

不同土壤性质和 P 水平下土壤-植物系统中的 Zn-Cd 交互作用研究

赵中秋¹, 蔡运龙¹, 朱永官²

(1.北京大学环境学院, 北京 100871; 2.中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085)

摘要:采用 Zn 背景值和 P 含量都较高的肥沃的农田粘质土和缺 Zn 缺 P 的贫瘠的沙质土进行盆栽试验,研究了不同土壤性质和 P 水平对土壤-植物系统中 Zn-Cd 交互作用的影响。结果表明,在试验 1 非缺 Zn 的土壤条件下,施 Zn(0~100 mg·kg⁻¹)对小麦幼苗体内 Cd 的浓度无明显影响,只有在 Zn 浓度高至污染水平(1 000 mg·kg⁻¹ 土)时,才显著降低小麦幼苗体内 Cd 浓度;而在试验 2 缺 Zn 缺 P 的土壤条件下,施加低浓度的 Zn(0~10 mg·kg⁻¹ 土)即显著影响了小麦幼苗对 Cd 的吸收($P<0.001$)。施加试剂纯的 P(CaHPO₄)也显著影响了小麦幼苗根和地上部的 Cd 浓度,过去多认为 P 肥促进植物对 Cd 的吸收是由于 P 肥中含有一定量的 Cd 所致,试验结果提示了 P 肥促进植物对 Cd 的吸收与 P 元素本身也有关系。

关键词:土壤性质; P; Zn; Cd; 小麦

中图分类号:S154.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-2043(2005)06-1041-07

Zinc-Cadmium Interaction in Soil-Plant Systems Under Different Soil Properties and Phosphorus Levels

ZHAO Zhong-jiu¹, CAI Yun-long¹, ZHU Yong-guan²

(1. College of Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871, China; 2. Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China)

Abstract: To investigate the effects of soil properties and phosphorus (P) levels on zinc (Zn)-cadmium (Cd) interaction in soil-plant systems, two pot experiments were conducted. The soil used in experiment 1 was fertile clay with high levels of Zn and P, while, the soil in experiment 2 was arid sandy soil deficient of Zn and P. The results showed that, in experiment 1, addition of Zn (2~100 mg·kg⁻¹) to soil had no significant effects on Cd concentrations in wheat (*Triticum aestivum*, L.) seedlings grown in Zn-affluent soils, and only when the added Zn was up to severe contamination, Cd uptake by wheat was inhibited significantly. In experiment 2, however, even low levels of Zn addition (1~10 mg·kg⁻¹) had significant effects on Cd uptake by wheat ($P<0.001$). Addition of reagent pure P (CaHPO₄) also had significant effects on Cd concentrations in shoots and roots of plants. In the past, it was generally ascribed to Cd impurity in P fertilizer that P fertilizer increased the absorption of Cd in wheat, but according to the above results, we suggested that P element itself had effects on Cd uptake by plants and Cd transfer from root to shoot.

Keywords: soil properties; phosphorus; zinc; cadmium; wheat

人类活动造成的土壤 Cd 污染在世界范围内普遍存在并日趋严重,土壤中的 Cd 易于随食物链迁移

并在人体内积累,导致各种 Cd 中毒性疾病的发生,对人类健康造成了严重威胁。Zn 与 Cd 为同族元素,同居锌分族,化学性质极其相似,具有接近相等的离子半径和相同的价态,但与 Cd 不同的是,Zn 对人体和动植物都是必需的微量元素。因此 Zn、Cd 交互作用对 Cd 在土壤-植物系统中迁移转化的影响早已引起关注。但由于研究结果复杂多样,目前仍没有统一

收稿日期:2005-03-02

基金项目:国家自然科学基金资助重点项目(40335046);中科院“百人计划”项目

作者简介:赵中秋(1975—),女,博士后研究人员,主要研究土壤污染及其环境效应、土地可持续利用等。

E-mail: zq_zhao@pku.edu.cn

的认识。一般认为,影响 Zn-Cd 交互作用的因素主要是土壤性质(包括背景 Zn 含量)、植物种类和 Cd/Zn 比值等。近年来陪伴阴离子 Cl^- 和 SO_4^{2-} 对植物吸收 Cd 的影响也逐渐受到关注和被证实^[1]。除此之外,土壤 P 水平可能也是一个不可忽视的因素,尤其是在低 P 或高 P 土壤。对不同土壤性质进行比较研究的报道尚未见报道。

