

УДК 581.192.4:635.262

СПОСОБНОСТЬ ЧЕСНОКА (*ALLIUM SATIVUM* L.) НАКАПЛИВАТЬ ГЕРМАНИЙ В ЕСТЕСТВЕННЫХ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

© А.В. Поляков^{1,2*}, Т.В. Алексеева^{1,2}

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт овощеводства – филиал Федерального научного центра овощеводства, Верея, 500, Московская область, 140153 (Россия), e-mail: vita100plus@yandex.ru

² Московский государственный областной университет, ул. Веры Волошиной, 24, Мытищи, 141014 (Россия)

В статье рассмотрена способность чеснока накапливать германий в естественных и экспериментальных условиях. Показано, что содержание германия в луковичах 24 образцов, относящихся к 19 сортам чеснока озимого и 5 сортам чеснока ярового, выращенных в равнинных условиях Воронежской, Московской и Тверской областей, а также в горных условиях провинции Шаньдун (КНР), Карачаево-Черкесии и Горного Алтая, находится на низком уровне. Отмечено, что у 23 образцов содержание германия в луковичах не превышает 4.2 мкг/кг, у образца, выращенного в условиях Карачаево-Черкесии, содержание этого элемента составляет 5.0 мкг/кг.

Установлено, что эффективность накопления германия в луковичах зависит от способа подкормки растений. Некорневая подкормка более чем в 5 раз эффективнее, чем корневая, и приводит к увеличению концентрации германия в тканях луковиц до 20.0 мкг/кг.

Показано, что эффективность накопления германия в луковичах зависит от способа применения германийсодержащего вещества. Более эффективной является некорневая подкормка с добавлением в раствор Герматранола диметилсульфоксида, способствующего лучшему проникновению германия внутрь тканей. Обнаружено, что наиболее активно аккумулируют германий корни и листья. Концентрация германия в этих органах в 115.2 и 141.0 раза выше, чем в контроле. В зубках концентрация этого элемента превышает контроль в 37.1 раза и составляет 78 мкг/кг.

Ключевые слова: *Allium sativum* L., чеснок, растение, почва, анализ, образец, германий, Герматранол, диметилсульфоксид, Твин 80.

Исследования выполнены при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Правительства Московской области. Грант № 17-44-500820.

Введение

В последние годы наблюдается повышенный интерес к исследованию влияния германия на здоровье человека. Доказано, что микродозы германия необходимы для нормального функционирования различных систем организмов. Отмечено, что суточная норма потребления германия для человека находится в диапазоне 0.4–1.6 мг [1, 2], однако официальные нормы потребления этого элемента не установлены. Показано, что в Великобритании среднесуточное потребление германия взрослыми находится в пределах 0.001–0.018 мкг/кг, детьми (1.5–4.5 года) – 0.002–0.053, подростками (4–18 лет) – 0.001–0.032 и пожилыми – 0.001–0.016 мкг/кг массы тела [3]. Во Франции потребление германия составляют от 0.042 до 0.122 мкг/кг массы тела [4].

Установлено, что при недостаточном поступлении германия в организм человека повышается риск

Поляков Алексей Васильевич – доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник, заведующий кафедрой ботаники и прикладной биологии, e-mail: vita100plus@yandex.ru

Алексеева Татьяна Вячеславовна – кандидат сельскохозяйственных наук, младший научный сотрудник, доцент кафедры ботаники и прикладной биологии, e-mail: kaf-bosh@mgou.ru

инфицирования и развития сердечно-сосудистых заболеваний, остеопороза, рака, артрита и иммунодефицита [5, 6]. Однако длительное применение неорганических препаратов германия, основным компонентом которых является двуокись германия или

* Автор, с которым следует вести переписку.

лактат-цитрат германия, может отрицательно сказаться на деятельности почек, печени, мышц и нервной системы [7, 8]. Вместе с тем органические соединения германия проявляют антиоксидантные, противовирусные, противовоспалительные, противоопухолевые и иммуностимулирующие свойства, которые используют для ингибирования роста раковых клеток [9].

Распространение германия в литосфере. В минерально-геохимическом отношении германий является слабоизученным элементом, который относится к рассеянным и относительно подвижным элементам в земной коре. Содержание германия в земной коре составляет от $(1.3-1.4) \cdot 10^{-6}\%$ [10] до $1.5 \cdot 10^{-4}\%$ [11, 12]. Из-за своего геохимического родства с некоторыми обычными элементами (Si, Zn, As, Fe, Cu, Sn, Ag) германий проявляет ограниченную способность образовывать собственные минералы. Поэтому самородные минералы германия в природе встречаются крайне редко и в основном в виде микровключений. Они представлены сульфосолями – германитом (9.1% Ge), аргиродитом (6.4% Ge), канфильдитом (1.8% Ge), реньеритом (6.6% Ge) и др. [10].

Распространение германия в атмосфере. Германий в низких концентрациях (от 0.01 до 1700 $\text{нг}/\text{м}^3$) идентифицирован в твердых частицах атмосферного воздуха [13]. В регионах с развитой промышленностью и инфраструктурой концентрация германия в воздухе городов значительно выше и может составлять от 0.4 до 10 $\text{мкг}/\text{м}^3$ [14]. Высокие концентрации неорганического германия (до 300 $\text{мкг}/\text{м}^3$) фиксируются в воздухе над рабочими зонами предприятий, где производственные процессы связаны с использованием соединений этого элемента [15].

