

Научная статья

Original article

УДК 546.55

DOI 10.55186/25876740_2023_7_6_15

**ВЛИЯНИЕ ИОНОВ Pb^{2+} И Cd^{2+} НА РАЗВИТИЕ И РОСТ ШПИНАТА
СОРТА «КРЕПЫШ»**

**THE EFFECT OF Pb^{2+} AND Cd^{2+} IONS ON THE DEVELOPMENT AND
GROWTH OF SPINACH OF THE "KREPYSH" VARIETY**



Кравченко Антонина Леонидовна, кандидат биологических наук, доцент, ФГБОУ ВО МГАВМиБ-МВА им. К. И. Скрябина (109472, г. Москва, ул. Академика Скрябина, д. 23)

Филякин Алексей Михайлович, кандидат химических наук, доцент, ФГБОУ ВО МГАВМиБ-МВА им. К. И. Скрябина (109472, г. Москва, ул. Академика Скрябина, д. 23)

Соколова Ольга Андреевна, кандидат химических наук, доцент, ФГБОУ ВО МГАВМиБ-МВА им. К. И. Скрябина (109472, г. Москва, ул. Академика Скрябина, д. 23)

Царькова Марина Сергеевна, доктор химических наук, профессор, ФГБОУ ВО МГАВМиБ-МВА им. К. И. Скрябина (109472, г. Москва, ул. Академика Скрябина, д. 23)

Antonina L. Kravchenko, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, K. I. Scriabin Moscow State Medical University (23 Akademika Scriabin str., Moscow, 109472)

Alexey M. Filyakin, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, K. I. Scriabin Moscow State Medical University (109472, Moscow, Akademika Scriabin str., 23)

Olga A. Sokolova, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, K. I. Scriabin Moscow State Medical University (109472, Moscow, ul. Academician Scriabin, d. 23)

Marina S. Tsarkova, Doctor of Chemical Sciences, Professor, K. I. Scriabin Moscow State Medical University (109472, Moscow, Akademika Scriabin str., 23)

Аннотация. В связи с проблемами загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами (ТМ), многие из которых являются токсичными, органическое вещество почвы подвергается специфическим физико-химическим взаимодействиям с ними как на уровне гуминовых, так и фульвокислот. Почвы способны аккумулировать в гумусовом горизонте токсичные вещества, в том числе и за счет процессов комплексообразования. Изучение устойчивости таких соединений, их распределения по горизонтам в зависимости от типа почв, транслокации в системе почва-растение во многом определяют экологическую составляющую производимой сельскохозяйственной продукции. В связи с этим исследовали миграцию свинца, кадмия в системе почва-растение шпината сорта «Крепыш» с оценкой фитотоксичности почвы.

Annotation. Due to the problems of environmental pollution with heavy metals (TM), many of which are toxic, the organic matter of the soil undergoes specific physico-chemical interactions with them both at the level of humic and fulvic acids. Soils are able to accumulate toxic substances in the humus horizon, including due to the processes of complex formation. The study of the stability of such compounds, their distribution over horizons depending on the type of soil, translocations in the soil-plant system largely determine the ecological component of agricultural products. In this regard, the migration of lead and cadmium in the soil-

spinach plant system of the "Крепыш" variety was studied with an assessment of the phytotoxicity of the soil.

Ключевые слова: тяжелые металлы, почва, фитотоксичность, свинец, кадмий, растворы, предельно-допустимая концентрация (ПДК)

Keywords: heavy metals, soil, phytotoxicity, lead, cadmium, solutions, maximum permissible concentration (MPC)

