

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ МАКРО- И МИКРОЭЛЕМЕНТОВ КОРНЕПЛОДАМИ СЕЛЬДЕРЕЯ (*APIUM GRAVEOLENS L.*) И ПАСТЕРНАКА (*PASTINACA SATIVA L.*)

*Н.А. Голубкина**, *В.А. Харченко*, *А.И. Молдован*,
В.А. Заячковский, *В.А. Степанов*, *А.В. Солдатенко*

ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства», Московская обл., Одинцовский район, пос. ВНИИССОК

РЕЗЮМЕ. Сельдерей и пастернак высоко ценятся во всем мире как диетические продукты питания и лекарственные растения. Известно, что положительное воздействие растений на здоровье человека зависит не только от содержания биологически активных соединений, но также и от специфического элементного состава, определяемого как геохимическими особенностями места произрастания, климатом, так и генетическими факторами. С использованием метода ИСП-МС проведена сравнительная оценка содержания 25 макро- и микроэлементов сельдерея (сорта Егор и Добрыня) и пастернака (сорта Белый Аист, Круглый и Жемчуг). Выявлен сходный высокий уровень аккумуляции макроэлементов, за исключением натрия и магния, которые накапливаются корнеплодами пастернака соответственно в 89 и 1,6 раза меньше, чем корнеплодами сельдерея. В одинаковых условиях вегетации по сравнению с корнеплодами пастернака корнеплоды сельдерея накапливают в 1,5 раза больше железа, в 1,7 раза больше марганца, в 8,6 раза больше хрома, в 6 раз больше селена и в 1,8 раза больше стронция. Потребление 100 г свежих корнеплодов сельдерея обеспечивает поступление в организм человека 48–61% суточной потребности в хrome, 17% – в боре, около 10% – в железе, также 20–30% от адекватного уровня потребления – в стронции. Высокий уровень стронция в корнеплодах сельдерея является положительным фактором в условиях отсутствия антропогенной нагрузки, поскольку благоприятствует здоровью костной ткани человека, но может представлять серьезные проблемы в условиях радиоактивного заражения местности.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: корнеплоды, сельдерей, пастернак, макро- и микроэлементы.

ВВЕДЕНИЕ

Сельдерей и пастернак являются хорошо известными приправами в кулинарии многих стран мира, а также лекарственными растениями. Обе сельскохозяйственные культуры обладают широким спектром биологического действия, проявляя кардиопротекторное (Wolski et al., 1999; Lans, 2006), антидиабетическое (Gelodar, 1997; Kooti et al., 2017a), антибактериальное, противогрибковое и противовоспалительное (Mencherini et al., 2007), а также антиоксидантное действие (Zidorn et al., 2005; Kooti et al., 2014; Damoon, 2017). Оба растения широко используются в лечении бронхитов, гепатитов, желудочно-кишечных заболеваний (Belanger, 1998) и как бо-

леутоляющее средство (Naseri&Heidarim 2007; Al-Howiriny et al., 2010). Потребление корнеплодов этих растений способствует замедлению прогрессирования раковых заболеваний (Atta, 1998; Hamza&Amin, 2007; Bogucka-Kocka et al., 2008), нормализации сперматогенеза (Lans, 2007; Hardani et al., 2015; Kooti et al., 2017b). *Apium graveolens L.* и *Pastinaca sativa L.* являются хорошими диуретиками (Al-Howiriny et al., 2010). Препараты на основе пастернака (ксанторин, бероксан, зупигмин) применяют при лечении витилиго и гнездовой плешивости (Жабборова, Кароматов, 2018). Большинство публикаций по оценке биохимических показателей сельдерея и пастернака посвящены исследованию содержа-

* Адрес для переписки:

Голубкина Надежда Александровна
E-mail: segolubklina45@gmail.com

ния биологически активных соединений, в первую очередь, антиоксидантов (Sorour et al., 2015; Nikolić et al., 2014; Kooti et al., 2017a; 2014; Salehi et al., 2019), или оценке рисков накопления тяжелых металлов (Islam et al., 2007; Zhang et al., 2013; Khsrau et al., 2015). Между тем биологическое действие лекарственных растений в значительной степени определяется также специфическим элементным составом. Исследование содержания отдельных элементов сельдерея Пакистана (Qureshi et al., 2014) выявило значительное влияние места произрастания, а также существенные различия в элементном составе дикого и культурного пастернака. Однако полученные данные не позволяли оценить генетические особенности накопления макро- и микроэлементов. Предварительные данные оценки элементного состава пастернака (Голубкина и др., 2014) также не давали возможности выявить специфические особенности накопления макро- и микроэлементов, присущие как сельдерею, так и пастернаку.

Цель исследования – установление специфических особенностей элементного состава корнеплодов пастернака и сельдерея, выращенных в одинаковых геохимических условиях

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Условия выращивания. Исследования проводили на двух сортах корневого сельдерея (*Apium graveolens* L.): Егор и Добрыня и трех сортах пастернака (*Pastinaca sativa* L.): Круглый, Белый аист, Жемчуг в 2018–2019 гг. на экспериментальных полях ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства» (Московская область, 55°39.51'N, 37°12.23'E). Почва дерново-подзолистая, тяжело суглинистая, pH 6,8, содержание органического вещества – 2,1%, N – 108 мг/кг сухой массы, P₂O₅ – 450 мг/кг сухой массы, K₂O – 357 мг/кг сухой массы, сумма обменных оснований – 95,2%. Среднемесячные температуры и влажность представлены на рис. 1.

