

不同类型水稻土上外源镉对玉米生长发育影响的研究

王翠红¹,周 清¹,黄启为¹,郭朝晖¹,岳振华¹,张富强¹,蔺万煌¹,邹永霞²

(1. 湖南农业大学, 湖南 长沙 410128; 2. 湖南农业环境监测管理站, 湖南 长沙 410005)

摘 要:在 3 种理化性质不同的水稻土上添加不同浓度的镉,盆栽玉米,研究了镉对玉米生长发育的影响。结果表明,在镉浓度为 0.05—30.0 mg · kg⁻¹ 土添加范围内,当外源镉大于 2.0 mg · kg⁻¹ 土时,玉米明显表现出叶片失绿,植株矮化,根短小稀疏,生育期推迟,严重者减产甚至无产量,玉米籽实的含镉量随镉添加浓度的增加而增加。3 种水稻土中,外源镉对河沙泥田的污染影响最大,灰泥田最小。

关键词: 镉; 玉米; 生长发育

中图分类号: S131 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000 – 0267(2001)05 –

Effects of Added Cadmium on Growth of Maize Under Different Types of Paddy Soil in Hunan Province

WANG Cui-hong¹, ZHOU Qing¹, HUANG Qi-wei¹, GUO Zhao-hui¹,
YUE Zhen-hua¹, ZHANG Fu-qiang¹, LIN Wan-huang³, ZOU Yong-xia²

(1. Hunan Agriculture University, Changsha 410128 China;

2. Agro – Environmental Monitoring and Managing Center, Hunan, Changsha 410005 China)

Abstract: Effects of Cd on maize were studied by pot experiment using three types of paddy soils with added Cd in a range of 0.05—30.0 mg · kg⁻¹. The maize grown on the soil treated was characterized by decoloring of leaf, stem dwarfing, root stunting, delaying of growth stages or even no – grain produced. The production of maize and the biological yields of maize reduced significantly at 2.0 mg · kg⁻¹ of added Cd. The Cd contents in maize seed increased with enhancement of added Cd concentrations. According to the studied results, the most influences appeared in alluvial sandy paddy soil, and the least in grey clayed paddy soil.

Keywords: cadmium; maize; growth

镉是污染环境的主要重金属之一,并通过食物链危害人体健康。80 年代以来,国内外在镉对植物生长的影响等方面虽已有较广泛、深入的研究^[1-3],但对玉米生长影响的报道甚少,特别是镉对种植在不同质地、不同 pH 值的水稻土上的玉米生长发育影响的研究尚未见报道。本文研讨了湖南省 3 种类型水稻土上外源镉对玉米生长发育的影响,为正确制订土壤镉的环境质量标准 and 进行土壤镉污染的防治研究提供科

学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

供试耕层水稻土分别采自湖南省浏阳市沙市镇、炎陵县水口镇的红黄泥、河沙泥和灰泥,土样采回后在室内风干,捶碎过 5 mm 筛,磨细过 100 目筛,备用,其基本理化性状列于表 1。玉米为掖单 13 号。

表 1 供试土壤理化性状
Table 1 Physical and chemical properties of the soils studied

供试土壤	采样地点	母质	土壤质地	pH 值 (水浸)	有机质 /g · kg ⁻¹	CEC /cmol(+) · kg ⁻¹	有效镉 /mg · kg ⁻¹	全镉 /mg · kg ⁻¹
红黄泥田	浏阳	第四纪红土	轻粘土	4.32	27.49	6.61	0.13	0.94
河沙泥田	炎陵	河流冲积	壤砂土	4.68	33.94	5.15	0.19	0.72
灰泥田	炎陵	石灰岩	轻粘土	7.20	35.74	29.89	0.09	0.76

收稿日期:2000 – 8 – 23; 修订日期:2001 – 06 – 18

基金项目:国家“九五”重点科技项目(96 – 920 – 26 – 04)

作者简介:王翠红(1965—),女,湖南农业大学讲师,硕士。

1.2 试验方法

1.2.1 盆栽试验

盆栽试验于 1999 年—2000 年进行, 试验选用上述过 5 mm 筛的 3 种类型水稻土和规格为 Φ28.5 cm × H28 cm 的塑料桶。每桶装土 10 kg, N: P₂O₅: K₂O = 1: 0.60: 0.75, 按每公斤土施纯 N 0.5 g 计, 换算成尿素、过磷酸钙和氯化钾, 其中 40% 的尿素和氯化钾及 100% 的过磷酸钙作基肥, 其余作追肥。外源镉为 CdCl₂ · 2.5H₂O, Cd²⁺ 浓度设计 8 个水平, 即: 0、0.05、0.2、1.0、2.0、5.0、10.0、30.0 mg · kg⁻¹ 土。将过筛的水稻土和作基肥的 N、P、K 肥分别与不同浓度的 Cd²⁺ 溶液充分混匀装盆, 各处理重复 4 次, 随机排列。浇水至田间持水量的 60%, 平衡 2 周。于 1999 年 4 月 12 日播种玉米, 每盆播 3 粒, 出苗 16 d 后间苗, 每盆定苗 1 株。定时观察记载玉米各生育期的长势长相, 并测量株高和叶面积, 7 月 25 日收获, 分别分析测定各有关项目。

