

УДК 543.426:631.811

**ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ СЕМЯН СЕМЕЙСТВА *APIACEAE***© *В.Н. Зеленков*<sup>1,2</sup>, *М.И. Иванова*<sup>1,2\*</sup>, *А.А. Лапин*<sup>2</sup>, *В.В. Латушкин*<sup>3</sup><sup>1</sup> *Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений, ул. Грина, 7, Москва, 117216 (Россия), e-mail: ivanova\_170@mail.ru*<sup>2</sup> *Всероссийский научно-исследовательский институт овощеводства – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства», д. Веря, Московская область, 140153 (Россия)*<sup>3</sup> *АНО Институт стратегий развития, пер. Столешников, 11, Москва, 107031 (Россия)*

Цель исследований – сравнительное изучение количественного содержания макро- и микроэлементов в семенах семейства Сельдерейные. В работе с использованием метода рентгенофлуоресцентного анализа изучен элементный состав семян сельдерейных культур – моркови, петрушки, сельдерея, кориандра и пастернака. Составлены индивидуальные профили (ряды по накоплению макро- и микроэлементов) и по большинству элементов отмечена их схожесть, что говорит об общности протекания процессов метаболизма у растений родственных видов. Из макроэлементов в семенах изученных видов в максимальном количестве накапливаются Са и К, а также Р, Mg, S, из микроэлементов – Fe, Zn, Mn. Различия в накоплении элементов по различным культурам зависели от вида макро- или микроэлемента. Относительно слабо различается по видам накопление Са, Р, К, Zn, Pb, Ni, Zr, а наиболее вариabельны по культурам концентрации Si, Na, Al, Br, Ti Sr, Fe. Отмечено значительное накопление Si в семенах пастернака, что нехарактерно для других изученных видов. В целом семена пастернака обладают наиболее богатым набором макро- и микроэлементов по сравнению с другими сельдерейными культурами. Проанализированные образцы семян имели большое разнообразие в минеральном составе. Многочисленные вариации среди видов, принадлежащих к одному семейству, вероятно, обусловлены индивидуальной генетической структурой, а также различными условиями выращивания.

*Ключевые слова:* петрушка, сельдерей, морковь, кориандр, пастернак, *Apiaceae*, сорт, семена, макроэлементы, микроэлементы.

**Введение**

Актуальной задачей медицинской науки в настоящее время является расширение исследований эффективных и безопасных лекарственных средств растительного происхождения, в том числе из растений, принадлежащих к семейству *Apiaceae* [1]. Одним из важных аспектов является обеспечение сбалансированного питания человека, в частности, за счет обеспечения минеральными элементами. Минеральное

---

*Зеленков Валерий Николаевич* – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник отдела селекции и семеноводства, главный научный сотрудник отдела растительных ресурсов, e-mail: zelenkov-raen@mail.ru

*Иванова Мария Ивановна* – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник отдела селекции и семеноводства, главный научный сотрудник отдела растительных ресурсов, e-mail: ivanova\_170@mail.ru

*Лапин Анатолий Андреевич* – кандидат химических наук, e-mail: lapinanatol@mail.ru

*Латушкин Вячеслав Васильевич* – кандидат сельскохозяйственных наук, специалист-агротехнолог, e-mail: slavalat@yandex.ru

недоедание – широко распространенная проблема здравоохранения как в развивающихся, так и в развитых странах, где до двух третей населения мира считается подверженным риску неадекватного потребления одного или нескольких основных минеральных элементов [2]. Одним из возможных способов решения этой проблемы является биофортификация, при которой выращивают сельскохозяйственные культуры, содержащие необходимые минеральные элементы, повышающие их пищевую ценность для человека [3, 4]. Минеральные питательные вещества семян составляют значительный источник для роста и развития сосудистых расте-

---

\* Автор, с которым следует вести переписку.

ний [5, 6]. Известно, что как минимум 17 элементов являются важными питательными веществами для растений [7]. Элементный состав субклеточного компартмента, клетки, ткани или организма называется его иономом [8]. Иономом включает все минеральные элементы, существенные или несущественные для жизни, в какой бы химической форме они ни существовали. Многие исследования показывают, что концентрации минеральных элементов в тканях растений различаются у разных видов растений. Ранее было обнаружено, что аспекты иономом (например, концентрации Са и Mg) дифференцируют таксоны покрытосеменных растений [9, 10].