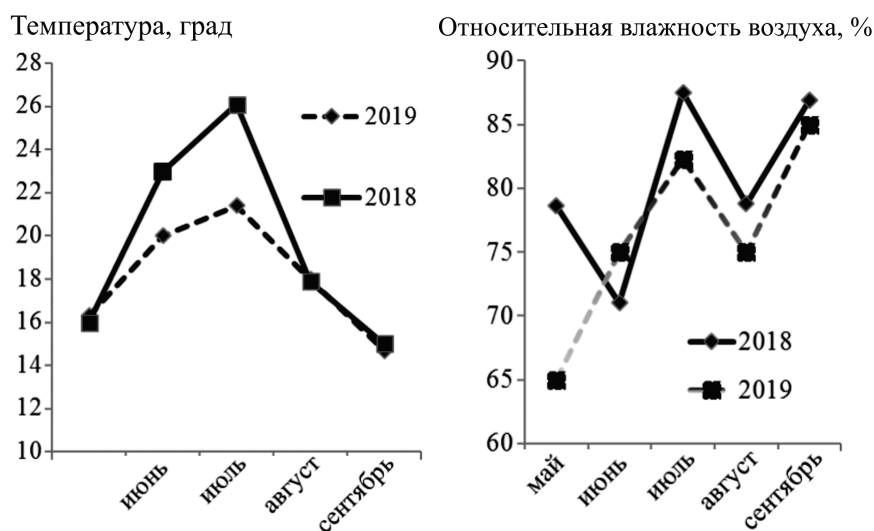


Рис. 1. Среднемесячная температура и относительная влажность воздуха за вегетационный период 2018–2019 гг.

Сельдерей выращивали рассадным способом. Посев семян для получения рассады проводили в первой декаде марта в зимних теплицах. Полученные сеянцы были распикированы в пленочной обогреваемой теплице в третьей декаде апреля. Рассаду высаживали в открытый грунт в фазе 3–4 настоящих листьев во второй–третьей декадах мая. Посадку сельдерея проводили рандомизировано в трехкратной повторности по схеме 60×35 см. Во время вегетации внесли несколько подкормок. К первой подкормке присту-

пали через две недели после высадки рассады. На гектар внесли смесь минеральных удобрений: по 1,5–2,0 ц аммиачной селитры, калийной соли и 0,75–1 ц суперфосфата. Подкормку повторяли в середине июля, сочетая ее с поливами (расход воды за неделю около 15–20 л/м²). Урожай собирали в начале октября.

Семена пастернака высевали в открытый грунт в первой декаде мая из расчета 2 кг семян на 1 га двурядным методом (6 см между растениями в ряду и 55 см между рядами). В течение

вегетационного периода осуществляли три подкормки $N_{17}P_{17}K_{17}$ удобрениями в дозе 50 кг/кг. Урожай собирали в последней декаде сентября.

Пробоподготовка. После уборки урожая корнеплоды сельдерея и пастернака переносили в лабораторию. Образцы очищали от грунта, промывали водой, подсушивали, корнеплоды сельдерея очищали от кожуры. Все образцы гомогенизировали и высушивали при 70 °С.

Содержание сухого вещества определяли гравиметрически высушиванием гомогенизированных образцов корнеплодов при 70 °С до постоянной массы.

Содержание золы в порошках сельдерея и пастернака устанавливали сухим озолением проб в режиме 20–510 °С.

Содержание элементов Al, As, Ag, B, Ca, Co, Cu, Fe, I, Hg, K, Li, Na, Ni, Mo, Mg, Mn, P, Pb, Si, Se, Sn, Sr, V, Zn определяли методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС) на квадрупольном масс-спектрометре Nexion 300D (Perkin Elmer Inc., Shelton, CT 06484, США) в Центре биотической медицины (Москва). В качестве внутреннего стандарта использовали Rh^{103} . Расчеты осуществляли с использованием внешнего стандарта (Merck IV, multi-element standard solution), а также йодистого калия для калибровки на йод и стандартные растворы Perkin-Elmer для P, Si и V. Все стан-

дартные кривые строили с использованием пяти различных концентраций. В целях контроля качества определения внутренние стандарты и референс-стандарты тестировали одновременно с исследуемыми образцами. В связи с обнаружением следовых количеств As, Hg и Sn в исследованных образцах, эти данные не включали в описание результатов.

Статистическую обработку результатов осуществляли, используя статистическую программу Excel. Статистическую значимость различий устанавливали по критерию Стьюдента.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Урожай. Сельдерей и пастернак относятся к семейству сельдерейных *Ariaceae* и отличаются устойчивостью к заморозкам, что в значительной степени благоприятствует выращиванию их в средней полосе России (рис. 2).

В этих условиях сельдерей выращивают как рассадную культуру, в то время как семена пастернака высевают непосредственно в грунт. При отсутствии загущенности посевов, наличии регулярного полива, своевременных подкормок масса корнеплодов сельдерея и пастернака может достигать 300–500 г при среднем урожае 25–33 т/га. В табл. 1 приведены усредненные данные для полевых условий.

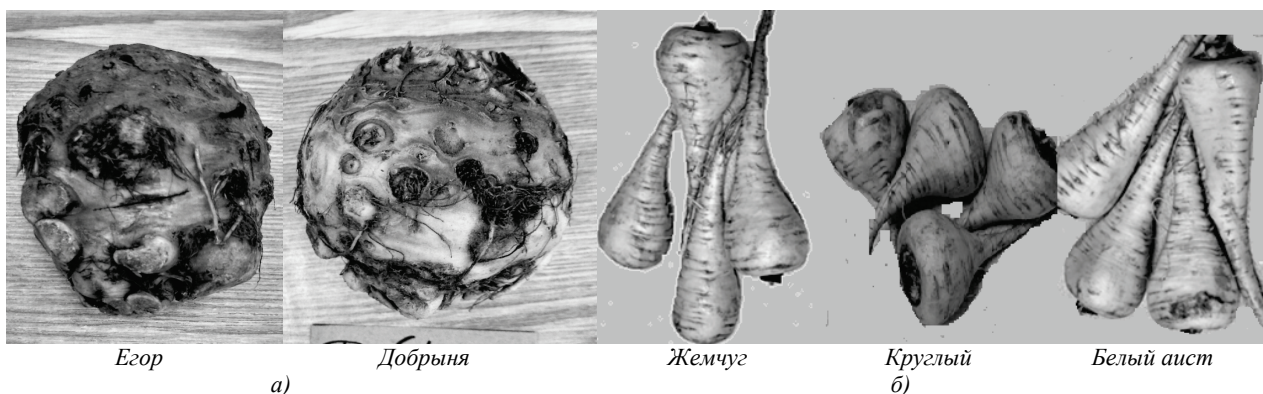


Рис. 2. Внешний вид корнеплодов сельдерея (а) и пастернака (б)

Таблица 1. Средняя масса корнеплодов и урожай сельдерея и пастернака

Показатель	Сельдерей		Пастернак		
	Егор	Добрыня	Круглый	Белый аист	Жемчуг
Масса корнеплода, г	510±51 ^a	644±64 ^b	180±10 ^c	214±19 ^d	195±15 ^{cd}
Урожай, т/га	30,5±0,9 ^a	38,1±0,8 ^b	25,3±0,7 ^a	30,6±0,6 ^c	28,1±0,4 ^d

Примечание: значения в рядах с одинаковыми индексами статистически не различаются, $p > 0,05$.

