

DOI 10.22363/2313-2310-2019-27-1-39-50
УДК 574.24+58.051

Научная статья

Сравнительный анализ накопления тяжелых металлов в системе «почва – растение» по индексу геоаккумуляции и коэффициенту транспирации *Zea mays* L.

А.Р. Сукиасян

Национальный политехнический университет Армении
Республика Армения, 0009, Ереван, ул. Терьяна, 105

Аннотация. Целью работы являлась оценка влияния дефицита воды в почве с учетом особенностей миграции тяжелых металлов в системе «почва – растение» на примере сахарной кукурузы (*Zea mays* L.). Исследуемые образцы произрастали на прибрежных территориях рек Дебет, Шнох и Аракс. Отбор растительного материала осуществлялся в течение вегетационного периода на опытных площадках в ясную сухую погоду. Выполнен анализ прибрежной почвы и однолетнего растения по содержанию Mn, Cu, Co, Zn, Mo с помощью Thermo Scientific Niton XRF Portable Analyser. На основании полученных результатов рассчитан коэффициент индекса геоаккумуляции, выявляющий основные миграционные характеристики тяжелых металлов в системе «почва – растение». Толерантность к засухе идентифицирована на стадии рассады путем изменения условий произрастания посредством изменения режима полива контрольных вазонов. Расчет интенсивности транспирации показал изменения водного баланса у растений в зависимости от почвенно-климатических условий произрастания. На основе полученных результатов отмечено, что при повышении значения индекса геоаккумуляции тяжелых металлов в почве у растения наблюдается значительное снижение интенсивности транспирации. Так, в ходе экспериментов установлено, что образцы кукурузы из засушливого региона Ушакерта имели низкий уровень транспирации, по сравнению с образцами из умеренно-влажного региона Шноха. Объединение данных о содержании тяжелых металлов в зернах кукурузы с интенсивностью транспирации позволило исследовать корреляцию между накопительной способностью исследуемых химических элементов и регуляцией водного баланса в растении в ответ на засуху. Среди основных факторов, способствующих повышению миграции тяжелых металлов, можно выделить содержание калия и кальция в растительном образце.

Ключевые слова: растение; тяжелые металлы; индекс геоаккумуляции; интенсивность транспирации; засуха

Введение

Естественное содержание тяжелых металлов (ТМ) в окружающей среде, как правило, сбалансировано, а основной причиной их концентрационных изменений является деятельность человека. Антропогенные изменения биоты, выз-

ванные ускорением темпов индустриализации и интенсивным развитием сельского хозяйства, урбанизацией, влекут за собой широкий спектр глобальных экологически опасных явлений [1; 2]. В регионах с развитыми промышленным и сельскохозяйственным производствами резко возрастает вероятность загрязнения воздуха, воды и почвы по причине избыточного количества ТМ [3]. В частности, поглощение и накопление ТМ в растениях проявляется в заражении пищевых цепей, почвы, водных ресурсов и негативном влиянии на окружающую атмосферу [4; 5]. Накопление ТМ в почве, вещества которой попадают в растение вместе с водой, изменяет ее физико-химические свойства [6]. Данный факт является важной экологической проблемой, поскольку многие из этих элементов стабильны и являются биоаккумулятивными, а оценка их безопасных концентраций очень сложна в экосистеме.

Для нормального роста и развития растений необходима поддержка на физиологически приемлемом уровне определенного водного баланса, что в дальнейшем будет способствовать выработке у растений механизмов устойчивости к стресс-факторам внешней среды [7]. Известно, что концентрация ТМ в почве может достичь такого уровня, который в результате приведет к осмотическому шоку внутри растительного организма [8]. Но корневая система растения призвана регулировать поступление в нее воды, которая может быть насыщена различными ТМ. Очевидно, что важную роль в жизнедеятельности растений и формировании их продуктивности играет водный обмен. В свою очередь, нарушение водного обмена, наблюдаемое в присутствии высоких концентраций ТМ, отрицательно сказывается на большинстве физиологических процессов у растений [9].

Цель исследования заключалась в сравнительной оценке накопительной способности ряда ТМ с учетом индекса геоаккумуляции в системе «почва – растение» и транспирации листьев растения-индикатора при засухе.

Материалы и методы

В качестве биологического объекта в экспериментах использовалась ползубовидная сахарная кукуруза армянской популяции (*Zea mays* L.), выращенная на опытных площадках вблизи рек Дебет (Одзун – 41°03'06" с. ш. 44°36'55" в. д.), Шнох (Шнох – 41°08'52" с. ш. 44°50'16" в. д., Техут – 41°07'05" с. ш., 44°50'45" в. д.) и Аракс (Ушакерт – 40°04'52" с. ш. 43°55'35" в. д.).