Знание систематических изменений в концентрациях минеральных элементов может быть использовано как в сельском хозяйстве для оптимизации внесения удобрений под сельскохозяйственные культуры [9], так и для доставки минеральных элементов в рационы человека и домашнего скота [10], и в синэкологии, чтобы улучшить наше понимание структуры и функции растительных сообществ [11, 12] и круговорота природных и антропогенных минеральных элементов в окружающей среде [13, 14]. Кроме того, информация из этих мета-анализов может дать представление об эволюции различий в концентрациях минеральных элементов в тканях растений между таксонами [15].

Цель исследования – получение дополнительной информации о количественном содержании макро- и микроэлементов в семенах семейства Сельдерейные для создания эффективных и безопасных пищевых продуктов и лекарственных средств растительного происхождения. Работа является продолжением цикла исследований по изучению элементного состава семян овощных культур [16, 17].

### **Экспериментальная часть**

В качестве объекта исследований взяты семена растений семейства сельдерейные (*Apiaceae*): петрушки *Petroselinum crispum* (Mill.) Nym. var. *vulgare* (Nois.) Danert – обыкновенной (сорт Обыкновенная листовая); сельдерея *Apium graveolens* L. var. *rapaceum* (Mill.) DC. – корневого (сорт Корневой грибовский); моркови посевной *Daucus carota* L. (сорт Ройал Форте); кориандра посевного *Coriandrum sativum* L. (сорт Янтарь); пастернака *Pastinaca sativa* L. (сорт Кулинар).

Определение содержания химических элементов в семенах проводили методом рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) в Институте геохимии СО РАН (Иркутск, Россия). Для приготовления образцов к РФА растительный материал, высушенный до воздушно-сухого состояния и предварительно измельченный до порошка грубого помола, дотирали в агатовой ступке до пудрообразного состояния. Далее на аналитических весах брали навеску 0.5 г, засыпали ее в пресс-форму. Сверху добавляли борную кислоту для формирования излучателя на подложке и при усилии 18 тонн прессовали таблетку [18]. Измерения интенсивностей аналитических линий элементов Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Br, Rb, Sr, Zr, Ba и Pb и интенсивностей фона рядом с линиями выполняли на рентгеновском спектрометре S4 Pioneer (Bruker, Германия). Рентгеновская трубка с родиевым анодом работала при напряжении 30 и 50 кВ и различной силе тока, в зависимости от определяемого элемента. Для каждой линии были выбраны условия измерения: время набора импульсов, кристалл-анализатор, детектор. Градуировочную зависимость строили, используя отечественные и зарубежные стандартные образцы составов: зерен пшеницы СБМП-02 (ГСО 3171-85), клубней картофеля СМБК-02 (ГСО 3169-85), листа березы ЛБ-1 (ГСО 8923-2007), луговой травосмеси Тр-1 (ГСО 8922-2007), элодеи канадской ЕК-1 (ГСО 8921-2007), а также веток и листьев тополя (GBW 07603, GBW 07604), листьев чая (GBW 07605). Используемая в эксперименте методика (РФА) предусматривает проверку получения достоверных аналитических данных. Это достигается путем сравнения результатов РФА польского стандартного образца травосмеси INCT-MPH-2 с аттестованными значениями по содержанию элементов [18]. Значения пределов обнаружения элементов составили, %: Na (0.0030), Mg (0.0010), Al (0.0020), Si (0.0030), P (0.0020), S (0.0020), K (0.0020), Cl (0.0100), Ca (0.000), Ti (0.0003), Cr (0.0002), Mn (0.0005), Fe (0.0010), Ni (0.0001), Cu (0.0002), Zn (0.0003), Br (0.0001), Rb (0.0002), Ba (0.0003) и Pb (0.0002).