Введение

Тяжелые металлы входят в число загрязняющих веществ, техногенного характера, которые присутствуют в почве, воде, воздухе и сельскохозяйственной продукции. По классификации Н.Реймерса, тяжелыми следует считать металлы с плотностью более 8 г/см³. Таким образом, к тяжелым металлам относятся Pb, Cu, Zn, Ni, Cd, Co, Sb, Sn, Bi, Hg. Почва является барьером на пути миграции ТМ в растения, животных и человека. Аккумуляция ТМ в почве затрудняет получение экологически чистой продукции. Важное значение имеют ТМ в почве, из-за различной по степени доступности для растений. Наиболее опасны легкодоступные формы ТМ. Наибольшей подвижностью ТМ обладают в кислых почвах, поскольку в кислой среде слаборастворимые окислы металлов и фосфаты переходят в ионную форму, легко усваиваемую растениями. Увеличение кислотности почвы на 1,8-2 единицы (диапазон измерения рН почвы составляет 4-6,5) приводит к увеличению подвижности ионов свинца в 3-6 раз, цинка в 3,8-5,4 раза, кадмия – в 4-8 раз, меди – в 2-3 раза, что в свою очередь ускоряет проникновение ионов ТМ в клетки растений. Особенно хорошо усваиваются растениями ТМ в легких песчаных малоплодородных почвах с кислой реакцией.

Миграционная подвижность ТМ в почвах зависит от рН среды и может снижаться (например, Fe, Mn, Zn, Co и другие) или возрастать. Молибден и хром, обладают высокой подвижностью в слабокислой и щелочной среде за счет образования солей. Такие металлы как ртуть и кадмий, высоко подвижны из-за соединения с органическим веществом почв.

Способность ТМ к миграционному перемещению определяется процессами адсорбции. Сорбция ТМ глинистыми минералами позволяет удерживать их за счет обменного и необменного поглощения. Почвы, с тяжелым механическим составом, имеют высокую адсорбирующую способность.

В зависимости от минералогического состава, изменяется адсорбирующая способность. Даже при одинаковом механическом составе емкость катионного обмена может различаться, и быть близко к каолинитам, или супесчаным и песчаным почвам. Поглощение ТМ илистой фракцией почвы, зависит от состава глинистых минералов. Ионы ТМ размером 0,052-0,093 нм (например, Zn, Mn, Cu, Ni, Co и Cr) внедряются вместо Al, Fe, и Mg в октаэдрах минералов и, наоборот, из-за больших размеров, свинец и кадмий не поглощаются глинами.

Миграция ТМ в почве находится во взаимосвязи валентностью металлов, и их окислительно-восстановительным потенциалом (ОВП) в почве. Изменение условий окисления-восстановления может приводить к образованию осадков металлов. Подвижность Fe и Mn увеличивается, так как они двухвалентны ионы по сравнению с трехвалентными. Цинк, медь, никель, кобальт и уран из-за выпадения в осадок малоподвижны в восстановительной среде.

Аккумуляция ТМ зависит от природы органического вещества, а именно от соотношения гуминовых, фульво-, оксикарбоновых и других кислот. Амфотерность гумусовых кислот сказывается на подвижности ТМ в почвах. Активность фульвокислоты возрастает в почвах, затронутых процессами подзолообразования. За счет образования с тяжелыми металлами комплексов, растворимые в широком диапазоне pH и способных к миграции по профилю почв. С ГК из-за слабой растворимости в кислой среде образуются подвижные комплексы, которые накапливаются в гумусовом горизонте. Тяжелые металлы распределяются в профиле почв неравномерно. Их накопление, проявляющееся

как в увеличении валового содержания, так и содержания подвижных форм, происходит в приповерхностном слое гумусового горизонта.

Из-за различной химической активности функциональных групп органические вещества по разному поглощают Cu, Zn, Pb, Mn. Они более реакционноспособны в отношении с ГК, чем с ФК. ГК и ФК хорошо связывают Cu и Pb, и меньше Fe и Mn. Кислотность среды определяет поглощение ТМ гуминовыми кислотами и фульвокислотами, и сказывается на подвижности металлоорганических хелатных соединений [1,4].

Объекты и методы исследования

В качестве тест объекта выбран шпинат сорта «Крепыш», в связи с простотой выращивания и малым периодом его вегетационного цикла.