Содержание золы. Оценка содержания золы в корнеплодах исследуемых культур выявила малую межсортовую вариабельность в накоплении минеральных веществ корнеплодами пастернака и значительные различия в содержании минеральных веществ между сортами сельдерея Егор и Добрыня (рис. 3).

Последний факт может иметь особое значение в оценке пищевой ценности и фармакологических свойств сорта Добрыня.

Макроэлементы. Согласно данным литературы корнеплоды сельдерея и пастернака являются для человека хорошими источниками калия, магния, фосфора и кальция. Экспериментальные данные свидетельствуют о значительных межсортовых и межвидовых различиях, позволяющих выделить сорт сельдерея Добрыня как оптимальный источник калия для человека, и

сорт Жемчуг пастернака, отличающийся склонностью к наименьшему аккумулярованию кальция, калия, фосфора и магния (табл. 2). При этом сорт Добрыня не только превосходит сорт сельдерея Егор по накоплению калия в 1,4 раза, но одновременно аккумулирует в 1,5 раза меньше магния. Уровни аккумулярования калия и магния являются важнейшими факторами, влияющими на рост и развитие растений. Однако оптимальные уровни соотношения этих элементов для разных сельскохозяйственных культур мало изучены.

Полученные данные свидетельствуют о кардинальных различиях этого показателя у сельдерея и пастернака: если соотношение К/Мг у сельдерея составляет интервал от 2,7 до 5,8, то для пастернака этот интервал существенно выше и достигает 11,2–14,5.

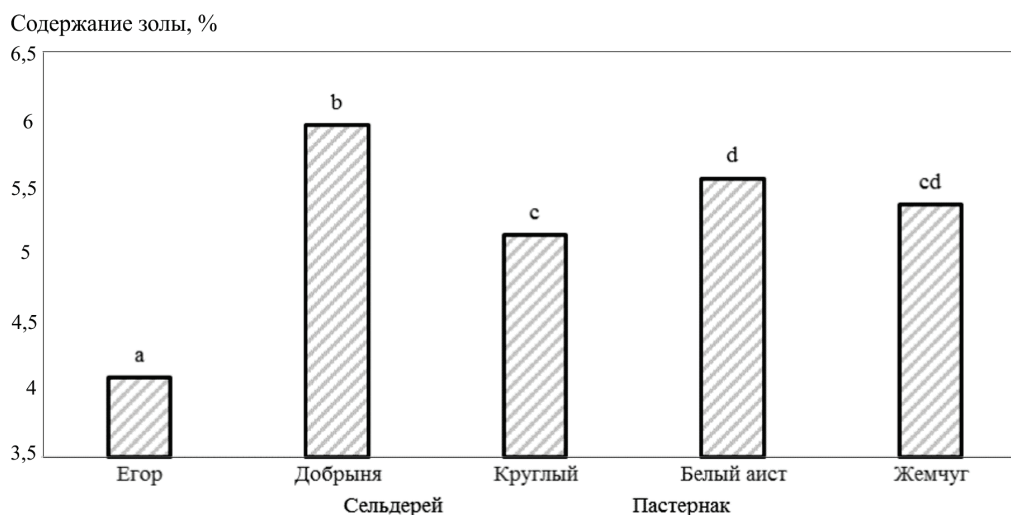


Рис. 3. Содержание золы в корнеплодах сельдерея (Егор, Добрыня) и пастернака (Круглый, Белый аист, Жемчуг) (значения с одинаковыми индексами статистически не различаются, $p > 0,05$)

Таблица 2. Содержание макроэлементов в корнеплодах сельдерея и пастернака (г/кг сухой массы)

Микроэлемент	Сельдерей			Пастернак			
	Егор	Добрыня	M±SD	Круглый	Белый аист	Жемчуг	M±SD
Ca	3,08±0,31 ^a	3,66±0,37 ^a	3,37±0,29	2,13±0,21 ^b	2,44±0,24 ^b	1,72±0,17 ^c	2,10±0,25
K	18,62±1,86 ^a	25,60±2,56 ^b	22,11±3,49	23,29±2,30 ^b	21,96±2,00 ^b	17,26±0,17 ^c	20,8±2,38
Na	1,49±0,15 ^a	1,55±0,15 ^a	1,52±0,03	0,064±0,007 ^b	0,063±0,006 ^b	0,044±0,004 ^c	0,057±0,009
P	4,17±0,42 ^{ab}	4,46±0,45 ^a	4,31±0,15	4,15±0,41 ^{ab}	4,23±0,41 ^a	3,52±0,35 ^{ab}	3,97±0,30
Mg	3,21±0,32 ^a	2,13±0,21 ^b	2,67±0,54	1,61±0,15 ^c	1,96±0,19 ^{bc}	1,44±0,14 ^c	1,67±0,19

Примечание: см. табл. 1.

Особенно обращает на себя внимание поразительно низкая способность пастернака аккумулировать натрий: различия в средних уровнях накопления этого элемента сельдереем и пастернаком составляют 27 раз! Среднее соотношение содержания ионов калия и натрия в сельдерее составляет 14,6, а в пастернаке – 365.

По данным литературы, пастернак относится к сельскохозяйственным культурам, высоко чувствительным к засолению (Malcolm and Smith, 1971). Напротив, корневой сельдерей относится к группе растений, умеренно устойчивых к засолению (Shannon, 1999). Более того, низкие концентрации хлорида натрия могут стимулировать рост сельдерея (Osawa, 1961). При этом дикие формы сельдерея, произрастающие на морском побережье Швеции, Египта, Абиссинии и Алжира, высокоустойчивы к засолению и могут быть отнесены к галофитам.