本文通过采用土壤性质差异较大的 2 种土壤类型进行小麦盆栽试验,比较研究了不同土壤性质和 P

水平下土壤-植物系统中的 Zn-Cd 交互作用。

1 材料与方法

1.1 试验 1

1.1.1 土壤

土样采自中国科学院石家庄栾城生态试验站(0~25 cm),为肥沃的粘质土,Zn 背景值和 P 含量都较高。土样基本理化性质分析参照中国土壤学会提供的方法^[2],分析结果见表 1 中试验 1。

表 1 盆栽试验供试土壤的基本理化性质

Table 1 Basic chemical properties of the soil used in the pot experiment

土壤	pH 值	有机质 /%	速效氮 /mg·kg ⁻¹	速效磷 /mg·kg ⁻¹	速效钾 /mg·kg ⁻¹	总 Zn /mg·kg ⁻¹	总 Cd /mg·kg ⁻¹
实验 1	7.7	1.4	80.0	24.1	198.7	176.6	0.1
实验 2	8.7	0.37	44.3	3.9	36.9	36.9	n.d.*

注:n.d.为未检出。

1.1.2 试验方案

设 4 个 Cd(CdCl_2)浓度 0、15、30、50 mg Cd·kg⁻¹ 土和 5 个 Zn(ZnSO_4)浓度 0、2、10、100、1 000 mg Zn·kg⁻¹ 土,共 20 个处理,每处理 3 个重复。各处理施以等量的氮、磷、钾肥:200 mg N·kg⁻¹ 土(尿素)、133 mg P_2O_5 ·kg⁻¹ 土(磷酸氢钙)、133 mg K_2O ·kg⁻¹ 土(硫酸钾)。处理后的土样充分混匀后,装入塑料盆,每盆装土 1 kg,放入温室,按 15%含水量加水平衡 1 周。

1.1.3 植物培养

冬小麦(*Triticum aestivum*, L)科农 9204 种子用 10%的 H_2O_2 消毒 10 min,用自来水冲洗后催芽,发芽的种子均匀地播在每盆土样上,每盆 6 粒。待幼苗长至 2~3 cm,进行间苗,每盆保留 3 株。幼苗每 3 d 浇水 1 次,保持 15%的土壤含水量。温室保持 18℃左右的温度。小麦幼苗生长 9 周后收获。

1.1.4 植株分析

收获的小麦幼苗分成根和地上部分,根用去离子水充分洗净,于 70℃烘箱中烘 48 h,称其干重。称重后的根和地上部分干样于玛瑙研钵中研碎,取 0.25 g 加入 5 mL 优级纯混合酸($\text{HNO}_3\text{:HClO}_4\text{:6:1}$)160℃下消煮 8 h。消煮液用高纯水定容至 50 mL,溶液中的 Cd 浓度用 ICP-OES (Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry, Optima 2000 DV, Perkin Elmer, USA)测定。

1.1.5 数据分析

所有试验数据均用 ANOVA (6th ed., NAG Ltd, England)统计分析。

1.2 试验 2

1.2.1 土壤

采自北京市南郊(0~25 cm),为严重缺 Zn 缺 P 的贫瘠沙质土。土壤基本理化性质见表 1 中试验 2。

1.2.2 试验方案

设 4 个 Zn(ZnSO_4)浓度 0、1、5、10 mg Zn·kg⁻¹ 土和 4 个 P(CaHPO_4)浓度 0、10、50、100 mg P·kg⁻¹ 土,共 16 个处理,每处理 4 个重复。各处理添加同一浓度的 Cd(CdCl_2) 6 mg Cd·kg⁻¹ 土,并施以等量的氮、钾肥:200 mg N·kg⁻¹ 土(尿素)、133 mg K_2O ·kg⁻¹ 土(硫酸钾)。处理后的土样充分混匀后,装入塑料盆,每盆 1 kg 土,放入温室,按 15%含水量加水平衡 1 周。