### **Обсуждение результатов**

Сравнительный анализ семян ряда сельдерейных культур, проведенный по единой методике, показал, что основную часть комплекса макроэлементов семян составляют Са и К, а также Р, Mg и S (табл. 1). В семенах пастернака обнаружено также высокое содержание Si (0.857%), что нехарактерно для других изученных видов сем. Сельдерейные.

Полученные нами данные в целом сопоставимы с полученными другими исследователями по отдельным культурам. Так, в семенах сельдерея авторами [19, 20] отмечены следующие показатели (данные авторов для сопоставимости пересчитаны в % на сухое вещество): Ca – 1.767, Mg – 0.440, P – 0.547, K – 1.4, Na – 0.160%. По нашим данным, в семенах сельдерея накапливалось соответственно 1.59; 0.257; 0.35; 0.8; 0.1%. Сопоставимые результаты получены также по элементному составу семян моркови [21].

По результатам элементного анализа составлены сравнительные ряды по накоплению макроэлементов в семенах пяти культур в порядке возрастания концентрации элементов: морковь Ройял Форте Al/ Si/ Na/ Cl/ Mg/ S/ P/ K/ Ca; кориандр Янтарь Al/ Si/ Na/ Cl/ S/ P/ Mg/K/ Ca, пастернак Кулинар Na/ Al/ Cl/ S/ Mg/ P/ Si/ Ca/ K, петрушка Обыкновенная листовая Al/ Na/ Si/ Cl/ S; Mg/ P/ K/ Ca, сельдерей Корневой грибовский Al/ Si/ Na/ Cl/ Mg/ S/ P/ K/ Ca.

В целом соотношение рядов макроэлементов по разным культурам однотипно (максимальные концентрации Ca и K и минимальные Al и Si), что можно объяснить сходным метаболизмом видов одного семейства и законом гомологических рядов Н.И. Вавилова. Разные виды семейства Сельдерейные имеют сходный химический состав семян по элементам, составляющие основную массу золы семян (Ca, P, K, Mg, S). Данные таблицы 2 показывают, что у семян разных сельдерейных культур содержание указанных элементов различается не более чем в 1.1–1.9 раза. В то же время для элементов, накапливающихся в меньших количествах (Si, Na, Al, а также Cl), наблюдаются различия по культурам. Накопление Si и Al в максимальном количестве характерно для семян пастернака, Na – кориандра. Наиболее сильно отличаются по сравнению с другими видами семейства Сельдерейные семена пастернака, исследованного в эксперименте сорта Кулинар, характеризующиеся повышенным накоплением Si и пониженным – Na. В целом семена пастернака обладают весьма насыщенным набором макроэлементов по сравнению с другими культурами.

Другая важная дифференциация сельдерейных культур наблюдалась в отношении соотношения Na/K, которое было заметно выше у сельдерея (0.168). Далее по этому показателю в порядке убывания составили морковь (0.084), кориандр (0.042), петрушка и пастернак (0.006). Эта особенность представляет особый интерес для питания человека, учитывая связь продуктов с низким Na/K с более низкой частотой гипертонии и остановки сердца [22].

Таблица 1. Содержание макроэлементов в семенах различных видов сельдерейных культур, % на сухое вещество, масс.

Элемент	Морковь Ройял Форте	Кориандр Янтарь	Пастернак Кулинар	Петрушка Обыкновенная листовая	Сельдерей Корневой грибовский
Na	0.1250±0.01888	0.0512±0.0084	0.0092±0.0002	0.0057±0.0009	0.1020±0.0143
Mg	0.2470±0.0072	0.4109±0.0123	0.4289±0.0163	0.2587±0.0085	0.2570±0.0056
Al	0.0163±0.0019	0.0147±0.0018	0.0398±0.0046	0.0027±0.0004	0.0180±0.0012
Si	0.0506±0.0021	0.0437±0.0017	0.8569±0.0312	0.0185±0.0006	0.0570±0.0021
P	0.4280±0.0087	0.3190±0.0068	0.4400±0.0093	0.4980±0.0098	0.3500±0.0069
S	0.2940±0.0070	0.2470±0.0063	0.3020±0.0061	0.2210±0.0062	0.3200±0.0073
Cl	0.2382±0.0489	0.0529±0.1120	0.2551±0.5211	0.0263±0.0058	0.1100±0.208
K	1.4750±0.1505	1.2180±0.1168	1.5160±0.1489	1.2930±0.1521	0.8000±0.0793
Ca	1.5850±0.1610	1.4300±0.1398	1.3870±0.1421	1.5810±0.1598	1.5900±0.1231

