

ХИМИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ОВОЩНЫХ РАСТЕНИЯХ

Добруцкая Е.Г., Ушаков В.А., Ушакова О.В.
ГНУ Всероссийский НИИ селекции
и семеноводства овощных культур



Одной из задач, которые необходимо решить для улучшения здоровья населения нашей страны, является обеспечение в продуктах питания баланса химических элементов, играющих важнейшую роль в жизнедеятельности человека. В лаборатории экологических методов селекции ВНИИ селекции и семеноводства овощных культур при участии аналитического центра Института геологии РАН проведены исследования по теме: "Теоретическое обоснование методов экологической селекции на устойчивость к накоплению экотоксикантов", включающие изучение и оценку овощных культур на стабильное содержание химических элементов в продуктовых органах.

Среди химических элементов различают: органогены (кислород, углерод, водород, азот, фосфор, сера), составляющие основу живых систем, макроэлементы (кальций, калий, натрий, магний), входящие в состав ферментов, гормонов, витаминов и биологически активных веществ, жизненно необходимые элементы (железо, цинк, медь, марганец, молибден, кобальт, хром, селен, йод), условно жизненно необходимые (фтор, бор, кремний, никель, ванадий, бром, мышьяк, литий) и токсичные микроэлементы (олово, серебро, стронций, титан, алюминий, свинец, кадмий, ртуть, таллий, висмут, бериллий). Существуют элементы, значение которых для человека мало изучено (Скальный, 2004).

История изучения роли химических элементов в питании животных и человека насчитывает около двух тысячелетий. Среди важнейших этапов развития этого вопроса – открытие в 1811-1825 годах Куртуа, Кайнде и Брусингальем йода как средства против заболевания щитовидной железы, Хартом в 1928 году – необходимости меди (помимо железа) для образования гемоглобина и ряд других (Скальный, 2004).

Во второй половине XX века в России элементология успешно развивалась (Ковальский, 1974, 1979 и др.). После распада СССР только отдельным ученым удалось выстоять и продолжить научную работу в этом направлении (Авцын и др., 1991; Агаджанян и др., 2000; Жаворонков,

Михалева, 1999 и др.).

Современная экологическая обстановка привела к повышению концентрации в окружающей среде тяжелых металлов, других экотоксикантов. Более 50 миллионов человек в нашей стране испытывают воздействие вредных веществ, превышающих ПДК в 10 раз. С другой стороны, возникли антропогенно и природно обусловленные дефициты жизненно важных микроэлементов Fe, I, Se, Zn и др. (Скальный, 2004).

Минимизации неблагоприятного воздействия отдельных факторов на здоровье населения может способствовать включение в рацион питания овощей – ценнейшего источника минеральных элементов.

Методика работы. В 2001 году в лаборатории экологических методов селекции ВНИИ селекции и семеноводства овощных культур при участии аналитического центра Института геологии РАН было начато новое для института направление исследований по теме: «Теоретическое обоснование методов экологической селекции на устойчивость к накоплению экотоксикантов», включающее изучение и оценку овощных культур на стабильное содержание химических элементов в продуктовых органах.

В качестве объектов исследований в работе использовали сортообразцы салата, шпината, томата, редьки. Работа по этой теме многоплановая, затрагивает как

изучение видового и сортового разнообразия овощных культур по уровню накопления ряда химических элементов, так и разработку методических основ селекции данного направления.

Экспериментальная работа выполнена в 2001-2002 годах на опытном поле ВНИИССОК (Одинцовский район Московской области) и полигонах Геологического института РАН (Можайский район Московской области) на естественном экологическом фоне загрязнения. Закладку полевых опытов проводили по общепринятой методике в рекомендуемые технологические для данных культур сроки. Растения томата выращивали через рассаду, салат, шпинат и редьку – посевом в открытый грунт. Повторность опыта 4-кратная, размещение вариантов рендомизированное.

Содержание химических элементов в продуктовых органах изучаемых культур определяли в лаборатории физико-химических методов анализа ГИН РАН (при участии кандидатов геологических наук Горбунова А.В. и Ляпунова С.М.) методом атомно-адсорбционной спектрометрии по ГОСТ 30178-96 – сырье и продукты пищевые. Статистическая обработка данных по Б.Н. Доспехову (1985).