Исследования проводили в лабораторных условиях. В пластмассовые емкости с почвой сеяли шпинат. В первой серии опытов после укоренения рассады ее 2-3 раза поливали водным раствором нитрата свинца, чтобы содержание свинца в почве достигло 0,5; 1; 2; 3; 5; 8 и 10 ПДК_n (ПДК_n = 30 мг/кг [31]). Для уменьшения влияния нитрат – ионов на результаты эксперимента контрольную пробу поливали водным раствором NaNO₃, чтобы их содержание в почве было таким же, как при внесении с нитратом кадмия (10 ПДК_n).

Во второй серии опытов рассаду шпината поливали раствором нитрата кадмия, чтобы содержание кадмия в почве достигло 0,5; 1; 2; 3; 5; 8 и 10 ПДК_n (ПДК_n = 0,5 мг/кг).

В третьей серии опытов полив проводили раствором, содержащим нитраты свинца и кадмия. После полива содержание в почве достигало 0,5; 1; 2; 3 и 5 ПДК_n каждого из металлов.

В течение месяца (март) проводили фенологические наблюдения, фиксируя изменения в растениях, выращиваемых на загрязненной почве, далее их выкапывали, с корней удаляли почву и взвешивали. Затем растения высушивали, отделяли корни и взвешивали по отдельности, наземную часть и корни. Далее исследовали только наземную часть растений. После измельчения

навеску воздушно-сухой массы наземной части подвергали «мокрому» озолению и в полученном растворе определяли концентрацию металла атомно-абсорбционным методом на спектрометре «Спектр – 5» [6]. Аналогично определяли валовое содержание ТМ в почве. Подвижные формы ТМ в почве, доступные растению, определяли атомно-абсорбционным методом в экстракционном растворе, полученном обработкой навески почвы ацетатно-аммонийным буферным раствором с $pH = 4,8$ [5,6]

Результаты исследований

Во всех емкостях с загрязненной почвой растения шпината не отставали в росте по сравнению с контрольной пробой. Признаков отставания не наблюдалось как при загрязнении почвы кадмием, свинцом, так и их смесью. В емкостях как с максимальным содержанием свинца или кадмия (10 ПДК_n), так и минимальным (0,5 ПДК), а также в смеси растения мало чем отличались.

Таблица 1. Зависимость концентрации ТМ в шпинате от уровня загрязнения ими почвы по отдельности

Уровень загрязнения почвы ТМ, доли ПДК	Наземная зеленая масса(г)	Концентрация ТМ, мг/кг		А (%)
		Наземная масса	Валовая в почве	
Контрольный образец	3,3/3,2	0,334/0,167	13,78/11,17	3,63/0,54
0,5	4,8/4,6	1,30/0,165	29,19/11,25	8,4/1,2
1	4,5/3,8	3,80/0,198	44,80/11,35	11,2/1,98
2	4,2/3,6	5,23/0,216	60,17/11,50	16,4/4,1
3	4,1/3,5	6,69/0,259	99,80/11,58	14,3/7,8
5	3,9/3,5	10,85/0,303	187,8/12,01	24,5/80
8	3,6/3,4	11,12/0,365	222,1/14,23	34,1/11,1
10	2,9/2,8	18,6/0,458	281,6/15,03	39,5/14,1
	Масса корней (г)	В корнях	Валовая в почве	*А(%)
Контрольный образец	0,54/1,10	3,6/0,61	13,78/11,17	3,63/0,54
0,5	0,91/0,98	7,84/1,20	29,19/11,25	8,4/1,2
1	0,80/0,82	12,6/1,77	44,80/11,35	11,2/1,98
2	0,61/0,73	42,1/1,82	60,17/11,50	16,4/4,1
3	0,54/0,65	123,9/2,29	99,80/11,58	14,3/7,8
5	0,50/0,64	155,6/4,57	187,8/12,01	24,5/80
8	0,32/0,46	230,5/7,04	222,1/14,23	34,1/11,1

10	0,29/0,35	263,6/8,4	281,6/15,03	39,5/14,1
----	-----------	-----------	-------------	-----------