Таблица 2. Варьирование содержания макроэлементов в семенах различных видов сельдерейных

Элемент	Максимальная по разным культурам концентрация, % на сухое вещество	Минимальная по разным культурам концентрация, % на сухое вещество	Средняя концентрация по всем культурам, % на сухое вещество	Отношение (кратность) максимальной и минимальной концентраций по разным культурам
Si	0.857 (пастернак)	0.019 (петрушка)	0.205	46.3
Na	0.125 (морковь)	0.006 (петрушка)	0.059	21.9
Al	0.040 (пастернак)	0.003 (петрушка)	0.018	14.7
Cl	0.255 (пастернак)	0.026 (петрушка)	0.137	9.7
S	0.320 (сельдерей)	0.221 (петрушка)	0.277	1.4
Mg	0.429 (пастернак)	0.247 (сельдерей)	0.321	1.7
P	0.498 (петрушка)	0.319 (кориандр)	0.407	1.6
K	1.516 (пастернак)	0.800 (сельдерей)	1.260	1.9
Ca	1.590 (петрушка)	1.387 (пастернак)	1.515	1.1

*Микроэлементы.* Содержание микроэлементов в семенах изученных сельдерейных культур приведено в таблице 3. В составе комплекса микроэлементов семян большинства изученных видов преобладают Fe, Zn, Mn. Минимальная концентрация – Br, Cr, Ni, Pb.

По результатам элементного анализа составлены сравнительные ряды по накоплению макроэлементов в семенах пяти культур в порядке возрастания концентрации элементов: морковь Ройал Форте Cr, Ni, Pb/Ti/Rb/Ba/Cu/Mn/Br/Zn/Fe, кориандр Янтарь Cr, Pb/Ni/Ti/Ba/Rb/Br/Cu/Mn/Zn/Fe, пастернак Кулинар Br, Pb/Ni/Ti/Ba/Rb/Br/Cu/Mn/Zn/Fe петрушка Обыкновенная листовая Cr, Br, Pb/Ti/Ni/Rb/Cu/Ba/Mn/Zn/Fe, сельдерей Корневой грибовский Ni/Cr/Pb/Br, Ba/Ti/Cu/Mn/Zn/Fe/. Как и по макроэлементам, соотношение рядов по накоплению микроэлементов в семенах сходно у семян разных видов одного семейства (Сельдерейные).

Относительно слабо различается (относительно стабильное содержание) по видам растений накопление в семенах Zn, Pb, Ni. По концентрации отдельных микроэлементов в семенах разных видов семейства Сельдерейные наблюдается значительное варьирование, особенно по Br, Ti, Fe (табл. 4). Больше всего Br накапливается в семенах моркови и кориандра, Ti – пастернака, Sr – кориандра, пастернака и сельдерея, Fe – пастернака и сельдерея.

У петрушки наиболее вариабельно по сортам накопление таких микроэлементов, как железо, медь, никель, марганец, а также барий, стронций, рубидий (табл. 4). Как и в семенах капустных культур [16] и лука репчатого [17], из микроэлементов в семенах петрушки преобладает цинк (табл. 3).

Таблица 3. Содержание микроэлементов в семенах различных видов сельдерейных культур, ppm