1.2.3 植物培养和分析

植物培养和分析同试验 1。

2 结果与分析

2.1 试验 1

2.1.1 生物量

从表 2 可以看出,在 0~100 mg·kg⁻¹ 的 Zn 浓度范围内,地上部分生物量随 Cd 浓度的增加而降低,50 mg·kg⁻¹Cd 浓度下地上部生物量仅为不加 Cd 时的生物量的 50%。0~100 mg·kg⁻¹ 的 Zn 对地上部生物量无显著影响,但 1 000 mg·kg⁻¹ 的 Zn 极其显著地降低了地上部生物量,整株幼苗完全失绿,枯黄矮小,表明幼苗已严重受到 Zn 的毒害,见图 1。该浓度下,Zn 毒害作用完全抑制了幼苗的生长,所以 Cd 处理之间幼苗生物量的差异不再显著。除 Cd50×Zn1 000 mg·kg⁻¹

外, 根部生物量随 Cd、Zn 浓度变化的趋势与地上部相似。Cd50×Zn1 000 mg·kg⁻¹ 处理的幼苗根生物量显著低于 Cd0×Zn1 000 mg·kg⁻¹。

2.1.2 植物 Cd 浓度

由于土壤本底 Cd 浓度比较低 (0.1 mg·kg⁻¹ 左右), 未加 Cd 处理的幼苗地上部 Cd 含量非常低, 未

表 2 不同 Cd、Zn 浓度水平处理的土培条件下冬小麦地上部和根部生物量

Table 2 Shoot and root biomass (g·pot⁻¹) of winter wheat plants grown in pot culture with different additions of Cd and Zn

植株部位	Cd 处理 /mg · kg ⁻¹ 土	Zn 处理/mg · kg ⁻¹ 土				
		0	2	10	100	1000
地上部	0	2.89±0.11	2.93±0.06	3.09±0.04	2.58±0.04	0.23±0.01
	15	2.34±0.05	2.40±0.07	2.35±0.05	2.42±0.04	0.24±0.01
	30	1.31±0.03	1.43±0.05	1.63±0.03	1.62±0.06	0.24±0.01
	50	1.32±0.06	1.23±0.03	1.25±0.07	1.02±0.04	0.23±0.02
		方差分析				
	Cd	P<0.001				
	Zn	P<0.001				
	Cd-Zn	P<0.001				
	0	1.13±0.05	1.06±0.05	1.06±0.03	0.99±0.05	0.13±0.01
	15	0.92±0.05	0.82±0.07	0.84±0.02	0.86±0.01	0.15±0.01
根部	30	0.51±0.03	0.49±0.01	0.54±0.02	0.62±0.02	0.17±0.02
	50	0.51±0.04	0.51±0.03	0.51±0.04	0.47±0.02	0.09±0.01
		方差分析				
	Cd	P<0.001				
	Zn	P<0.001				
	Cd-Zn	P<0.001				

检测出。其余处理的幼苗地上部 Cd 浓度均随着 Cd 处理水平的提高而逐渐升高,见表 3。低浓度的 Zn 处理(2、10 mg·kg⁻¹)对地上部 Cd 浓度的影响不显著。15 和 30 mg·kg⁻¹ 的 Cd 水平下高浓度的 Zn(100 和 1 000

mg·kg⁻¹)明显降低了地上部 Cd 含量,50 mg·kg⁻¹Cd 水平下的幼苗 Cd 浓度仅受到 1 000 mg·kg⁻¹ Zn 的抑制。根部 Cd 浓度远高于地上部,表明 Cd 向地上部的迁移系数较小。根部 Cd 浓度亦随土壤 Cd 水平的

表 3 不同 Cd、Zn 浓度水平处理的土培条件下冬小麦地上部和根部 Cd 浓度

Table 3 Concentrations of Cd (mg·kg⁻¹) in shoots and roots of winter wheat plants grown in pot culture with different application rates of Zn and Cd

