

УДК 582.475.2+582.477.2]:581.133.8

## ПОГЛОЩЕНИЕ ИОНОВ НИТРАТА, КАЛИЯ, КАЛЬЦИЯ И МАГНИЯ САЖЕНЦАМИ ЕЛИ И ТУИ ПРИ НАЛИЧИИ СВИНЦА В ПИТАТЕЛЬНЫХ РАСТВОРАХ

Е. Г. ХИМИНА

(Кафедра лесоводства, геологии и охраны природы)

Приводятся данные о поглощении корнями двулетних саженцев ели обыкновенной и туи западной биогеогенных элементов из питательных растворов в присутствии ионов свинца. Установлены видовые различия в поглощении ионов  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$ , обусловленные действием токсиканта.

Вопрос о влиянии свинца на рост и развитие древесных растений, отдельные ферментативные реакции освещен в отечественной и зарубежной литературе [1, 11, 13]. Установлено [6, 7], что введение в почву свинцово-медной пыли оказывает отрицательное действие на саженцы лиственных и хвойных деревьев, наблюдается также замедление прироста пихты и ели в течение первого года вегетации (при внесении в почву 1, 5 и 10 % пыли прирост снизился соответственно на 10, 20—25 и 67 %). У липы и лиственницы в очаге промышленного загрязнения в результате повышенного содержания свинца сильно повреждался ассимиляционный аппарат [3]. При обработке семян сосны обыкновенной водной вытяжкой, в которой содержалось 1,02 мг свинца на 1 мл, уменьшалась длина корней и величина митотического индекса, нарушался митоз. Однако воздействие свинца на первичный процесс поглощения элементов питания изучено недостаточно. В связи с этим целью наших исследований явилось изучение кинетики поглощения ионов нитрата, калия, кальция и магния саженцами ели и туи из питательных растворов при различной концентрации в них свинца.

### Методика

Объектом исследований были двулетние саженцы ели обыкновенной (*Picea abies*) и туи западной (*Thuja occidentalis*), произрастающие на загрязненных свинцом [2] почвах Лесной опытной дачи ТСХА. Высота и диаметр саженцев ели были соответственно  $42,3 \pm 4,1$  и  $1,7 \pm 0,4$  см, туи —  $39,4 \pm 3,5$  и  $1,4 \pm 0,3$  см. опыты проводили в лаборатории искусственного климата ТСХА. Источником света служили ксеноновые лампы, освещенность — 12 тыс. лк, длина фотопериода — 16 ч (с 6 до 22 ч), температура воздуха днем  $22^\circ\text{C}$ , ночью —  $18^\circ\text{C}$ . Повторность опыта 6-кратная.

Саженцы выкапывали из питомника в конце октября. Корни тщательно отмывали, ополаскивали дистиллированной водой и выращивали 1,5 мес в водной культуре на 1/10 питательной смеси Арнона — Хогланда. Аэрацию растворов производили ежедневно при доведении pH до 5,6. После того как образовались новые корни и саженцы дали приросты 1,5—2 см, их в течение 12 ч выдерживали в водопроводной

воде. Подготовленные таким образом растения помещали в однолитровые стеклянные сосуды на питательную смесь и изучали воздействие свинца в форме  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  на поглощение ионов  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  в течение 4 суток.

Схема опыта включала 3 варианта: 1-й (контроль) — 1/2 питательной смеси Арнона — Хогланда, 2-й — то же +  $\text{Pb}^{2+}$  (0,1 мг/л), 3-й — тот же питательный раствор +  $\text{Pb}^{2+}$  (1,0 мг/л). О скорости поглощения ионов судили по изменению их концентрации в растворе. Объем раствора составлял 0,8 л. Отбор проб производили через 2, 12, 24, 48 и 96 ч, одновременно изучали изменение концентрации водородных ионов в растворах и поглощение воды, а растения переносили на свежий питательный раствор. Содержание нитратов определяли с помощью ион-селективного электрода, кальция и магния — методом атомной абсорбции, калия — на пламенном фотометре.

## Результаты

В присутствии ионов свинца поглощение воды саженцами и ели, и туи (табл. 1) подавлялось, но при экспозиции 48—96 ч различия между вариантами сглаживались. Динамика поглощения воды у исследуемых пород совпадала. В течение 4-суточной экспозиции растения на питательных растворах при более низкой концентрации свинца саженцы туи поглощали на 21 % воды меньше, чем контрольные, при более высокой — на 35 %, а саженцы ели соответственно на 23 и 32 %.

Ограниченное поглощение воды саженцами древесных растений, вызванное ионами свинца, отмечается в литературе [5]. Аналогичное воздействие ионов  $Pb^{2+}$  на поглощение воды наблюдалось у фасоли, огурца и пшеницы в вегетационном опыте на смеси Хогланда [4].

Количество поглощенных ионов  $NO_3^-$  в первые сутки у ели и туи практически совпадало как в контроле, так и в опытных вариантах. В течение последующих суток под воздействием свинца поглощение  $NO_3^-$  снижалось (табл. 2), особенно при повышении концентрации свинца в растворе.