Подготовка образцов почвы. Образцы почвы при сухих погодных условиях отбирались методом конвертирования с глубины произрастания корневой системы исследуемого растения, которая в среднем не превышала 120 см. Отбор точечных проб осуществлялся с помощью не содержащих металл инструментов. Объединенная проба подготавливалась путем смешивания точечных проб – не менее пяти точечных проб, взятых из одной пробной площадки. После образцы помещались в темные стеклянные контейнеры и транспортировались при температуре +4 °С для лабораторных (инструментальных) измерений в течение 24 ч. После очистки от остатков корневой системы, насекомых и других твердых составляющих почва растиралась в ступне с пестиком и просеивалась через сито с диаметром отверстий не более 1 мм.

Подготовка образцов растения (зерна кукурузы). Созревшие зерна кукурузы сушились методом воздушно-сухой сушки в вытяжном шкафу до воздушно-сухого состояния при комнатной температуре. Для озоления растительный материал помещался в муфельную печь с использованием предварительно прокаленных фарфоровых чашек при температуре +400 °С не более чем на 1 ч. Затем образцы сухого остатка (зола) помещались в эксикатор для дальнейших инструментальных измерений.

Измерение концентрации химических элементов. Подготовленные образцы (зола зерен кукурузы и почва) помещались в специальные пластмассовые трубки XRF Sample Cups диаметром 32 мм, на дно которых заранее вставлялась специальная полипропиленовая пленка. В верхнюю часть образца вставлялись специальные уплотнители, после чего его закрывали крышкой, спрессовав до нужного состояния. Исследование осуществлялось с помощью портативного анализатора Thermo Scientific Niton XRF Portable Analyser путем направления X-лучей непосредственно на образец в течение 210 с [10].

Расчет индекса геоаккумуляции. Для количественной оценки степени загрязнения был рассчитан индекс геоаккумуляции (I_{geo}):

$$I_{geo} = \log_2 (C_n / 1,5 \times B_n), \quad (1)$$

где C_n – концентрация тяжелого металла в образце, мг/кг; B_n – геохимическое фоновое значение (медиана) для каждого типа почв согласно [11], мг/кг.

Степень загрязненности почв оценивалась по шкале Мюллера [12], согласно которой значения $I_{geo} \leq 0$ соответствуют I классу (практически незагрязненный фон); $0 < I_{geo} < 1$ – II классу (незагрязненный до умеренного); $1 \leq I_{geo} \leq 2$ – III классу (умеренно загрязненный); $2 \leq I_{geo} < 3$ – IV классу (от слегка загрязненного до сильного); $3 \leq I_{geo} < 4$ – V классу (сильно загрязненный); $4 \leq I_{geo} < 5$ – VI классу (от сильно загрязненного до экстремально-го); $I_{geo} \geq 5$ – VII классу (очень сильно загрязненный).

Моделирование засухи и определение интенсивности транспирации. Моделирование засухи осуществлялось в климатической комнате со специально оборудованной системой кондиционирования (см. рисунок). В контрольных вазонах на протяжении всего эксперимента оптимальная относительная влажность почвы (ОВП), поддерживаемая путем ежедневной поливки, составляла 54 %, при умеренной засухе, создаваемой посредством изменения режима полива, ОВП составляла 43 % (визуально не наблюдалось увядания листьев кукурузы), а при сильной засухе ОВП составляла 34 % (наблюдалось увядание листьев в течение дня) [12].

После статистически достоверного снижения скорости роста пятого листа кукурузы, что заняло 2–2,5 недели, определялось общее содержание влаги в наземной части растения. Для этого срезалась вся наземная часть растения, образцы взвешивались и помещались в термостат при температуре +70 °С на 72 ч до полного испарения влаги. После образцы вынимали из термостата и снова взвешивали с целью определения интенсивности транспирации ($T_{инт.}$), численное значение которой вычисляли по формуле

$$T_{\text{инт.}} = (a - b) \times 100 / (t \times S), \quad (2)$$

где a – контрольный вес растительного образца до помещения в термостат, г; b – вес растительного образца через 72 ч, г; t – время экспозиции, ч; S – площадь растительного образца, дм^2 .

Для определения последнего использовали методику расчета динамики относительной площади листьев злаковых культур, основанную на использовании стандартной гидрометеорологической информации, согласно которой максимальные значения относительной площади листьев для кукурузы на зерно (S) колеблются в пределах от 2,5 до 3,5 дм^2 [13].

