

УДК 633.11«321»:632.122.1: [546.81+546.47

## **РЕАКЦИЯ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ НА ВЫСОКОЕ СОДЕРЖАНИЕ ЦИНКА И СВИНЦА В ПОЧВЕ ПРИ ВНЕСЕНИИ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ**

**С. П. СИНГХ, Н. Г. РАКИПОВ**

**(Кафедра сельского хозяйства зарубежных стран)**

В вегетационном опыте изучалось влияние высоких уровней цинка и свинца в почве при внесении минеральных удобрений на урожайность яровой пшеницы и содержание основных элементов питания в зерне и соломе.

Загрязнение обрабатываемых почв тяжелыми металлами происходит в основном в результате применения различных отходов в качестве удобрений, химизации сельского хозяйства и всеобщей индустриализации. В частности, длительное использование осадков сточных вод как органического удобрения, а также химических средств защиты растений, содержащих тяжелые металлы, привели в ряде случаев к значительному накоплению последних в пахотных почвах [12]. Из загрязненных почв тяжелые металлы поступают в кормовые и пищевые растения [1—4] и далее по пищевой цепи попадают в организм сельскохозяйственных животных и человека [15, 16, 19].

Весьма токсичными и сравнительно легкодоступными для растений являются такие тяжелые металлы, как цинк и свинец [14]. Наибольшее их количество поступает

в окружающую среду при горной разработке, хотя имеются и другие источники загрязнения этими металлами [14].

Токсичность цинка для высших растений была установлена многими исследователями [8, 11, 13, 14, 20]. Под влиянием избыточных количеств цинка в почве уменьшается содержание пигментов в листьях растений и снижается скорость фотосинтеза [9, 10]. Вместе с тем в малых количествах цинк является жизненно необходимым для нормального роста и развития растений. Он входит в состав многих ферментов, активно участвует в дыхании, синтезе хлорофилла и других процессах.

Свинец в настоящее время не относят к элементам, необходимым для жизнедеятельности растений. В сообщениях о токсическом действии этого элемента на растения отмечается, что, поступая в растения, он вызывает уменьшение размеров

клеток и замедляет их деление [5, 17], снижает скорость фотосинтеза и транспирации [6, 7].

В ряде исследований показана возможность существенного снижения или даже устранения фитотоксичности тяжелых металлов путем изменения pH почвы, внесения в почву мелиорантов, а также возделывания видов и сортов сельскохозяйственных растений, устойчивых к такого рода загрязнению [14]. В то же время мало изучено влияние уровня минерального питания растений на фитотоксическое действие тяжелых металлов, в том числе цинка и свинца. В связи с этим нами изучалось влияние высоких уровней цинка и свинца в почве на одну из главных зерновых культур — яровую пшеницу — на фоне внесения полного минерального удобрения (NPK) и без него.

### Методика

Вегетационный опыт был проведен в 1985 г. на яровой пшенице сорта Московская 35. Растения выращивали в сосудах Митчерлиха, для набивки которых брали по 5 кг дерново-подзолистой почвы пахотного горизонта (0—25 см), просеянной через сито. Агрохимическая характеристика следующая: содержание  $P_2O_5$  по Кирсапову — 3,05 мг,  $K_2O$  по Пейве — 9,02 мг, сумма поглощенных оснований — 7,86 мэкв, гидролитическая кислотность — 4,77 мэкв на 100 г,  $pH_{\text{соль}}$  — 4,25. В почву добавляли кварцевый песок (1 кг на сосуд) с целью уменьшения в ней содержания питательных элементов и снижения уровня плодородия.

