

ВОЗДЕЙСТВИЕ МОДЕЛИРУЕМОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЫ МЫШЬЯКОМ НА СОДЕРЖАНИЕ КАЛИЯ В РАСТЕНИЯХ

З.Цецько, Т.Наймович, М.Вышковски, К.Маркевич, В.Краевски*
Кафедра химии окружающей среды, Варминско-Мазурский университет
в г.Ольштын (Польша), zdzislaw.ciecko@uwm.edu.pl

*Факультет естественных наук, Мазурский университет в г.Олецко (Польша)

Введение

Количество мышьяка в почве, оказывающее вредное влияние на растения, зависит не только от вида и сорта растений, но также от вида почвы, на которой они растут [Jiang, Singh 1994; Carbonell-Barrachina и др. 1998]. В некоторых случаях для того, чтобы вызвать болезненное состояние у растений, достаточно 30 мг As·кг⁻¹ почвы, тогда как у некоторых других видов растений урожай начинает отчетливо снижаться только при концентрации 300 мг As·кг⁻¹ почвы. Под влиянием возрастающего загрязнения почвы мышьяком происходит изменение окраски листьев, их увядание и заторможение роста всего растения. Растения достигают значительно меньших размеров, а в крайних случаях даже засыхают. Наиболее характерным признаком интоксикации растений мышьяком является их сильное измельчание [Kabata-Pendias и Pendias 1999]. Загрязнение почвы мышьяком, кроме влияния на развитие растений и содержание в них мышьяка, воздействует также на поглощение ими многих макро- и микроэлементов, в частности калия. Эти изменения не всегда благоприятны для растений, так как могут нарушать их ионное равновесие. Поэтому необходимо принять меры, направленные на ограничение воздействия мышьяка на растения.

В связи с вышесказанным были проведены опыты, целью которых было ограничить влияние загрязнения почвы мышьяком на содержание калия в растениях путем применения различных веществ.

Материал и методы

В основу исследований легло 5 вегетационных опытов в сосудах. Исследования были проведены в вегетационном павильоне Варминско-Мазурского университета в г.Ольштын (Польша) на бурой кислой или слабо кислой супесчаной почве. В опыте рассматривали два фактора. Фактор первого порядка включал возрастающие дозы мышьяка (водный раствор арсената натрия), а фактором второго порядка были определенные вещества, нейтрализующие загрязнение почвы этим ксенобиотиком. Опытными культурами были: кукуруза сорта Scandia, ежа сборная сорта Nawra, люпин желтый сорта Juno, яровой ячмень сорта Ortega и кормовая брюква сорта Sara. В опытах с кукурузой, ежой сборной, брюквой и ячменем загрязнение почвы составляло: 0, 25, 50, 75 и 100 мг As·кг⁻¹ почвы, а в опытах с люпином желтым – 0, 10, 20, 30 и 40 мг As·кг⁻¹ почвы. В качестве веществ, нейтрализующих загрязнение почвы мышьяком, в опытах с ежой сборной и люпином желтым использовали: известь, природный цеолит, древесный уголь, ил, компост и синтетический цеолит. В опытах с кукурузой использовали все вышеуказанные вещества кроме синтетического цеолита. В опытах с ячменем и брюквой использовали: торф, сосновую кору, ил, доломит и синтетический цеолит. Указанные добавки применяли в количестве 3% от массы почвы в сосуде (9 кг), а дозы извести и доломита соответствовали полной гидролитической кислотности. В сосудах поддерживали влажность на уровне 60% полевой влагоемкости.

При уборке растений в фазе технологической спелости были взяты пробы растительного материала для проведения лабораторных анализов. Пробы были измельчены и высушены в температуре 60°C. Подготовленный таким образом материал смолотли, минерализовали и определили в нем содержание калия по методу атомно-эмиссионной спектроскопии (ESA).

Обсуждение результатов

Воздействие возрастающего загрязнения почвы мышьяком на содержание калия в урожае исследуемых растений было различным. У кукурузы в надземной массе и частично в корнях наблюдали повышение содержания калия (табл.1). В надземной массе оно составляло от 29% в вариантах с природным цеолитом до 113% в контрольной серии (без добавок), а в корнях – от 20% в серии с илом до 66% в вариантах с известью. Следует также отметить, что в корнях в серии с древесным углем не наблюдали существенных изменений содержания калия под влиянием загрязнения почвы мышьяком. Вещества, используемые для инактивации мышьяка, также оказывали влияние на содержание калия, особенно в надземной массе кукурузы. Значительно большее содержание калия в надземной массе, по сравнению с другими добавками, отметили в вариантах с илом, а также с известью.