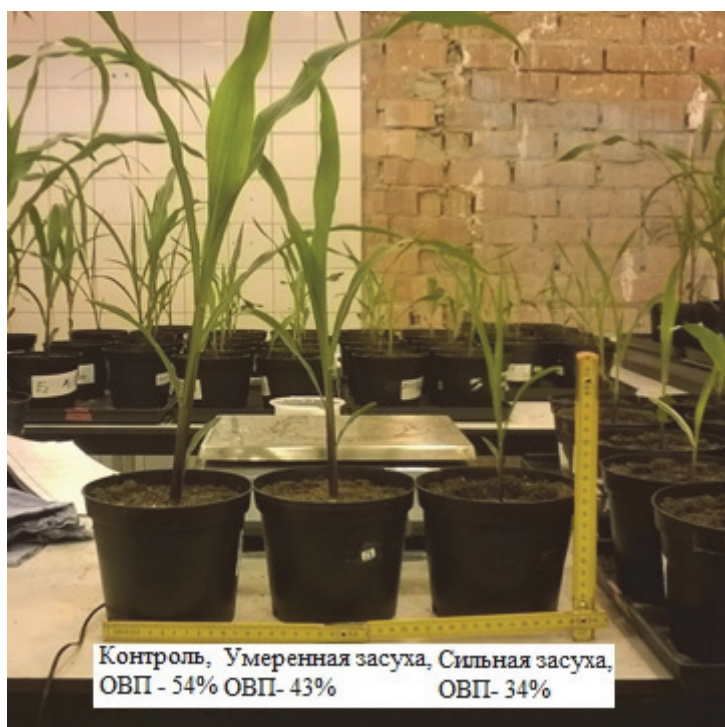


Рисунок. Общий вид экспериментальных вазонов перед срезом (2–2,5 недели) (фото автора)
[Figure. General view of experimental pots in behind of harvesting (2–2.5 weeks) (photo by the author)]

Статистическая обработка. Все проведенные эксперименты имели 10 биологических и до 5 технических повторностей. Результаты были обработаны с учетом t -критерия Стьюдента при уровне значимости $p < 0,05$ [14]. При помощи пакета «Анализ данных» программы Microsoft Excel проведено сравнение расчетных величин, которое отражает степень взаимосвязи между $I_{\text{гео}}$ и $T_{\text{инт.}}$ с учетом степени засухи (табл. 1).

Таблица 1

Расчет коэффициента корреляции между величинами $I_{\text{гео}}$ и $T_{\text{инт.}}$

Вариант	Ушакерт (полупустынная каштановая)	Одзун (горный чернозем)	Техут (коричневая лесная)	Шнох (коричневая лесная)
Коэффициент парной корреляции	–0,995	–0,994	–0,960	–0,950

Table 1

Calculation of the correlation between the values I_{geo} and T_{int} .

Variant	Hushakert (semi-desert brown soil)	Odzun (mountain black soil)	Tekhut (brown forest soil)	Shogh (brown forest soil)
Pair correlation coefficient	-0.995	-0.994	-0.960	-0.950

Результаты

Фактическим результатом антропогенного воздействия на окружающую среду является накопление ТМ в почве, аккумулирующихся в дальнейшем в растительном организме. Исходя из этого в качестве тест-объекта было выбрано однолетнее растение, так как в этом случае его экологическая память была «чистой», а полученная информация о количественных изменениях ряда ТМ при их миграции в системе «почва – растение» могла служить основой для количественной оценки загрязненности среды на данном этапе. С этой целью были определены численные значения ряда ТМ в образцах почвы и зернах кукурузы, усредненные из пяти анализов. На основании полученных экспериментальных результатов рассчитывался коэффициент геоаккумуляции по формуле (1), что служило основой для классификации исследуемых образцов почвы по степени загрязненности ТМ.

Таблица 2

Значение коэффициента геоаккумуляции и категории загрязненности почв для некоторых тяжелых металлов

Химический элемент	Ушакерт (полупустынная каштановая)	Категория загрязненной почвы по классам	Одзун (горный чернозем)	Категория загрязненной почвы по классам	Техут (коричневая лесная)	Категория загрязненной почвы по классам	Шнох (коричневая лесная)	Категория загрязненной почвы по классам
Mn	2.392±0.119	IV	0.943±0.109	I	1.346±0.102	III	1.899±0.102	III
Cu	2.982±0.128	IV	2.901±0.122	IV	2.105±0.279	IV	5.806±0.279	VII
Co	5.849±0.020	VII	5.451±0.093	VII	4.561±0.074	VI	5.603±0.074	VII
Zn	7.098±0.503	VII	5.992±0.322	VII	6.363±0.423	VII	8.593±0.423	VII
Mo	3.625±0.289	V	3.515±0.087	V	3.195±0.515	V	4.292±0.515	VI

Table 2

The value of the coefficient of geoaccumulation and the category of contaminated soil for some heavy metals