Результаты исследования. Полученные данные позволяют нам судить об уровне накопления химических элементов в овощной продукции, а также оценить видовое и сортовое разнообразие овощных культур по этому признаку.

ЖЕЛЕЗО (Fe). Как правило, содержание железа в почвах изменяется от 0,5 до 5 %. Даже на бедных железом почвах не отмечается его абсолютного дефицита для растений (Иванов, 1994). Однако, это обязательный элемент для нормального роста и развития растений (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989). Железо необходимо для процессов преобразования энергии в растительных клетках, влияет на активность некоторых ферментов и азотный обмен, большую потребность в нем испытывают молодые листья. Оно играет большую роль в организме человека, входит в состав гемоглобина крови. Оптимальная интенсивность поступления железа в организм человека – 10-20 мг/сутки (Скальный, 2004).

Установлено максимальное накопление Fe в растениях семейств *Asteraceae*, *Salicaceae*, *Saxifragaceae* (Алексеева-Попова и др., 1990). В наших исследованиях лидером по накоплению железа был шпинат ($52,5 \pm 3,7$ мг/кг сырой массы). Значительно меньшим было его содержание в салате, редьке и томате ($9,6 \pm 0,9$, $5,6 \pm 0,5$, $4,4 \pm 0,2$ мг/кг сырой массы соответственно). Однако следует заметить, что наибольшая сортовая изменчивость по уровню накопления железа характерна для салата ($C_v = 8,28-52,69$) при менее значительной изменчивости у шпината – лидера по накоплению ($C_v = 28,92-40,10$). Следовательно, существует возможность для селекции салата на высокий уровень содержания этого элемента. Наибольшее количество Fe в листьях среди изученных сортов салата содержится у сортов Изумрудный и Новогодний, у шпината – Garant, Нафис и Юань-ли-Боцай.

МАРГАНЕЦ (Mn). Фоновое содержание марганца в дерново-подзолистых почвах составляет 650 мг/кг (Ильин, 2000). Биологическая роль этого элемента изучена достаточно хорошо. Он содержится в тканях всех растений, хотя количественные характеристики у разных систематических групп сильно различаются. Обычно максимальное количество марганца содержится в цитоплазме растительных клеток, из органелл – в хлоропластах.

Марганец является эссенциальным элементом для человека и животных. Среднесуточная потребность человека составляет 2-5 мг. Много марганца содержится в ржаном хлебе, пшеничных и рисовых отрубях, сое, горохе, картофеле, свекле, помидорах, чернике и в некоторых лекарственных растениях. Среди изученных нами овощных культур лидером по накоплению Mn является шпинат. В листьях шпината его содержится в среднем $5,0 \pm 0,4$ мг/кг сырой массы. Это в 2,3 раза больше, чем у салата и почти в 5 раз больше, чем у редьки и томата. Межсортовая изменчивость одинаково высока для этого элемента у листовых культур (салат, шпинат). Максимальное накопление характерно для сортов салата Изумрудный и Новогодний, для шпината – Юань-ли-Боцай и Old Dominion

ЦИНК (Zn). Фоновое содержание в дерново-подзолистых почвах – 49 мг/кг (Ильин, 2000). Достоверно установлено антагонистическое взаимодействие между цинком и другими тяжелыми металлами (кадмий, свинец) (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989; Богдановский, 1994; Гуральчук, 1994; Иванов, 1994.). Многие исследователи отмечают большое биологическое значение Zn и его необходимость для растений (Ильин, 1985; Алексеев, 1987; Полевой, 1989). Установлено, что Zn активнее накапливается в злаках, чем в бобовых (Алексеев, 1987). Много цинка содержится в говядине, печени, морских продуктах, пшеничных зародышах, рисовых отрубях, овсяной муке, моркови, горохе, луке, шпинате и орехах. По опубликованным данным, цинк концентрируется в хлоропластах (особенно это выражено у шпината (Tukendorf, 1993)). Симптомами недостаточности Zn являются мелколистность и розеточность листьев, хлорозы и задержка роста (Ильин, 1985). При избытке Zn проявляются хлороз и ослабление роста, но большинство видов растений обладают высокой толерантностью к избытку Zn в среде (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989). Антропогенные источники Zn – это, в первую очередь, предприятия цветной металлургии, а затем – агротехническая деятельность.

