

镉铅单一及复合胁迫对玉米干物质 及镉铅吸收的影响

任秀娟¹, 朱东海², 吴海卿², 吴大付^{1*}

(1. 河南科技学院, 河南 新乡, 453003; 2. 中国农业科学院 农田灌溉研究所, 河南 新乡 453003)

摘要: 采用桶栽试验, 研究了镉铅单一及复合胁迫对玉米干物质及玉米镉铅吸收的影响。结果表明, 玉米穗质量、穗粒质量、生物产量与土壤镉铅含量呈显著负相关; 镉铅在玉米体内的分配规律为: 根>茎叶>穗轴>籽粒; 在相同质量浓度镉胁迫下, 镉铅复合胁迫处理的玉米各部位对镉的吸收大于镉单一胁迫处理, 同质量浓度铅胁迫下, 铅镉复合胁迫处理的玉米茎叶对铅的吸收小于铅单一处理。

关键词: 镉; 铅; 胁迫; 玉米; 生物产量; 吸收特性

中图分类号: S513 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-3268(2012)12-0029-04

Effects of Cadmium, Lead and Their Combination Pollution on Biological Yield and Absorption Characteristics of Maize

REN Xiu-juan¹, ZHU Dong-hai², WU Hai-qing², WU Da-fu^{1*}

(1. Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang 453003, China;

2. Farmland Irrigation Research Institute, CAAS, Xinxiang 453003, China)

Abstract: The pot cultivation experiment was adopted to study the effects of single and compound pollution of Cd and Pb on the dry matter and the uptake of Cd and Pb of maize. The results showed that the ear weight, grain weight and biological yield of maize had negative relationships with the soil rate of lead and cadmium. The cadmium and lead distribution in maize plant was: root>leaf>cob>kernel. For the same treatment dosage, the cadmium uptake rate of maize under the compound pollution of cadmium and lead was higher than in single cadmium pollution treatment, but the lead amount in maize stalk under the compound pollution of cadmium and lead was lower than in single lead pollution condition.

Key words: cadmium; lead; stress; maize; biological yield; absorption characteristics

随着现代工农业的迅速发展, 土壤重金属污染日益严重^[1-3]。在土壤重金属污染中, 以镉(Cd)和铅(Pb)的污染尤为突出^[4]。近年来关于玉米镉铅污染的报道较多^[5-14], 本研究以湖南矿区土壤镉铅锌复合污染的土壤为桶栽基质, 研究镉铅单一及复合污染对玉米各部位干物质产量的影响, 以及镉铅在玉米根系、茎叶、穗轴、籽粒中的分配规律。

1 材料和方法

1.1 试验材料

玉米品种: 农乐 168; 外源镉铅分别为: $\text{CdCl}_2 \cdot$

$2.5\text{H}_2\text{O}$ (分析纯)、 $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COOH})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (分析纯)。

供试土壤采自湖南郴州矿区农田 0~20 cm 耕作层, 质地为壤土, 土壤有机质 10.74 g/kg, 全氮

收稿日期: 2012-05-04

基金项目: 国家“863”计划项目(2012AA101404)

作者简介: 任秀娟(1976-)女, 河南许昌人, 讲师, 硕士, 主要从事土壤污染及治理研究。E-mail: singrule@163.com

* 通讯作者: 吴大付(1967-), 男, 河南确山人, 教授, 博士, 主要从事重金属在土壤中的生态效应研究。

E-mail: uau@hist.edu.cn

1.69 g/kg, pH 值 6.23, 全磷 0.93 g/kg, 全钾 0.45 g/kg, 全锌 85.32 mg/kg, 全镉 0.86 mg/kg, 全铅 9.69 mg/kg。

1.2 试验处理与设计

试验在中国农科院农田灌溉研究所新乡站防雨棚内进行, 试验设置 Pb、Cd 单一及其复合 3 个试验组, 每组内设置 4 个质量浓度梯度, 每个处理重复 4 次, 对照采用不添加任何重金属的矿区土壤。试验设计见表 1。