植株部位	Cd 处理 /mg · kg ⁻¹ 土	Zn 处理/mg · kg ⁻¹ 土				
		0	2	10	100	1000
地上部	0	n.d.*	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
	15	39.8±2.07	40.1±1.56	39.4±1.60	28.1±0.65	22.5±0.37
	30	70.1±2.67	69.8±4.54	64.8±4.00	54.3±3.64	37.3±2.72
	50	76.4±1.68	77.6±1.17	72.7±1.85	74.6±6.33	41.5±3.44
		方差分析				
	Cd	P<0.001				
	Zn	P<0.001				
	Cd-Zn	P=0.007				
	0	1.2±0.2	1.7±0.3	0.6±0.1	4.7±0.8	2.8±1.7
	15	195±1.9	221±15.9	185±1.1	150±5.3	121±4.4
根部	30	419±1.4	389±8.1	392±6.1	281±5.0	251±13.8
	50	579±20.4	666±60.7	479±35.6	495±35.8	282±12.3
		方差分析				
	Cd	P<0.001				
	Zn	P<0.001				
	Cd-Zn	P<0.001				

注:n.d.为未检出。

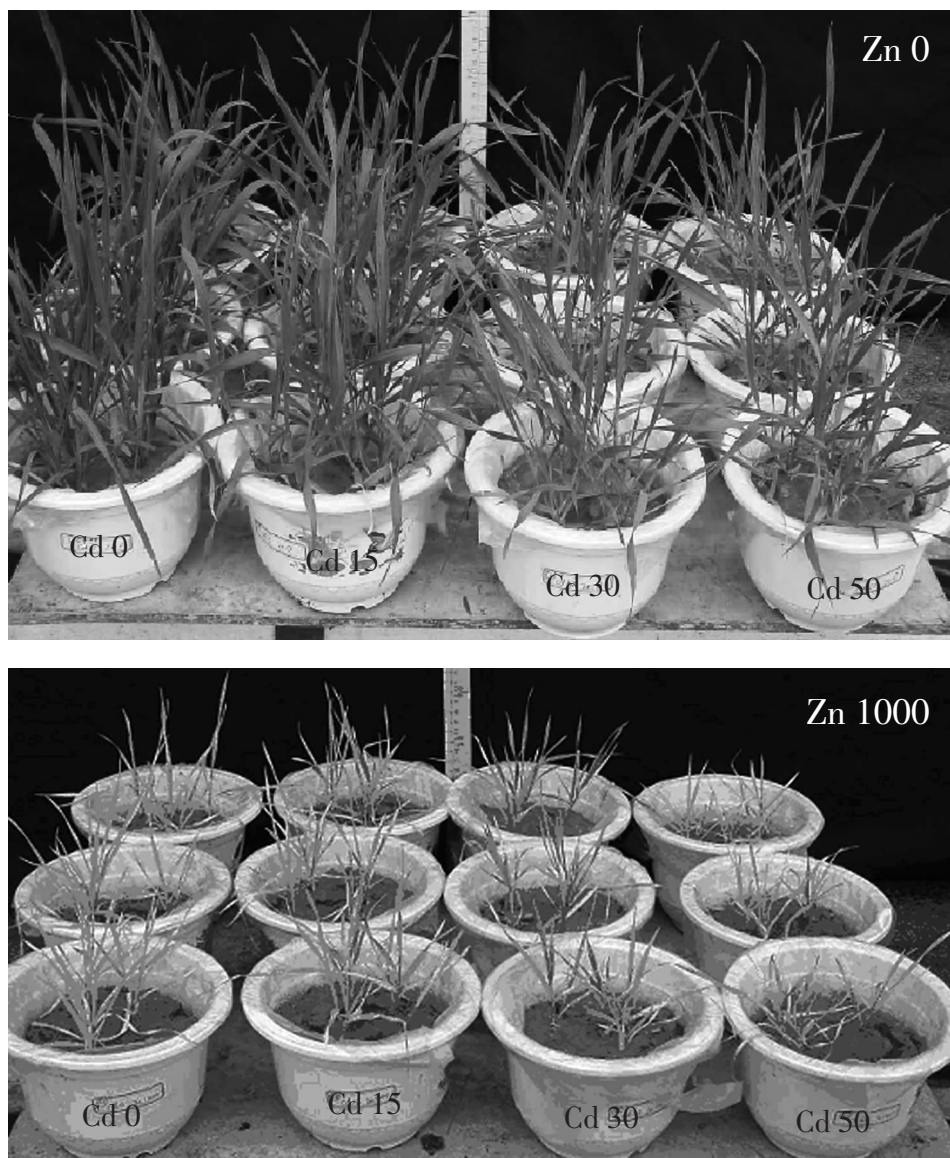


图 1 不同 Zn、Cd 水平下小麦幼苗的生长状况

Figure 1 Growth of wheat seedlings under various treatments of Zn and Cd

升高而升高。在 15 和 30 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ Cd 水平下, 2 和 10 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的 Zn 处理对幼苗根部 Cd 浓度无显著影响; 100 和 1 000 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的 Zn 则显著抑制了根部对 Cd 的吸收, 与地上部相似。50 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ Cd 水平下, 10~1 000 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的 Zn 均显著降低了根部 Cd 浓度。