1.3 测定项目和分析方法

土壤全镉用 HCl - HNO₃ - HF - HClO₄ 消化^[4], 土壤有效镉用 0.1 mol · L⁻¹ HCl 浸提^[5], 均用原子吸收分光光度计测定。

玉米籽实镉用干灰化法—稀 HCl 溶解, 原子吸收分光光度计测定^[6]。

其它土壤理化性质的测定采用南京农学院主编的“土壤农化分析”介绍的方法^[6]。

2 结果与讨论

2.1 土壤中镉对玉米生长发育的影响

表 2 不同浓度镉(mg · kg⁻¹)处理下玉米不同生育期出现的失绿条纹叶片总数

Table 2 The Number of leaf with decoloring at various growth period of maize grown in the soil treated with different doses of cadmium															
生育期	红黄泥田					河沙泥田					灰泥田				
	0	2.0	5.0	10.0	30.0	0	2.0	5.0	10.0	30.0	0	2.0	5.0	10.0	30.0
苗期	—	—	5	5	6	—	—	5	5	6	—	—	—	5	5
拔节期	—	—	9	9	8	—	—	10	10	11	—	—	7	7	8
抽雄期	—	—	9	11	11	—	—	10	12	13	—	—	8	9	10

2.1.1 镉对玉米叶色的影响

从表 2 可以看出, 当加镉浓度大于 5.0 mg · kg⁻¹ 土时, 从苗期开始至抽雄期, 3 种水稻土上种植的玉米叶片从下至上均出现了不同程度的失绿条纹, 呈现缺镁的症状。3 种水稻土中, 灰泥田上的玉米受镉的毒害较轻, 镉浓度达 5.0 mg · kg⁻¹ 土时, 红黄泥田和河沙泥田上生长的玉米在苗期均有 5—6 片叶出现失绿条纹, 而灰泥田上的玉米叶片至拔节期才开始出现失绿条纹。比较 3 种水稻土上玉米的失绿条纹的叶片数, 也以灰泥田上的较少, 而河沙泥田上的相对较多。这可能与灰泥田 pH 值较高、土壤活性镉较低有关, 而红黄泥田和河沙泥田 pH 值较低, 土壤活性镉较高, 从而严重影响了根系对 Mg、P、K 等营养物质的吸收。

2.1.2 镉对玉米叶面积的影响

从图 1 可以看出, 不同浓度镉处理的玉米叶面积曲线均随镉浓度的增加呈明显下降趋势。比较 3 种水稻土的玉米叶面积曲线斜率, 镉浓度大于 2.0 mg · kg⁻¹ 土时, 其大小次序是河沙泥田> 红黄泥田> 灰泥田, 与两者的回归分析结果一致, 相关系数分别是河沙泥田 ($r=0.9904^{**}$)> 红黄泥田 ($r=0.9149^{**}$)> 灰泥田 ($r=0.7675^{*}$), 这说明 3 种水稻土中, 镉对玉米叶面积的影响以河沙泥田的较大, 灰泥田的较小。

2.1.3 镉对玉米株高的影响

从图 2、图 3、图 4 可以看出, 3 种类型水稻土上, 加镉浓度大于 1.0 mg · kg⁻¹ 土时, 对玉米各生育期

图 1 3 种水稻土上不同浓度镉处理下玉米的叶面积
Figure 1 Area of maize leaf grown in 3 paddy soils treated with different doses of cadmium

图 2 3 种水稻土上不同浓度镉处理下玉米苗期株高
Figure 2 Height of maize seedling grown in 3 paddy soils treated with different doses of cadmium

图 3 3 种水稻土上不同浓度镉处理下玉米拔节期的株高
Figure 3 Height of maize seedling grown in 3 paddy soils treated with different doses of cadmium at stage of jointing