表 1 试验设计

			mg/kg		
处理	Cd	Pb	处理	Cd	Pb
CK	0.86	9.69	Pb1200	0.86	1200.00
Cd5	5.00	9.69	Pb1600	0.86	1600.00
Cd10	10.00	9.69	Cd5Pb400	5.00	400.00
Cd20	20.00	9.69	Cd10Pb800	10.00	800.00
Cd30	30.00	9.69	Cd20Pb1200	20.00	1200.00
Pb400	0.86	400.00	Cd30Pb1600	30.00	1600.00
Pb800	0.86	800.00			

盆栽桶直径为 30 cm, 深 40 cm, 桶底部密封, 防止水分下渗。将盆栽桶放入提前挖好的土坑, 桶口高出地面 5 cm, 然后用土填实。污染土壤采用分批多次混匀的方式, 根据处理要求将分别称好的分析纯氯化镉、醋酸铅磨碎后混入 1 kg 过 5 mm 筛的风干土中, 接着将其混入 10 kg 过 5 mm 筛的风干土中, 最后把 11 kg 的土壤混入到 104 kg 过 5 mm 筛的风干土中, 经过多次混匀后再装桶踏实, 最后将桶内土壤灌水至饱和状态, 放置 1 周后种植玉米。

1.3 栽培管理与样品采集

2011 年 6 月每桶移栽 4 株玉米苗, 每桶底肥施用硫酸钾 3 g, 磷酸二铵 5 g, 尿素 6 g, 灌水采用地下水, 管理同一般大田。2011 年 9 月 20 日玉米成熟后, 将玉米整株挖出带回实验室, 用自来水冲洗后再用纯水冲洗, 用不锈钢剪刀切分为根、茎叶、玉米穗

3 个组成部分, 分别装入纸质样品袋, 在 105 ℃ 的烘箱中杀青 10 min, 在 70 ℃ 下烘干至恒质量; 玉米穗烘干后称质量, 并分成穗轴和籽粒后分别称其质量, 从籽粒中选择均匀的玉米籽粒 100 粒称其质量。

1.4 测定方法

土壤有机质测定采用重铬酸钾容量法(外加热法); 全氮测定采用半微量凯氏法; 全磷测定采用 NaOH 熔融(钼锑抗比色法); 全钾测定采用 NaOH 熔融火焰光度法; pH 值采用土水比为 1:2.5 的水浸提电位法^[15]。

原始土壤中铅镉含量和各样品中铅镉含量测定采用 ICP-AES 法, 分析时采用内插标样进行质量控制^[16-17]。

1.5 统计分析方法

用 SPSS 19 软件对处理间数据进行独立 *t* 检验^[11]。

2 结果与分析

2.1 镉胁迫对玉米干物质产量的影响

表 2 表明, 土壤镉单一胁迫条件下, 随着土壤镉含量的增加, 百粒重、穗轴干质量随土壤镉质量浓度增加无显著变化。玉米单株根系干质量、茎叶干质量、果穗干质量、生物产量、穗粒干质量总体呈降低趋势, 其中果穗干质量、生物产量、穗粒干质量与土壤镉质量浓度呈显著负相关。Cd5 处理的玉米根系干质量比 CK 降低 57%, 之后随土壤镉质量浓度增加无显著变化; Cd5 处理玉米茎叶干质量、果穗干质量、生物产量、穗轴干质量、穗粒干质量分别比 CK 降低 29%、31%、33%、30%、31%, 其降幅均小于根系干质量。数据分析表明, 土壤镉质量浓度低于 5 mg/kg 时, 土壤镉污染对玉米根系的形态建成影响显著, 土壤镉质量浓度大于 5 mg/kg 时镉主要影响玉米果穗的生长。