Элемент	Морковь Ройал Форте	Кориандр Янтарь	Пастернак Кулинар	Петрушка Обыкновенная листовая	Сельдерей Корневой грибовский
Fe*	0.0085±0.0008	0.0094±0.0009	0.0374±0.0035	0.0085±0.0008	0.0123±0.0011
Ti	5.4±0.6	4.3±0.3	31.8±3.3	3.0±0.3	9.0±0.8
Cr	<2.0	<2.1	5.4±0.3	<2.0	2.2±0/1
Mn	22.1±2.2	40.1±3.1	36.2±2.2	38.9±2.1	48.0±3/1
Ni	2.0±0.6	2.3±0.7	3.1±0.9	3±0.8	2.0±0.6
Cu	13.0±3.1	14.9±2.2	7.6±2.3	14.7±3.5	16.0±4.2
Zn	43.0±4.3	51.5±6.3	58.0±5.3	49.4±5.8	56.0±5.1
Br	26.6±2.2	12.6±3.7	<2	<2	6.0±1.6
Rb	8.2±3.1	11.7±	9.1±2.1	9.7±3.3	4.0±0.9
Pb	<2.0	<2	<2	<2	<3
Ba	12.4±1.7	7.2±0.6	9.0±1.1	20.2±2.3	6.0±0/6

\* Содержание элемента Fe приведено в % на сухое вещество, масс.

Таблица 4. Варьирование содержания микроэлементов в семенах различных видов сельдерейных

Элемент	Максимальная по разным культурам концентрация, ppm	Минимальная по разным культурам концентрация, ppm	Средняя концентрация по всем культурам, ppm	Отношение (кратность) максимальной и минимальной концентраций по разным культурам
Br	26.6 (морковь)	2.0 (пастернак. петрушка)	9.8	13.3
Ti	31.8 (пастернак)	3.0 (петрушка)	10.7	10.6
Fe*	0.037*(кориандр)	0.009*(петрушка)	0.015*	4.4
Cr	5.4 (пастернак)	2.0 (морковь. кориандр. петрушка)	2.7	2.7
Rb	11.7 (кориандр)	4.0 (сельдерей)	8.5	2.9
Cu	16.0 (сельдерей)	7.6 (пастернак)	13.2	2.1
Mn	48.0 (сельдерей)	22.1 (морковь)	37.1	2.2
Ba	20.2 (петрушка)	6.0 (сельдерей)	11.0	3.4
Ni	3.1 (пастернак)	2.0 (сельдерей. морковь)	2.5	1.6
Pb	3.0 (кориандр)	2.0 (сельдерей)	2.2	1.5
Zn	58.0 (пастернак)	43.0 (морковь)	51.6	1.3

Примечание: для Fe концентрация приведена в % на сухое вещество.

### Заключение

Полученные в настоящей работе данные позволяют получить дополнительную информацию о количественном содержании макро- и микроэлементов в семенах сельдерейных культур. В частности, по

накоплению макроэлементов в семенах петрушки выявлен ряд в порядке убывания: Ca>K>P>Mg>S>Cl>Si>Na>Al. По другим культурам порядок распределения элементов схожий, что говорит об общности протекания процессов метаболизма у растений родственных видов. Наиболее вариabельны по культурам концентрации Si, Na и Al. В то же время различия в накоплении элементов, составляющих основу минеральной части (Ca, P и K), незначительны. Из микроэлементов в семенах всех изученных видов семейства Сельдерейные в большей мере накапливаются Fe, Zn, Mn. Максимальные различия между видами – по Br, Ti Sr, Fe. Относительно слабо различается по видам накопление Zn, Pb, Ni, Zr.

Таким образом, для большинства исследованных макро- и микроэлементов, на наш взгляд, значения их концентраций в диапазоне разброса данных составляют характерные специфические профили для исследованных культур. Дальнейшие исследования в этом направлении могут уточнить предельные граничные значения диапазона характерных концентраций для элементного состава семян по конкретным элементам, что позволит говорить о специфичности элементного состава, связанного с их химическим составом, задаваемый геномом, т.е. говорить о характерном статусе вида по конкретным биогенным макро- и микроэлементам. Проанализированные образцы семян имели большое разнообразие минерального состава. Можно сделать вывод, что эти многочисленные вариации среди видов, принадлежащих к одному семейству, могли быть обусловлены индивидуальной генетической структурой, различными условиями выращивания.

