

S512.1062

铁对小麦吸收不同形态镉的影响*

李花粉

郑志宇 张福锁 毛达如

(中国农业大学农业生态与环境科学系 北京 100094)

(中国农业大学植物营养系 北京 100094)

摘要 采用营养液培养方法,研究了在供铁与缺铁条件下小麦对不同镉化合物和镉污染土壤中镉的吸收和转移,同时还研究了陪伴阴离子对小麦吸收镉的影响。结果表明:缺铁培养小麦植株地上部及根中的含镉量均显著高于正常供铁培养的小麦,小麦对不同镉化合物的吸收量不同,其吸收的多寡顺序依次为: $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 > \text{CdSO}_4 > \text{CdO}$ 。

关键词 植物铁载体, 镉, 小麦, 陪伴阴离子。

EFFECT OF IRON UNTRITIONAL STATUS ON THE UPTAKE OF Cd FROM DIFFERENT COMPOUNDS BY WHEAT PLANTS

LI Hua-Fen

(Department of Agroecology and Environmental Science, China Agricultural University, Beijing, 100094, China)

ZHENG Zhi-Yu ZHANG Fu-Suo MAO Da-Ru

(Department of Plant Nutrition, China Agricultural University, Beijing 100094, China)

Abstract Solution culture experiments were conducted to study the effect of iron nutritional status on Cd absorption from various forms by wheat plants (*Triticum aestivum* L.) and the influence of accompanying anions on wheat uptake of cadmium. The results demonstrated that the Cd uptake by wheat plants from nutrient solution and also soil was affected by iron nutritional status. The Cd concentration in shoot and root of wheat plants grown in iron-deficient nutrient solution was higher than that in iron-sufficient nutrient solution. Adding various compounds of cadmium to nutrient solution, the content of Cd uptake by wheat plants showed the following pattern: $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 > \text{CdSO}_4 > \text{CdO}$.

Key words phytosiderophore, cadmium, wheat, accompanying anions.

自从 50 年代中期,在日本由于土壤镉污染引起的骨痛病发生以来,镉污染问题引起了全世界的普遍关注。近几年来,镉米在中国几个地区也相继发现,促使了我国对镉污染的研究予以足够的重视。镉污染土壤的途径有大气沉降^[1],污染灌溉和污泥农用^[2],肥料的施用^[3],采矿和金属加工^[4]。

植物对土壤中镉的吸收和积累受许多因素的影响,主要包括土壤 pH、土壤的物理化学特性、镉的形态和镉在介质中的浓度等^[5-7]。无机态的镉比有机态的镉对植物更有效,水溶无机态镉总比非水溶性的更有效。Francis 和 Rush^[8]报道了生长在镉处理的酸性土壤上的 *Echinochloa frumentacea* Link 对镉的吸收,水

* 国家自然科学基金资助项目(批准号:39600032)和博士点基金项目。

收稿日期:1996-11-12,修改稿收到日期:1997-04-08。

溶性 CdCl_2 处理的植物对镉的吸收大约是非水溶性 CdO 的两倍。

铁的营养状况对植物吸收镉也有一定的影响^[6]。禾本科单子叶植物具有一种特殊的适应缺铁机理,即根分泌一种被称为植物铁载体的特殊化合物(属于一种非蛋白质氨基酸),这种有机分泌物可以与土壤中的 Fe^{3+} 配合从而活化根际中难溶性铁,并以配合物分子态的形式被植物吸收^[16]。禾本科植物分泌的铁载体对铁的活化具有非专一性,即其不仅能活化土壤中难溶性铁和锰,也能活化锌和铜^[11]。

目前虽然对根分泌物与有毒重金属元素的配合作用有了一些研究,但对这一过程在协调重金属与植物之间关系中的作用有多大尚不清楚。本文在室内控制条件下研究了铁对小麦吸收不同形态镉的影响。