Загрязнение почвы мышьяком, как правило, способствовало повышению содержания калия в обоих органах ежи сборной, причем более отчетливо это проявлялось в корнях (табл.2). Наибольший рост содержания калия отметили в вариантах с известью, затем с древесным углем и, далее, в вариантах с компостом. Зеленая масса ежи сборной, как правило, содержала меньше калия, чем корни. Среднее содержание этого элемента в зеленой массе составляло 0,70-0,84%, а в корнях – 0,62-1,27% К в сухом веществе. В корнях ежи сборной наибольшее количество калия наблюдалось в вариантах с древесным углем, а наименьшее – в серии без добавок, тогда как в надземной массе наибольшее содержание калия отметили в вариантах с известью, а наименьшее – также в серии без добавок.

Среднее содержание калия в надземной массе и корнях люпина желтого колебалось соответственно в пределах 1,59-2,37% и 1,00-1,36% К в сухом веществе (табл.3). В надземной массе больше всего калия отметили в вариантах с добавкой древесного угля и в серии без добавок. В свою очередь, в корнях люпина отчетливо меньшее содержание калия, по сравнению с другими вариантами, отметили в серии с добавкой компоста. Загрязнение почвы мышьяком повышало содержание калия в надземной массе люпина. Этот рост был особенно высоким в вариантах с добавкой синтетического цеолита, компоста, природного цеолита, извести и ила, составляя соответственно 40% (40 мг As), 36% (30 мг As), 26% (30 мг As), 28% (30 мг As), и 20% (40 мг As·кг⁻¹ почвы). В корнях люпина загрязнение почвы мышьяком обычно снижало содержание калия. Такая зависимость наиболее отчетливо проявилась в вариантах с древесным углем и компостом. Снижение содержания калия в этих сериях составляло соответственно 43% и 26%. В остальных сериях содержание калия в корнях люпина колебалось лишь незначительно.

В опыте с брюквой отметили отчетливое влияние возрастающего загрязнения почвы мышьяком на снижение содержания калия в надземной массе и корнях этого растения (табл.4). В корнях снижение содержания калия, наблюдаемое в вариантах с торфом, илом, доломитом и синтетическим цеолитом, было подобным (22-27%). В серии без добавок и с древесной корой не отметили отчетливой зависимости. Значительно большее снижение содержания калия наблюдали в надземной массе. Оно составляло в среднем от 41% в серии с илом до 55% в вариантах с цеолитом и торфом.

У ячменя отметили положительную корреляцию между загрязнением почвы мышьяком и содержанием калия (табл.5). Эта зависимость была особенно отчетливой в корнях и несколько меньшей в зерне. В корнях ячменя рост содержания калия был наибольшим в серии без добавок (37%). Самое слабое действие оказывал торф. Содержание калия в соломе повышалось при средних дозах мышьяка (50 и 75 мг As·кг⁻¹ почвы), тогда как самая высокая доза (100 мг As·кг⁻¹ почвы) действовала отрицательно. В зерне ячменя в большинстве серий также отметили повышение содержания калия под влиянием загрязнения почвы мышьяком, причем в вариантах с илом оно достигло 35%. В контрольной серии (без добавок) влияние мышьяка на содержание калия было сравнительно небольшим. Различия в среднем содержании калия по сериям во всех исследуемых органах были незначительными.

В литературных источниках встречаются противоречивые данные относительно воздействия загрязнения почвы мышьяком на содержание калия в растениях. По мнению

Kabata-Pendias и Pendias [1999], загрязнение почвы мышьяком способствует снижению содержания калия, тогда как согласно Paivoke и Simola [2001], растения реагируют повышением содержания этого элемента. По Gorlach и Gambuś [1993], мышьяк, содержащийся в растениях в токсической концентрации, приводит к снижению содержания в них калия и других макроэлементов, в частности, фосфора, кальция и магния.