Химические элементы избирательно накапливаются в органах и тканях человека и значимость элемента для функционирования органа или ткани отражается величиной его концентрации там. Так, например, фтор максимально накапливается в эмали зубов, йод – в щитовидной железе. Цинк накапливается в половых органах, коже, волосах. Патологические процессы (микроэлементозы) вызываются не только избытком или дисбалансом макро- и микроэлементов, но и дефицитом их. Гипомикроэлементоз Zn, наряду с Cu и железом, дефицитными состояниями – наиболее распространенные гипомикроэлементозы не только в России, но и во всем мире. Дефицит цинка встречается в России в среднем у 30-90 % детей (Скальный, 2004).

Оптимальная интенсивность поступления цинка в организм человека 10-15 мг/сутки. Цинк входит в состав инсулина, ряда ферментов, участвует в кроветворении (Скальный, 2004).

Так же, как и в случае с железом и марганцем, лидером по накоплению цинка, по нашим данным, является шпинат ($11,3 \pm 0,9$ мг/кг сырой массы). Возможно, это связано с указанной выше его особенностью концентрировать Zn в хлоропластах. Сортовой полиморфизм в накоплении цинка наиболее выражен у редьки. Наибольшее количество цинка накапливает сорт Грейворонская, наименьшее – Деликатес.

МЕДЬ (Cu). Фоновое содержание меди в дерново-подзолистых почвах 23 мг/кг (Ильин, 2000). Cu относят к истинным биоэлементам, так как она всегда

присутствует в почвах, растениях, тканях животных и человека, участвует в разнообразных метаболических реакциях (Ильин, 1985; Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989; Протасова и др., 1992). Этот биоэлемент повышает устойчивость организма к некоторым инфекциям, связывает микробные токсины и усиливает действие антибиотиков. Потребность человека в меди – 2-3 мг/сутки (Скальный, 2004).

В организм человека медь поступает в основном с пищей. Считается, что оптимальная интенсивность поступления меди в организм составляет 2-3 мг/сутки. Дефицит меди в организме может развиваться при недостаточном поступлении этого элемента (1 мг/сутки и менее), а порог токсичности для человека равен 200 мг/сутки. В некоторых овощах и фруктах содержится от 30 до 230 мг% меди. Много меди содержится в морских продуктах, бобовых, капусте, картофеле, кукурузе, моркови, шпинате, яблоках, какао-бобах, крапиве.

По нашим данным наиболее высокое содержание меди характерно для шпината – $0,9 \pm 0,04$ мг/кг сырой массы, это в среднем в 2-3 раза выше, чем в томатах, редьке и салате. Наиболее высокий сортовой полиморфизм по накоплению меди проявляется для редьки – $C_v = 30,31-69,07\%$. Лучшие показатели по содержанию меди у сорта Грейворонская.

КОБАЛЬТ (Co). Концентрации кобальта в растворах большинства почв, как правило, достаточно низкие и изменяются от 0,3 до 87 мкг/л (Иванов, 1994). Со найден во всех высших и низших растениях, его содержание в растительных клетках колеблется от 0,06 до 11,6 мг/кг. В небольших количествах кобальт необходим растениям (примерно 0,08-0,10 мг/кг сухого вещества). При содержании Co в почве меньше 7 мг/кг растения испытывают недостаток элемента, но при концентрации 30 мг/кг проявляются симптомы фитотоксичности. Токсичное действие выражается в виде хлороза, побеления и отмирания краев листьев. Со активно поглощается листьями. Концентрация Co в растениях зависит от свойств почв и вида растения. Для человека оптимальная потребность в кобальте – 20-50 мкг/сутки (Скальный, 2004). Он участвует в ферментативных процессах и образовании гормонов щитовидной железы, способствует выделению воды почками.