В числителе данные для Pb, в знаменателе для Cd

*А – отношение содержания подвижных форм в почве к их валовому содержанию

Из данных таблицы 1 следует, что увеличение концентрации Pb и Cd вначале способствует увеличению биомассы зелени, а затем происходит угнетение развития; биомасса корней угнетается во всем интервале ПДК ТМ. Установлено, что угнетение корневой системы состоит в уменьшении числа мелких корешков, на основных корнях появляются некротические повреждения. Исследования показали (рис. 1 а, б), что в интервале до 8 ПДК оба элемента вызывают прирост биомассы зелени, причем кадмий в большей степени, (рис. 1 а), до 3 ПДК Cd и до 8 ПДК Pb выступая, как микроэлементы вызывают прирост зеленой массы, а свыше, соответственно, угнетают развитие, кадмий также в большей степени. Оба элемента практически в равной мере угнетают развитие корней шпината сорта «Крепыш» (рис. 1б) примерно на 45%. Вместе с тем увеличение концентрации ТМ способствует уменьшению зеленой массы, корневой системы [2-4].

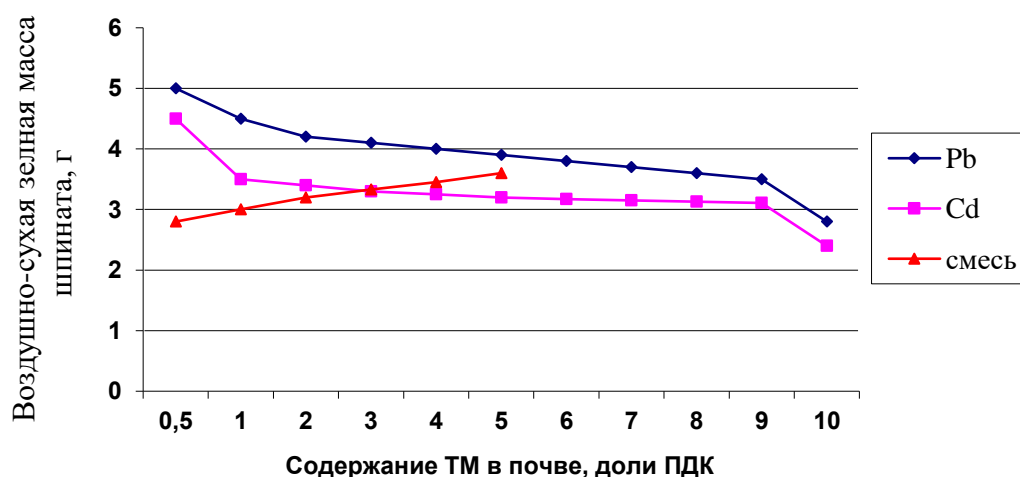


Рис.1 (а). Зависимость воздушно-сухой зеленой массы шпината от содержания ТМ.