При 24—48-часовой экспозиции количество поглощенных ионов  $NO_3^-$  корнями туи во 2-м и 3-м вариантах было соответственно на 17 и 50 % меньше, чем в контроле, у ели — соответственно на 19 и 55 %. Абсолютное количество поглощенных ионов  $NO_3^-$  в опыте с туей во всех трех вариантах было больше. В последующие двое суток эксперимента поглощение ионов  $NO_3^-$  корнями ели при более высокой концентрации свинца снизилось на 57 %, а саженцами туи — на 45 %. Во все сроки отбора проб происходило подщелачивание растворов (табл. 1).

Наблюдались видовые различия в поглощении калия корнями саженцев. К концу эксперимента под воздействием ионов свинца потребление калия корнями туи угнеталось в большей степени, чем корнями ели (табл. 2). Так, в контрольном варианте саженцы туи в течение 3—4 суток эксперимента поглощали калия в 1,6 раза больше, чем в варианте со средней степенью токсичности, и в 2 раза больше, чем при более высокой концентрации свинца.

Подавление поглощения кальция сказалось уже к концу первых суток эксперимента (табл. 2). При 48—96-часовой экспозиции кальция

Таблица 1

**pH и поглощение воды саженцами ели и туи в зависимости от концентрации свинца в питательном растворе**

Время от начала опыта, ч	pH			Количество поглощенной воды, мл		
	1	2	3	1	2	3
<b>Туя</b>						
0—2	6,1	6,0	6,2	22	16	15*
2—12	7,4	7,1	6,9	56	38*	30*
12—24	7,7	7,3	6,9	35	20*	18*
24—48	8,6	8,0	8,7	119	82*	64*
48—96	8,5	8,8	8,1	205	187	164
<b>Ель</b>						
0—2	6,6	6,7	6,3	32	19*	20*
2—12	6,8	7,0	6,7	78	63*	50*
12—24	7,1	7,1	6,9	36	20*	18*
24—48	8,0	7,6	7,5	128	91*	71*
48—96	8,2	8,0	7,1	198	171	163

Примечание. Здесь и в последующих таблицах звездочкой отмечено наличие существенной разницы с контролем при  $P = 0,95$ . Данные приводятся в расчете на 1 растение.

Поглощение ионов  $\text{NO}_3^-$ , калия, кальция и магния саженцами ели и туи в зависимости от концентрации свинца в питательном растворе ( $\text{мг} \cdot 10^{-1}$ )

Время от начала опыта, ч	Туя			Ель		
	вариант опыта					
	1	2	3	1	2	3
$\text{NO}_3^-$						
0—2	113,3	107,0	115,5	106,0	105,2	106,0
2—12	109,7	110,8	102,8	99,5	96,2	80,5
12—24	102,3	98,7	104,0	96,5	87,2	81,5*
24—48	545,3	454,2*	275,0*	353,0	281,0*	162,0*
48—96	675,5	546,0*	371,0*	511,2	457,0*	220,0*
$\text{K}^+$						
0—2	10,20	9,3	10,3	8,3	8,5	7,3
2—12	42,5	49,5	41,7	38,2	34,8	33,0
12—24	153,0	144,0	118,3	124,2	121,0	116,7
24—48	71,8	61,7	49,7*	71,0	64,0	64,3
48—96	101,2	62,3*	51,8*	69,7	64,7	51,8*
$\text{Ca}^{2+}$						
0—2	4,0	3,5	3,9	5,6	4,5	4,5
2—12	21,8	19,3	19,2	21,0	19,2	19,4
12—24	132,5	103,2*	60,3*	72,8	46,0*	36,7*
24—48	82,5	71,0	46,0*	61,2	48,0	30,2*
48—96	88,0	70,0*	30,0*	67,7*	37,7*	17,0*
$\text{Mg}^{2+}$						
0—2	1,3	1,4	1,3	1,6	1,3	1,3
2—12	3,5	3,7	3,3	2,7	2,5	2,0
12—24	18,0	7,0*	3,3*	15,3	14,8	14,8
24—48	21,0	16,2*	6,8*	14,2	9,2	7,8*
48—96	26,3	19,8*	15,2*	14,3	14,8	14,0

поглощено корнями ели и туи в 3-м варианте соответственно на 75 и 66 % меньше, чем в контроле.

При повышении концентрации ионов свинца в растворе изменялось соотношение калия и кальция. Так, в опыте с туей в интервале 12—24 ч от начала опыта соотношение поглощенных  $\text{K} : \text{Ca}$  в контрольном варианте было равно 1,2, а при концентрации свинца 1,0 мг/л — 2,0, в опыте с елью соответственно 1,6 и 3,2; в интервале 48—96 ч для туи — 1,2 и 1,7, для ели — 1,0 и 3,0.