Пересчет полученных значений на 100 г свежих корнеплодов (рис. 4) подтверждает важность потребления этих продуктов человеком. Принимая во внимание, что суточная потребность человека в калии и магнии составляет соответственно 2500 и 400 мг (соотношение К/Мг = 5,56), наиболее близкое соотношение этих элементов характерно для сельдерея сорта Добрыня (5,8). Очевидно, что обе сельскохозяйственные культуры являются значимыми источниками калия для человека, что в значительной степени определяет лекарственные свойства пастернака и сельдерея, влияющих на нормальную работу сердца, почек, печени и нервной системы, нормализацию артериального давления (Salehi et al., 2019).

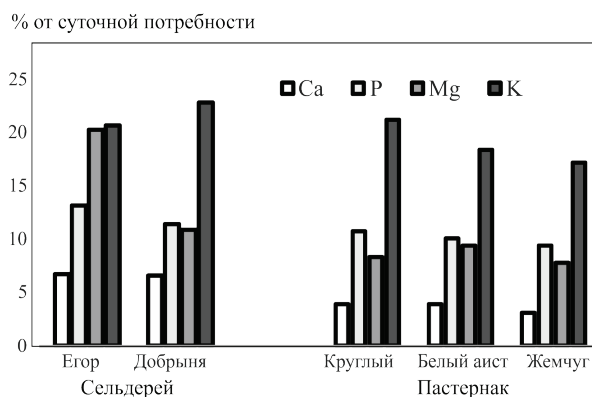


Рис. 4. Восполнение суточной потребности в макроэлементах при потреблении 100 г свежих корнеплодов сельдерея и пастернака

Микроэлементы. Среди микроэлементов сельдерея и пастернака значимыми источниками для человека являются бор и железо.

Известно, что по сравнению с зерновыми и пастбищными травами корнеплоды сельскохозяйственных культур накапливают достоверно больше бора (Kabata-Pendias, 2011). Выявленные уровни аккумуляции бора в настоящем исследовании были в 1,5–2 раза выше, чем содержание бора в фасоли, капусте, луке репчатом и моркови (Kabata-Pendias, 2011).

Как видно из данных табл. 3, сорт пастернака Белый аист отличается наибольшим аккумуляцией этого элемента, сходным с соответствующим показателем для сорта сельдерея Добрыня. Так, 100 г свежих корнеплодов сельдерея обеспечивают поступление в организм человека около 17% суточной потребности в боре (рис. 5).

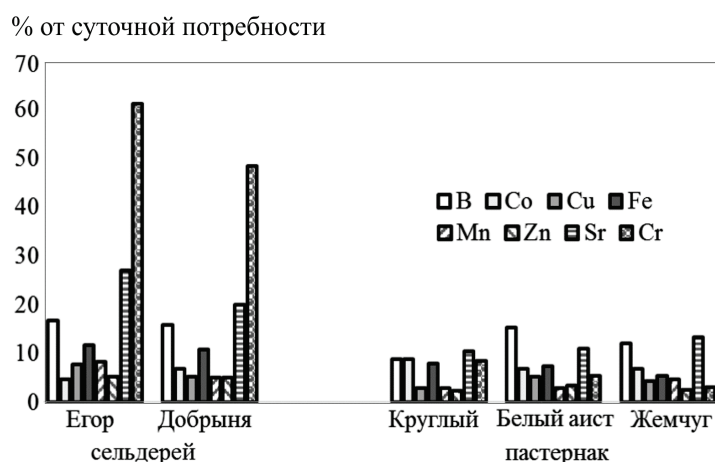


Рис. 5. Восполнение суточной потребности или % от адекватного уровня потребления (для стронция) в микроэлементах при потреблении 100 г свежих корнеплодов сельдерея и пастернака

Таблица 3. Содержание микроэлементов
в корнеплодах сельдерея и пастернака (мг/кг сухой массы)

Микроэлемент	Сельдерей			Пастернак			
	Егор	Добрыня	M±SD	Круглый	Белый аист	Жемчуг	M±SD
B	22,4±2,2 ^a	26,3±2,6 ^{ac}	24,3±2,0	14,2±1,4 ^b	27,6±2,5 ^c	18,9±1,9 ^a	20,2±4,9
Co*	30±5 ^a	30±5 ^a	30	70±5 ^b	70±5 ^b	30±5 ^a	57±18
Cu	5,2±0,5 ^a	4,3±0,4 ^a	4,8±0,5	2,4±0,2 ^b	4,6±0,5 ^a	3,4±0,3 ^c	3,5±0,8
Fe	78,8±7,9 ^{ab}	89,2±8,9 ^a	84,0±5,2	65,0±6,3 ^b	65,3±6,1 ^b	41,9±4,2 ^c	57,4±10,3
I*	200±24 ^a	50±8 ^b	125±75	300±20 ^c	175±17 ^a	110±10 ^d	195±36
Li*	20±3 ^a	30±4 ^b	25±5	60±5 ^c	50±4 ^c	30±4 ^b	47±11
Mn	18,4±1,8 ^a	13,7±1,3 ^b	16,0±2,3	7,8±0,7 ^c	8,7±0,8 ^c	12,6±1,3 ^d	9,7±1,9
Se *	110±13 ^a	90±14 ^a	100±10	10±1 ^a	7±1 ^b	30±4 ^c	16±10
Si	19,9±2,0 ^a	18,0±1,8 ^{ad}	18,9±0,9	27,5±2,6 ^b	42,2±4,3 ^c	16,1±1,6 ^d	28,6±9,1
Zn	23,6±2,3 ^a	27,2±2,7 ^{ac}	25,4±1,8	12,6±1,3 ^b	19,6±1,8 ^c	12,7±1,2 ^b	15,0±3,1

Примечание: * – данные приведены в мкг/кг с.м.; значения в рядах с одинаковыми индексами статистически не различаются, $p > 0,05$.