1 材料与方法

1.1 植物培养

小麦种子(*Triticum aestivum* L. 品种为农大 015)在发芽前用自来水浮选去掉瘪粒,之后用 30% H_2O_2 溶液消毒 30min 用水冲洗几次后,将其播于用饱和 CaSO_4 湿润过的石英砂中,用黑塑料布盖好,3~4d 后将塑料布揭开,当小麦长出第 1 片真叶时,将幼苗小心移栽于自来水中培养 1 天后,供应 1/2 浓度的营养液,营养液 pH 用稀酸或稀碱调至 6.3,两天后供应正常浓度的营养液,每隔一天换一次营养液。

植物生长条件 光照时间为 14h,其间温度为 25℃ 左右,暗期 10h,温度 15℃ 左右。相对湿度保持在 60%~70%,光照强度为 $240\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ 。

标准营养液的组成(mol/L) K_2SO_4 0.75×10^{-3} ; $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 2.0×10^{-3} ; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.65×10^{-3} ; KH_2PO_4 0.25×10^{-3} ; KCl 1.0×10^{-3} ; H_3BO_3 1.0×10^{-6} ; $\text{MgSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 1.0×10^{-6} ; $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 1.0×10^{-6} ; $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 5.0×10^{-7} ; $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 5.0×10^{-8} 。缺铁处理的营养液中不含铁(-Fe),加铁处理的营养液中含有 $1 \times 10^{-4}\text{mol/L}$ Fe-EDTA。

1.2 设置处理

小麦培养用 1 升瓷盆,每盆 15 株苗,两个供铁水平,营养液中 Fe-EDTA 浓度分别为 0.0mol/L (-Fe) 和 $1.0 \times 10^{-4}\text{mol/L}$ (+Fe)。小麦用完全营养液培养 1 周后,分别进行 +Fe 和 -Fe 营养液培养,18d 后进行加镉处理,镉化合物有 3 种不同形态: $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ 、 CdSO_4 和 CdO ,浓度均为 $1.0 \times 10^{-6}\text{mol/L}$,另一处理是被镉污染的土壤,取自沈阳张士污灌区,镉含量为 2.34mg/kg 风干土,称 50g 土壤(过 1mm 筛)装入长条尼龙袋后,置于营养液中通气。试验共设 8 个处理,每个处理重复 3 次。

1.3 样品采集与分析

加镉处理 57h 后取样,小麦根用蒸馏水冲洗,用吸水纸吸干。地上部和根杀青后在 60℃ 烘箱中烘干后磨碎备用。样品分析采用干灰化法,在 500℃ 马福炉中灰化 10h 后,用 1:30 HNO_3 (优级纯)溶解,用日立 Z-8000 原子吸收分光光度计法测定地上部和根中的镉。溶液中 Cd 浓度高于 0.01mg/kg 时用火焰光度法,小于 0.01mg/kg 时用石墨炉法测定(环境污染分析方法,1987)。

2 结果与分析

2.1 铁对小麦生长状况的影响

小麦生长 20d 后取样测定其生物量(表 1),缺铁营养液培养的小麦幼叶明显黄化,表现出典型的缺铁症状,而正常供铁培养的小麦生长正常,没有表现出黄化现象。并且前者地上部和根干重均低于正常供铁培养的小麦,说明缺铁明显抑制了植株的生长。

2.2 铁对小麦植株吸收不同镉化合物的影响

从取样分析的结果(图 1、2)可以看出,不论是使用 $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ 、 CdSO_4 、 CdO 还是镉污染的土壤,在缺铁条件下小麦地上部和根中镉的含量均高于加铁处理。即使使用 CdO 、小麦地上部和根中镉的

表 1 铁的营养状况对小麦地上部和根干重的影响
(g/6 株)

Table 1 Effect of iron nutritional status on dry weight of wheat plants (g/6 plants)

Cd 的形态 Forms of Cd	地上部干重(g) Dry weight of shoot		根干重(g) Dry weight of root	
	+Fe	-Fe	+Fe	-Fe
$\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$	0.59	0.36	0.12	0.05
CdSO_4	0.55	0.33	0.12	0.06
CdO	0.62	0.39	0.14	0.07
土壤中镉	0.58	0.42	0.11	0.08
Cd in soil				