表 2 铅镉胁迫对玉米单株平均干物质质量的影响

g

处理	根干质量	茎叶干质量	果穗干质量	生物产量	穗轴干质量	穗粒干质量	百粒重
CK	24.05a	85.02a	88.74a	197.81a	13.71a	75.03a	22.92a
Cd5	10.25b	60.06c	61.60b	131.91b	9.6b	52.00b	22.88a
Cd10	10.18b	65.33b	53.32c	128.83bc	8.21b	45.11c	20.80a
Cd20	9.23b	56.75d	36.94d	102.92d	7.11b	29.83d	18.78a
Cd30	9.64b	54.86d	25.82e	90.32e	8.27b	17.55e	18.86a
Pb400	15.30b	73.88b	86.95b	176.13b	10.87ab	76.08a	21.98a
Pb800	12.59bc	64.48c	84.89c	161.96c	10.01b	74.88b	18.42a
Pb1200	13.67b	62.82c	80.01cd	156.50d	9.49b	70.52c	18.14a
Pb1600	13.71b	63.4c	74.88e	151.99e	10.15ab	64.73d	19.26a
Cd5Pb400	10.23b	62.47b	61.18b	133.88b	11.88b	49.30b	19.52a
Cd10Pb800	8.22b	61.3b	59.14b	128.66c	9.58b	49.56b	18.50a
Cd20Pb1200	8.78b	58.23b	40.16c	107.17d	8.56b	31.60c	17.86a
Cd30Pb1600	7.25b	47.50c	36.90d	91.65e	8.73b	28.17c	17.66a

注: 同列不同小写字母表示 0.5% 显著水平, 下表同。

随着土壤铅质量浓度的增加,玉米百粒重、穗轴干质量没有显著变化,玉米根系干质量、茎叶干质量、果穗干质量、生物产量、穗粒干质量均降低,其中玉米果穗干质量、生物产量、穗粒干质量与土壤铅质量浓度呈显著负相关。Pb400 处理玉米根系干质量、茎叶干质量、果穗干质量、生物产量、穗轴干质量分别比 CK 降低 36%、13%、2%、11%、21%,其降幅均小于 Cd5 处理的降幅,说明土壤镉胁迫对玉米的毒害效应大于铅的毒害效应。

表 2 表明,土壤镉铅复合胁迫条件下,镉铅对玉米干物质形成的影响并不是镉、铅单一污染条件下的叠加。镉铅复合胁迫对百粒重影响不明显,玉米根系干质量、茎叶干质量、果穗干质量、生物产量、穗粒干质量随镉铅复合胁迫浓度的增加明显降低,其

复合胁迫效应对干物质产量的影响程度与土壤镉单一胁迫较一致。

2.2 镉铅胁迫对玉米镉铅吸收的影响

由表 3 可知,镉在玉米体内的分配特点为根>茎叶>穗轴>籽粒。镉单一胁迫条件下,总体来说随着土壤镉质量浓度的增加,玉米各器官的镉含量呈增加趋势,其中玉米籽粒镉含量随土壤镉质量浓度增加而显著增加。对照处理玉米籽粒镉含量为 0.34 mg/kg,镉含量超过 NY/T 418-2000 规定的籽粒镉含量(0.1 mg/kg)时,不能作为粮食加工的原材料。我国土壤镉质量浓度的基准值为 0.3~1.0 mg/kg^[18],土壤镉质量浓度超过 0.3 mg/kg 的农作物存在镉质量浓度超标的潜在风险。以上研究数据表明,镉污染农田种植玉米存在高污染风险。

表 3 玉米成熟期植株体镉的分配特点 mg/kg

处理	根	茎叶	穗轴	籽粒
CK	2.98±0.03a	2.61±0.06a	0.74±0.04a	0.34±0.03a
Cd5	3.86±0.09a	3.23±0.01b	0.83±0.03ab	0.58±0.01b
Cd10	5.83±0.07b	2.81±0.03a	1.59±0.05b	1.03±0.00c
Cd20	6.59±0.08c	4.52±0.09c	3.27±0.02c	1.38±0.04d
Cd30	11.58±0.17d	7.38±0.18d	3.31±0.09c	1.06±0.03c
Cd5Pb400	5.89±0.08b	5.54±0.11b	2.42±0.07b	0.41±0.02a
Cd10Pb800	8.28±0.11c	7.83±0.09c	5.71±0.06c	0.52±0.01b
Cd20Pb1200	10.00±0.17d	21.16±0.25d	12.56±0.08e	0.60±0.02bc
Cd30Pb1600	16.25±0.13e	16.40±0.14e	7.54±0.04d	0.62±0.01c