Все изученные нами культуры накапливали кобальт в незначительном количестве, однако у шпината его накапливалось несколько больше ($0,020 \pm 0,001$ мг/кг сырой массы), чем в салате, томате и редьке ($0,003$, $0,004$, $0,010$ мг/кг сырой массы соответственно). Высокая сортовая изменчивость ($>70\%$) по содержанию этого элемента наблюдалась у салата и редьки. Наибольший уровень накопления кобальта у салата сорта Московский парниковый, у шпината – Юань-ли-Боцай, у томата – Штамбовый Алпатыева, у редьки – Зимняя круглая белая.

ХРОМ (Cr). Фоновое содержание хрома в дерново-подзолистых почвах 140 мг/кг (Иванов, 1994). Хром – важный элемент питания, поскольку жизненно необходим для животных и человека, относится к группе вероятно необходимых элементов. Один из биологических эффектов хрома связан с его толерантностью к глюкозе, нарушение этого эффекта способствует сахарному диабету. Хром потенцирует действие инсулина. Суточная потребность человека – 50-200 мкг (Скальный, 2004). Легко растворимый в почвах Cr^{6+} токсичен для растений и животных. Токсичность Cr проявляется в увядании надземных частей и повреждении корневой системы растений (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989).

Лидером по накоплению хрома является шпинат ($0,16 \pm 0,02$ мг/кг сырой массы), однако это может быть опасным, так как происходит накопление на уровне, максимально приближенном к ПДК по Co ($0,2$ мг/кг). Наиболее ярко по накоплению хрома выражен сортовой полиморфизм у салата, лидер по накоплению сорт Изумрудный.

НИКЕЛЬ (Ni). Фоновое содержание в дерново-подзолистых почвах составляет 51 мг/кг (Иванов, 1994). Ni накапливается в тканях растений, но его биологическая роль не вполне ясна (Алексеев, 1987). Геохимически он связан с Co, поэтому возможно сходное действие на физиологические процессы в растительных организмах (Ковальский, 1974). При избытке Ni в растениях резко снижается абсорбция питательных веществ, тормозится рост растений, нарушается метаболизм. Предполагается повышенная потребность в Ni у азотфиксирующих растений (Носовская, 2001). Оптимальное поступление для человека – 100-200 мкг/сутки. Он относится к вероятно необходимым элементам (Скальный, 2004).

Лидером по накоплению никеля, по нашим данным, является редька – $0,21 \pm 0,04$ мг/кг сырой массы. Следовательно, в случае необходимости, редька может служить поставщиком никеля в организм человека. Селекционная работа, направленная на гетерозис по уровню накопления никеля, наиболее перспективна и для салата, так как благодаря высокому уровню Sv, существует возможность подбора контрастных форм для скрещивания. Сорта-накопители никеля: у салата – Изумрудный, у шпината – Местный, у томата – Спринт, у редьки – Грайворонская.

МЫШЬЯК (As). Фоновые уровни содержания мышьяка в верхнем горизонте почв, как правило, невелики (1-95 мг/кг), хотя и превышают его концентрации в горных породах (Ильин, 2000). Мышьяк входит в состав многих растений, но его биохимическая роль практически не изучена. As известен как ингибитор обмена веществ, но по индексу опасности он значительно уступает Hg, Cd, Cu, Pb. Токсичен он лишь при высоких концентрациях на легких почвах (Алексеев, 1987). Кон-

центрация мышьяка в растениях, произрастающих на незагрязненных почвах, изменяется в пределах 0,009-1,5 мг/кг сухой массы, причем более высокие значения характерны для зеленных культур. Об отравлении мышьяком растений свидетельствуют следующие признаки: увядание листьев, фиолетовая окраска, обесцвечивание корнеплодов, клеточный плазмолиз, замедление темпов роста.

У животных и человека As депонируется в печени, почках, костях, волосах, ногтях. As – протоплазматический яд. Его негативное воздействие на метаболизм живых организмов связано с блокированием сульфгидрильных групп (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989). Оптимальная интенсивность поступления в организм человека – 50-100 мкг/сутки. Его относят к условно эссенциальным, иммунотоксичным элементам. Мышьяк оказывает влияние на окислительные процессы, принимает участие во многих важных биохимических процессах (Скальный, 2004).