Chemical elements	Hushakert (semi-desert brown soil)	Category of contaminated soil by class	Odzun (mountain black soil)	Category of contaminated soil by class	Tekhut (brown forest soil)	Category of contaminated soil by class	Shogh (brown forest soil)	Category of contaminated soil by class
Mn	2.392±0.119	IV	0.943±0.109	I	1.346±0.102	III	1.899±0.102	III
Cu	2.982±0.128	IV	2.901±0.122	IV	2.105±0.279	IV	5.806±0.279	VII
Co	5.849±0.020	VII	5.451±0.093	VII	4.561±0.074	VI	5.603±0.074	VII
Zn	7.098±0.503	VII	5.992±0.322	VII	6.363±0.423	VII	8.593±0.423	VII
Mo	3.625±0.289	V	3.515±0.087	V	3.195±0.515	V	4.292±0.515	VI

Согласно приведенным результатам (табл. 2), образцы почвы из населенного пункта Ушакерт по содержанию Mn, Cu и Mo находились в слегка загрязненном состоянии, а по концентрациям Co и Zn образцы почв оказались сильно загрязненными. Расчет величины I_{geo} для образцов почв из Одзуна выявил, что среда умеренно загрязнена Cu и Mo, Mn – практически нет. Как и в предыдущем населенном пункте, данные образцы почв оказались сильно загрязнены по концентрациям Co и Zn. Образцы почв из населенного пункта Техут оказались слегка загрязненными Mo, Mn и Cu и сильно загрязненными Co и Zn. Анализ образцов почвы из Шноха указал на их легкую загрязненность Mn, а по содержанию Mo они оказались сильно загрязнены. При этом данные образцы почв произрастания растения были очень сильно загрязнены Cu, Co и Zn.

Почва обладает избирательной накопительной способностью к определенным химическим элементам, тем самым провоцируя изменение их накопительной скорости в произрастающей на ней растительности [16]. При этом очевидно, что способность растения проявлять биоиндикационную активность по содержанию ТМ в почве в первую очередь будет определяться состоянием самой почвы произрастания и степенью ее увлаженности [17]. А процессы транспирации в растениях регулируются непосредственно клеточной водой, давление которой заставляет клетку переходить в состояние тургора [18]. Ранее в наших работах было показано влияние водного дефицита на тургор листьев кукурузы [13; 19]. Известно, что вода является основным провайдером большинства химических элементов по корневой системе растений [20]. Избыток ионов ТМ в тканях растений может повлиять на абсорбцию воды из почвы и снизить содержание воды в корнях. Но в этом случае следует различать действие ТМ на перенос воды в растении от их ограниченности в поглощении воды. В почвах с высоким содержанием растворимых солей ТМ осмотический потенциал в почвенном растворе может быть ниже, чем потенциал внутри клетки. В этих условиях резко ограничивается скорость поглощения воды растениями, что приводит к осмотическому стрессу [21]. Предположительно, явление тургора напрямую регулируется количеством растворенных и поступивших в растительную клетку вместе с водой ТМ. Исходя из этого исследовалась зависимость транспирации в условиях засухи. Рассчитанные по формуле (2) данные по интенсивности транспирации для образцов кукуруз, произрастающих в различных почвенно-климатических условиях, представлены в табл. 3.

Таблица 3

Значение интенсивности транспирации кукурузы в условиях засухи

Место произрастания образцов растения (с указанием почвы произрастания)	Интенсивность транспирации, г/дм ² ·ч			Снижение транспирации	
	Контроль (ОВП – 54 %)	Умеренная засуха (ОВП – 43 %)	Сильная засуха (ОВП – 34 %)	Умеренная засуха, %	Сильная засуха, %
Ушакерт (полупустынная каштановая)	15.957±0.699	12.967±0.573	4.609±0.387	19	71
Одзун (горный чернозем)	23.119±0.285	12.736±0.450	3.625±0.751	45	84
Техут (коричневая лесная)	23.535±0.769	14.139±0.612	4.301±0.348	40	81
Шнох (коричневая лесная)	15.792±0.802	6.011±1.250	2.281±0.632	62	85

Table 3

The value of the intensity of transpiration of maize in under drought

Growth place of plant samples (with an indication of soil growth)	Intensity of transpiration, g/dm ² · h			Decrease in the intensity of transpiration	
	Control, (soil water content 54%)	Mild drought, (soil water content 43%)	Severe drought, (soil water content 34%)	Mild drought, %	Severe drought, %
Hushakert (semi-desert brown soil)	15.957±0.699	12.967±0.573	4.609±0.387	19	71
Odzun (mountain black soil)	23.119±0.285	12.736±0.450	3.625±0.751	45	84
Tekhut (brown forest soil)	23.535±0.769	14.139±0.612	4.301±0.348	40	81
Shogh (brown forest soil)	15.792±0.802	6.011±1.250	2.281±0.632	62	85

Засуха вызывает замедление транспирации для всех исследуемых образцов. Анализ полученных результатов показывает, что усиление засухи замедляет процесс испарения воды с поверхности листьев в связи с уменьшением их размеров, так как при ОВП 34 % визуально наблюдается увядание листьев в течение дня. Но, помимо непосредственного воздействия ТМ на устьица, замедление транспирации может быть связано с уменьшением размеров листьев и корневой системы, а также с нарушением поступления в замыкающие клетки ионов K^+ и Ca^{2+} [22].