土壤镉铅复合胁迫条件下,随着镉铅质量浓度的增加,玉米根系、茎叶、穗轴、籽粒镉含量显著增加,处理 Cd20Pb1200 穗轴镉含量最高,为 12.56 mg/kg。复合胁迫处理中土壤镉含量与单一镉胁迫相同时玉米根系、茎叶、穗轴镉含量均显著高于镉单一污染处理,籽粒镉含量则较为接近,籽粒镉含量均超过 NY/T 418-2000规定的籽粒镉含量(0.1mg/kg)。

由表 4 可知,铅单一胁迫处理中,随着土壤铅

质量浓度的增加,玉米根系、茎叶、穗轴、籽粒铅含量呈增加趋势,铅在玉米各器官的分配特点为根>茎叶>穗轴>籽粒。镉铅复合污染条件下,玉米根系、茎叶、穗轴、籽粒铅含量随着镉铅复合胁迫浓度的增加而明显增加(除 Cd₃₀Pb₆₀₀ 外)。单一和复合处理下土壤铅质量浓度大于 800 mg/kg 时籽粒铅含量大于 NY/T 418-2000 规定的籽粒铅含量(0.1 mg/kg)。

表 4 玉米成熟期植株体铅的分配特点 mg/kg

处理	根	茎叶	穗轴	籽粒
CK	2.62±0.00a	2.61±0.06a	0.09±0.01a	0.02±0.00a
Pb400	56.39±1.27b	22.54±1.83b	0.13±0.01a	0.07±0.01a
Pb800	188.73±2.98c	45.40±1.62c	3.57±0.07b	0.61±0.04b
Pb1200	244.20±2.76e	60.43±2.70e	3.25±0.04b	1.11±0.03c
Pb1600	196.25±23.25d	63.74±2.38d	8.07±0.26c	1.73±0.09d
Cd5Pb400	75.35±2.49b	20.57±1.37b	1.32±0.08b	0.13±0.05b
Cd10Pb800	91.98±2.31c	45.74±2.98d	1.54±0.13b	0.57±0.08c
Cd20Pb1200	206.93±3.75e	44.59±2.54de	4.98±0.34d	2.35±0.15e
Cd30Pb1600	267.44±3.41d	35.28±2.47c	2.20±0.26c	1.62±0.11d

3 结论与讨论

镉铅单一、复合胁迫条件下,玉米果穗干质量、穗粒干质量、生物产量、穗轴干质量随土壤镉质量浓度的增加总体呈降低趋势,镉铅污染对玉米百粒重无显著影响。镉铅复合胁迫对玉米干物质产量的影响效应与镉单一胁迫处理较一致,说明镉对玉米的生物学毒性高于铅。张磊等^[19]研究发现,土壤镉胁迫时玉米光合速率、蒸腾速率极显著降低,这可能是镉铅胁迫时玉米生物产量显著降低的原因之一。

所有处理中,玉米各部位镉、铅分配的规律为根系>茎叶>穗轴>籽粒,玉米各部位对镉铅的吸收随土壤镉铅质量浓度的增加呈增加趋势。同质量浓度镉铅胁迫下镉铅复合胁迫处理中玉米对镉的吸收大于镉单一胁迫处理,这一研究结果同曹莹等^[13]的研究相一致。同质量浓度铅胁迫时镉铅复合胁迫处理中玉米茎叶铅吸收总体小于铅单一胁迫处理。宋菲等^[20]研究发现,土壤镉、铅、锌在土壤中的吸附解吸率大小为:Zn>Cd>Pb,镉铅复合胁迫中,Pb²⁺与吸附二价阳离子点位结合的牢固程度较单一污染时大。田园等^[21]研究发现,土壤镉铅复合胁迫条件下,镉的生物学有效性大于土壤镉单一污染处理,因而,在镉铅复合污染土壤中作物对镉的吸收增加,而对铅的吸收量减小。