Распространение германия в гидросфере. В гидросфере содержание германия невелико. Его концентрация в морской воде варьирует в диапазоне 0.05–0.5 $\text{мкг}/\text{л}$ [16].

Для поверхностных вод характерными являются показатели концентрации германия от 0.006 до 0.016 $\text{мкг}/\text{л}$ [17]. Установлено, что его концентрация в пробах речной воды, отобранных вблизи городских и промышленных территорий, значительно выше, чем в сельской местности, и колеблется в диапазоне 0.03–0.17 $\text{мкг}/\text{л}$ [18]. В дождевой воде концентрация германия может составлять 0.011 $\text{мкг}/\text{л}$ [19].

Распространение германия в почвах. Концентрация германия в почвах колеблется в диапазоне от <0.1 до 15 $\text{мг}/\text{кг}$ [12]. Содержание в почвах сельскохозяйственного назначения ряда регионов Европы находится в пределах 0.037 и 0.034 $\text{мг}/\text{кг}$ [20]. Содержание германия в верхних горизонтах почв США составляет в среднем 1.1 $\text{мг}/\text{кг}$ с небольшими колебаниями от 0.8 $\text{мг}/\text{кг}$ в легких органических почвах до 1.5 $\text{мг}/\text{кг}$ в глинистых и суглинистых почвах [21]. Более высокие концентрации элемента характерны для влажных пастбищных почв с низким рН и высоким содержанием органического вещества [12]. На территории Фрайберг (Саксония) почвы, загрязненные отходами горнодобывающей промышленности, характеризуются высокими концентрациями германия (до 7.9 $\text{мг}/\text{кг}$) [22]. В почве восточной части Китая концентрация германия изменяется в диапазоне от 1.3 до 3.4 $\text{мг}/\text{кг}$. Сравнительно низкое содержание обнаружено в почве Южной Кореи, в частности, в суглинках его концентрация составляет 0.27 $\text{мг}/\text{кг}$, а супесях – 0.23 $\text{мг}/\text{кг}$ [23].

Концентрация германия в почвах увеличивается в присутствии кремния и снижается в присутствии железа [24]. Кроме того, отмечено, что растения, выращенные на нейтральных почвах (рН=6.6), накапливают германий больше, чем на слабощелочных (рН=7.8) [12]. К сожалению, данные по содержанию германия в почвах Российской Федерации отсутствуют.

Германий в почве малоподвижен. Его миграция происходит при образовании растворимых соединений, которые в дальнейшем включаются в комплекс с гуминовыми кислотами и перемещаются вместе ними [11, 12].

Содержание германия в растениях. Усвоение германия растениями зависит от многих причин и прежде всего от вида растения и наличия доступных для растений форм этого элемента. Растения поглощают его корневой системой в виде GeO_2 или $\text{Ge}(\text{OH})_4$, затем германий поднимается в надземные органы растений и при их отмирании накапливается в поверхностном горизонте [12].

Германий обнаружен во многих видах растений. Установлено, что женьшень является лидером среди растений по способности накапливать этот элемент. Показано, что концентрация германия у этого вида растения может колебаться от 0.20 до 5.34 $\text{мг}/\text{кг}$ в корнях и от 0.31 до 6.11 $\text{мг}/\text{кг}$ в листьях [25], а в ряде случаев его содержание может составлять 250 $\text{мг}/\text{кг}$ [24].

По данным Б.А. Комарова с соавторами [26, 27], в корнях растений содержание этого элемента составляет: у одуванчика – 0.01–0.23 $\text{мг}/\text{кг}$, дягиля – 0.2 $\text{мг}/\text{кг}$, лопуха – 0.02 $\text{мг}/\text{кг}$, девясила – 0.003 $\text{мг}/\text{кг}$, окопника лекарственного – 0,02 $\text{мг}/\text{кг}$, а также в траве тысячелистника – 0.06 $\text{мг}/\text{кг}$, семенах овса – 0.03 $\text{мг}/\text{кг}$.

В тканях алоэ его содержание может изменяться от 0.005 мг/кг [27] до 0.697–1.219 мг/кг [28]. В лекарственных препаратах на основе алоэ содержание германия составляет 20.83 мг/кг, таблетках женьшеня – 5.48 мг/кг, таблетках имбиря – 9.96 мг/кг [29].

Грибы хорошо известны своей способностью накапливать в своих плодовых телах германий. При этом содержание данного элемента значительно варьирует в зависимости от вида гриба и места его произрастания. Так, содержание германия в белых грибах, собранных в Украине, может составлять 50–60 мг/кг золы, в шампиньонах и мухоморах 25–40 мг/кг золы [30]. Концентрация этого элемента в сушеных белых грибах влажностью 12%, собранных в России, составляет около 10 мкг/кг [26]. Установлено, что злаковые культуры накапливают германий в значительно больших концентрациях (169–449 мкг/кг), чем бобовые (15–50 мкг/кг) [12].