Далее было определено содержание кальция и калия в спелых зернах кукурузы. Хотя по концентрационным значениям уровень K^+ почти на два порядка превышал содержание Ca^{2+} , сравнительные ряды по региону произрастания кукурузы имеют схожий вид. Для кальция ряд имеет вид:

$$\text{Ушакерт} < \text{Техут} < \text{Одзун} < \text{Шнох}$$

и, соответственно, для K^+ :

$$\text{Техут} < \text{Ушакерт} < \text{Одзун} < \text{Шнох}.$$

Обсуждение

Накопительная активность ТМ в растениях определенным образом регулируется интенсивностью адсорбции воды почвой и уменьшением поглощающей активности корневой системы. Повышение содержания ТМ в окружающей среде заметно снижает относительное содержание воды в клетках, что связано с уменьшением числа и диаметра сосудов ксилемы и ситовидных трубок флоэмы [7]. Более того, было выявлено, что дефицит воды в корнях возникает в результате повышения концентрации Cd, Ni и Zn [22]. Обезвоживание растительных тканей в условиях повышенного содержания ТМ может быть связано также со снижением эластичности клеточных стенок сосудов, которое обусловлено частичным замещением ионов кальция ионами ТМ и изменением проницаемости мембран [23; 24]. Согласно полученным результатам, определенный соотношением интенсивности процессов поглощения воды и засухи водный баланс растения зависел не только от

климатических условий произрастания – свой вклад вносят почвенные характеристики, в особенности содержание ТМ в почве. Исходя из реакции растения на водный дефицит, который непосредственно отражается на интенсивности транспирации, была дана оценка концентрационным особенностям накопления ТМ по индексу геоаккумуляции (I_{geo}). Конечно, транспирация характеризует то реальное количество воды, которое участвует в различных метаболических процессах растения. Но всякие межмолекулярные и иные связи уменьшают подвижность молекул, снижая подвижность воды, поэтому ТМ в высоких концентрациях оказывают ярко выраженное негативное воздействие на водный обмен растений в целом [8]. В результате нарушения водообмена листья растений теряют тургор, что отрицательно сказывается в целом на физиологических процессах [10]. Фактически миграция ТМ в системе «почва – растение» с последующим накоплением в растительном организме может способствовать снижению транспирации, особенно в условиях повышенной засухи.

Заключение

В результате проведенных исследований была определена по категориям степень загрязненности территорий: почти везде отмечается повышенный уровень содержания Mo, Co и Zn, в меньшей степени – Mn и Cu. Моделируемая засуха выявила предрасположенность кукурузы к засухоустойчивости, которая зависела от почвенно-климатических условий произрастания, предопределяя предрасположенность растений к накоплению некоторых ТМ. Выявленные корреляционные различия в накопительной активности ТМ по индексу геоаккумуляции и реакции на засуху имеют обратную сильную связь в зависимости от почвенно-климатических условий произрастания.

Благодарности. Исследование выполнено при финансовой поддержке Государственного комитета по науке МОН РА в рамках научного проекта № 15Т-2Н409. Исследование также проводилось в лаборатории молекулярной физиологии растений биологического факультета университета Антверпена (Бельгия) в рамках программы Erasmus Mundus Action II – BACKIS Program – Post-Doc Level.

Список литературы

- [1] *Ubwa S.T., Atoo G.H., Offem J.O., Abah J., Asemave K.* Effect of activities at the Gboko abattoir on some physical properties and heavy metals levels of surrounding soil // *Int. J. Chem.* 2013. Vol. 5. Pp. 47–57.
- [2] *Sharma M.C., Baxi S., Sharma K.K., Singh M., Patel S.* Heavy metal ions levels and related physicochemical parameters in soils in the vicinity of a paper industry location in Nahan area of Himachal Pradesh // *Environ. Anal. Toxicol.* 2014. Vol. 4. 10.4172/2161–0525.1000236.
- [3] *The State of the Marine Environment: A regional assessment.* Global Programme of Action for the Protection of the Marine Environment from Land-based Activities, United Nations Environment Programme / UNEP. The Hague, The Netherlands, 2006.
- [4] *Seaward M.R.D.* The use of lichens for environmental impact assessment // *Symbiosis.* 2004. Vol. 37. Pp. 293–305.