的株高均有不同程度的抑制作用,且随镉浓度的增加而更明显。3 种水稻土加镉浓度与不同时期玉米株高的相关分析表明,3 种水稻土不同镉浓度处理与玉米的不同生育期的株高均达显著负相关,河沙泥田上达极显著水平,其相关系数红黄泥为 $-0.749\ 7^{**}$ — $-0.893\ 7^{**}$ 、河沙泥为 $-0.890\ 7^{**}$ — $-0.985\ 0^{**}$ 、灰泥为 $-0.777\ 6^{**}$ — $-0.933\ 6^{**}$,说明在一定镉浓度范围内,镉对河沙泥田上玉米株高的影响最大。从图 2、图 3、图 4 中还可看出,镉浓度达 $30.0\ \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 土时,与对照相比,3 种水稻土上玉米株高降低幅度以

图 4 3 种水稻土上不同浓度镉处理下玉米抽雄期的株高
Figure 4 Height of maize seedling grown in 3 paddy soils treated with different doses of cadmium at stage of panicle initiation

河沙泥田的最大,灰泥田的最小;从影响玉米株高的生育期看,镉达 $30.0\ \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 土,以抽雄期影响最大。

2.2 土壤镉对玉米生物产量的影响

2.2.1 镉对玉米根重的影响

从表 3 可明显看出,3 种类型水稻土上,当加镉浓度大于 $2.0\ \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 土时,随镉浓度增加,各处理的玉米根系干重明显降低,呈显著负相关,与对照相比,根系干重下降幅度红黄泥田的为 1.84% — 89.76% ,河沙泥田的为 6.02% — 92.75% ,灰泥田的

表 3 不同浓度镉处理下玉米的生物产量($\text{g}\cdot\text{盆}^{-1}$)
Table 3 Biological mass of maize grown in the soil treated with different doses of cadmium($\text{g}\cdot\text{盆}^{-1}$)

供试土壤	项目	镉浓度/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 土								相关系数
		0	0.05	0.2	1.0	2.0	5.0	10.0	30.0	
红黄泥田	根干重	19.05	20.07	21.81	18.06	18.70	7.10	8.19	1.95	$-0.853\ 0^{**}$
	地上部鲜重	205.29	211.21	201.16	192.23	181.12	78.42	54.91	36.34	$-0.812\ 1^{*}$
	籽实重	10.19	10.16	13.78	7.83	—	—	—	—	$-0.587\ 6^{*}$
河沙泥田	根干重	25.39	24.43	23.57	27.43	23.86	21.35	16.40	1.84	$-0.986\ 4^{**}$
	地上部鲜重	288.30	282.61	302.76	280.24	268.54	162.54	142.02	41.44	$-0.925\ 4^{**}$
	籽实重	19.93	20.69	19.65	18.46	15.01	—	—	—	$-0.977\ 1^{**}$
灰泥田	根干重	19.20	19.44	20.20	20.28	18.50	12.13	6.80	6.46	$-0.828\ 0^{*}$
	地上部鲜重	260.96	260.34	278.37	280.17	244.10	170.08	133.92	120.42	$-0.819\ 7^{*}$
	籽实重	10.28	10.85	9.48	9.85	8.17	—	—	—	$-0.863\ 5$

表 4 不同浓度镉处理下玉米籽实和土壤的含镉量($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)
Table 4 Contents of cadmium in maize seed and soil treated with different doses of cadmium($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)

供试土壤	项目	加镉浓度/ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 土						相关系数
		0	0.05	0.2	1.0	2.0	5.0	
红黄泥田	玉米籽实含镉量	0.155 9	0.320 3	0.443 1	0.741 3	—	—	0.945 8 [*]
	土壤有效镉	0.11	0.12	0.25	0.90	1.72	4.24	0.999 9 ^{**}
	土壤全镉	0.98	1.05	1.17	1.92	2.86	5.89	
河沙泥田	玉米籽实含镉量	0.176 7	0.237 4	0.356 7	0.622 6	0.766 4	—	0.962 2 ^{**}
	土壤有效镉	0.13	0.16	0.39	0.97	1.80	4.53	0.999 4 ^{**}
	土壤全镉	0.78	0.85	1.01	1.74	2.73	5.66	
灰泥田	玉米籽实含镉量	0.125 1	0.155 2	0.154 9	0.272 6	0.412 0	—	0.997 1 ^{**}
	土壤有效镉	0.08	0.10	0.17	0.51	1.06	3.38	0.993 5 ^{**}
	土壤全镉	0.85	0.99	1.12	1.81	2.79	5.63	

注:“*”表示 1% 极显著水平,“*”表示 5% 的显著水平,表 3 同。

为 3.64%—66.35%, 可见, 以对河沙泥田和红黄泥田上玉米根系的影响较大, 灰泥田的较小。观察根系形状, 发现土壤加镉大于 $5.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 土时, 随镉浓度增加, 各处理的根系逐渐变得短小, 次生根少、稀疏, 无轮生现象, 这可能是土壤中存在过量的镉影响了次生根的伸长和发育, 从而影响了根系对营养物质的吸收, 最终导致玉米植株各项生理指标下降, 与上述结论十分吻合。镉浓度在 0.05 — $0.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 土范围内, 对根系有微弱刺激作用。