Концентрация германия в овощах и фруктах примерно на два порядка ниже. Имеются данные, что содержание этого элемента в капусте составляет 0.893 мкг/кг, шпинате – 0.864 мкг/кг и огурце – 0.597 мкг/кг [31, 32]. Однако содержание германия в чесноке может достигать высоких концентраций – 2.8 и 3.2 мг/кг [29, 33] и даже 754 мг/кг [24].

Одним из эффективных и безопасных способов использования германия в лечебных и профилактических целях является получение его органических форм химическим путем, путем выращивания растений, способных его аккумулировать, а также использования синтезированных органических форм германия для подкормки растений. В связи с этим важен поиск видов растений, которые эффективно накапливают германий, а также способов обогащения растений соединениями, содержащими этот элемент. Наибольший интерес среди растений представляют культивируемые виды и прежде всего чеснок в связи с известной его способностью аккумулировать этот элемент [9, 27]. Кроме того, чеснок (*Allium sativum* L.) является экономически значимой пищевой культурой, содержащей уникальный комплекс компонентов органической и неорганической природы [34]. В связи с этим цель работы – исследование способности чеснока (*Allium sativum* L.) аккумулировать германий в естественных и экспериментальных условиях.

Экспериментальная часть

Исследования проведены в отделе биотехнологии и инновационных проектов ВНИИО – филиала ФГБНУ ФНЦО (Московская область, Раменский район, д. Верея) в условиях защищенного и открытого грунта.

Для исследования способности чеснока аккумулировать германий в естественных условиях использовали 24 образца, выращенных в равнинных условиях Воронежской (1 образец), Московской (9 образцов), Тверской областях (9 образцов) и в горных условиях провинции Шаньдун, КНР (1 образец), Карачаево-Черкесии (2 образца), Горного Алтая (2 образца). Среди изученных было 19 образцов чеснока озимого и 5 образцов чеснока ярового.

Для исследования способности чеснока накапливать германий в экспериментальных условиях были использованы зубки чеснока озимого сорта Гладиатор. Для обработки растений в период вегетации использовали препарат, содержащий германий, – Герматранол в концентрации 0.15 г/л. В качестве контроля была использована вода. Обработку проводили два раза. При первой обрабатывали растения в фазе начала интенсивного роста листьев и второй раз – через 3 недели. Опыт заложен в четырехкратной повторности, учетная площадь делянки – 1 м², посадка рядовая – расстояние между рядками – 25 см, между растениями в рядке – 10 см, длина рядка – 1 м.

Для повышения эффективности проникновения Герматранола в растения использовали диметилсульфоксид (ДМСО) в концентрации 1.0% и Твин 80 в концентрации 0.1%.

Почва опытного участка супесчаная, содержание гумуса в слое 0–20 см составило 3.41–3.44%; в слое 20–40 см – 2.9–3.0%. Реакция среды нейтральная – рН солевой вытяжки 6.7. Гидролитическая кислотность 0.72–0.92 мг-экв. на 100 г почвы, содержание суммы поглощенных оснований 46–50 мг-экв. на 100 г почвы. Степень обеспеченности питательными веществами: фосфором – высокая (содержание P₂O₅ в слое 0–20 см составляла 22.8–24.6 мг на 100 г почвы (по Чирикову); калием – низкая, содержание K₂O в слое 20 см – 10.4–17.9 мг на 100 г почвы (по Масловой). Удельный вес почв пахотного слоя 0–25 см составлял 2.61 г/см³. Капиллярная влагоемкость 43–44%. Гигроскопическая влажность – 8.25%.

Для анализа образцов использовали не менее 10 зубков, выделенных из различных луковиц, выращенных в каждом варианте опыта. Анализ растительного материала выполнен в ООО «Микронутриенты» с использованием масс-спектрального метода на приборе NexION 300D, (Perkin Elmer Inc., Shelton, CT 06484, USA), оснащенный газонаполняемой ячейкой системы DRC и семипортовым дозирующим клапаном FAST, а также автодозатором ESISCDX4 (Elemental Scientific Inc., Omaha, NE 68122, USA), способного определять концентрации германия в образцах до 4.2 и 2.1 мкг/кг.

Результаты и обсуждение

*Способность чеснока (*Allium sativum* L.) аккумулировать германий в естественных условиях.* Результаты наших исследований показали, что содержание германия в луковицах большинства образцов чеснока, выращенных в различных эколого-географических условиях, было очень низким и составляло менее 4.2 мкг/кг. Различия по содержанию германия между образцами чеснока ярового и озимого не обнаружены. Только в одном из образцов чеснока озимого, выращенного в Карачаево-Черкесии, содержание германия составляло 5.0 мкг/кг. При этом из литературных источников известно, что содержание германия в чесноке может составлять до 2780 мкг/кг [12].

Следует отметить, что чеснок обладает слаборазвитой корневой системой, которая преимущественно охватывает почвенный слой до 20 см и обеспечивает поступление питательных веществ лишь из верхних горизонтов почв, в которых, по всей видимости, содержание германия находится на очень низком уровне.