Таблица 4. Содержание тяжелых металлов корневого сельдерея и пастернака (мг/кг сухой массы)

Элемент	Сельдерей			Пастернак			
	Егор	Добрыня	M±SD	Круглый	Белый аист	Жемчуг	M±SD
Al	15,6a±1,6 ^a	43,1±4,4 ^b	29,4±13,7	37,1±3,6 ^b	32,1±3,1 ^c	28,4±2,8 ^c	32,5±3,0
As*	10±2 ^a	20±3 ^b	15±5	17±1 ^a	17±1 ^a	20±2 ^a	18±1
Cd*	150±20 ^a	170±20 ^a	160±10	180±20 ^a	120±10 ^b	80±10 ^c	130±40
Cr	1,38±0,14 ^a	1,36±0,14 ^a	1,37±0,01	0,23±0,02 ^b	0,16±0,02 ^c	0,08±0,01 ^d	0,16±0,05
Ni	0,99±0,12 ^a	1,08±0,11 ^a	1,04±0,04	1,29±0,11 ^a	1,94±0,20 ^b	0,75±0,09 ^c	1,33±0,29
Sr	35,5±3,6 ^a	33,6±3,4 ^a	34,5±1,0	17,1±1,5 ^b	19,9±2,0 ^{abc}	21,3±2,13 ^c	19,4±1,6
Pb*	70±10 ^a	100±12 ^b	85±15	200±20 ^c	170±20 ^{cd}	150±18 ^{cd}	173±16
V*	30±5 ^a	50±8 ^b	40±7	100±10 ^c	100±10 ^c	40±7 ^{ab}	80±27

Примечание: см. табл. 3.

В целом как сельдерей, так и пастернак аккумулируют сравнительно сходные уровни железа за исключением сорта пастернака Жемчуг, отличающегося существенно более низким содержанием этого элемента в корнеплодах.

При сравнении уровней аккумуляции микроэлементов в корнеплодах сельдерея и пастернака наблюдаются значимые различия в накоплении кобальта (предпочтительное аккумуляция этого элемента сортами пастернака

Круглый и Белый Аист), предпочтительное аккумуляция марганца, селена и цинка сельдереем и более высокая способность пастернака аккумуляция кремний. Описанные в литературе антагонистические взаимосвязи между марганцем и кобальтом, марганцем и железом, марганцем и кадмием, марганцем и кремнием, марганцем и кальцием (Kabata-Pendias, 2011) сравнительно четко проявляются как в сельдерее, так и пастернаке (табл. 2–4).

В условиях Московской области соотношение Fe/Mn для корнеплодов сельдерея составляет 5,3, а для корнеплодов пастернака – 5,9. В условиях Финляндии с более низкими уровнями аккумуляции этих элементов указанными культурами это соотношение составило для пастернака 3, а для сельдерея 3,7 (Ekholm et al., 2007).

Значительный интерес представляют уровни аккумуляции селена сельдереем и пастернаком, различающиеся более чем в 6 раз. Хотя с позиций практики столь высокие уровни селена в сельдерее не представляются значимыми для восполнения суточной потребности человека, составляющей 70 мкг селена/сутки, однако могут представлять интерес как в селекции, направленной на повышенное содержание микроэлемента, так и в процессах биофортификации селеном растений (Голубкина, Папазян, 2006).

Тяжелые металлы. В отсутствие значимой антропогенной нагрузки корнеплоды сельдерея и пастернака аккумулируют следовые количества большинства тяжелых металлов (табл. 4). Между тем представляется очевидным, что межсортные различия в аккумуляции тяжелых металлов могут являться важными показателями при селекции на устойчивость к воздействию и склонности к накоплению тяжелых металлов этими сельскохозяйственными культурами.

Сорт пастернака Жемчуг отличается минимальным накоплением таких тяжелых металлов, как ванадий, никель, хром и кадмий. Сравнение уровней накопления тяжелых металлов сельдереем и пастернаком позволяет выявить отдельные особенности элементного состава этих сельскохозяйственных культур:

1) уровни накопления ванадия и свинца сельдереем в 2 раза ниже, чем у пастернака;

2) накопление хрома корнеплодами сельдерея в 8,6 раз выше, чем у пастернака, что обеспечивает поступление в организм человека до 48–61% суточной потребности в этом элементе;

3) накопление стронция корнеплодами сельдерея в 1,8 раз выше, чем корнеплодами пастернака

Полученные данные свидетельствуют о том, что сельдерей является значимым источником хрома для человека. При суточной потребности в элементе 50–200 мкг (наибольшее значение соответствует стрессовым ситуациям) сельдерей может обеспечить поступление в организм чело-

века (12–15)–(48–61)% суточной потребности. Эти значения для пастернака много ниже и составляют 0,75–2,1 и 3–8,4% от суточной потребности соответственно для нормы и в условиях стрессовых ситуаций. Хром нормализует уровень сахара в крови, способствует структурной целостности нуклеиновых кислот, участвует в регулировании работы сердечной мышцы, выводит тяжелые металлы и радионуклиды из организма (Резина, 2009). Среди овощных культур высоким содержанием хрома отличается брокколи, картофель и зеленая фасоль, однако, по данным литературы уровень микроэлемента в этих культурах составляет от 2 до 18 мкг/100 г (Kumpulainen, 1992), в то время как для сельдерея соответствующие значения достигают 24–30 мкг.

Данные рис. 5 свидетельствуют о том, что сельдерей является источником стронция. Известно, что стабильный стронций стабилизирует костную ткань, предотвращая вымывание кальция из организма, препятствует развитию остеопороза, снижает болевые симптомы, используется для лечения глазных заболеваний (Anupama, et al. 2016; Tsakova, et al., 2015). Положительный эффект корнеплодов сельдерея в этих случаях может быть связан как с высоким содержанием стронция, так и бора. С другой стороны, представляется очевидным, что в условиях радиоактивного заражения местности способность накапливать стронций сельдереем может вызвать серьезные экологические риски.

ВЫВОДЫ

Сравнение элементного состава корнеплодов сельдерея и пастернака позволило выявить генетические особенности накопления отдельных элементов: предельно низкий уровень натрия в пастернаке, предпочтительное накопление бора, стронция, хрома, железа и селена в сельдерее, кремния – в пастернаке, что позволяет осуществлять их направленное использование в лечении различных заболеваний.

ЛИТЕРАТУРА

Голубкина Н.А., Папазян Т.Т. Селен в питании. Растения, животные, человек. М.: Печатный город. 2006.

Голубкина Н.А., Федорова М.И., Степанов А.Н., Надежкин С.М. Элементный состав пастернака. Овощи России. 2014; 3(24):18–21.

Жабборова Д., Кароматов И. Лекарственное растение пастернак. Биология и интегративная медицина. 2018;115–120.