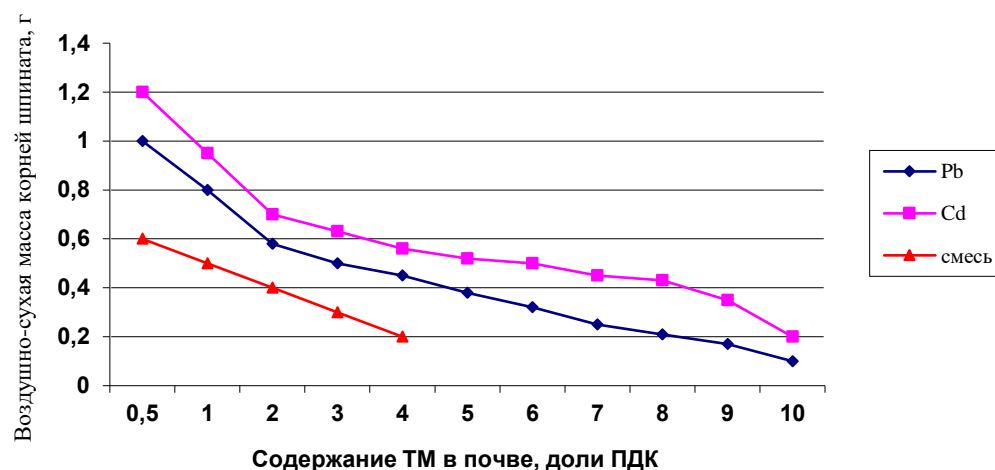


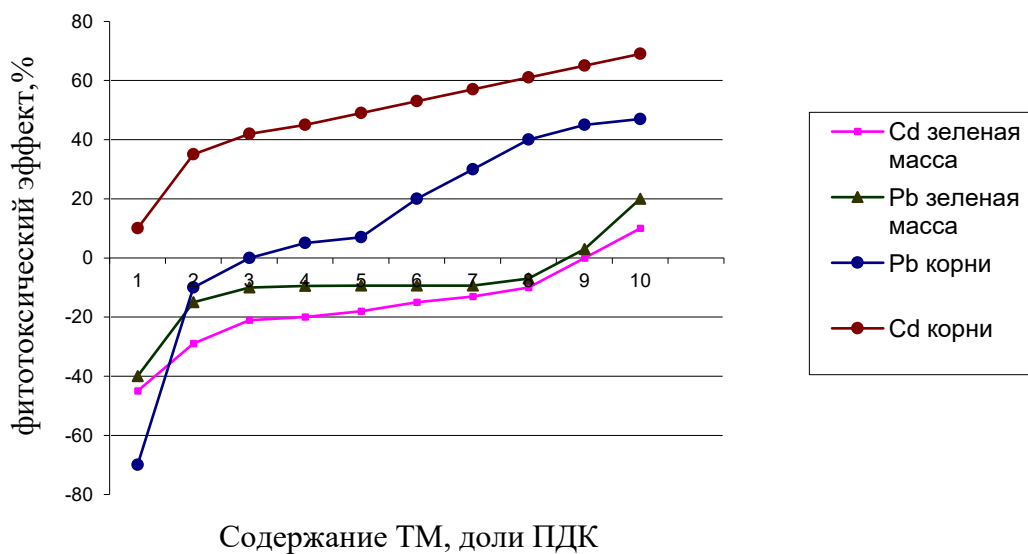
Рис.1(б). Зависимость воздушно-сухой массы корней шпината от содержания ТМ.

Согласно [1-7], токсичные элементы (Pb и Cd) при низких концентрациях могут оказывать положительное действие на развитие растений, что и наблюдается в нашем случае в отношении пера лука и луковичы. Корневая система в обоих случаях замедляет свое развитие.

Таким образом, свинец и кадмий вызывают рост вегетативной массы пера лука и самой луковичы в пределах до 8 ПДК каждого элемента. Основные накопления ТМ происходит в корнях растения, что и тормозит их развитие (рост массы)[2-4].

Устойчивость растений к воздействию ТМ можно охарактеризовать фитотоксическим эффектом по убыли приросту биомассы относительно контрольного растения. Оказалось, что кадмий вызывает угнетение развития корней в диапазоне 0,5 до 10 ПДК Cd, свинец в интервале 3÷10 ПДК Pb; развитие наземной зеленой массы угнетается от 9 ПДК и по кадмию и по свинцу (рис. 2).

Рис.2. Зависимость фитотоксического эффекта от содержания ТМ



Оценивая количество металла, извлекаемого из почвы растением по коэффициенту биологического поглощения (рис. 2), можно заключить, что, интенсивность накопления Cd высокая у зеленой наземной массы шпината до 2÷8 раз, а у Pb она меньше 1 (рис. 8 б); степени поглощения Pb и Cd очень высоки у корней до 14 по Pb при 2ПДК Pb и до 4 по Cd в интервале 2÷10 ПДК по Cd [7].