### Список литературы

1. Sayed-Ahmad B., Thierry T., Saad Z., Hijazi A., Merah O. The Apiaceae: Ethnomedicinal family as source for industrial uses // *Industrial Crops and Products*. 2017. Vol. 109. Pp. 661–671. DOI: 10.1016/j.indcrop.2017.09.027.
2. Younis K., Ahmad S., Badra A. Malnutrition: causes and strategies // *J. Food Process Technol.* 2015. Vol. 6. P. 434. DOI: 10.4172/2157-7110.100043.
3. White P.J., Broadley M.R. Biofortification of crops with seven mineral elements often lacking in human diets-iron, zinc, copper, calcium, magnesium, selenium and iodine // *New Phytol.* 2009. Vol. 182. Pp. 49–84. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2008.02738.
4. Demirel S., Tuzen M., Saracoglu S., Soyak M. Evaluation of various digestion procedures for trace element contents of some food materials // *J. Hazard Mater.* 2008. Vol. 152. Pp. 1020–1026.
5. Tyler G., Zohlen A. Plant Seeds as Mineral Nutrient Resource for Seedlings – A Comparison of Plants from Calcareous and Silicate Soils // *Annals of Botany*. 1998. Vol. 81. Pp. 455–459.
6. Martínez-Ballesta M.C., Egea-Gilabert C., Conesa E., Ochoa J., Vicente M.J., Franco J.A., Bañon S., Martínez J.J., Fernández J.A. The Importance of Ion Homeostasis and Nutrient Status in Seed Development and Germination // *Agronomy*. 2020. Vol. 10. N4. P. 504. DOI: 10.3390/agronomy10040504.
7. Watanabe T., Urayama M., Shinano T., Okada R., Osaki M. Application of ionomics to plant and soil in fields under long-term fertilizer trials // *Springer Plus*. 2015. Vol. 4. P. 781. DOI: 10.1186/s40064-015-1562-x.
8. Salt D.E., Baxter I., Lahner B. Ionomics and the study of the plant ionome // *Annual Review of Plant Biology*. 2008. Vol. 59. Pp. 709–733.
9. Bowen H.C., Cotterill H.L., Hammond J.P., Meacham M.C., Mead A., White P.J. Phylogenetic variation in the shoot mineral concentration of angiosperms // *Journal of Experimental Botany*. 2004. Vol. 55. Pp. 321–336.
10. Shtangeeva I., Alber D., Bukalis G., Stanik B., Zepezauer F. Multivariate statistical analysis of nutrients and trace elements in plants and soil from northwestern Russia // *Plant and Soil*. 2009. Vol. 322. Pp. 219–228.
11. Kerkhoff A.J., Fagan W.F., Elser J.J., Enquist B.J. Phylogenetic and growth form variation in the scaling of nitrogen and phosphorus in the seed plants // *American Naturalist*. 2006. Vol. 168. Pp. 103–122.
12. Elser J.J., Fagan W.F., Kerkhoff A.J., Swenson N.G., Enquist B.J. Biological stoichiometry of plant production: metabolism, scaling and ecological response to global change // *New Phytologist*. 2010. Vol. 186. Pp. 593–608.
13. Watanabe T., Broadley M.R., Jansen S., White P.J., Takada J., Satake K., Takamatsu T., Tuah S.J., Osaki M. Evolutionary control of leaf element composition in plants // *New Phytologist*. 2007. Vol. 174. Pp. 516–523.
14. Amatangelo K.L., Vitousek P.M. Stoichiometry of ferns in Hawaii: implications for nutrient cycling // *Oecologia*. 2008. Vol. 157. Pp. 619–627.
15. Zhang S.-B., Zhang J.-L., Slik J.W.F., Cao K.-F. Leaf element concentrations of terrestrial plants across China are influenced by taxonomy and the environment // *Global Ecology and Biogeography*. 2012. Vol. 21. N7/8. Pp. 809–818. DOI: 10.1111/j.1466-8238.2011.
16. Зеленков В.Н., Иванова М.И., Разин О.Ф. Изучение элементного состава семян капустных культур // Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования сборник научных трудов по материалам XIII Международного симпозиума. М., 2019. С. 167–169.
17. Зеленков В.Н., Иванова М.И. Изучение элементного состава семян разных сортов лука репчатого // Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования сборник научных трудов по материалам XIII Международного симпозиума. М., 2019. С. 170–172.