- Реутин С.В. Роль хрома в организме человека. Вестник РУДН. Сер. Экология и безопасность жизнедеятельности. 2009; 4:50–54.
- Anupama M., Ashok Kumar K., Naveena L.L.J. Role of strontium in biological systems. Eur. J. Pharmaceutical and Med. Res. 2016; 3(12):177–184.
- Al-Howiriny T., Alsheikh A., Alqasoumi S., Al-Yahya M., ElTahir K., Rafatullah S. Gastric antiulcer, antisecretory and cytoprotective properties of celery in rats. Pharm. Biol. 2010; 48(7):786–793.
- Atta A. Anti-nociceptive and anti-inflammatory effects of some Jordanian medicinal plant extracts. J. Ethnopharmacol. 1998; 60(2):117–122.
- Belanger J.T. Perillyl alcohol: applications in oncology. Altern. Med Rev. 1998; 3(6):448–457.
- Bogucka-Kocka A., Smolarz H.D., Kocki J. Apoptotic activities of ethanol extracts from some *Apiaceae* on human leukaemia cell lines. Fitoterapia. 2008; 79(7–8):487–497. doi: 10.1016/j.fitote.2008.07.00.
- Damoon Ashtary-Larky A. Review of the Antioxidant Activity of Celery (*Apium graveolens* L.). Journal of Evidence-Based Complementary & Alternative Medicine. 2017; 22(4):1029–1034, DOI: 10.1177/2156587217717415.
- Ekhholm P., Reinivuo H., Mattila P., Pakkala H., Happonen A., Hellström J., Ovaskainen M.-L. Changes in the mineral and trace element contents of cereals, fruits and vegetables in Finland. J. Food Comp. Anal. 2007; 20:487–495. doi:10.1016/j.jfca.2007.02.007.
- Gelodar G., Nazify Habib Abadi S. Effect of celery, apple tart and carrots on some biochemical parameters in diabetic rats. J. Kerman Univ. Med. Sci. 1997; 3(40):114–119.
- Hamza A.A., Amin A. *Apium graveolens* modulates sodium valproate-induced reproductive toxicity in rats. J. Exp. Zool. Ecol. Genet. Physiol. 2007; 307(4):199–206.
- Hardani A., Afzalzadeh M.R., Amirzargar A., Mansouri E., Meamar Z. Effects of aqueous extract of celery (*Apium graveolens* L.) leaves on spermatogenesis in healthy male rats. Avicenna. J. Phytomed. 2015; 5(2):111–111.
- Islam E., Yang X., He Z., Mahmood Q. Assessing potential dietary toxicity of heavy metals in selected vegetables and food crops. J. Zhejiang Univ. Sci. B. 8(1):1673–1581. www.zju.edu.cn/jzus; www.springerlink.com.
- Kabata-Pendias A. Trace elements in soils and plants-CRC. 2011. 4th ed.
- Khsraw A., Zhino R., Mohammed K. Heavy metal accumulation in Celery from Sarchnar and Kalar in Kurdistan of Iraq Region. J. Zankoi Sulaimani Part A (Pure and Applied Sciences) JZS. 2015:17-20 (Part-A) <https://www.researchgate.net/publication/318498253>.
- Kooti W., Ali-Akbari S., Asadi-Samani M., Ghadery H., Ashtary-Larky D. A review on medicinal plant of *Apium graveolens*. Adv. Herb. Med. 2014;1(1):48–59.
- Kooti W., Daraei N.A. Review of the Antioxidant Activity of Celery (*Apium graveolens* L.). J. Evidence-Based Complementary & Alternative Medicine. 2017a; 22(4):1029–1034. doi:10.1177/21565872177415.
- Kooti W., Moradi M., Peyro K., Sharghi M., Alamiri F., Azami M., Firoozbakht M., Ghafourian M. The effect of celery (*Apium graveolens* L.) on fertility: A systematic review. J. Complement. Integr. Med. 2017b; 15(2):1–12. pii: /j/jcim.2018.15.issue-2/jcim-2016-0141/jcim-2016-0141.xml. doi: 10.1515/jcim-2016-0141.
- Kumpulainen J.T. Chromium content of foods and diets. Biol. Trace Elem. Res. 1992; 32:9–18. doi:10.1007/bf02784582.
- Lans C.A. Ethnomedicines used in Trinidad and Tobago for urinary problems and diabetes mellitus. J. Ethnobiol. Ethnomed. 2006; 2:45.
- Malcolm C.V., Smith S.T. Growing plants with salty water. J. of the Department of Agriculture, Western Australia. Ser. 4. 1971; 12(2):41–44.
- Mencherini T., Cau A., Bianco G., Della Loggia R., Aquino R.P., Autore G. An extract of *Apium graveolens* var. dulce leaves: structure of the major constituent, apiin, and its anti-inflammatory properties. J. Pharm. Pharmacol. 2007; 59(6):891–897.
- Naseri M.K.G., Heidari A. Antispasmodic effect of *Ane-thum graveolens* fruit extract on rat ileum. Int. J. Pharmacol. 2007; 3:260–264.
- Nikolić N.Č., Lazić M.M., Karabegović I.T., Stojanović G.S., Todorović Z.B. A Characterization of Content, Composition and Scavenging Capacity of Phenolic Compounds in Parsnip Roots of Various Weight. Natural Product Communications-2014; 9(6):811–814.
- Osawa T. Studies on the salt tolerance of vegetable crops in sand cultures. II. Leafy vegetables. J. Jpn. Soc. Hort. Sci.-1961; 30:48–56.
- Qureshi K., Tabassum F., Neelam, Amin M., Akram M.Z., Zafar M. Investigation of Mineral Constituents of *Apium graveolens* L. available in Khyber Pakhtunkhwa-Pakistan. J. Pharmacognosy and Phytochem. 2014; 3(4):234–239.
- Salehi B., Venditti A., Frezza C., et al. *Apium* Plants: Beyond Simple Food and Phytopharmacological Applications. Appl. Sci. 2019; 9-art 3547. doi:10/3390/app9173547.
- Shannon M.C., Grieve C.M. Tolerance of vegetable crops to salinity. Sci. Hort. 1999; 78:5–38.
- Sipailiene A., Venskutonis P.R., Sarkinas A., Cypiene V. Composition and antimicrobial activity of celery (*Apium graveolens*) leaf and root extracts obtained with liquid carbon dioxide. Acta Hort. 2005; 677:71–77. doi: 10.17660/ActaHortic.2005.677.9.
- Sorour M.A., Hassanen N.H.M., Ahme M.H.M. Natural antioxidant changes in fresh and dried celery (*Apium graveolens*). Am. J. Energy Eng. 2015; 3(2–1):12–16.
- Tsakova A.P., Surcheva S.K., Bankova V.S., Popova M.P., Peev D.R., Popivanov P.R., Surchev K.L., Ratkova M.D., Surchev L.K., Vlaskovska M.V. The effect of *Apium nodiflorum* in experimental osteoporosis. Curr. Pharmaceut. Biotechnol. 2015; 16:414–423.