Эти данные позволяют сделать вывод, что содержание германия в почве, по крайней мере, в ряде регионов Российской Федерации находится на низком уровне. К сожалению, информация, относящаяся к характеристике почв по этому показателю отсутствует. При этом, как следует из раздела «Распространение германия в почвах» данной статьи, в мире этому показателю уделяют внимание. Полученные данные подтверждают необходимость более полной бонитировки почв и создания современного атласа растений, произрастающих в России, включающего сведения о содержании макро- и микроэлементов, в том числе и германия. Это позволит более широко и эффективно использовать местные растения в качестве сырья, а также для профилактики и лечения различных заболеваний, о чем сказано в статье Б.А. Комарова с соавторами [27]. Кроме того, эти данные свидетельствуют и о необходимости разработки технологий обогащения растений эссенциальными элементами для получения сельскохозяйственной продукции, имеющей повышенную питательную ценность и характеризующуюся лечебными свойствами.

Способность чеснока аккумулировать германий при подкормке растений германийсодержащими соединениями в период вегетации. Отмечено, что эффективность накопления германия в луковицах зависит от способа подкормки растений. Оценка растительного материала показала, что некорневая подкормка примерно в 5 раз более эффективна, чем корневая, и приводит к увеличению концентрации германия в тканях луковиц до 20.0 мкг/кг (табл. 1).

Установлено, что способность аккумулировать германий растениями чеснока резко возрастает при совместном применении Герматранола с диметилсульфоксидом (ДМСО) и поверхностно активным веществом Twin 80. Как показали анализы, содержание германия в зубках при таком применении Герматранола увеличивается, соответственно, более чем в 37.1 и 28.6 раза по сравнению с контролем (табл. 2).

Отмечено, что наиболее активно аккумулируют германий корни и листья. Концентрация германия в этих органах была в 3.1 и 3.8 раза выше, чем в зубках. В то же время в зубках и воздушных луковичках концентрация этого элемента превышала контроль более чем в 37.1 и 45.7 раза (табл. 2).

Эти данные подтверждают информацию, полученную Б.А. Комаровым, Л.В. Погорельской, А.И. Албуловым [27], в которой отмечено, что в корнях таволги в два раза больше германия, чем в цветках, а также Yong Hwa Cheong с соавторами [35], показавших, что германий преимущественно накапливается в корнях салата (*Lactuca sativa* L.).

Установлено, что высокие концентрации германия токсичны для большинства растений [12]. При избытке германия растения имеют различные аномалии развития: гигантизм отдельных органов (чаще всего – цветков), неправильную утолщенность стебля, неоднородность окраски [12], при этом неорганические соединения германия, как правило, характеризуются более токсичными свойствами, чем органические [35].

Проведенные нами исследования показали, что обработка вегетирующих растений чеснока растворами Герматранола не приводит к существенному изменению массы луковиц и их урожайности, а также урожайности воздушных луковичек (табл. 3).

Таблица 1. Содержание германия в образцах чеснока, мкг/кг

Вариант опыта	Содержание германия
Корневая подкормка	
Контроль	5.0±1.0
Герматранол	<4.2
Некорневая подкормка	
Контроль	<4.2
Герматранол	20.0±3.0

Таблица 2. Содержание германия в органах чеснока, мкг/кг

Вариант обработки	Содержание германия	
	мкг/кг	кратность превышения
Контроль, зубки	<2.1	–
Герматранол + DMSO, зубки	78.0±12.0	>37.1
Герматранол + DMSO, корни	242.0±29.0	>115.2
Герматранол + DMSO, листья	296.0±35.0	>141.0
Герматранол + DMSO, воздушные луковички	96.0±14.0	>45.7

Таблица 3. Урожайность луковиц чеснока при трехкратной обработке растений Герматранолом

Вариант обработки	Высота растений, см	Средняя масса луковицы, кг	Урожайность луковиц, кг/м ²	Средняя масса соцветия, г	Урожайность воздушных луковичек, кг/м ²
Контроль	103.3±7.5	31.6±1.9	1.23	8.8±0.4	0.36
Герматранол +DMSO	104.2±12.0	32.3±1.7	1.26	10.2±0.5	0.40
Герматранол + <i>Твин 80</i>	93.1±10.4	31.2±1.8	1.22	8.1±0.3	0.32
НСР ₀₅			0.13		0.09

Выводы

Проведенные нами исследования с использованием 19 образцов, выращенных в равнинных условиях, и 5 образцов, выращенных в горных условиях, свидетельствуют о слабой способности чеснока (*Allium sativum* L.) аккумулировать германий в естественных условиях. Содержание германия в луковицах не превышало 5.0 мкг/кг сырой массы.

Эффективность накопления германия в луковицах чеснока зависит от способа применения германий-содержащего вещества. Более эффективной является некорневая подкормка, позволяющая получить луковицы, содержащие около 20 мкг/кг германия.

Добавление в раствор Герматранола диметилсульфоксида способствует лучшему проникновению германия внутрь тканей и приводит к повышению его содержания в луковицах до 78 мкг/кг.