Выводы

Таким образом, при загрязнении почвы кадмием или свинцом наблюдается снижение биомассы шпината сорта «Крепыш» по сравнению с контрольным образцом во всем диапазоне концентраций. При этом соединения свинца оказывают большее токсическое воздействие, чем кадмия на единицу убыли биомассы наземной части растений. Эффективная доза уровня загрязнения, при котором биомасса шпината уменьшается вдвое, составляет для свинца ~ 5,2, для кадмия ~12 мг/кг.

Литература

1. Бушуев Н.Н. Взаимодействие тяжелых металлов с различными компонентами почв. / Роль природообустройства сельских территорий в обеспечении устойчивого развития АПК (Материалы международной научно-практической конференции). Москва. – 2018. С. 16-22.

2. Кравченко А.Л. Гумусовые вещества почвы / А.Л. Кравченко, М.В. Зайцева, Ю.А. Стекольников, Г.В. Славинская // Вестник Тамбовского ГТУ. – 2013. – С. 186-196
3. Кравченко А.Л. Тяжелые металлы в системе почва-растение в условиях загрязнения / А.Л. Кравченко, М.В. Зайцева, Ю.А. Стекольников // Ученые записки Орловского Государственного университета. Орел. – 2013. - № 3. – С. 190-193
4. Кравченко А.Л. Экологическая оценка влияния фитотоксичности почвы на развитие растений : дис. ... кандидата биологических наук : 03.02.08 / Кравченко Антонина Леонидовна; [Место защиты: Рос. ун-т дружбы народов]. - Москва, 2016. - 115 с.
5. Методики выполнения измерений массовой доли подвижных форм металлов в пробах почвы атомно-абсорбционным анализатором (РД 50 18 289-90) , 2015. 15с.
6. Руководство по санитарно-химическому исследованию почвы. М, ГК СЕНР РРИАЦ, 2013. 40с
7. Смирнова Н.В. , Шведова Л.В., Невский А.Л. Влияние свинца и кадмия на фитотоксичность почвы. / Экология и промышленность России, апрель, 2005г. 32-35 с.

Reference

1. Bushuev N.N. Interaction of heavy metals with various soil components. / The role of environmental management of rural areas in ensuring sustainable development of agriculture (Materials of the international scientific and practical conference). Moscow. - 2017. pp. 16-22.
2. Kravchenko A.L. Humus substances of the soil/ A.L. Kravchenko, M.V. Zaitseva, Yu.A. Stekolnikov, G.V. Slavinskaya// Bulletin of the Tambov State Technical University. – 2013. – pp. 186-196
3. Kravchenko A.L. Heavy metals in the soil-plant system under pollution conditions / A.L. Kravchenko, M.V. Zaitseva, Yu.A. Stekolnikov // Scientific notes of the Orel State University. Eagle. – 2013. - No. 3. – pp. 190-193

4. Kravchenko A.L. Ecological assessment of the influence of phytotoxicity of soil on plant development: dis. ... Candidate of Biological Sciences : 03.02.08 / Kravchenko Antonina Leonidovna; [Place of protection: Russian University of Friendship of Peoples]. - Moscow, 2016. - 115 p.

5. Methods for measuring the mass fraction of mobile forms of metals in soil samples with an atomic absorption analyzer (RD 50 18 289-90), 2015.15p

6. Guidelines for sanitary and chemical soil research. M, GC SENR RRIAC, 2013. 40c

7. Smirnova N.V. , Shvedova L.V., Nevsky A.L. Influence of lead and cadmium on soil phytotoxicity. / Ecology and Industry of Russia, April, 2005. 32-35 p.

© Кравченко А.Л., Филякин А.М., Соколова О.А., Царькова М.С., 2023.
International agricultural journal, 2023, № 6, 2139-2149

Для цитирования: Кравченко А.Л., Филякин А.М., Соколова О.А., Царькова М.С. Влияние ионов Pb²⁺ и Cd²⁺ на развитие и рост шпината сорта «Крепыш»//International agricultural journal. 2023. № 6, 2139-2149