Wolski T., Dyduch J., Baj T. Ocena składu chemicznego kilku odmian pasternaku zwyczajnego (*Pastinaca sativa* L.) ze szczególnym uwzględnieniem odmiany Poldluga Bialy. Evaluation of the chemical composition of several parsnip cultivars (*Pastinaca sativa* L.) with special emphasis on «White Parsnip» cultivar. Zesz. Prob. Post Nauk Rol. 1999; 466:237–248 (in Polish).

Zhang K., Jianbing W., Yang Z., Xin G., Yuan J., Xin J., Huang C. Genotype variations in accumulation of cadmium and

lead in celery (*Apium graveolens* L.) and screening for low Cd and Pb accumulative cultivars. Front. Env. Sci. Eng. 2013; 7(1):85–96.

Zidorn C., Johrer K., Ganzera M., Schubert B., Sigmund E.M., Mader J., et al. Polyacetylenes from the *Apiaceae* vegetables carrot, celery, fennel, parsley, and parsnip and their cytotoxic activities. J. Agr. Food Chem. 2005; 53(7):2518–2523.

GENETIC PECULIARITIES OF MACRO AND TRACE ELEMENTS ACCUMULATION BY ROOTS OF CELERY (*APIUM GRAVEOLENS* L.) AND PARSNIP (*PASTINACA SATIVA* L.)

**N.A. Golubkina, V.A. Kharchenko, A.I. Moldovan, V.A. Zayachkovsky,
V.A. Stepanov, A.V. Soldatenko**

Federal Scientific Center of Vegetable Production, Seleksionnaya 14, Odintsovo district, Moscow region, 143072, Russia;

ABSTRACT. Celery and parsnip are highly valuable root vegetables and medical plants all over the world. Beneficial effect of plants on human health is connected not only with high content of biologically active compounds but also with specific levels of minerals reflecting geochemical characteristics of habitat, climate and genetic peculiarities. Using ICP-MS method comparative evaluation of 25 minerals content in roots of celery (Egor and Dobrynya cvs) and parsnip (Krugly, Bely Aist, Zhemchug cvs) was achieved. Similar high levels of all macroelements except Na and Mg were demonstrated for these crops. Contrary to celery, parsnip contains 89 times lower concentrations of sodium and 1.6 time lower content of Mg. In identical environmental conditions celery significantly exceeds parsnip in accumulation of Fe (1.5 times), Mn (1.7 times), Cr (8.6 times), Se (6 times) and Sr (1.8 times). Consumption of 100 g fresh celery roots in human diet provides 48–61% of Cr daily requirement level, 17% of B, about 10% of Fe and 20–30% of adequate consumption level. High levels of Sr in celery roots is beneficial for health of human bones but may be harmful in regions with elevated radioactive pollution.

KEYWORDS: root crops, celery, parsnip, macro and trace elements.

REFERENCES

- Golubkina N.A., Papazyan T.T. Selen v pitanii. Rasteniya, zhivotny'e, chelovek. M.: Pechatny'j gorod. 2006.
- Golubkina N.A., Fedorova M.I., Stepanov A.N., Nadezhkin S.M. E'lementny'j sostav pasternaka. Ovoshhi Rossii. 2014; 3(24):18–21.
- Zhabborova D., Karomatov I. Lekarstvennoe rastenie pasternak. Biologiya i integrativnaya mediczina. 2018; 115–120.
- Reutina S.V. Rol' khroma v organizme cheloveka. Vestnik RUDN. Ser. E'kologiya i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti. 2009; 4:50–54.
- Anupama M., Ashok Kumar K., Naveena L.L.J. Role of strontium in biological systems. Eur. J. Pharmaceutical and Med. Res. 2016; 3(12):177–184.
- Al-Howiriny T., Alsheikh A., Alqasoumi S., Al-Yahya M., ElTahir K., Rafatullah S. Gastric antiulcer, antisecretory and cytoprotective properties of celery in rats. Pharm. Biol. 2010; 48(7):786–793.
- Atta A. Anti-nociceptive and anti-inflammatory effects of some Jordanian medicinal plant extracts. J. Ethnopharmacol. 1998; 60(2):117–122.
- Belanger J.T. Perillyl alcohol: applications in oncology. Altern. Med Rev. 1998; 3(6):448–457.
- Bogucka-Kocka A., Smolarz H.D., Kocki J. Apoptotic activities of ethanol extracts from some *Apiaceae* on human leukaemia cell lines. Fitoterapia. 2008; 79(7–8):487–497. doi: 10.1016/j.fitote.2008.07.00.
- Damoon Ashtary-Larky A. Review of the Antioxidant Activity of Celery (*Apium graveolens* L.). Journal of Evidence-Based Complementary & Alternative Medicine. 2017; 22(4):1029–1034, DOI: 10.1177/2156587217717415.
- Ekholm P., Reinivuo H., Mattila P., Pakkala H., Happonen A., Hellström J., Ovaskainen M.-L. Changes in the mineral and trace element contents of cereals, fruits and vegetables in Finland. J. Food Comp. Anal. 2007; 20:487–495. doi:10.1016/j.jfca.2007.02.007.