Показана разная способность органов чеснока накапливать германий. Наихудшей способностью к накоплению по сравнению с листьями и корнями характеризуются луковицы. Однако применение Герматранола в концентрации 0.15 г/л в сочетании с ДМСО позволяет увеличить содержание германия в луковицах в 37.1 раза по сравнению с контролем. Двукратное применение Герматранола в период вегетации в концентрации 0.15 г/л не приводит к снижению урожайности луковиц и воздушных луковичек.

Список литературы

1. Воронков М.Г., Мирсков Р.Г. Четвертое рождение германия // Химия и жизнь. 1982. №3. С. 54–56.
2. Гончарова Т.А. Энциклопедия лекарственных растений. Лечение травами. М., 1997. 528 с.
3. Rose M., Baxter M., Brereton N., Baskaran C. Dietary exposure to metals and other elements in the 2006 UK Total Diet Study and some trends over the last 30 years // Food Additives and Contaminants. 2010. Vol. 27(10). Pp. 1380–1404. DOI: 10.1080/19440049.2010.496794.
4. Second French Total Diet Study (TDS 2) Report 1. Inorganic contaminants, minerals, persistent organic pollutants, mycotoxins and phytoestrogens. French Agency for Food, Environmental and Occupational Health & Safety, 2011. 304 p.
5. Стадник А.М., Биць Г.О., Стадник О.А. Біологічна роль германії в організмі тварин та людини // Науковий вісник Львівської національної академії ветеринарної медицини ім. С.З. Гжицького. 2006. Т. 8(2). С. 174–185.
6. Саханда І.В. Препарати германію та їх застосування в медицині // Український науково-медичний молодіжний журнал. 2014. №4. С. 83–86.

7. Asaka T., Nitta E., Makifuchi T., Shibazaki Y., Kitamura Y., Ohara H., Matsushita K., Takamori M., Takahashi Y., Genda A. Germanium intoxication with sensory ataxia // *Journal of the Neurological Sciences*. 1995. Vol. 130(2). Pp. 220–223. DOI: 10.1016/0022-510X(95)00032-W.
8. Chen T.-J., Lin C.-H. Germanium: Environmental Pollution and Health Effects // *Encyclopedia of Environmental Health*. 2011. Pp. 927–933. DOI: 10.1016/B978-0-444-52272-6.00477-3.
9. Koca A.F., Koca I., Tekguler B. Two antioxidant elements of *Allium* vegetables: germanium and selenium // *Acta Horticulture*. 2016. Pp. 297–302. DOI: 10.17660/ActaHortic.2016.1143.41.
10. Hu Z., Gao S. Upper crustal abundances of trace elements: a revision and update // *Chemical Geology*. 2008. Vol. 253(3). Pp. 205–221. DOI: 10.1016/j.chemgeo.2008.05.010.
11. Шеуджен А.Х. Биогеохимия. Майкоп, 2003. С. 518–523.
12. Wiche O., Székely B., Moschner C., Hermann H. Germanium in the soil-plant system – a review // *Environmental Science and Pollution Research*. 2018. Vol. 25(32). Pp. 31938–31956. DOI: 10.1007/s11356-018-3172-y.
13. Braman R.S., Tompkins M.A. Atomic emission spectrometric determination of antimony, germanium, and methylgermanium compounds in the environment // *Analytical Chemistry*. 1978. Vol. 50(8). Pp. 1088–1093. DOI: 10.1021/ac50030a021.
14. Vouk V.B., Piver W.T. Metallic elements in fossil fuel combustion products: amounts and form of emissions and evaluation of carcinogenicity and mutagenicity // *Environmental health perspectives*. 1983. Vol. 47. Pp. 201–225. DOI: 10.1289/ehp.8347201.
15. Swennen B., Mallants A., Roels H.A., Buchet J.P., Bernard A., Lauwerys R.R., Lison D. Epidemiological survey of workers exposed to inorganic germanium compounds // *Occupational and environmental medicine*. 2000. Vol. 57(4). Pp. 242–248. DOI: 10.1136/oem.57.4.242.
16. Kabata-Pendias A., Mukherjee A.B. Trace Elements from Soil to Human. Berlin: Springer, 2007. 505 p. DOI: 10.1007/978-3-540-32714-1.
17. Yeghicheyan D., Carignan J., Valladon M., Bouhnik Coz M., Le Cornec F., Castrec-Rouelle M., Robert M., Aquilina L., Aubry E., Churlaud C., Dia A., Deberdt S. A compilation of silicon and thirty one trace elements measured in the natural river water reference material SLRS-4 (NRC– CNRC) // *Geostandards Newsletter the Journal of Geostandards and Geoanalysis*. 2001. Vol. 25(2–3). Pp. 465–474. DOI: 10.1111/j.1751-908X.2001.tb00617.x.
18. Ouyang T.P., Zhu Z.Y., Kuang Y.Q., Huang N.S., Tan J.J., Guo G.Z., Gu L.S., Sun B. Dissolved Trace Elements in River Water: Spatial Distribution and the Influencing Factor, a Study for the Pearl River Delta Economic Zone, China // *Environmental Geology*. 2006. Vol. 49. Pp. 733–742. DOI: 10.1007/s00254-005-0118-8.
19. Eriksson J. Concentrations of 61 trace elements in sewage sludge, farmyard manure, mineral fertiliser, precipitation and in oil and crops. Stockholm: Swedish Environmental Protection Agency Customer Service, 2001. 15 p.
20. Negrel P., Ladenberger A., Reimann C., Birke M., Sadeghi M., Flight D.M.A., Scheib A.J. GEMAS: source, distribution patterns and geochemical behaviour of Ge in agricultural and grazing land soils at European continental scale // *Applied Geochemistry*. 2016. Vol. 72. Pp. 113–124. DOI: 10.1016/j.apgeochem.2016.07.004.
21. Kabata-Pendias A., Pendias H. Trace Elements in Soils and Plants. 3rd Edition. Boca Raton: CRC Press, 2001. Pp. 219–220.
22. Midula P., Wiche O., Wiese P., Andráš P. Concentration and bioavailability of toxic trace elements, germanium, and rare earth elements in contaminated areas of the Davidschacht dump-field in Freiberg (Saxony) // *Freiberg Ecology online*. 2017. Vol. 1(2). Pp. 101–112.
23. Lee S.T., Lee Y.H., Choi Y.J., Lee S.D., Lee C.H., Heo J.S. Growth characteristics and germanium absorption of rice plant with different germanium concentrations in soil // *Korean Journal of Environmental Agriculture*. 2005. Vol. 24(1). Pp. 40–44. DOI: 10.5338/kjea.2005.24.1.040.
24. Asai K. Miracle cure: organic germanium. Tokio, 1980. 171p.
25. Kang J.Y., Park C.S., Ko S.R., In K., Park C.S., Lee D.Y., Yang D.C. Characteristics of Absorption and Accumulation of Inorganic Germanium in Panax ginseng C.A. Meyer // *Journal of Ginseng Research*. 2011. Vol. 35(1). Pp. 12–20. DOI: 10.5142/jgr.2011.35.1.012.
26. Комаров Б.А., Погорельская Л.В., Фролова М.А., Албулов А.И., Трескунов К.А., Широкова О.К., Комарова Ю.А. Почему необходим повсеместный контроль микроэлементного состава растительного сырья // *Потенциал современной науки*. 2014. №5. С. 27–35.
27. Комаров Б.А., Погорельская Л.В., Албулов А.И. Об элементе германий и его содержании в некоторых лекарственных растениях // *Разработка и регистрация лекарственных средств*. 2018. №2(23). С. 58–61.
28. Hui R.H., Hou D.Y., Guan C.X. Determination of germanium in *A. arborescens* by spectrophotometric method // *Guang Pu Xue Yu Guang Pu Fen Xi*. 2004. Vol. 24(9). Pp. 1106–1109.
29. McMahon M., Regan F., Hughes H. The determination of total germanium in real food samples including Chinese herbal remedies using graphite furnace atomic absorption spectroscopy // *Food Chemistry*. 2006. Vol. 97(3). Pp. 411–417. DOI: 10.1016/j.foodchem.2005.05.018.
30. Пономаренко О.М., Самчук А.І., Вовк К.В., Швайка І.Д., Гродзинська Г.А. Визначення германії в об'єктах довкілля за допомогою методу мас-спектрометрії з індукційно зв'язаною плазмою // *Український хімічний журнал*. 2019. Т. 85(4). С. 110–113. DOI: 10.33609/0041-6045.85.4.2019.110-113.
31. Jinhui S., Kui J. Adsorptive complex catalytic polarographic determination of germanium in soils and vegetables // *Analytica Chimica Acta*. 1995. Vol. 309(1–3). Pp. 103–109. DOI: 10.1016/0003-2670(95)00027-W.