Таблица 1
Содержание калия в надземной массе и корнях кукурузы (% сухого вещества)

Доза мышьяка в мг As·кг ⁻¹ почвы	Вид нейтрализующего вещества					
	без добавок	компост	древесный уголь	ил	известь	природный цеолит
Надземная масса						
0	1,14	1,21	1,27	1,72	1,42	1,40
25	1,31	1,31	1,82	2,24	1,68	1,40
50	2,04	1,75	2,06	2,48	2,01	1,63
75	2,09	1,85	1,92	2,78	2,45	1,68
100	2,43	1,92	1,87	2,64	2,45	1,81
Среднее	1,80	1,61	1,79	2,37	2,00	1,58
НСР _{0,05}	a - 0,13; b - 0,12; a · b - 0,28					
Корни						
0	0,46	0,40	0,42	0,41	0,35	0,38
25	0,48	0,41	0,42	0,46	0,44	0,39
50	0,49	0,44	0,39	0,49	0,49	0,56
75	0,49	0,49	0,43	0,49	0,53	0,58
100	0,62	0,57	0,44	0,42	0,58	0,61
Среднее	0,51	0,46	0,42	0,45	0,48	0,50
НСР _{0,05}	a - 0,04; b - 0,03; a · b - 0,08					

a – вид добавок, b – загрязнение мышьяком

Таблица 2
Содержание калия в надземной массе и корнях ежи сборной (% сухого вещества)

Доза мышьяка в мг As·кг ⁻¹ почвы	Вид нейтрализующего вещества						
	без добавок	природный цеолит	известь	древесный уголь	ил	компост	синтетич. цеолит
Надземная масса							
0	0,68	0,73	0,77	0,78	0,71	0,70	0,78
25	0,68	0,73	0,77	0,77	0,75	0,70	0,78
50	0,69	0,74	0,85	0,76	0,75	0,77	0,79
75	0,70	0,75	0,89	0,74	0,79	0,84	0,81
100	0,73	0,76	0,92	0,78	0,80	0,85	0,83
Среднее	0,70	0,74	0,84	0,77	0,76	0,77	0,80
НСР _{0,05}	a - 0,05; b - 0,05; a · b – р.н.						
Корни							
0	0,48	0,50	0,65	0,88	0,51	0,74	0,74
25	0,57	0,52	0,81	0,90	0,62	0,86	0,80
50	0,61	0,83	0,86	1,24	0,73	0,99	0,86
75	0,61	0,90	1,14	1,65	0,82	1,24	1,03
100	0,84	1,02	1,27	1,66	0,96	1,32	1,22
Среднее	0,62	0,75	0,95	1,27	0,73	1,03	0,93
НСР _{0,05}	a - 0,07; b - 0,06; a · b - 0,15						

a – вид добавок, b – загрязнение мышьяком; р.н. – разница незначима

Таблица 3

Содержание калия в надземной массе и корнях люпина (% сухого вещества)

Доза мышьяка в мг As·кг ⁻¹ почвы	Вид нейтрализующего вещества						
	без добавок	древесный уголь	природный цеолит	синтетич. цеолит	ил	компост	известь
Надземная масса							
0	2,22	2,33	1,37	1,39	1,50	1,67	1,46
10	2,35	2,45	1,59	1,66	1,73	2,02	1,56
20	2,38	2,55	1,66	1,87	1,74	2,13	1,76
30	2,41	2,41	1,72	1,93	1,77	2,27	1,87
40	2,29	2,09	1,59	1,94	1,80	2,06	1,80
Среднее	2,33	2,37	1,59	1,76	1,71	2,03	1,69
НСР _{0,05}	а - 0,16; b - 0,13; а · b – р.н.						
Корни							
0	1,34	1,65	1,34	1,22	1,25	1,24	1,34
10	1,35	1,30	1,40	1,34	1,25	0,98	1,39
20	1,32	1,10	1,40	1,33	1,35	0,94	1,40
30	1,25	1,00	1,37	1,31	1,34	0,92	1,36
40	1,04	0,94	1,21	1,21	1,15	0,92	1,31
Среднее	1,26	1,20	1,34	1,28	1,27	1,00	1,36
НСР _{0,05}	а - 0,02; b - 0,02; а · b - 0,05						

а – вид добавок, b – загрязнение мышьяком; р.н. – разница незначима

Таблица 4

Содержание калия в надземной массе и корнях брюквы (% сухого вещества)