2.2 试验 2

2.2.1 生物量

施 P 显著促进了幼苗的生长, 未施 P (0 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) 和 10 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ P 处理的幼苗生长远差于 50 和 100 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ P 处理, 在生长后期, 未施 P 处理的幼苗仍非常矮小, 并失绿枯黄。而 50 和 100 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ P 处理的幼苗长势良好, 见图 2。Zn 处理对幼苗生长的影响不

如 P 明显, 但差异也达到了统计显著水平 ($P<0.001$), 见图 3。从 0~5 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ Zn 处理, 幼苗生物量随 Zn 浓度的升高逐渐增加, 而在 10 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ Zn 处理下, 幼苗生长又受到抑制。P-Zn 交互作用对幼苗生物量也有显著的影响 ($P<0.001$), 尤其是在高 P 水平下。在 50 和 100 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ P 处, 高浓度 Zn (10 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) 明显降低了幼苗地上部和根部的生物量。

2.2.2 Cd 的吸收

由图 4 可以看出, 地上部 Cd 的浓度 (10~25 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) 远低于根中 Cd 的浓度 (60~120 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), 后者是前者的 6 倍左右, 表明 Cd 在小麦幼苗从根向地上部的迁移率较低, 与试验 1 结果相似。P、Zn 对 Cd 在幼

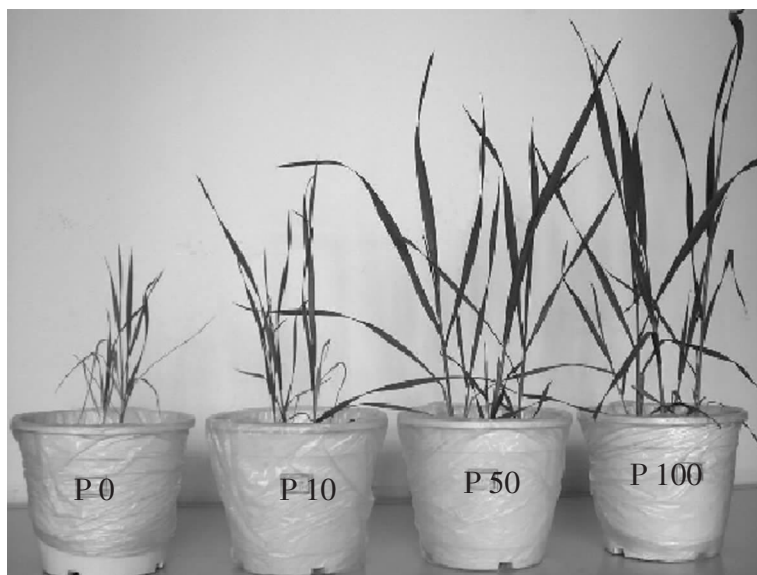
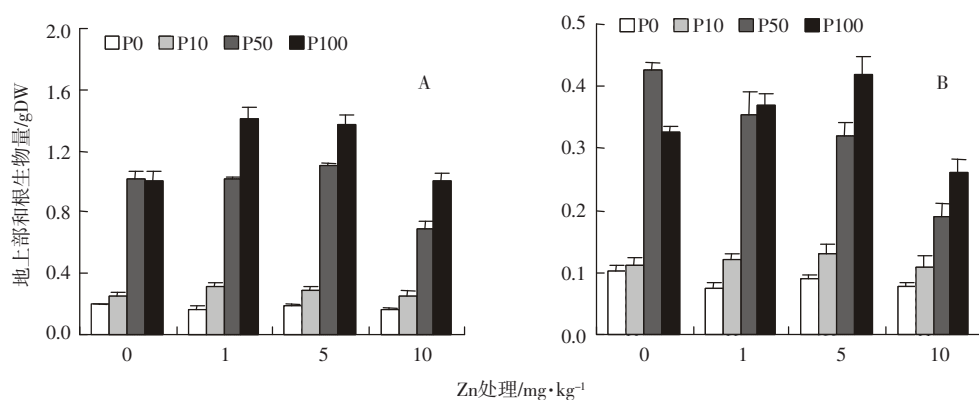
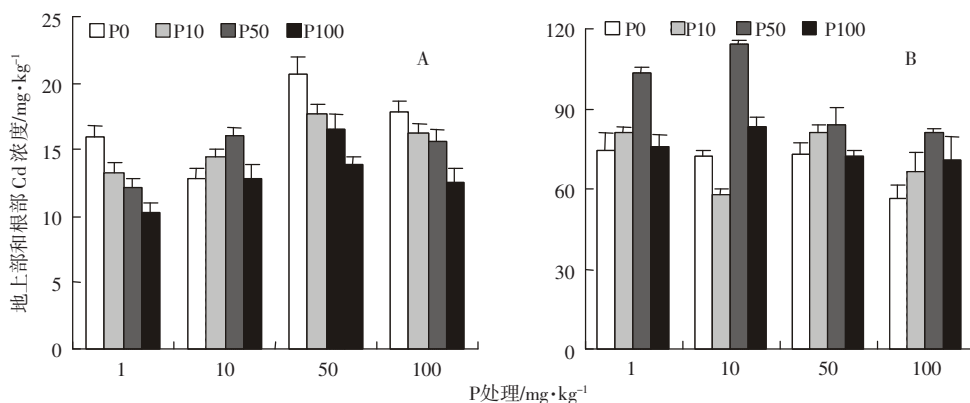