32. Delvigne C., Opfergelt S., Cardinal D., Delvaux B., André L. Distinct silicon and germanium pathways in the soil-plant system: Evidence from banana and horsetail // *Journal of Geophysical Research*. 2009. Vol. 114(G2). Pp. 1–11. DOI: 10.1029/2008JG000899.
33. Іваниця Л.О., Клімкіна А.Ю., Чмиленко Т.С., Чмиленко Ф.О. Визначення олова та германію з нонілфлуороном і полімерними флокулянтами в рослинних матеріалах // *Вісник Дніпропетровського університету. Серія Хімія*. 2016. Т. 24(1). С. 27–35. DOI: 10.15421/081605.
34. Polyakov A., Alekseeva T., Muravieva I. The elemental composition of garlic (*Allium sativum* L.) and its variability // *E3S Web of Conferences Interagromash*. 2020. Vol. 175. Article 01016. DOI: 10.1051/e3sconf/202017501016.
35. Cheong Y.H., Kim S.U., Seo D.C., Chang N.I., Lee J.B., Park J.H., Kim K.S., Kim S.D., Kim H.T., Heo J.-S., Cho J.-S. Effect of Inorganic and Organic Germanium Treatments on the Growth of Lettuce (*Lactuca sativa*) // *J. Korean Soc. Appl. Biol. Chem*. 2009. Vol. 52(4). Pp. 389–396. DOI: 10.3839/jksabc.2009.069.

Поступила в редакцію 7 февраля 2022 г.

После переработки 22 июня 2022 г.

Принята к публикации 23 ноября 2022 г.