- [5] Wong S.C., Li X.D., Zhang G., Qi S.H., Min Y.S. Heavy metals in agricultural soils of the Pearl River Delta, South China // *Environ Pollution*. 2002. Vol. 119. Pp. 33–44.
- [6] Vwioko D.E., Nliefo G.O., Fashemi S.D. Metal concentration in plant tissues of *Ricinus communis* L. (Castor oil) grown in soil contaminated with spent lubricating soil // *J. Applied Environ. Manage*. 2006. Vol. 10. Pp. 127–134.
- [7] Barceló J., Poschenrieder C.H. Plant water relations as affected by heavy metal stress: a review // *J. Plant Nutr*. 1990. Vol. 13. Pp. 1–37.
- [8] Титов А.Ф., Таланова В.В., Казнина Н.М., Лайдинен Г.Ф. Устойчивость растений к тяжелым металлам / под ред. Н.Н. Немова; Институт биологии КарНЦ РАН. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. 172 с.
- [9] Титов А.Ф., Казнина Н.М., Таланова В.В. Тяжелые металлы и растения. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2014. 194 с.
- [10] Sukiasyan A.R. Antioxidant capacity of maize corn under drought stress from the different zones of growing // *International Journal of Biological, Biomolecular, Agricultural, Food and Biotechnological Engineering*. 2016. Vol. 10. No. 8. Pp. 413–416.
- [11] Унанян С.А. Агромониторинг экосистемы техногенных зон Республики Армения и разработка мероприятий по восстановлению плодородия почв: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. Ереван, 2010. 40 с.
- [12] Förstner U., Müller G. Concentrations of heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons in river sediments: geochemical background, man's influence and environmental impact // *GeoJournal*. 1981. Vol. 5. No. 5. Pp. 417–432.
- [13] Сукиасян А.Р., Тадевосян А.В., Симонян Г.С., Пирумян Г.П. Влияние абиотического стресса на рост растений // *Успехи современного естествознания*. 2016. № 7. С. 168–172.
- [14] Шумова Н.А. Методические подходы к оценке относительной площади листьев растений агроценозов // *Экосистемы: экология и динамика*. 2017. Т. 1. № 1. С. 74–92.
- [15] Киракосян А.А., Сукиасян А.Р. Использование языка MATLAB в качестве экспресс-метода оценки экспериментальных результатов // *Информационные технологии: сборник материалов Международной молодежной конференции (Ереван, 23–25 июня 2005 г.)*. Ереван, 2005. С. 34–37.
- [16] Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989. 440 с.
- [17] Tangahu B.V., Abdullah S.R.S., Basri H., Idris M. et al. A review on heavy metals (As, Pb, and Hg) uptake by plants through phytoremediation // *International Journal of Chemical Engineering*. 2011. Vol. 2011. Pp. 1–32.
- [18] Dogru A., Bayram N.E. A study on drought stress tolerance in some maize (*Zea mays* L.) cultivars // *Sakarya University Journal of Science*. 2016. Vol. 20. Issue 3. Pp. 509–519.
- [19] Sukiasyan A., Kirakosyan A., Tadevosyan A., Aslikyan M., Gharajyan K. Peculiarities of accumulation of some heavy metals on the chain of water – soil – plant // *International Journal of Advanced Engineering and Management Research*. 2017. Vol. 2. No. 5. Pp. 1534–1541. URL: <http://ijaemr.com/view1.php?issue=5>
- [20] Feleafel M.N., Mirdad Z.M., Hassan A.Sh. Effecte of NPK fertigation rate and starter fertilizer on the growth and yield of cucumber grown in greenhouse // *Journal of Agricultural Science*. 2014. Vol. 6. No. 9. Pp. 81–92.
- [21] Seregin I.V., Ivanov V.B. Physiological aspects of cadmium and lead toxic effects on higher plants // *Russian Journal of Plant Physiology*. 2001. Vol. 48. No. 4. Pp. 523–544.
- [22] Rucinska-Sobkowiak R. Water relations in plants subjected to heavy metal stresses // *Acta Physiol Plant*. 2016. Vol. 38. Pp. 257–269. DOI: 10.1007/s11738-016-2277-5
- [23] Казнина Н.М. Физиолого-биохимические и молекулярно-генетические механизмы устойчивости растений семейства *Рoaceae* к тяжелым металлам: дис. ... д-ра биол. наук. СПб., 2016. 358 с.
- [24] Титов А.Ф., Таланова В.В., Казнина Н.М. Физиологические основы устойчивости растений к тяжелым металлам: учебное пособие / Институт биологии КарНЦ РАН. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2011. 77 с.