图 2 不同 P 水平下的小麦幼苗生长状况

Figure 2 Growth of wheat seedlings under various treatments of P

图 3 P、Zn 处理对 $6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的 Cd 浓度下生长的冬小麦幼苗的地上部(A)和根部(B)生物量的影响Figure 3 Effects of P and Zn supply on biomass of shoots (A) and roots (B) of winter wheat seedlings treated with $6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ of Cd图 4 P、Zn 处理对 $6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的 Cd 浓度下生长的冬小麦幼苗地上部(A)和根部(B)Cd 浓度的影响Figure 4 Effects of P and Zn supply on Cd concentrations in shoots (A) and roots (B) of winter wheat seedlings treated with $6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ of Cd

苗地上部和根中的积累的影响均达到统计上的显著水平,但二者却表现出相反的影响效应。一般,施 P 提高了地上部 Cd 的浓度($P<0.001$),而施 Zn 则降低地上部 Cd 的浓度($P<0.001$);相反,除 $10\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ Zn 外,施 Zn 提高了根中 Cd 的浓度($P<0.001$),由未施 Zn 的 $69.2\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 提高至 $5\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ Zn 的 $95.8\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。P 对根中 Cd 浓度的影响也与 Zn 相反,施 P 降低根中 Cd 浓度($P<0.001$)。上述结果表明,P、Zn 不但影响小麦幼苗对 Cd 的吸收积累,而且影响 Cd 从根向地上部的迁移,且效应相反。

3 讨论

试验 1 的结果显示,Cd、Zn 在冬小麦幼苗生物量以及植株 Cd 浓度上都表现出了显著的交互作用。在不加 Cd 的情况下,添加 Zn 并未显著促进幼苗的生长,表明试验所用的土壤不缺 Zn,土壤本底 Zn 对植物生长是充足的。该结果与 Nan 等^[9]的试验结果一致,施加 Zn 不一定抑制植物对 Cd 的吸收,这可能与所用非缺 Zn 土壤有关。有人认为,降低 Cd 在小麦籽实中积累的方法之一就是土壤或植物叶片施加 Zn 肥^[4-6]。然而,从本试验结果来看,在本试验的土壤条件下,只有高浓度的 Zn($100\sim 1\,000\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)才对 Cd 的吸收和积累产生抑制效应,而这样高的 Zn 水平已远远超过了植物本身对 Zn 的营养需求,甚至造成了严重的毒害作用。虽然 $100\sim 1\,000\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的 Zn 显著降低了植物体内的 Cd 浓度,但这种效应并未真正对植物的生长起任何促进作用,这种拮抗作用对土壤的 Cd 污染胁迫并未表现出任何缓解作用。

