shafigullin D.R. Comparative evaluation of several biologically active compounds content in *Anthriscus sylvestris* (L.) Hoffm. and *Anthriscus cerefolium* (L.) Hoffm. *Vegetable crops of Russia*. 2020;(5):81-87. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2020-5-81-87>]
9. Ahmad BS, Talou T, Saad Z, Hijazi A, Merah O. The Apiaceae: Ethnomedicinal family as source for industrial uses. *Industrial Crops and Products, Elsevier*. 2017;(109):661-671. DOI: 10.1016/j.indcrop.2017.09.027. hal-01607960
10. Aćimović M.G. Nutraceutical Potential of Apiaceae. In: Mérillon JM., Ramawat K. (eds) *Bioactive Molecules in Food*. 2017. *Reference Series in Phytochemistry*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-54528-8_17-1
11. Chojnacka, K., Witek-Krowiak, A., Skrzypczak, D., Mikula, K., Młynarz, P.

12. Garg S.K Role and hormonal regulation of nitrate reductase activity in higher plants. A review. *Plant Sci. Feed*. 2013;(3):13-20.
13. Golubkina N.A., Kosheleva O.V., Krivenkov L.V., Dobrutskaya H.G., Nadezhkin S., Caruso G. Intersexual differences in plant growth, yield, mineral composition and antioxidants of spinach (*Spinacia oleracea* L.) as affected by selenium form. *Sci.Hort*. 2017;(2250):350-358.
14. Haq, F.U., Roman, M., Ahmad, K., Rahman, S.U., Shah, S.M.A., Suleman, N., Ullah, S., Ahmad, I., Ullah, W. Artemisia annua: Trials are needed for COVID-19. *Phytother. Res*. 2020;(1-2). DOI: 10.1002/ptr.6733.
15. Harthill, M. Review: micronutrient selenium deficiency influences evolution of some viral infectious diseases. *Biol Trace Elem. Res*. 2011;143(3):1325–1336. <https://doi.org/10.1007/s12011-011-8977-1>.
16. Jones, G.D., Droz, B., Greve, P., Gottschalk, P., Poet, D., McGrath, S.P. Selenium deficiency risk predicted to increase under future climate change. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 2017;(114):2848–2853.
17. Kieliszek, M., Lipinski, B. Selenium supplementation in the prevention of coronavirus infections (COVID-19). *Med. Hypotheses*. 2020;(143):109878.
18. Lichtenthaler H.K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods of Enzymology*. 1987;(148):350-382. doi:10.1016/0076-6879(87)48036-1
19. Nelson, H.K., Shi, Q., Van Dael, P., Schiffrin, E.J., Blum, S., Barclay, D., Levander, O.A., Beck, M.A. Host nutritional selenium status as a driving force for influenza virus mutations. *FASEB J*. 2001;15(10):1846–1848. <https://doi.org/10.1096/fj.01-0115fj>
20. Pilon-Smits E.A.H. On the ecology of selenium accumulation in plants. *Plants*. 2019;(8):197. doi: 10.3390/plants8070197
21. Rayman, M.P. Food-chain selenium and human health: Emphasis on intake. *The Brit. J. Nutr*. 2008;100(2):254-268. DOI: 10.1017/S0007114508939830
22. Rios J.J., Blasco B., Rosales M.A., Sanchez-Rodriguez E., Leyva L., Cervilla L.M., Romera L, Ruiz J.M. Response of nitrogen metabolism in lettuce plants subjected to different doses and forms of selenium. *JK.Sci Food Agric*. 2010;(90):1914-1919.
23. Saffariadzi A, Lahouti M, Ganjeali A, Bayat H Impact of selenium supplementation on growth and selenium accumulation on spinach (*Spinacia oleracea*) plants. *Not.Sci.Biol*. 2012;(4):95-100.
24. Steinbrenner H., Al-Quraishy S., Dkhil M.A., Wunderlich F., Sies H. Dietary Selenium in Adjuvant Therapy of Viral and Bacterial Infections. *Adv Nutr*. 2015;6(1):73–82. doi: 10.3945/an.114.007575
25. Vyas A., Shukla S.S., Pandey P., Jain V., Joshi V., Gidwani B. Chervil: A multifunctional Miraculous Nutritional Herb. *Asian J. Plant Sci*. 2012;11(4):163-171. doi:10.3223/ajps.2012.163.171
26. Zhang, L., Liu, Y. Potential interventions for novel coronavirus in China: A systematic review. *J. Med. Vir*. 2020a;(92):479–490. <https://doi.org/10.1002/jmv.2570>
27. Zhang, J., Taylor, E.W., Bennett, K., Saad, R., Rayman, M.P. Association between regional selenium status and reported outcome of COVID-19 cases in China. *Am. J. Clin. Nutr*. 2020b;111(6):1297–1299. <https://doi.org/10.1093/ajcn/nqaa095>.