История статьи:

Дата поступления в редакцию: 06.04.2019

Дата принятия к печати: 20.04.2019

Для цитирования:

Сукиасян А.Р. Сравнительный анализ накопления тяжелых металлов в системе «почва – растение» по индексу геоаккумуляции и коэффициенту транспирации *Zea mays* L. // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2019. Т. 27. № 1. С. 39–50. <http://dx.doi.org/10.22363/2313-2310-2019-27-1-39-50>

Сведения об авторе:

Сукиасян Астгик Рафиковна – кандидат биологических наук, доцент факультета химических технологий и природоохранной инженерии Национального политехнического университета Армении. ORCID iD: 0000-0001-5549-3146. Контактная информация: e-mail: sukiasyan.astghik@gmail.com

Research article

Comparative analysis of heavy metals accumulation in the soil – plant system by the geo-accumulation index and transpiration rate of *Zea mays* L.

Astghik R. Sukiasyan

National Polytechnic University of Armenia
105 Teryan St., Yerevan, 0009, Republic of Armenia

Abstract. The aim of work is the assessment of the effect of water deficiency in the soil, taking into account the characteristics of the migration of heavy metals in the soil – plant system using the example of mays (*Zea mays* L.). The samples studied grew in the coastal areas of the Debet, Shnogh and Araks rivers. The selection of plant material was carried out during the growing season at the test sites in clear dry weather. The analysis of the coastal soil and annual plant on the content of Mn, Cu, Co, Zn, Mo was performed using the “Thermo Scientific Niton XRF Portable Analyzer”. According of obtained results the coefficient of the geo-accumulation index was calculated, identifying the main migration characteristics of heavy metals in the soil – plant system. Drought tolerance was identified at the seedling stage by changing the growing conditions by changing of watering of the plot. Calculation of the intensity of transpiration revealed changes in the water balance in plants depending on the soil and climatic growing conditions. According to the obtained results, it is noted that with an increase in the geo-accumulation index of heavy metals in the soil, the plant shows a significant decrease in the intensity of transpiration. Thus, in the course of the experiments, it was established that samples of corn from the arid region of Hushakert had a low level of transpiration, compared with samples from the moderately humid region of Shnogh. Combining the results on the content of heavy metals in corn kernels with the intensity of transpiration made it possible to investigate the correlation between the cumulative ability of the studied chemical elements and the regulation of water balance in the plant in response to drought. Among the main factors contributing to the increase in the migration of heavy metals is the content of potassium and calcium in the plant sample.

Keywords: plant; heavy metals; geo-accumulation index; transpiration intensity; drought

Acknowledgments. The study was performed with the financial support of the State Committee on Science of the Ministry of Education and Science of the Republic of Armenia in the frame of scientific project No. 15T-2H409. Research has also been conducted in the laboratory of plant molecular physiology, Biological Faculty, University of Antwerp (Belgium) in the framework of the “Erasmus Mundus Action II – BACKIS Program – Post-Doc Level”.

References

- [1] Ubwa ST, Atoo GH, Offem JO, Abah J, Asemave K. Effect of activities at the Gboko abattoir on some physical properties and heavy metals levels of surrounding soil. *Int. J. Chem.* 2013;5: 47–57.
- [2] Sharma MC, Baxi S, Sharma KK, Singh M, Patel S. Heavy metal ions levels and related physicochemical parameters in soils in the vicinity of a paper industry location in Nahan area of Himachal Pradesh. *Environ. Anal. Toxicol.* 2014;4: 10.4172/2161–0525.1000236.
- [3] UNEP. *The State of the Marine Environment: A regional assessment. Global Programme of Action for the Protection of the Marine Environment from Land-based Activities, United Nations Environment Programme.* The Hague, The Netherlands; 2006.
- [4] Seaward MRD. The use of lichens for environmental impact assessment. *Symbiosis.* 2004;37: 293–305.
- [5] Wong SC, Li XD, Zhang G, Qi SH, Min YS. Heavy metals in agricultural soils of the Pearl River Delta, South China. *Environ Pollution.* 2002;119: 33–44.
- [6] Vwioko DE, Nliefo GO, Fashemi SD. Metal concentration in plant tissues of *Ricinus communis L.* (Castor oil) grown in soil contaminated with spent lubricating soil. *J. Applied Environ. Manage.* 2006;10: 127–134.
- [7] Barceló J, Poschenrieder CH. Plant water relations as affected by heavy metal stress: a review. *J. Plant Nutr.* 1990;13: 1–37.
- [8] Titov AF, Talanova VV, Kaznina NM, Laydinen GF. *Ustoychivost' rasteniy k tyazhelym metallam [Plant resistance to heavy metals].* Petrozavodsk: Karel'skiy nauchnyy tsentr RAN Publ.; 2007.
- [9] Titov AF, Kaznina NM, Talanova VV. *Tyazhelyye metally i rasteniya [Heavy metals and plants].* Petrozavodsk: Karel'skiy nauchnyy tsentr RAN Publ.; 2014.
- [10] Sukiasyan AR. Antioxidant capacity of maize corn under drought stress from the different zones of growing. *International Journal of Biological, Biomolecular, Agricultural, Food and Biotechnological Engineering.* 2016;10(8): 413–416.
- [11] Unanyan SA. *Agromonitoring ekosistemy tekhnogennykh zon Respubliki Armenii i razrabotka meropriyatiy po vosstanovleniyu plodorodiya pochv [Agromonitoring the ecosystem of technogenic zones of the Republic of Armenia and the development of measures to restore soil fertility]* (Dissertation of Doctor of Agricultural Sciences). Yerevan; 2010.
- [12] Förstner U, Müller G. Concentrations of heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons in river sediments: geochemical background, man's influence and environmental impact. *GeoJournal.* 1981;5(5): 417–432.
- [13] Sukiasyan AR, Tadevosyan AV, Simonyan GS, Pirumyan GP. Vliyaniye abioticheskogo stressa na rost rasteniy [Impact of abiotic stress on growth of plant]. *Uspekhi sovremenogo yestestvoznaniya.* 2016;(7): 168–172.
- [14] Shumova NA. Metodicheskiye podkhody k otsenke otnositel'noy ploshchadi list'yev rasteniy agrotsenozov [The methodical approaches to evaluation of the plants leaves' cover relative area in agrocenoses]. *Ekosistemy: ekologiya i dinamika.* 2017;1(1): 74–92.
- [15] Kirakosyan AA, Sukiasyan AR. Ispol'zovaniye yazyka MATLAB v kachestve ekspress-metoda otsenki eksperimental'nykh rezul'tatov [Using MATLAB as an express method for