由于许多国家生产的商业 P 肥中都含有一定量的 Cd,因此过去一般认为施 P 肥促进植物对 Cd 的吸收是由于 P 肥中含有 Cd 所致^[7-9]。然而,在本试验(试验二)中,我们施 P 处理所用的是试剂纯的 CaHPO_4 ,Cd 杂质极其微量,可忽略不计,结果却显著促进了小麦幼苗对 Cd 的吸收,而且对 Cd 从根部向地上部的转运也有影响。Choudhary 等^[10]在土培试验中以及 Yang 等^[11]在水培实验中施加试剂纯的 P 也发现了相似的结果。这说明 Cd 吸收的增加可能与 P 元素本身有关。P 元素对 Cd 吸收影响的机理尚不清楚,P 可能通过影响土壤 pH 值、Zn 的有效性等来影响植物对 Cd 的吸收,这有待于今后进一步研究。

在试验 2 中,施加少量的 Zn 就已对 Cd 的吸收产生了显著的影响。除 $10\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ P 处理外,其他所有 P 水平下,施 Zn 均显著降低了地上部的 Cd 浓度,这

与试验 1 中 Zn-Cd 交互作用的试验结果很不一致。试验 1 中, $0\sim 100\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的 Zn 对小麦幼苗中的 Cd 浓度都没有明显的影响,只有 $1\,000\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的 Zn 才对小麦幼苗中的 Cd 浓度表现出明显的抑制效应。

试验表明,导致这种差异的主要原因是试验 1 和试验 2 中所用土壤样品在土壤基本性质和土壤 Zn 背景值上存在着很大的差异。前者所用土样为农田肥沃的适耕粘质土,且 Zn 背景含量非常高($176\text{ mg Zn}\cdot\text{kg}^{-1}$ 土),当土壤中加入低浓度的 Zn 时,加入的 Zn 量与土壤背景 Zn 相比相当小,甚至可以忽略不计;而且,由于土壤性质决定了其吸附性较强,加入的 Zn 大部分被土壤颗粒所吸附。在这样的条件下,施加 $0\sim 100\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的 Zn 对小麦幼苗体内的 Cd 浓度均无明显影响,只有 $1\,000\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的 Zn 水平才显著抑制了小麦幼苗对 Cd 的吸收。过去不少报道认为施加 Zn 不一定对 Cd 的吸收产生明显的抑制效应也就不难理解了。而后者试验中的土壤与上述土壤性质相反,为贫瘠的沙质土,且 Zn 背景含量与前者相比也较低($36.9\text{ mg Zn}\cdot\text{kg}^{-1}$ 土),这种沙质土所含土壤胶体极少,对 Zn 的吸附能力非常低,施进的 Zn 大部分都具有生物有效性,所以在这样严重缺 Zn 的土壤条件下,甚至很低水平的 Zn 都有可能对土壤溶液产生显著性的影响。因此在 $1\sim 10\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的 Zn 浓度范围内,施 Zn 均能明显降低了小麦幼苗体内的 Cd 浓度。在未施 P 水平下, $10\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ Zn 处理的幼苗地上部 Cd 浓度与不加 Zn 相比降低了 36%。

4 结论

不同的土壤性质和 Zn 背景值对 Zn-Cd 交互作用的影响差异非常显著,在非缺 Zn 的粘质土壤条件下,施加 $100\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 以下的 Zn 对植物体内的 Cd 浓度无明显影响,达到污染水平的 Zn 浓度才显著降低植物体内 Cd 浓度;而在缺 P 缺 Zn 的沙质土壤条件下, $0\sim 10\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的 Zn 处理即显著影响小麦幼苗对 Cd 的吸收。施加试剂纯的 P 肥亦显著影响小麦幼苗对 Cd 的吸收,说明与 P 元素本身有关。