- Gelodar G., Nazify Habib Abadi S. Effect of celery, apple tart and carrots on some biochemical parameters in diabetic rats. *J. Kerman Univ. Med. Sci.* 1997; 3(40):114–119.
- Hamza A.A., Amin A. *Apium graveolens* modulates sodium valproate-induced reproductive toxicity in rats. *J. Exp. Zool. Ecol. Genet. Physiol.* 2007; 307(4):199–206.
- Hardani A., Afzalzadeh M.R., Amirzargar A., Mansouri E., Meamar Z. Effects of aqueous extract of celery (*Apium graveolens* L.) leaves on spermatogenesis in healthy male rats. *Avicenna. J. Phytomed.* 2015; 5(2):111–111.
- Islam E., Yang X., He Z., Mahmood Q. Assessing potential dietary toxicity of heavy metals in selected vegetables and food crops. *J. Zhejiang Univ. Sci. B.* 8(1):1673–1581. www.zju.edu.cn/jzus; www.springerlink.com.
- Kabata-Pendias A. Trace elements in soils and plants-CRC. 2011. 4th ed.
- Khsraw A., Zhino R., Mohammed K. Heavy metal accumulation in Celery from Sarchnar and Kalar in Kurdistan of Iraq Region. *J. Zankoi Sulaimani Part A (Pure and Applied Sciences) JZS.* 2015:17-20 (Part-A) <https://www.researchgate.net/publication/318498253>.
- Kooti W., Ali-Akbari S., Asadi-Samani M., Ghadery H., Ashtary-Larky D. A review on medicinal plant of *Apium graveolens*. *Adv. Herb. Med.* 2014;1(1):48–59.
- Kooti W., Daraei N.A. Review of the Antioxidant Activity of Celery (*Apium graveolens* L.). *J. Evidence-Based Complementary & Alternative Medicine.* 2017a; 22(4):1029–1034. doi:10.1177/21565872177415.
- Kooti W., Moradi M., Peyro K., Sharghi M., Alamiri F., Azami M., Firoozbakht M., Ghafourian M. The effect of celery (*Apium graveolens* L.) on fertility: A systematic review. *J. Complement. Integr. Med.* 2017b; 15(2):1–12. pii: /j/jcim.2018.15.issue-2/jcim-2016-0141/jcim-2016-0141.xml. doi: 10.1515/jcim-2016-0141.
- Kumpulainen J.T. Chromium content of foods and diets. *Biol. Trace Elem. Res.* 1992; 32:9–18. doi:10.1007/bf02784582.
- Lans C.A. Ethnomedicines used in Trinidad and Tobago for urinary problems and diabetes mellitus. *J. Ethnobiol. Ethnomed.* 2006; 2:45.
- Malcolm C.V., Smith S.T. Growing plants with salty water. *J. of the Department of Agriculture, Western Australia. Ser. 4.* 1971; 12(2):41–44.
- Mencherini T., Cau A., Bianco G., Della Loggia R., Aquino R.P., Autore G. An extract of *Apium graveolens* var. dulce leaves: structure of the major constituent, apiin, and its anti-inflammatory properties. *J. Pharm. Pharmacol.* 2007; 59(6):891–897.
- Naseri M.K.G., Heidari A. Antispasmodic effect of *Anethum graveolens* fruit extract on rat ileum. *Int. J. Pharmacol.* 2007; 3:260–264.
- Nikolić N.Č., Lazić M.M., Karabegović I.T., Stojanović G.S., Todorović Z.B. A Characterization of Content, Composition and Scavenging Capacity of Phenolic Compounds in Parsnip Roots of Various Weight. *Natural Product Communications-2014;* 9(6):811–814.
- Osawa T. Studies on the salt tolerance of vegetable crops in sand cultures. II. Leafy vegetables. *J. Jpn. Soc. Hort. Sci.*-1961; 30:48–56.
- Qureshi K., Tabassum F., Neelam, Amin M., Akram M.Z., Zafar M. Investigation of Mineral Constituents of *Apium graveolens* L. available in Khyber Pakhtunkhwa-Pakistan. *J. Pharmacognosy and Phytochem.* 2014; 3(4):234–239.
- Salehi B., Venditti A., Frezza C., et al. *Apium* Plants: Beyond Simple Food and Phytopharmacological Applications. *Appl. Sci.* 2019; 9-art 3547. doi:10/3390/app9173547.
- Shannon M.C., Grieve C.M. Tolerance of vegetable crops to salinity. *Sci. Hort.* 1999; 78:5–38.
- Sipailiene A., Venskutonis P.R., Sarkinas A., Cypiene V. Composition and antimicrobial activity of celery (*Apium graveolens*) leaf and root extracts obtained with liquid carbon dioxide. *Acta Hort.* 2005; 677:71–77. doi: 10.17660/ActaHortic.2005.677.9.
- Sorour M.A., Hassanen N.H.M., Ahme M.H.M. Natural antioxidant changes in fresh and dried celery (*Apium graveolens*). *Am. J. Energy Eng.* 2015; 3(2–1):12–16.
- Tsakova A.P., Surcheva S.K., Bankova V.S., Popova M.P., Peev D.R., Popivanov P.R., Surchev K.L., Ratkova M.D., Surchev L.K., Vlaskovska M.V. The effect of *Apium nodiflorum* in experimental osteoporosis. *Curr. Pharmaceut. Biotechnol.* 2015; 16:414–423.
- Wolski T., Dyduch J., Baj T. Ocena składu chemicznego kilku odmian pasternaku zwyczajnego (*Pastinaca sativa* L.) ze szczególnym uwzględnieniem odmiany Poldlugi Biały. Evaluation of the chemical composition of several parsnip cultivars (*Pastinaca sativa* L.) with special emphasis on «White Parsnip» cultivar. *Zesz. Prob. Post Nauk Rol.* 1999; 466:237–248 (in Polish).
- Zhang K., Jianbing W., Yang Z., Xin G., Yuan J., Xin J., Huang C. Genotype variations in accumulation of cadmium and lead in celery (*Apium graveolens* L.) and screening for low Cd and Pb accumulative cultivars. *Front. Env. Sci. Eng.* 2013; 7(1):85–96.
- Zidorn C., Johrer K., Ganzera M., Schubert B., Sigmund E.M., Mader J., et al. Polyacetylenes from the *Apiaceae* vegetables carrot, celery, fennel, parsley, and parsnip and their cytotoxic activities. *J. Agr. Food Chem.* 2005; 53(7):2518–2523.