Доза мышьяка в мг As·кг ⁻¹ почвы	Вид нейтрализующего вещества					
	без добавок	торф	кора	ил	ДОЛОМИТ	синтетич. цеолит
Надземная масса						
0	1,99	2,16	2,09	1,96	1,88	2,13
25	1,88	2,13	1,93	1,90	1,80	1,99
50	1,66	2,05	1,90	1,88	1,65	1,55
75	0,97	1,80	1,17	1,41	1,17	1,01
100	0,97	0,98	1,17	1,15	0,95	0,95
Среднее	1,49	1,82	1,65	1,66	1,49	1,53
НСР _{0,05}	а - 0,11; b - 0,10; а · b - 0,24					
Корни						
0	1,06	1,31	1,22	1,31	1,34	1,28
25	1,00	1,21	1,17	1,21	1,33	1,25
50	1,04	1,17	1,16	1,15	1,31	1,12
75	1,05	1,16	1,19	1,14	1,21	1,04
100	1,06	1,01	1,19	1,07	0,98	0,98
Среднее	1,04	1,17	1,19	1,18	1,23	1,13
НСР _{0,05}	а - 0,09; b - 0,09; а · b – р.н.					

а – вид добавок, b – загрязнение мышьяком; р.н. – разница незначима

Содержание калия в зерне, соломе и корнях ячменя (% сухого вещества)

Доза мышьяка в мг As·кг ⁻¹ почвы	Вид нейтрализующего вещества					
	без добавок	торф	кора	ил	ДОЛОМИТ	синтетический цеолит
Зерно						
0	0,59	0,55	0,44	0,49	0,56	0,62
25	0,56	0,53	0,47	0,47	0,52	0,62
50	0,51	0,52	0,58	0,53	0,50	0,50
75	0,51	0,59	0,54	0,52	0,50	0,69
100	0,64	0,67	0,53	0,66	0,68	0,74
Среднее	0,56	0,57	0,51	0,53	0,55	0,63
НСР _{0,05}	a - 0,06; b - 0,05; a · b – р.н.					
Солома						
0	1,11	1,10	1,20	1,30	1,16	1,20
25	1,27	1,36	1,36	1,42	1,42	1,30
50	1,36	1,42	1,42	1,48	1,34	1,51
75	1,42	1,36	1,38	1,58	1,34	1,23
100	1,21	1,29	1,31	1,16	1,16	1,06
Среднее	1,27	1,31	1,33	1,39	1,28	1,26
НСР _{0,05}	a - 0,04 b - 0,04 a · b - 0,10					
Корни						
0	0,35	0,37	0,37	0,42	0,36	0,37
25	0,38	0,41	0,45	0,44	0,45	0,41
50	0,42	0,41	0,48	0,51	0,49	0,42
75	0,46	0,42	0,48	0,47	0,47	0,46
100	0,48	0,38	0,41	0,46	0,46	0,45
Среднее	0,42	0,40	0,44	0,46	0,45	0,42
НСР _{0,05}	a - р.н.; b - р.н.; a · b - р.н.					

a – вид добавок, b – загрязнение мышьяком; р.н. – разница незначима

Выводы

1. Влияние загрязнения почвы мышьяком на содержание калия в растениях зависело от их вида и органа, а также от используемого инактивирующего вещества.
2. Загрязнение почвы мышьяком способствовало накоплению калия в надземной массе и корнях кукурузы, ежи сборной, а также в зерне и корнях ячменя. Обратное действие отметили только в надземной массе и корнях брюквы, а также в корнях люпина желтого.
3. Влияние нейтрализующих добавок на содержание калия в надземной массе растений было бóльшим, нежели в корнях, причем корреляция была, как правило, положительной.

Литература

- Jiang Q.Q., Singh B.R. Effect of different forms and sources of arsenic crop yield and arsenic concentration // Water Air Soil Pollut. - 1994 - Nr 74(3/4). - S. 321-343.
- Carbonell-Barrachina A.A., Aarabi M.A., DeLaune R.D., Gambrell R.P., Patrick W.H. The influence of arsenic chemical form and concentration on *Spartina patens* and *Spartina alterniflora* growth and tissue arsenic concentration // Plant Soil. - 1998 - Nr 198. - С. 33-43.
- Gorlach E., Gambuś F. Desorpcja i fitotoksyczność metali ciężkich zależnie od właściwości gleby // Roczn. Glebozn. - 1991 - Nr 42(3/4). - S. 207-214.
- Kabata-Pendias A., Pendias H. Biogeochemia pierwiastków śladowych. Wyd. Nauk. PWN, Warszawa, 1999. - 398 s.
- Paivoke A.E.A., Simola L.K. Arsenate toxicity to *pisum sativum*: Mineral Nutrients, Chlorophyll Content, and Phytase Activity // Ecotoxicol. Environm. Safety. - 2001. - Nr 49. - S. 111-121.