Поглощение магния при наличии ионов свинца в питательном растворе снижалось в опыте с туей и практически не изменялось в опыте с елью (табл. 2). Поглощение магния корнями саженцев туи особенно резко подавлялось при экспозициях 12—24 и 24—48 ч.

В течение всего эксперимента двухвалентных ионов магния было поглощено саженцами туи из более токсичного раствора в 2,1 раза меньше, чем в контроле.

Известно, что ион  $\text{NO}_3^-$  является главным противоионом для транспорта катионов металлов [9], поэтому нарушения в его поглощении связаны с изменением поглощения присутствующих в растворе катионов калия, кальция и магния. Таким образом, при введении в питательный раствор свинца нарушалось ионное равновесие и процессы регуляции поглощения аниона и катионов значительно подавлялись. В ходе эксперимента установлено, что степень токсичности питательного раствора оказывала большее влияние на подавление поглощения элементов питания при увеличении экспозиции. Очевидно, ингибирование поглощения ионов  $\text{NO}_3^-$  и катионов происходило вследствие нарушения мембранной проницаемости корневых клеток под воздействием свинца [9]. Так, согласно литературным данным, ионы тя-

желых металлов локализируются в клеточных оболочках корней растений, произрастающих на загрязненных субстратах [12], количество их может достигать 70—80 % к общему содержанию металлов в корнях [8].

Поглощение иона  $\text{NO}_3^-$  могло подавляться также при снижении активности нитратредуктазы, что свойственно как листьям, так и корням в присутствии ионов свинца [10].

Итак, выявлены видовые различия в поглощении элементов питания саженцами ели и туи под воздействием ионов свинца. При наличии токсиканта саженцы туи поглощали  $\text{NO}_3^-$ , калий, кальций и магний в меньшем количестве, чем в контроле. В опыте с елью ионы свинца ингибировали поглощение  $\text{NO}_3^-$  и кальция и не оказывали существенного влияния на поглощение калия и магния. Повышение концентрации свинца в питательном растворе приводило к более интенсивному снижению поглощения  $\text{NO}_3^-$  и катионов. С увеличением времени воздействия свинца на корневые системы токсичность опытных растворов возрастала.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев Ю. В. Тяжелые металлы в почвах и растениях. — Л.: ВО Агропромиздат, 1987. — 2. Кузнецов Е. В., Мосина Л. В., Химица Е. Г., Паркин В. В. Накопление тяжелых металлов в почвах и годичных слоях древесных пород ЛОД ТСХА. — В кн.: Влияние промышленных предприятий на окружающую среду. Пушкино: Науч. центр биол. иссл. АН СССР, 1984. — 3. Спахова А. С., Погорелова Р. Ф., Топалова Е. А. и др. К вопросу о способности растений поглощать свинец из атмосферы. — В кн.: Газоустойчивость растений. Новосибирск: Наука (Сибирское отделение), 1980, с. 177—178. — 4. Burzynski M. — Acta Soc. Bot. Pol. 1987, vol. 56, N 2, p. 271—280. — 5. Carlson R. W., Bagraz F. A., Ralf G. L. — Env. Res., 1975, N 10, p. 113—120. — 6. Greszta J. Wrazliwosc saczonek wybranych gatunow drzew lesnych na wzractinge: losci w glebie pyfow pochodzacych electrofiltrow huty mildzi i cynku. Cz.

I. Krakow: Inst. Bot. PAN, 1980a, s. 5—4. — 7. Gzeszta J. Zalernosc miedzy zawartoscia miedzi, cynku, olovi iu kadmu w glebie a ich zawartoscia w sadzonkach wydranych gatunkow drzew lesnych. Cz. 11. Krakow: Inst. Bot. PAN 1980 b. s. 24—48. — 8. Jchikawa H., Suziki S., Ishii T. — Plant a Soil, 1987, vol. 101, N 1, p. 15—20. — 9. Kennedy C. D., Gonsolves F. A. N. — J. Exp. Bot., 1987, vol. 8, N 90, p. 800—817. — 10. Mifreva N. I. Докл. Болг. АН, 1987, 40, N 9, 111—114. — 11. Prewysz — Kwinto J., Staszewski T. — Wiad. Bot., 1980, t XXIV, s. 31—40. — 12. Qureshi J. A., Hardwick K., Collin H. A. — J. Plant Physiol., 1986, vol. 122, N 4, p. 357—364. — 13. Smilde K. W. — Plant a Soil, 1981, vol. 62, N 1, p. 3—14. — 14. Swiebocka M. — Acta Soc. Bot. Pol., 1976, vol. 45, N 1—2, p. 17—32.

Статья поступила 9 сентября 1988 г.

#### SUMMARY

Data on absorption of biogenic elements from nutrient solutions at the presence of lead ions by roots of two year seedlings of common spruce and Western arborvitae are presented. Specific differences in absorption of  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Mg}_2^+$  ions have been established.

The results obtained allow to make a conclusion that in order to neutralize toxic effect of lead contained in the soil, one should apply nitrogen as  $\text{KNO}_3$  and  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ , which will allow to grow more viable seedlings.