Схемой опыта предусматривалось внесение цинка в количестве 50, 100 и 150 мг (варианты соответственно  $Zn_{50}$ ,  $Zn_{100}$  и  $Zn_{150}$ ) в форме  $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$  и свинца в количестве 100, 200 и 300 мг ( $Pb_{100}$ ,  $Pb_{200}$ ,  $Pb_{300}$ ) в форме  $Pb(CH_3COO)_2 \cdot 3H_2O$  на 1 кг субстрата. В одном варианте эти металлы применяли совместно —  $Zn_{150} + Pb_{300}$ . Минеральные удобрения — мочевину, гранулированный суперфосфат и хлористый калий — вносили при набивке сосудов из расчета соответственно 150 мг N, 100 мг  $P_2O_5$  и 100 мг  $K_2O$  на 1 кг субстрата. Одновременно почву известковали  $CaCO_3$  по  $1/4$  гидролитической кислотности, что в условиях данного эксперимента обеспечивало благоприятную для пшеницы реакцию почвы. В опыт был включен также абсолютный контроль без удобрений и тяжелых металлов. Повторность 3-кратная; 24 сосуда с NPK и 24 — без удобрений.

После набивки сосудов субстрат насыщали деионизированной водой и оставляли для уравнивания в течение одной недели в затемненном месте. Затем их ставляли в вегетационном домике по схеме рандомизированных блоков. Посев проводили сухими семенами 20 апреля. После прорезывания в сосудах оставляли по 15 растений. В течение всего вегетационного периода их поливали деионизированной водой. Убирали растения в фазу полной спелости (10 августа), высушивали при температуре  $65^\circ$  и обмолачивали. В образцах зерна и соломы определяли содержание цинка и свинца методом атомной абсорбционной спектрофотометрии после мокрого озоления в смеси азотной, хлорной и серной кислот (в соотношении  $HNO_3:HClO_4:H_2SO_4$  10:3:1). Анализы растительного материала на содержание азота, фосфора и калия (N,  $P_2O_5$ ,  $K_2O$ ) проводили по общепринятым методикам.

### Результаты

В вариантах без минеральных удобрений увеличение доз цинка вызывало существенное снижение продуктивности растений. Так, в варианте  $Zn_{150}$  урожай зерна был на 46% меньше, чем в  $Zn_0$  (табл. 1). На фоне минеральных удобрений отрицательное действие высоких доз цинка оказалось незначительным. Даже при самой высокой дозе цинка урожай зерна снизился по сравнению с контролем всего на 6%. Следовательно, внесение минеральных удобрений не только увеличило урожай зерна пшеницы в 2 раза, но и устранило токсическое действие повышенных доз цинка на растения. В то же время урожай соломы мало изменялся при повышении содержания цинка в почве на обоих фонах.

Содержание цинка в зерне увеличивалось при повышении уровня этого элемента в почве, причем на фоне минеральных удобрений различия вариантов с цинком по данному показателю были незначительными (табл. 2). На неудобренном фоне каждое повышение уровня загрязнения почвы цинком вызывало сильное увеличение содержания этого элемента в зерне, что, по-видимому, и явилось причиной существенного снижения продуктивности растений. Содержание цинка в соломе тоже заметно увеличивалось под влиянием цинка, причем в значительно большей степени на фоне NPK.

Имеются данные [18], что токсическое действие цинка на пшеницу начинается

Т а б л и ц а 1

Урожайность яровой пшеницы и содержание в ней цинка при разном его содержании в почве

Вариант	Без NPK				С NPK			
	урожай, г/сосуд		Zn, мг/кг		урожай, г/сосуд		Zn, мг/кг	
	зерна	соломы	в зерне	в соломе	зерна	соломы	в зерне	в соломе
$Zn_0$	6,8	11,0	44,7	27,3	13,9	24,5	57,8	30,2
$Zn_{50}$	6,3	12,3	64,2	117,3	12,8	23,9	110,2	132,1
$Zn_{100}$	5,7	11,6	95,7	172,7	13,5	23,8	123,5	170,3
$Zn_{150}$	3,7	10,4	144,3	195,5	13,0	22,3	127,0	189,7
$HC\Phi_{05}$	1,9	$F_{\Phi} < F_T$	7,5	11,4	$F_{\Phi} < F_T$	$F_{\Phi} < F_T$	14,8	13,1