含量在缺铁培养时也高于加铁培养的,说明能活化难溶性铁的根分泌物也可能活化难溶性镉。镉污染土壤处理条件下,正常供铁培养的小麦植株地上部和根中镉的含量分别为 0.14、3.24mg/kg,而缺铁预培养的小麦植株地上部和根中镉的含量分别为 0.34、8.48mg/kg,明显高于加铁培养的。

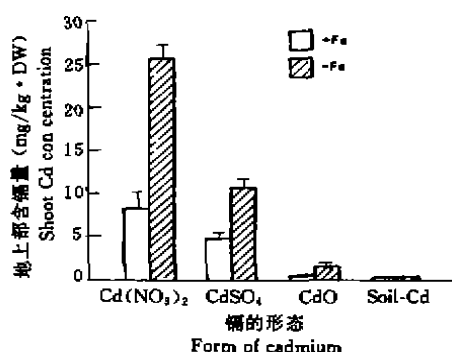


图 1 不同形态镉处理 57h 后地上部镉的含量

Fig. 1 Contents of Cd in shoot of wheat 57 h after treatments with different forms of cadmium

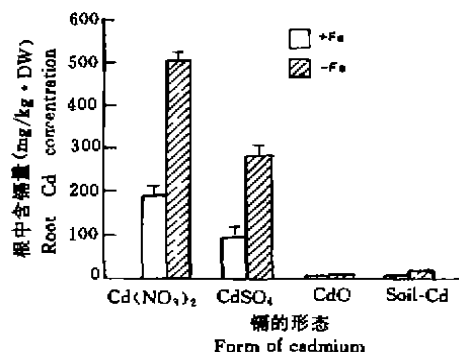


图 2 不同形态镉处理 57h 后小麦根中镉的含量

Fig. 2 Contents of Cd in root of wheat 57 h after treatments with different forms of cadmium

2.3 不同铁营养状况对小麦植株吸收镉总量的影响

虽然缺铁培养的小麦植株的生物量受到了影响,但从表 2 和表 3 可以看出,加镉处理 57h 后,小麦植株地上部和根中镉的吸收总量,缺铁培养的还高于正常供铁培养的,但 CdO 处理的根吸镉总量没有表现出差异。在 Cd(NO₃)₂ 和 CdO 处理时,缺铁培养小麦植株地上部吸镉总量比正常供铁培养的小麦植株地上部吸镉总量高近 1 倍,Cd(NO₃)₂ 和土壤处理时,前者也比后者高近 30%。在 Cd(NO₃)₂ 和 CdO 处理时,根中吸镉总量,正常供铁培养和缺铁培养的差异不大,但 CdSO₄ 和土壤处理时,前者明显高于后者。

表 2 不同形态的镉处理 57h 后小麦地上部镉的总量
Table 2 Total of Cd in shoot of wheat 57 h after treatments with different forms of cadmium

Cd 的形态 Forms of Cd	Cd(NO ₃) ₂	CdSO ₄	CdO	土壤中镉 Cd in soil
+Fe	4.85	2.63	0.34	0.08
-Fe	9.22	3.60	0.60	0.12

表 3 不同形态的镉处理 57h 后小麦根中镉的总量
Table 3 Total of Cd in root of wheat 57 h after treatments with different forms of cadmium

Cd 的形态 Forms of Cd	Cd(NO ₃) ₂	CdSO ₄	CdO	土壤中镉 Cd in soil
+Fe	22.81	11.17	0.24	0.42
-Fe	25.24	16.94	0.26	0.83

2.4 陪伴阴离子对小麦吸收镉的影响

从图 1 和图 2 中可以看出,培养液中添加 1.0×10^{-6} mol/L 不同形态的镉化合物时,小麦植物对镉的吸收有明显差异,3 种镉形态处理的小麦植株含镉量高低顺序为: Cd(NO₃)₂ > CdSO₄ > CdO。