参考文献:

- [1] Zhao Z Q, Zhu Y G, Li H Y, et al. Effects of forms and rates of potassium fertilizers on cadmium uptake by two cultivars of spring wheat (*Triticum aestivum*, L.)[J]. *Environ Int*, 2003, 29: 973-978.
- [2] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业出版社, 1999.
- [3] Nan Z R, Li J J, Zhang J M, et al. Cadmium and zinc interactions and

their transfer in soil-plant system under actual field conditions [J]. *Sci Tot Environ*, 2002, 285: 187-195.

- [4] Clarke J M, Leisle D, De Pauw R M, et al. Registration of five pairs of durum wheat genetic stocks near-isogenic for cadmium concentration[J]. *Crop Sci*, 1997, 37: 297-297.
- [5] Grant C A, Bailey L D Nitrogen, phosphorus and zinc management effects on grain yield and cadmium concentration in two cultivars of durum wheat[J]. *Cana J Plant Sci*, 1998, 78: 63-70.
- [6] Cakmak I, Welch R M, Erenoglu B, et al. Influence of varied Zn supply on re-translocation of Cd (109Cd) and Rb (86Rb) applied on mature leaf of durum wheat seedlings[J]. *Plant Soil*, 2000, 219: 279-284.
- [7] McLaughlin M J, Mair N A, Freeman K, et al. Effect of potassic and phosphatic fertilizer type, fertilizer Cd concentration and zinc rate on

cadmium uptake by potatoes[J]. *Fert Res*, 1995, 40: 63-70.

- [8] Grant C A, Baily L D, Therrien M C. Effect of N, P, and KCl fertilizers on grain yield and Cd concentration of malting barley[J]. *Fert Res*, 1996, 45:153-161.
- [9] Mair N A, McLaughlin M J, Heap M, et al. Effects of nitrogen Source and calcium lime on soil pH and potato yield, leaf chemical composition, and tuber cadmium concentrations[J]. *J Plant Nutrition*, 2002, 25: 523-544.
- [10] Choudhary M, Baily L D, Grant C A. Effect of zinc on cadmium concentration in tissue of durum wheat[J]. *Can J Plant Sci*, 1994, 74: 549-552.
- [11] 杨志敏, 郑绍健, 胡霭堂. 不同磷水平和介质 pH 对玉米和小麦镉积累的影响[J]. 南京农业大学学报, 1999, 22: 46-50.

首届全国农业环境科学学术研讨会在长沙召开

首届全国农业环境科学学术研讨会于 2005 年 11 月 25 日至 28 日在长沙召开。来自全国各地的 140 余位农业环境科学专家学者参加了会议。中国农业生态环境保护协会秘书长高怀友主持了会议开幕式, 湖南省环境保护局副局长谷文龙, 湖南农业大学党委书记刘强、副校长卢向阳及长沙环境保护职业技术学院领导等出席了会议开幕式并致辞。

此次学术研讨会由中国农业生态环境保护协会、农业部农业环境与农产品安全重点开放实验室、《农业环境科学学报》编辑部联合主办, 湖南农业大学资源环境学院承办, 长沙环境保护职业技术学院协办。会议主题为农业环境污染监控、预警与修复。研讨会采取主题报告与分组交流相结合的方式进行。中科院沈阳应用生态研究所李培军研究员、南京大学王晓蓉教授、中科院南京土壤研究所周东美研究员、华南农业大学吴启堂教授、农业部农业环境与农产品安全重点开放实验室徐应明研究员、华南理工大学党志教授、湖南农业大学杨仁斌教授、中国水产科学院南海水产所李纯厚研究员等 30 多位专家分别就各自在农业环境科学领域的最新研究成果作了精彩报告。研讨会期间, 经专家推荐评选, 共遴选出 23 篇优秀会议论文, 对优秀论文的作者颁发了荣誉证书。此次学术交流会对于加强我国农业环境科学学术研究, 保护和改善我国农业生态环境发挥了重要的作用, 与会代表一致建议以年会的形式把全国农业环境科学学术研讨会持续举办下去。