Содержание основных элементов питания (% на сухое вещество) в зерне (числитель) и соломе (знаменатель) яровой пшеницы при разном содержании цинка в почве

Вариант	Без NPK			С NPK		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Zn <sub>0</sub>	1,90	0,63	0,40	2,53	0,55	0,36
	0,48	0,03	0,12	1,35	0,15	1,98
Zn <sub>50</sub>	1,95	0,66	0,43	2,56	0,53	0,36
	0,48	0,06	0,95	1,48	0,17	2,12
Zn <sub>100</sub>	1,77	0,55	0,41	2,36	0,59	0,35
	0,45	0,02	0,99	1,12	0,13	1,79
Zn <sub>150</sub>	1,70	0,53	0,47	2,71	0,62	0,41
	0,47	0,06	0,97	0,95	0,09	2,03

Таблица 3

Урожайность яровой пшеницы и содержание в ней свинца при разном его содержании в почве

Вариант	Без NPK				С NPK			
	урожай, г/сосуд		Pb, мг/кг		урожай, г/сосуд		Pb, мг/кг	
	зерна	соломы	в зерне	в соломе	зерна	соломы	в зерне	в соломе
Pb <sub>0</sub>	6,8	11,0	3,2	4,2	13,9	24,5	3,5	11,3
Pb <sub>100</sub>	6,2	11,6	6,2	10,3	14,7	21,7	5,3	15,2
Pb <sub>200</sub>	5,8	10,2	6,0	13,1	12,7	21,3	6,5	11,5
Pb <sub>300</sub>	5,3	10,2	7,0	15,7	12,4	23,4	10,6	17,9
HCP <sub>05</sub>	F <sub>ф</sub> <F <sub>т</sub>	F <sub>ф</sub> <F <sub>т</sub>	1,7	F <sub>ф</sub> <F <sub>т</sub>	F <sub>ф</sub> <F <sub>т</sub>	F <sub>ф</sub> <F <sub>т</sub>	2,2	3,2

Таблица 4

Содержание основных элементов питания (% на сухое вещество) в зерне (числитель) и соломе (знаменатель) яровой пшеницы при разном содержании свинца в почве

Вариант	Без NPK			С NPK		
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Pb <sub>0</sub>	1,90	0,63	0,40	2,53	0,55	0,36
	0,48	0,03	1,12	1,35	0,15	1,98
Pb <sub>100</sub>	1,77	0,48	0,37	2,73	0,49	0,35
	0,41	0,05	0,83	1,14	0,09	1,80
Pb <sub>200</sub>	1,88	0,45	0,35	2,44	0,53	0,38
	0,45	0,02	0,93	1,22	0,12	1,76
Pb <sub>300</sub>	1,48	0,52	0,37	2,67	0,58	0,39
	0,52	0,05	0,98	1,42	0,14	1,80

проявляться при его концентрации в растениях выше 60 мг на 1 кг сухого вещества. В нашем опыте концентрация цинка в контрольных растениях (зерно и солома) была ниже 60 мг/кг, а в вариантах, где урожайность снижалась под влиянием загрязнения почвы цинком, она всегда намного превышала этот уровень.

Содержание азота и фосфора в зерне заметно снижалось по мере повышения уровня цинка в почве на неудобренном фоне, а на фоне NPK не изменялось. Внешение цинка в почву не оказывало определенного четко выраженного действия на содержание калия как в зерне, так и соломе.

В табл. 3 видно, что загрязнение почвы свинцом снижало урожай зерна и соломы на обоих фонах питания, но в большей мере в вариантах без минеральных удобрений. Тем не менее снижение урожайности было несущественным, что свидетельствует об устойчивости пшеницы к изучаемым уровням загрязнения почвы свинцом. Применение полного минерального удобрения, как и в опыте с цинком, увеличивало продуктивность растений примерно в 2 раза.