Для цитирования: Поляков А.В., Алексеева Т.В. Способность чеснока (*Allium sativum* L.) накапливать германий в естественных и экспериментальных условиях // *Химия растительного сырья*. 2023. №1. С. 279–286. DOI: 10.14258/jcrpm.20230110958.

Polyakov A.V.^{1,2}, Alekseeva T.V.^{1,2} ABILITY OF GARLIC (*ALLIUM SATIVUM* L.) TO ACCUMULATE GERMANIUM UNDER NATURAL AND EXPERIMENTAL CONDITIONS*

¹ *All-Russian Research Institute of Vegetable Growing – Branch of the Federal Scientific Center for Vegetable Growing, Vereya, 500, Moscow region, 140153 (Russia), e-mail: vita100plus@yandex.ru*

² *Moscow State Regional University, Very Voloshinoy st., 24, Mytishchi, 141014 (Russia)*

The ability of garlic to accumulate germanium under natural and experimental conditions is discussed at the article. It was shown that the content of germanium in the bulbs of 24 samples belonging to 19 cultivars of winter garlic and 5 varieties of spring garlic, grown in the flat conditions of the Voronezh, Moscow and Tver regions, as well as in the mountainous conditions of the Shandong province (PRC), Karachay-Cherkessia and Mountain Altai is at a low level. The content of germanium in the bulbs does not exceed 4.2 µg/kg in 23 samples, in the sample grown in the conditions of Karachay-Cherkessia, the content of this element is 5.0 µg/kg.

It was found that the efficiency of the accumulation of germanium in the bulbs depends on the method of feeding the plants. Foliar dressing is about 5 times more effective than root dressing and leads to an increase in the concentration of germanium in the tissues of the bulbs up to 20.0 µg/kg.

It has been shown that the efficiency of germanium accumulation in bulbs depends on the method of application of the germanium-containing substance. More effective is foliar feeding with the addition of dimethyl sulfoxide to the Germatranol solution, which promotes better penetration of germanium into tissues. It was found that roots and leaves accumulate germanium most actively. The concentration of germanium in these organs is 115.2 and 141.0 times higher than in the control. In cloves, the concentration of this element exceeds the control by 37.1 times and consisted of 78 µg/kg.

Keywords: *Allium sativum* L., garlic, plant, soil, analysis, sample, germanium, Germatranol, dimethyl sulfoxide, Twin 80.

References

1. Voronkov M.G., Mirskov R.G. *Khimiya i zhizn'*, 1982, no. 3, pp. 54–56. (in Russ.)
2. Goncharova T.A. *Entsiklopediya lekarstvennykh rasteniy. Lecheniye travami*. [Encyclopedia of medicinal plants. Herbal treatment]. Moscow, 1997, 528 p. (in Russ.)
3. Rose M., Baxter M., Brereton N., Baskaran C. *Food Additives and Contaminants*, 2010, vol. 27(10), pp. 1380–1404. DOI: 10.1080/19440049.2010.496794.
4. *Second French Total Diet Study (TDS 2) Report 1. Inorganic contaminants, minerals, persistent organic pollutants, mycotoxins and phytoestrogens*. French Agency for Food, Environmental and Occupational Health & Safety, 2011, 304 p.

* Corresponding author.