В наших исследованиях установлено, что содержание мышьяка во всех проанализированных растительных образцах не превышало установленной ПДК=0,1 мг/кг сырой массы. Лидер по накоплению As – шпинат. Сортовой полиморфизм для всех культур выражен слабо.

СВИНЕЦ (Pb). Фоновое содержание свинца в дерновоподзолистых почвах 19 мг/кг сухой массы (Иванов, 1994). Взаимодействие Pb с другими элементами в различных условиях среды не позволяет точно определить, какие его концентрации токсичны для жизненных процессов в растениях. Переносимый по воздуху Pb также легко поглощается растениями через листовую пластинку. Широкие вариации содержания свинца в растениях возникают под действием различных факторов среды: геохимических аномалий, загрязнения, способности генотипа накапливать свинец (Ильин, 1991). Свинец необходим растениям в определенной мере, но его концентрации на уровне 2-6 мг/кг являются пороговыми.

Некоторые виды растений и генотипы приспособляются к высоким концентрациям Pb в среде роста (Черных, 1988). Это непосредственно отражается в аномально высоких количествах свинца в таких растениях. Повышенное содержание Pb в овощах, выращенных в урбанизированных и промышленных районах, представляет опасность для здоровья человека.

Роль свинца в организме человека изучена недостаточно. Известно, что свинец участвует в обменных процессах костной ткани. С другой стороны, он является канцерогеном для организма. Оптимальное поступление в организм – 10-20 мкг/сутки (Скальный, 2004).

Использование естественных экологических фонов Московской области в нашем эксперименте при проведении количественного анализа овощной продукции по уровню накопления свинца не позво-

лило выявить образцы с экстремально высоким содержанием этого тяжелого металла. Уровень его накопления для всех культур был ниже ПДК в среднем в 7-22 раза. На фоне этого сортовой полиморфизм также незначителен, но более вероятен для листовых овощей (салат, шпинат).

КАДМИЙ (Cd). Биологическая роль Cd изучена очень слабо. Кадмий считается токсичным элементом для растений и основная причина его токсичности связана с нарушением энзиматической активности (Ковда, 1985). Он негативно влияет на рост и развитие растений. Содержание Cd в растениях зависит от концентрации его подвижных форм в почве. Установлено, что корневой барьер снижает поступление Cd в листья, причем этот эффект сильнее проявляется на черноземах (Кабата-Пендиас, Пендиас 1989). Видимые симптомы, вызванные повышенным содержанием кадмия в растениях, – это задержка роста, повреждение корневой системы, хлороз листьев, красно-бурая окраска их краев или прожилок.

В питании человека и животных Cd представляет собой кумулятивный яд, поэтому его содержание в пищевых и кормовых растениях изучалось весьма детально (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989). Суточное поступление Cd в организм взрослого человека составляет 10-20 мкг кадмия, однако, что оптимальным считается уровень 1-5 мкг/сутки. В организме человека кадмий аккумулируется в основном в почках, печени и двенадцатиперстной кишке. С возрастом его содержание увеличивается, особенно у мужчин. Средняя концентрация кадмия у мужчин и женщин составляет соответственно: в почках – 44 и 29 мкг/г, печени – 4,2 и 3,4 мкг/г, в ребрах – 0,4-0,5 мкг/г.

Среднее содержание Cd в почвах лежит между 0,07 и 1,1 мг/кг. При этом фоновые уровни Cd в почвах, по-видимому, не превосходят 0,5 мг/кг и все более высокие значения свидетельствуют об антропогенном вкладе в содержание Cd в верхнем слое почв (Иванов, 1994).

В наших исследованиях в листовых овощах при выращивании на естественных экологических фонах наблюдался высокий уровень накопления кадмия ($0,033 \pm 0,003$ у салата и $0,086 \pm 0,004$ мг/кг у шпината соответственно), выше уровня ПДК (0,03 мг/кг). Для томата и редьки уровень накопления кадмия был существенно ниже. Однако по всем культурам наблюдается значительная сортовая дифференциация по этому признаку ($Sv > 20\%$). В связи с этим существует необходимость и возможность селекции овощных культур на низкий уровень накопления кадмия.