3 讨论

禾本科植物在铁胁迫下根可以向外分泌麦根酸,这种化合物能促进三价铁从土壤中溶出,从而增强铁的有效性^[10]。然而禾本科植物对缺铁胁迫的适应机制并不具有元素专一性,一些难溶性锰化合物例如 MnO₂ 也能被溶解^[12],其它的元素如镉也可能被溶解,从而使其有效性增强。本试验的结果证实了这种可能性。从试验结果可以看出,缺铁培养的小麦植株地上部和根中镉的含量均显著高于正常供铁培养的,这可能与根分泌物的作用有关。小麦缺铁条件下,根分泌物中起主要作用的是植物铁载体。缺铁小麦中镉的积累可能和根分泌物与 Cd 的相互作用有关,据推测缺铁条件下,根分泌物的增加可能增加了难溶性 Cd 的有效性。虽然根分泌物对重金属有一定的配合作用,但是重金属是以配合物分子态被吸收,还是根分泌物把难溶态重金属配合后以离子态被植物吸收,还有待进一步深入研究。禾本科单子叶植物在缺铁条件下,Fe(III)PS

吸收系统被激活,这个吸收系统可以吸收植物铁载体配合态的铁^[12]。从本试验的结果推测此吸收系统对镉的吸收也可能有一定的作用,但这方面的研究在文献中尚未见报道。在缺铁和加铁的条件下无论植物吸收镉的生理和生化过程如何,与加铁培养的小麦相比,缺铁培养的小麦确实能富集较多的镉,这个结果支持了在缺铁土壤上有可能促进有毒元素吸收的假设。

试验结果表明加 $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ 处理的小麦吸镉量高可能是由于小麦吸收 NO_3^- 多,促进了相伴阳离子镉的吸收,而 CdO 难溶于水因而不易被植物吸收。有关陪伴阴离子对镉吸收的影响,机理方面的研究很少,仍有待进一步深入探讨。

参 考 文 献

- 1 Nriagu J O and Pacyna J M. Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils. *Nature*, 1988, **333**:134~139
- 2 吴燕玉,陈 涛,孔庆新.我国农田土壤的重金属污染及其防治,土壤通报,1986,17(4):187~189
- 3 Kevin C J, Jones K C, Jackson A P, et al. Evidence of an increase in Cd content of herbage since the 1960s. *Environ. Sci. Tech.* 1992, **26**(4):834~836
- 4 王凯荣,郭 森,何电源,等.重金属污染对稻米品质影响的研究.农业环境保护,1993,12(6):254~257
- 5 Eriksson J E. The influence of pH, soil type and time on adsorption and uptake by plants of Cd added to the soil. *Water Air Soil Pollut.* 1989, **48**:317~335
- 6 Eriksson J E. A field study on factors influencing Cd levels in soil and in grain of oats and winter wheat. *Water Air Soil Pollut.* 1990, **53**:69~81
- 7 Page A L, Bingham F T and Nelson C. Cadmium absorption and growth of various plant species as influenced by solution cadmium concentrations. *J. Environ. Qual.* 1972, **1**:228~291
- 8 Francis C W and Rush S G. Factors affecting uptake and distribution of cadmium in plants. Proc. Univ. Mo. Annu. Conf. Trace Subst. *Environ. Health*. 1973, **7**:75~81
- 9 Rodecap K D, Tingey D J and Lee E H. Iron nutrition influence on cadmium accumulation by *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh. *J. Environ. Qual.* 1994, **23**(2):239~246
- 10 Marschner H, Römheld V and Kissel M. Different strategies in higher plants in mobilization and uptake of iron. *J. Plant Nutr.* 1986, **9**:695~713
- 11 Zhang F S, Treeby M, Römheld V, et al. Mobilization of iron by phytosiderophore as affected by other micronutrients. *Plant and Soil*, 1991, **130**:173~178
- 12 Marschner H. *Mineral nutrition of higher plants*. Academic Press, New York, 1986
- 13 Römheld V and Marschner H. Genotypical differences among graminaceous species in release of phytosiderophores and uptake of iron phytosiderophores. *Plant Soil*. 1990, **123**:147~153