2.2.2 镉对玉米地上部生物产量的影响

从表 3 可以看出, 镉浓度在 0.05 — $0.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 土范围, 玉米地上部鲜重较对照略有增加, 说明低浓度的镉对玉米生长有一定刺激作用。镉浓度大于 $2.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 土, 随添加镉浓度的增加, 3 种水稻土上玉米的地上部鲜重均呈明显下降趋势, 相关系数均达显著水平。与对照相比, 红黄泥田、河沙泥田和灰泥田上的下降幅度分别为 11.77%—82.30%、6.85%—85.63% 和 6.46%—55.87%, 其中河沙泥田和红黄泥田的下降幅度最大, 灰泥田的最小。从玉米结籽情况看, 3 种水稻土中, 红黄泥田加镉浓度大于 $2.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 土时玉米不结实, 而河沙泥田和灰泥田的加镉浓度要大于 $5.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 土才不结实。因此镉的浓度影响玉米绝收(不结籽实), 建议红黄泥田上可以在 1.92 — $2.86 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 河沙泥田和灰泥田在 2.76 — $5.64 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 范围内作进一步试验研究。

2.3 土壤不同加镉浓度下玉米籽实和土壤的含镉量

从表 4 可以看出, 加镉浓度在 0.05 — $5.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 土范围内, 玉米籽实和土壤的含镉量均随添加镉浓度的增加而增加, 各相关系数均达极显著水平(红黄泥田玉米籽实达显著水平)。种植在 3 种水稻土上的玉米其籽实的含镉量存在一定差异, 其中以灰泥田上的较低, 红黄泥田和河沙泥田上的较高, 这可能与土壤的 pH 值和 CEC 值有关, pH 值越低、CEC 值越小的土壤, 其有效镉的含量越高, 因此转移至可食部位的镉也越多; pH 值高的、CEC 值大的土壤则相反。红黄泥田和河沙泥田上生长的玉米籽实的含镉量又以红黄泥田略高于河沙泥田上的, 可能是由于河沙泥田与红黄泥田相比, 其质地较轻, 土壤通风透水性较好, 使在上的玉米生长加快, 生物产量(见表 3)增加, 对

镉产生了稀释效应之故。

3 结论

3.1 加镉浓度大于 $5.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 土以上时, 3 种水稻土上的玉米从苗期开始至抽雄期, 其老叶均出现不同程度失绿条纹, 呈现缺镁症状, 其中以河沙泥田上的最严重, 灰泥田上的最轻。

3.2 加镉浓度大于 $2.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 土, 3 种水稻土上玉米叶面积呈递减趋势, 其递减次序为河沙泥田的> 红黄泥田的> 灰泥田的。

3.3 3 种水稻土上, 土壤镉浓度与玉米各生育期的株高呈显著负相关, 其中河沙泥田达极显著水平。

3.4 加镉浓度大于 $2.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 土时, 随镉浓度增加, 3 种水稻土镉含量与玉米根重均呈显著负相关关系。镉浓度大于 $5.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 土, 严重抑制了根的伸长和发育, 根变短小、稀疏。

3.5 加镉浓度大于 $2.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 土时, 随镉浓度增加, 3 种水稻土的镉含量与玉米地上部鲜重均呈显著或极显著负相关。3 种水稻土上玉米绝收的全镉浓度是: 红黄泥田大于 $2.86 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 土, 河沙泥田和灰泥田大于 $5.64 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 土, 建议红黄泥田上可以在 1.92 — $2.86 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 河沙泥田和灰泥田在 2.76 — $5.64 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 范围内作进一步试验研究。

3.6 土壤 pH 值和 CEC 值是影响土壤镉有效性的主要因素, 提高土壤 pH 值和增加土壤的 CEC 值可降低土壤镉的有效性, 因此是防治土壤镉污染的主要措施之一。

参考文献:

- [1] 夏家淇. 土壤环境质量标准详解[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1996. 1—23.
- [2] 廖自基. 微量元素的环境化学及生物效应[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1992. 294—322.
- [3] 陈怀满. 土壤—植物系统中的重金属污染[M]. 北京: 科学出版社, 1996. 71—121.
- [4] 中国环境监测总站. 土壤元素的近代分析方法[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1992.
- [5] 洪小皆. 环境污染分析方法第一卷无机物分析(第二版)[M]. 北京: 科学出版社, 1989. 85—86.
- [6] 南京农学院. 土壤农化分析[M]. 北京: 农业出版社, 1981.