Содержание свинца в зерне и соломе растений, выращенных на неудобренном фоне, а также в зерне растений, выращенных на фоне NPK, увеличивалось более

Урожайность яровой пшеницы и содержание в растениях цинка, свинца, азота, фосфора и калия в варианте Zn<sub>150</sub>+Pb<sub>300</sub>

Показатель	Без NPK		С NPK	
	зерно	солома	зерно	солома
Урожайность, г/сосуд	3,6 (6,8)	10,6 (11,0)	11,9 (13,9)	21,1 (24,5)
Zn, мг/кг	137,0 (44,7)	196,1 (27,3)	133,0 (57,8)	191,9 (30,2)
Pb, мг/кг	6,6 (3,2)	17,4 (4,2)	7,2 (3,5)	17,1 (11,3)
V %	2,47 (1,90)	0,79 (0,48)	2,61 (2,53)	1,05 (1,35)
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , %	0,61 (0,63)	0,08 (0,03)	0,53 (0,55)	0,09 (0,15)
K <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	0,48 (0,40)	1,13 (1,12)	0,37 (0,36)	1,79 (1,98)

Примечание. В скобках приведены данные контрольного варианта—без внесения цинка и свинца.

чем в 2—3 раза под влиянием загрязнения им почвы. Однако даже сильное повышение концентрации этого металла в растениях не вызвало существенного снижения их урожайности. Следовательно, растения оказались устойчивыми к изучаемым уровням загрязнения почвы свинцом.

Содержание азота, фосфора и калия в зерне и соломе значительно увеличивалось при внесении минеральных удобрений и мало зависело от доз свинца (табл. 4). Вместе с тем на фоне без NPK оно несколько снижалось с повышением уровня загрязнения почвы свинцом. Из этого следует, что одной из причин некоторого снижения урожайности пшеницы в вариантах со свинцом является, видимо, его угнетающее действие на поступление основных элементов питания в растения.

В варианте совместного внесения цинка и свинца на неудобренном фоне урожай зерна был на 47% ниже, чем в соответствующем контроле, а на фоне применения минеральных удобрений — всего на 14% ниже (табл. 5). Содержание цинка в зерне и соломе существенно повышалось под влиянием загрязнения почвы цинком и свинцом, причем особенно заметно это проявлялось на неудобренном фоне. Содержание свинца тоже существенно увеличивалось в зерне и соломе, но здесь внесение минеральных удобрений не оказывало заметного влияния на данный показатель. Отсюда можно сделать вывод, что при одновременном загрязнении почвы цинком и свинцом токсическое действие, проявляющееся в снижении урожайности, обуславливается главным образом высокой концентрацией цинка в растениях.

Под влиянием совместного внесения этих тяжелых металлов в почву заметно увеличивалось содержание азота в зерне и соломе растений, выращенных без применения минеральных удобрений, и почти не изменялось содержание фосфора и калия в них.

### Заключение

В вегетационном опыте загрязнение почвы цинком (50—150 мг/кг) оказывало фитотоксическое влияние на яровую пшеницу сорта Московская 35, что выразилось в значительном снижении урожайности (на 46% в наиболее сильно загрязненном варианте). Внесение минеральных удобрений (150 мг N, 100 мг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и 100 мг K<sub>2</sub>O на 1 кг почвы) почти полностью устранило токсическое действие этого металла.

Изучаемый сорт пшеницы оказался устойчивым к токсическим уровням содержания свинца в почве (100—300 мг/кг), о чем свидетельствует незначительное снижение урожайности растений как на фоне минеральных удобрений, так и без них. Загрязнение почвы одновременно цинком и свинцом (соответственно 150 и 300 мг/кг) также отрицательно сказалось на урожайности растений, что обуславливалось главным образом токсическим действием цинка.