РУБИДИЙ (Rb). Элемент с мало изученной ролью для организма человека. Легко поглощается растениями. Он может отчасти замещать позиции калия в соединениях, но не может заменить калий в процессах метаболизма. Вслед-

ствие этого его высокие концентрации довольно токсичны для растений. Если некоторые растения (сахарная свекла) испытывают дефицит калия, рубидия, как и натрия, может стимулировать их рост. Содержание рубидия в зеленых растениях различно для разных видов – в среднем 20-70 мг/кг сухой массы (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989).

Лидером по накоплению рубидия является редька ($1,3 \pm 0,2$ мг/кг), меньше его в салате и томате ($0,9 \pm 0,1$ и $0,8 \pm 0,1$ мг/кг соответственно) и меньше всего в шпинате – $0,4 \pm 0,02$ мг/кг сырой массы. Наибольшее количество рубидия содержится в корнеплодах редьки сорта Грайворонская (1,58 мг/кг). У томата лидер по накоплению в плодах Rb сорт Грот.

БРОМ (Br). Данные немногочисленных исследований показывают, что содержание брома в почвах обычно колеблется в пределах 5-40 мг/кг. Хотя бром был обнаружен во всех растительных тканях, его незаменимость для развития растений пока еще не установлена. Природное содержание брома в растениях не превышает 40 мг/кг. Симптомы фитотоксичности брома сходны с влиянием избытка солей, в частности, типичен хлороз с последующим некрозом листьев. Основным антропогенным источником брома являются автомобильные выхлопные газы. Использование в сельском хозяйстве почвенных фумигаторов (метилбромид) или калийных удобрений также способствует накоплению его в почвах. Бром относят к условно-эссенциальным элементам. Суточное поступление в организм человека составляет 2-8 мг. Ионы брома угнетают деятельность щитовид-

ной железы. Метилбромид и другие органические соединения брома, используемые как фумиганты почв, зерна и плодов, могут быть серьезным источником этого элемента в питании человека.

Из числа изученных культур больше других накапливает редька ($0,6 \pm 0,2$ мг/кг сырой массы). Однако для всех культур существует значительный сортовой полиморфизм по накоплению Br ($C_v > 20\%$), так у шпината образец Old Dominion – лучший аккумулятор Rb, а наиболее устойчив к его накоплению образец Местный (К-635). У салата наибольшим содержанием Br характеризуется сорт Подмосковье, у томата – сорт Грот.

РТУТЬ (Hg). Фоновые уровни ртути в почвах нелегко оценить из-за широкого распространения антропогенного загрязнения этим металлом. Тем не менее, следует отметить, что фоновое содержание ее в почвах Европейской части России находится в пределах $0,02-0,5$ мг/кг (Иванов, 1994). Показано, что положительная биологическая роль Hg отсутствует. Она характеризуется только как токсичный элемент. Токсичность Hg зависит от вида ее химических соединений, среди которых наиболее токсичны органоминеральные соединения (Алексеев, 1987). Hg имеет самый высокий показатель индекса опасности – 1600 (для сравнения – у As он составляет всего 0,7). Ртуть токсична для животных и человека. Избыток Hg в среде вызывает у людей болезнь Миномата (Hlusek, Richter, 2000).

В наших исследованиях не выявлено превышения уровня ПДК, однако наибольший уровень накопления отмечен для шпината – $0,012 \pm 0,002$ мг/кг сырой

массы. Лидер по накоплению ртути у шпината – сорт Жирнолистный.

Выявленные нами видовые особенности могут быть учтены при выборе ассортимента для улучшения минерального состава овощного рациона питания человека. С другой стороны, возможность накопления полезных элементов овощными растениями может быть использована при изготовлении биологических добавок к пище, содержащих набор витаминов и важнейших минералов, позволяя регулировать баланс поступления полезных элементов в организм человека.

В случае необходимости выращивания овощей в районах, загрязненных определенными опасными для человека веществами, что актуально на сегодняшний день, следует использовать культуры с низким уровнем их содержания. Так, например, активным накопителем большинства химических элементов, в том числе и токсичных, является шпинат. Салат, как мы уже отмечали, обладает ценным минеральным составом продукции и может с наибольшим успехом возделываться в местах, где возникает загрязнение среды кобальтом, свинцом, мышьяком, сурьмой.