- evaluating experimental results]. *Informatsionnyye tekhnologii: Materialy Mezhdunarodnaya molodezhnaya konferentsiya (Yerevan, 23–25 iyunya, 2005)* [Information technology: Proceeding of International Conference (Yerevan, 23–25 June 2005)]. Yerevan; 2005. p. 34–37.
- [16] Kabata-Pendias A, Pendias KH. *Mikroelementy v pochvakh i rasteniyakh* [Trace elements in soils and plants]. Moscow: Mir; 1989.
- [17] Tangahu BV, Abdullah SRS, Basri H, Idris M et al. A review on heavy metals (As, Pb, and Hg) uptake by plants through phytoremediation. *International Journal of Chemical Engineering*. 2011;2011: 1–32.
- [18] Dogru A, Bayram NE. A study on drought stress tolerance in some maize (*Zea mays* L.) cultivars. *Sakarya University Journal of Science*. 2016;20(3): 509–519.
- [19] Sukiasyan A, Kirakosyan A, Tadevosyan A, Aslikyan M, Gharajyan K. Peculiarities of accumulation of some heavy metals on the chain of water – soil – plant. *International Journal of Advanced Engineering and Management Research*. 2017;2(5): 1534–1541. Available from: <http://ijaemr.com/view1.php?issue=5>
- [20] Feleafel MN, Mirdad ZM, Hassan ASH. Effecte of NPK fertigation rate and starter fertilizer on the growth and yield of cucumber grown in greenhouse. *Journal of Agricultural Science*. 2014;6(9): 81–92.
- [21] Seregin IV, Ivanov VB. Physiological aspects of cadmium and lead toxic effects on higher plants. *Russian Journal of Plant Physiology*. 2001;48(4): 523–544.
- [22] Rucinska-Sobkowiak R. Water relations in plants subjected to heavy metal stresses. *Acta Physiol Plant*. 2016;38: 257–269. DOI: 10.1007/s11738-016-2277-5
- [23] Kaznina NM. *Fiziologo-biokhimicheskiye i molekulyarno-geneticheskiye mekhanizmy ustoychivosti rasteniy semeystva Poaceae k tyazhelym metallam* [Physiological, biochemical and molecular genetics mechanisms of tolerance of plants of the family Poaceae to heavy metal] (Dissertation of Doctor of Biological Sciences). Saint Petersburg; 2016.
- [24] Titov AF, Talanova VV, Kaznina NM. *Fiziologicheskiye osnovy ustoychivosti rasteniy k tyazhelym metallam: uchebnoye posobiye* [Physiological basis of plant resistance to heavy metals: textbook]. Petrozavodsk: Karel'skiy nauchnyy tsentr RAN Publ.; 2011.

Article history:

Received: 06.04.2019

Revised: 20.04.2019

For citation:

Sukiasyan AR. Comparative analysis of heavy metals accumulation in the soil – plant system by the geo-accumulation index and transpiration rate of *Zea mays* L. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2019;27(1): 39–50. <http://dx.doi.org/10.22363/2313-2310-2019-27-1-39-50>

Bio note:

Astghik Rafikovna Sukiasyan – Candidate of Biological Science, Assistant Professor of Faculty of Chemical Technology and Environmental Engineering of National Polytechnic University of Armenia. ORCID iD: 0000-0001-5549-3146. *Contact information*: e-mail: sukiasyan.astghik@gmail.com