Содержание цинка и свинца в зерне и соломе существенно увеличивалось в соответствии с повышением уровня загрязнения почвы этими элементами. Отмечено также заметное уменьшение содержания азота и фосфора в зерне при увеличении концентраций цинка и свинца в почве без внесения минеральных удобрений.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Гармаш Н. Ю. Воздействие повышенного содержания тяжелых металлов в субстрате на пшеницу и картофель. — Изв. СО АН СССР. Сер. биол. наук, 1983, вып. 10/2, с. 84—87. — 2. Гармаш Н. Ю. Тяжелые металлы и качество зерна пшеницы. — Химия в сельск. хоз-ве, 1985, т. 23, Мс 6, с. 48—49. — 3. Ильин В. Б., Гаркаш Г. А., Гармаш Н. Ю. Влияние тяжелых металлов на рост, развитие и урожайность сельскохозяйственных культур. — Агрохимия, 1985, № 6, с. 90—100. — 4. Стефанский К. С. Влияние различных соединений цинка на рост растений. — Агрохимия, 1984, № 11, с. 112—118. — 5. Baumhardt G. A., Welch L. F. — J. Environ. Quality, 1972, vol. 1, N 1, p. 92—94. — 6. Bazzaz F. A., Rolfe G. L., Windle P. — J. Environ. Quality, 1974, vol. 3, N 2, p. 156—158. — 7. Bazzaz F. A., Carlson R. W., Rolfe G. L. — Physiol. Plant., 1975, vol. 34, N 4, p. 326—329. — 8. Davies R. D., Beckett P. H. T., Wollan E. — Plant and Soil, 1978, vol. 49, N 2, p. 395—408. — 9. DeFillipis L. F., Pallyghy C. K. — Z. Pflanzenphysiol., Bd., 1976, Bd. 78, N 4, S. 314—322. — 10. DeFillipis L. F.,

- Pallaghy C. K. — *Z. Pflanzenphysiol.*, Bd., 1976, Bd. 79, N 4, S. 323—335. —
11. Early E. B. — *J. Am. Soc. Agron.*, 1943, vol. 35, N 12, p. 1012-1023. —
12. Frank R., Ishida K., Suda P. — *Canad. J. Soil. Sci.*, 1976, vol. 56, N 3, p. 181—196. —
13. Gall O. E. — *The Cit. Ind.*, 1936, vol. 17, N 1, p. 20—21. —
14. Haque A., Subramanian V. — *CRC Crit. Rev. Environ. Contr.*, 1982, vol. 12, N 1, p. 13—68. —
15. Luckey T. D., Venugopal B. — *Metal toxicity in mammals. 1. Physiologic and chemical basis for metal toxicity.* N. Y., Plenum Press, 1977. —
16. Lenihan J., Eletcher W. W. — *Environ. and Man. 2. Food, Agriculture and the Environ.* Blackie and Sons Ltd. Glasgow, 1975. —
17. Rolfe G. L. — *J. Environ. Quality*, 1973, vol. 2, N 1, p. 153—157. —
18. Takkar P. N., Mann M. S. — *Plant and Soil*, 1978, vol. 49, N 3, p. 667—669. —
19. Venugopal B., Luckey T. D. — *Metal toxicity in mammals. 2. Chemical toxicity of metals and metalloids.* N. Y., Plenum Press, 1978. —
20. Wollan E., Davies R. D., Jenner S. — *Environ. Pollut.*, 1978, vol. 17, N 3, p. 195—205.

*Статья поступила 3 июля 1986 г.*

## SUMMARY

In a green house experiment, the contamination of derno-podzolic soil with zinc (50—150 mg/kg soil) decreased the grain yield of spring wheat (cultivar Moskovskaya 35) by 7—46 percent. The application of complete fertilizers (150 mg N, 100 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and 100 mg K<sub>2</sub>O per kg soil) almost completely eliminated the phytotoxicity of this metal which was observed in the form of a decrease in yield. The wheat cultivar under study was tolerant to the higher doses of lead (100—300 mg/kg soil), both with and without the application of mineral fertilizers. The joint contamination of soil with zinc and lead in the amounts 100 and 300 mg/kg soil respectively, decreased the yield of wheat crop, mainly due to the toxic effect of zinc. The nitrogen and phosphorus contents of wheat grain also decreased with increasing levels of zinc and lead in non-fertilized soils. The zinc and lead contents of grain and straw increased substantially with increasing level of soil contamination with these elements.