Редька является наилучшим накопителем рубидия, брома, никеля, скандия и в то же время медь в ее продукции содержится в наименьшем количестве. Томат относительно устойчив к накоплению тяжелых металлов, но он и по другим химическим элементам, изученным нами, также характеризуется наименьшим содержанием, уступая шпинату, салату и редьке. Исключение – медь (второе место после шпината), Co, Pb, As, Sb – накапливает больше, чем салат и Rb, Hg – больше, чем шпинат.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев Ю.В. Тяжелые металлы в почвах и растениях. - Л.: Агропромиздат, 1987. - 141 с.;
2. Алексеева-Попова Н.В. Специфичность металлоустойчивости и ее механизмов у высших растений //Тез. докл. XI Всесоюз. конф.: Микроэлементы в биологии и их применение в сельском хозяйстве и медицине. - Самарканд: 1990. - С. 260-261.;
3. Авцын А.П., Жаворонков А.А., Риш М.А., Строчкова Л.С. Микроэлементозы человека: этиология, классификация, органоопатология. - М.: Медицина, 1991. - 152 с.;
4. Агаджанян Н.А., Сусликов В.Л., Ермаков Н.В., Капланова А.Ш. Эколого-биогеохимические факторы и здоровье человека. //Экология человека. 2000.-№1.;
5. Богдановский Г.А. Химическая экология. М.: Изд-во МГУ, 1994. - 237 с.;
6. Гуральчук Ж.З. Механизмы устойчивости растений к тяжелым металлам // Физиология и биохимия культурных растений.- 1994.-Т.26. №2.- С.107-117.;
7. Доспехов Б.А. Планирование полевого опыта и статистическая обработка его данных. - М.: Колос, 1972.- с.205.;
8. Жаворонков А.А., Михалева Л.М. Проблема микроэлементозов человека. //Материалы 2-ой Российской школы "Геохимическая экология и биогеохимическое районирование биосферы". Москва, 25-28 января 1999.-М.:1999.;
9. Ильин В.Б., Гармаш Г.А., Гармаш Н.Ю. Влияние тяжелых металлов на рост, развитие, урожайность с.-х. культур //Агрохимия.- 1985. №6.-С.90-100.
10. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва-растение. - Новосибирск: Наука, 1991.;
11. Ильин В.Б. Оценка существующих экологических нормативов содержания тяжелых металлов в почве //Агрохимия.- 2000. N 9. - С. 74-79.;
12. Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов: Справочное издание /Под ред. Э.К. Буренкова. - М.: Недра, 1994.- с.304.;
13. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. - М.: Мир, 1989. - с.31-107.;
14. Ковда В.А., Золотарева Б.И., Скрипченко И.И. О биологической реакции растений на тяжелые металлы в среде //Докл. АН. СССР.- 1985. Вып. 247. №3. С. 766-768.;
15. Ковальский В.В. Геохимическая среда и жизнь.- М.: Наука, 1987. - с.51.;
16. Носовская И.И., Соловьев Г.А., Егоров В.С. Влияние длительного систематического применения различных форм минеральных удобрений и навоза на накопление в почве и хозяйственный баланс кадмия, свинца, никеля и хрома //Агрохимия. -2001. N 1. - С. 82-91.;
17. Скальный А.В. Химические элементы в физиологии и экологии человека. - М.: Оникс 21 век,-2004.- с. 210.;
18. Черных Н.А. Влияние различного уровня содержания цинка, свинца и кадмия в почве на состав и качество растительной продукции. - М.: 1988, - 27 с.;
19. Hlusek J., Richter R. Production and quality of vegetables on mercury-contaminated soils //Toksyczne substancje w glebie - zrodla i wplyw na rosliny. -Warszawa, 2000; Cz.1. - S. 317-322.;
20. Tukendorf A. The role of glutathione in detoxification of cadmium and excess copper in spinach plants. //Acta Physiologiae plantarum. Vol. 15, № 3, 1993, P. 175-183.