镉铅单一、复合污染处理中,玉米籽粒镉含量均超过国家标准,可见玉米为镉污染农田高风险种植作物。

参考文献:

- [1] 何电源,王凯荣,胡荣桂. 农田土壤污染对作物生长和产品质量影响的研究[J]. 农业现代化研究,1991,12(增刊):1-5.
- [2] 白彦真,谢英荷,张小红. 重金属污染土壤植物修复技术研究进展[J]. 山西农业科学,2012(6):695-697.
- [3] 顾国平,章明奎. 重金属污染农地土壤治理的改良剂选择[J]. 现代农业科技,2008(17):93-95.
- [4] 曹莹,黄瑞冬,李建东,等. 铅和镉复合胁迫下玉米对镉吸收特性[J]. 生态学杂志,2006,(11):1425-1427.
- [5] 黄铭洪,骆永明. 矿区土地修复与生态恢复[J]. 土壤学报,2003,40(2):161-169.
- [6] Li J, Xie Z M, Xu J M, et al. Risk assessment of heavy metals contaminated soil in the vicinity of a lead/zinc mine[J]. Journal of Environmental Science, 2005, 17(6): 881-885.
- [7] 廖晓勇,陈同斌,武斌,等. 典型矿业城市的土壤重金属分布特征与复合污染评价——以“镍都”金昌市为例[J]. 地理研究,2006,25(5):843-852.
- [8] 李静,俞天明,周洁,等. 铅锌矿区及周边土壤铅、锌、镉、铜的污染健康风险评价[J]. 环境科学,2008,(8):2327-2330.
- [9] 曹莹,赵艺欣,刘洋,等. 铅镉复合胁迫对不同耐性玉米衰老特性的影响[J]. 玉米科学,2011,19(6):70-73.
- [10] 曹莹,赵艺欣,刘玉莲,等. 不同玉米品种子粒中富集镉、铅特性的比较[J]. 玉米科学,2011,19(3):94-97.
- [11] 李勇,黄占斌,王文萍,等. 重金属铅镉对玉米生长及土壤微生物的影响[J]. 农业环境科学学报,2009,28(11):2241-2245.
- [12] 宇克莉,孟庆敏,邹金华. 镉对玉米幼苗生长、叶绿素含量及细胞超微结构的影响[J]. 华北农学报,2010,(3):118-123.
- [13] 曹莹,黄瑞冬,王国骄,等. 铅和镉复合胁迫对玉米吸收铅特性及产量影响[J]. 玉米科学,2007,(3):91-94.
- [14] 刘云惠,魏显有,王秀敏,等. 土壤中铅镉的作物效应研究[J]. 河北农业大学学报,1999,22(1):24-28.
- [15] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3版. 北京:中国农业出版社,2011.
- [16] 赖志辉,徐晓铭,管艳艳,等. 微波消解 ICP-AES 法测定市售丹参中的微量元素[J]. 广西大学学报:自然科学版,2010,35(3):497-501.
- [17] 张磊,宋凤斌. 土壤施锌对不同镉浓度下玉米吸收积累镉的影响[J]. 农业环境科学学报,2005,(6):1054-1058.
- [18] 吴燕玉,王新,梁仁禄,等. 重金属复合污染对土壤—植物系统的生态效应 I[J]. 应用生态学报,1997,8(2):207-212.
- [19] 张磊,于燕玲. 外源镉胁迫对玉米幼苗光合特性的影响[J]. 华北农学报,2008,23(1):101-104.
- [20] 宋菲,郭玉文,刘孝义,等. 土壤中重金属镉锌铅复合污染的研究[J]. 环境科学学报,1996,16(4):431-436.
- [21] 田园,王晓蓉,林仁漳. 土壤中镉铅锌单一和复合老化效应的研究[J]. 农业环境科学学报,2008,27(1):156-159.