18. Чупарина Е.В., Мартынов А.М. Применение неdestructивного РФА для определения элементного состава лекарственных растений // Журнал аналитической химии. 2011. Т. 66. №4. С. 399–405.
19. Malhotra S.K. Celery // Handbook of Herbs and Spices: 2nd ed. Sawston; Cambridge, UK, 2012. P. 600.
20. Fazal S.S., Singla R.K. Review on the pharmacognostical & pharmacological characterization of *Apium graveolens* Linn. Indo Glob. // J. Pharmaceut. Sci. 2012. Vol. 2. Pp. 36–42.
21. Özcan M.M., Chalchat J.C. Chemical composition of carrot seeds (*Daucus carota* L.) cultivated in Turkey: characterization of the seed oil and essential oil // Grasas y aceites. 2007. Vol. 58. N4. Pp. 359–365.
22. Choi M.K., Lee W.Y., Park J.D. Relation among mineral (Ca, P, Fe, Na, K, Zn) intakes, blood pressure, and blood lipids in Korean adults // Korean J. Nutr. 2005. Vol. 38. Pp. 827–835.

Поступила в редакцию 24 сентября 2020 г.

После переработки 27 октября 2021 г.

Принята к публикации 10 ноября 2021 г.

**Для цитирования:** Зеленков В.Н., Иванова М.И., Лапин А.А., Латушкин В.В. Элементный состав семян семейства *Apiaceae* // Химия растительного сырья. 2022. №1. С. 235–241. DOI: 10.14258/jcprgm.2022018478.

Zelenkov V.N.<sup>1,2</sup>, Ivanova M.I.<sup>1,2\*</sup>, Lapin A.A.<sup>2</sup>, Latushkin V.V.<sup>3</sup> ELEMENTAL COMPOSITION OF SEEDS OF APIACEAE

<sup>1</sup> All-Russian Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants, ul. Grina, 7, Moscow, 117216 (Russia), e-mail: ivanova\_170@mail.ru

<sup>2</sup> All-Russian Research Institute of Vegetable Growing - branch of the Federal State Budget Scientific Institution Federal Scientific Center for Vegetable Growing, Vereya, Moscow Region, 140153 (Russia)

<sup>3</sup> ANO Institute for Development Strategies, per. Stoleshnikov, 11, Moscow, 107031 (Russia)

The aim of the research is to study the quantitative content of macro- and micronutrients in the seeds of the Celery family. In the work using the method of X-ray fluorescence analysis, the elemental composition of the seeds of celery crops - carrots, parsley, celery, coriander and parsnip was studied. Individual profiles were compiled (series on the accumulation of macro- and microelements) and their similarity was noted for most elements, which indicates a common metabolic process in plants of related species. Of the macrocells in the seeds of the studied species, Ca and K, as well as P, Mg, S, accumulate in the maximum amount, and of the trace elements Fe, Zn, Mn. Differences in the accumulation of elements in different cultures depended on the type of macro- or microelement. The types of accumulation of Ca, P, K, Zn, Pb, Ni, Zr are relatively weak in types, and the concentrations of Si, Na, Al, Br, Ti Sr, and Fe are most variable in cultures. Significant accumulation of Si in parsnip seeds was noted which is not typical for other studied species. In general, parsnip seeds have the richest set of macro- and microelements in comparison with other celery crops. The seed samples analyzed had a wide variety in the mineral composition. Numerous variations among species belonging to the same family are probably due to individual genetic structure, as well as different growing conditions.

**Keywords:** parsley, celery, carrots, coriander, parsnip, Apiaceae, variety, seeds, macrocells, microelements.

\* Corresponding author.