5. Stadnyk A.M., Byc' G.O., Stadnyk O.A. *Naukovyj visnyk L'vivs'koi' nacional'noi' akademii' veterynarnoi' medycyny im. S.Z. Gzhyc'kogo*, 2006, vol. 8(2), pp. 174–185. (in Ukr.).
6. Sahanda I.V. *Ukrai'ns'kyj naukovo-medychnyj molodizhnyj zhurnal*, 2014, no. 4, pp. 83–86. (in Ukr.).
7. Asaka T., Nitta E., Makifuchi T., Shibazaki Y., Kitamura Y., Ohara H., Matsushita K., Takamori M., Takahashi Y., Genda A. *Journal of the Neurological Sciences*, 1995, vol. 130(2), pp. 220–223. DOI: 10.1016/0022-510X(95)00032-W.
8. Chen T.-J., Lin C.-H. *Encyclopedia of Environmental Health*, 2011, pp. 927–933, DOI: 10.1016/B978-0-444-52272-6.00477-3.
9. Koca A.F., Koca I., Tekguler B. *Acta Horticulture*, 2016, pp. 297–302. DOI: 10.17660/ActaHortic.2016.1143.41.
10. Hu Z., Gao S. *Chemical Geology*, 2008, vol. 253(3), pp. 205–221. DOI: 10.1016/j.chemgeo.2008.05.010.
11. Sheudzhen A.Kh. *Biogeokhimiya*. [Biogeochemistry]. Maykop, 2003, pp. 518–523. (in Russ.)
12. Wiche O., Székely B., Moschner C., Hermann H. *Environmental Science and Pollution Research*, 2018, vol. 25(32), pp. 31938–31956. DOI: 10.1007/s11356-018-3172-y.
13. Braman R.S., Tompkins M.A. *Analytical Chemistry*, 1978, vol. 50(8), pp. 1088–1093. DOI: 10.1021/ac50030a021.
14. Vouk V.B., Piver W.T. *Environmental health perspectives*, 1983, vol. 47, pp. 201–225. DOI: 10.1289/ehp.8347201.
15. Swennen B., Mallants A., Roels H.A., Buchet J.P., Bernard A., Lauwerys R.R., Lison D. *Occupational and environmental medicine*, 2000, vol. 57(4), pp. 242–248. DOI: 10.1136/oem.57.4.242.
16. Kabata-Pendias A., Mukherjee A.B. *Trace Elements from Soil to Human*. Berlin: Springer, 2007, 505 p. DOI: 10.1007/978-3-540-32714-1.
17. Yeghicheyan D., Carignan J., Valladon M., Bouhnik Coz M., Le Cornec F., Castrec-Rouelle M., Robert M., Aquilina L., Aubry E., Churlaud C., Dia A., Deberdt S. *Geostandards Newsletter the Journal of Geostandards and Geoanalysis*, 2001, vol. 25(2–3), pp. 465–474. DOI: 10.1111/j.1751-908X.2001.tb00617.x.
18. Ouyang T.P., Zhu Z.Y., Kuang Y.Q., Huang N.S., Tan J.J., Guo G.Z., Gu L.S., Sun B. *Environmental Geology*, 2006, vol. 49, pp. 733–742. DOI: 10.1007/s00254-005-0118-8.
19. Eriksson J. *Concentrations of 61 trace elements in sewage sludge, farmyard manure, mineral fertiliser, precipitation and in oil and crops*. Stockholm: Swedish Environmental Protection Agency Customer Service, 2001, 15 p.
20. Negrel P., Ladenberger A., Reimann C., Birke M., Sadeghi M., Flight D.M.A., Scheib A.J. *Applied Geochemistry*, 2016, vol. 72, pp. 113–124. DOI: 10.1016/j.apgeochem.2016.07.004.
21. Kabata-Pendias A., Pendias H. *Trace Elements in Soils and Plants. 3rd Edition*. Boca Raton: CRC Press, 2001, pp. 219–220.
22. Midula P., Wiche O., Wiese P., Andráš P. *Freiberg Ecology online*, 2017, vol. 1(2), pp. 101–112.
23. Lee S.T., Lee Y.H., Choi Y.J., Lee S.D., Lee C.H., Heo J.S. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 2005, vol. 24(1), pp. 40–44. DOI: 10.5338/kjea.2005.24.1.040.
24. Asai K. *Miracle cure: organic germanium*. Tokio, 1980, 171 p.
25. Kang J.Y., Park C.S., Ko S.R., In K., Park C.S., Lee D.Y., Yang D.C. *Journal of Ginseng Research*, 2011, vol. 35(1), pp. 12–20. DOI: 10.5142/jgr.2011.35.1.012.
26. Komarov B.A., Pogorel'skaya L.V., Frolova M.A., Albulov A.I., Treskunov K.A., Shirokova O.K., Komarova Yu.A. *Potentsial sovremennoy nauki*, 2014, no. 5, pp. 27–35. (in Russ.)
27. Komarov B.A., Pogorel'skaya L.V., Albulov A.I. *Razrabotka i registratsiya lekarstvennykh sredstv*, 2018, no. 2(23), pp. 58–61. (in Russ.)
28. Hui R.H., Hou D.Y., Guan C.X. *Guang Pu Xue Yu Guang Pu Fen Xi*, 2004, vol. 24(9), pp. 1106–1109.
29. McMahon M., Regan F., Hughes H. *Food Chemistry*, 2006, vol. 97(3), pp. 411–417. DOI: 10.1016/j.foodchem.2005.05.018.
30. Ponomarenko O.M., Samchuk A.I., Vovk K.V., Shvajka I.D., Grodzyn'ska G.A. *Ukrayins'kyi khimichnyy zhurnal*, 2019, vol. 85(4), pp. 110–113. DOI: 10.33609/0041-6045.85.4.2019.110-113. (in Ukr.)
31. Jinhui S., Kui J. *Analytica Chimica Acta*, 1995, vol. 309(1–3), pp. 103–109. DOI: 10.1016/0003-2670(95)00027-W.
32. Delvigne C., Opfergelt S., Cardinal D., Delvaux B., André L. *Journal of Geophysical Research*, 2009, vol. 114(G2), pp. 1–11. DOI: 10.1029/2008JG000899.
33. Ivanyca L.O., Klimkina A.Ju., Chmylenko T.S., Chmylenko F.O. *Visnyk Dnipropetrovs'koho universytetu. Seriya Khimiya*, 2016, vol. 24(1), pp. 27–35, DOI: 10.15421/081605. (in Ukr.)
34. Polyakov A., Alekseeva T., Muravieva I. *E3S Web of Conferences Interagromash*, 2020, vol. 175, article 01016. DOI: 10.1051/e3sconf/202017501016.
35. Cheong Y.H., Kim S.U., Seo D.C., Chang N.I., Lee J.B., Park J.H., Kim K.S., Kim S.D., Kim H.T., Heo J.-S., Cho J.-S. *J. Korean Soc. Appl. Biol. Chem.*, 2009, vol. 52(4), pp. 389–396. DOI: 10.3839/jksabc.2009.069.

Received February 7, 2022

Revised June 22, 2022

Accepted November 23, 2022