**Referenses**

1. Sayed-Ahmad B., Thierry T., Saad Z., Hijazi A., Merah O. *Industrial Crops and Products*, 2017, vol. 109, pp. 661–671. DOI: 10.1016/j.indcrop.2017.09.027.
2. Younis K., Ahmad S., Badpa A. *J. Food Process Technol.*, 2015, vol. 6, p. 434. DOI: 10.4172/2157-7110.100043.
3. White P.J., Broadley M.R. *New Phytol.*, 2009, vol. 182, pp. 49–84. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2008.02738.
4. Demirel S., Tuzen M., Saracoglu S., Soylak M. *J. Hazard Mater.*, 2008, vol. 152, pp. 1020–1026.
5. Tyler G., Zohlen A. *Annals of Botany*, 1998, vol. 81, pp. 455–459.
6. Martínez-Ballesta M.C., Egea-Gilabert C., Conesa E., Ochoa J., Vicente M.J., Franco J.A., Bañon S., Martínez J.J., Fernández J.A. *Agronomy*, 2020, vol. 10, no. 4, p. 504. DOI: 10.3390/agronomy10040504.
7. Watanabe T., Urayama M., Shinano T., Okada R., Osaki M. *Springer Plus*, 2015, vol. 4, p. 781. DOI: 10.1186/s40064-015-1562-x.
8. Salt D.E., Baxter I., Lahner B. *Annual Review of Plant Biology*, 2008, vol. 59, pp. 709–733.
9. Bowen H.C., Cotterill H.L., Hammond J.P., Meacham M.C., Mead A., White P.J. *Journal of Experimental Botany*, 2004, vol. 55, pp. 321–336.
10. Shtangeeva I., Alber D., Bukalis G., Stanik B., Zepezauer F. *Plant and Soil*, 2009, vol. 322, pp. 219–228.
11. Kerkhoff A.J., Fagan W.F., Elser J.J., Enquist B.J. *American Naturalist*, 2006, vol. 168, pp. 103–122.
12. Elser J.J., Fagan W.F., Kerkhoff A.J., Swenson N.G., Enquist B.J. *New Phytologist*, 2010, vol. 186, pp. 593–608.
13. Watanabe T., Broadley M.R., Jansen S., White P.J., Takada J., Satake K., Takamatsu T., Tuah S.J., Osaki M. *New Phytologist*, 2007, vol. 174, pp. 516–523.
14. Amatangelo K.L., Vitousek P.M. *Oecologia*, 2008, vol. 157, pp. 619–627.
15. Zhang S.-B., Zhang J.-L., Slik J.W.F., Cao K.-F. *Global Ecology and Biogeography*, 2012, vol. 21, no. 7/8, pp. 809–818. DOI: 10.1111/j.1466-8238.2011.
16. Zelenkov V.N., Ivanova M.I., Razin O.F. *Novyye i netraditsionnyye rasteniya i perspektivy ikh ispol'zovaniya sbornik nauchnykh trudov po materialam XIII Mezhdunarodnogo simpoziuma*. [New and non-traditional plants and prospects for their use. Collection of scientific papers based on the materials of the XIII International Symposium]. Moscow, 2019, pp. 167–169. (in Russ.).
17. Zelenkov V.N., Ivanova M.I. *Novyye i netraditsionnyye rasteniya i perspektivy ikh ispol'zovaniya sbornik nauchnykh trudov po materialam XIII Mezhdunarodnogo simpoziuma*. [New and non-traditional plants and prospects for their use. Collection of scientific papers based on the materials of the XIII International Symposium]. Moscow, 2019, pp. 170–172. (in Russ.).
18. Chuparina Ye.V., Martynov A.M. *Zhurnal analiticheskoy khimii*, 2011, vol. 66, no. 4, pp. 399–405. (in Russ.).
19. Malhotra S.K. *Handbook of Herbs and Spices: 2nd ed.* Sawston; Cambridge, UK, 2012, p. 600.
20. Fazal S.S., Singla R.K. *J. Pharmaceut Sci.*, 2012, vol. 2, pp. 36–42.
21. Özcan M.M., Chalchat J.C. *Grasas y aceites*, 2007, vol. 58, no. 4, pp. 359–365.
22. Choi M.K., Lee W.Y., Park J.D. *Korean J. Nutr.*, 2005, vol. 38, pp. 827–835.

Received September 24, 2020

Revised October 27, 2021

Accepted November 10, 2021

**For citing:** Zelenkov V.N., Ivanova M.I., Lapin A.A., Latushkin V.V. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2022, no. 1, pp. 235–241. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.2022018478.

