

# 镉、铅及其互作对黄瓜种子发芽及幼根生长的影响

陈新红, 叶玉秀, 庞闰瑾

(淮阴工学院 生化学院, 江苏 淮安 223002)

**摘 要:**研究了镉、铅及其互作对黄瓜发芽、幼苗生长和根系参数的影响。结果表明:2 个品种黄瓜种子的发芽指标均随镉、铅及其互作浓度的增加而降低;总根长、根系表面积均随处理浓度的增加而降低,在低浓度下根系平均直径随处理浓度的增加而增大,高浓度严重抑制根系的生长;镉对黄瓜种子发芽的影响要大于铅,镉与铅的互作效应大于各自单一的影响,2 个黄瓜品种对镉、铅的耐性有一定差异,豫艺 201 对镉、铅的耐性要强于江蔬露丰。

**关键词:** 镉; 铅; 互作; 黄瓜; 发芽; 根系

中图分类号: S 642. 204<sup>+</sup>. 1 文献标识码: A 文章编号: 1001—0009(2009)05—0013—04

随着现代工业的发展,环境污染加剧,工业“三废”及城市生活废弃物的排放及含重金属的农药、化肥的不合理使用,大大加重了城郊的环境压力,进而对人类的健康带来潜在的危害<sup>[1]</sup>。有关调查表明我国大城市蔬菜重金属污染中以镉、铅最为严重<sup>[2]</sup>。蔬菜受镉、铅污染后,不仅会严重影响其种子发芽、出苗、产量和品质,而且还会进一步通过食物链的传递放大作用,不可逆转地对城乡人民产生重大影响,从而给整个生态环境及人群健康带来极大危害。

关于重金属污染的研究报道较多,多集中在小麦、水稻等作物对镉、铅和汞等重金属的吸收、积累和转移方面,在蔬菜作物中,重金属对种子生活力影响的研究也有报道<sup>[3-5]</sup>,关于重金属污染对黄瓜的影响尚未见比较系统的报道。试验以黄瓜为材料,研究了不同浓度的镉、铅互作对其发芽及胚根等特性的影响,并对镉、铅的相互作用进行探讨,为污染生态学的研究和预防黄瓜早期镉、铅伤害提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试材料:豫艺 201(由河南农业大学林学院园艺学院提供)、江蔬露丰(江苏省农业科学院蔬菜研究所提供),均为杂交一代,发芽率 $\geq 90\%$ 。

### 1.2 试验方法

供试材料用 0. 5% NaClO 消毒(10 min),再置入 50℃水浴锅浸种(20 min)后,均匀排列于铺有 4 层滤纸的培养皿(直径 12 cm)中,每皿 40 粒,在培养箱(LRH-250-G 光照培养箱)中随机排列,培养箱的温度严格控制(28 $\pm$ 0. 5)℃,相对湿度 75%。用去离子水先将分析纯 Cd(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·4H<sub>2</sub>O 和 Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 分别配制成 100 mg/L (含 Cd<sup>++</sup>)和 500 mg/L (含 Pb<sup>++</sup>)的母液,然后稀释为所需的 17 种溶液,用去离子水作为对照,共 18 个处理(见表 1),每处理 3 次重复,每皿每天分别加入等量重金属溶液或去离子水。

### 1.3 测定内容

每天加入定量处理溶液,以根长 0. 2 cm 作为发芽标志<sup>[6]</sup>,从第 3~7 天每天记录发芽种子数,算出发芽势、发芽率、发芽指数;在第 7 天选整齐一致的 10 株苗,用直尺测量出胚芽长和最长根长,并算出活力指数;测胚根长度采用 WinPHIZO BASIC 2005 根系分析仪测定根系

表 1

Table 1

各重金属溶液处理浓度

Concentration of heavy metal

编号 Number	处理 Treatments/ mg · L <sup>-1</sup>	编号 Number	处理 Treatments/ mg · L <sup>-1</sup>	编号 Number	处理 Treatments/ mg · L <sup>-1</sup>
1	Cd <sup>++</sup> 5	7	Pb <sup>++</sup> 100	13	Cd <sup>++</sup> 10+ Pb <sup>++</sup> 500
2	Cd <sup>++</sup> 10	8	Pb <sup>++</sup> 300	14	CK
3	Cd <sup>++</sup> 20	9	Pb <sup>++</sup> 500	15	Pb <sup>++</sup> 100+ Cd <sup>++</sup> 5
4	Cd <sup>++</sup> 50	10	Cd <sup>++</sup> 10+ Pb <sup>++</sup> 50	16	Pb <sup>++</sup> 100+ Cd <sup>++</sup> 10
5	Cd <sup>++</sup> 100	11	Cd <sup>++</sup> 10+ Pb <sup>++</sup> 100	17	Pb <sup>++</sup> 100+ Cd <sup>++</sup> 20
6	Pb <sup>++</sup> 50	12	Cd <sup>++</sup> 10+ Pb <sup>++</sup> 300	18	Pb <sup>++</sup> 100+ Cd <sup>++</sup> 50

第一作者简介:陈新红(1969-),女,博士,副教授,研究方向为植物生理与栽培。E-mail: cxh\_xj@163.com。  
基金项目:江苏省教育厅资助项目(04KJD210031);淮阴工学院学术带头人培养基金资助项目。  
收稿日期: 2008—12—13

的总长度、平均直径、根系平均表面积、根系总体积等。

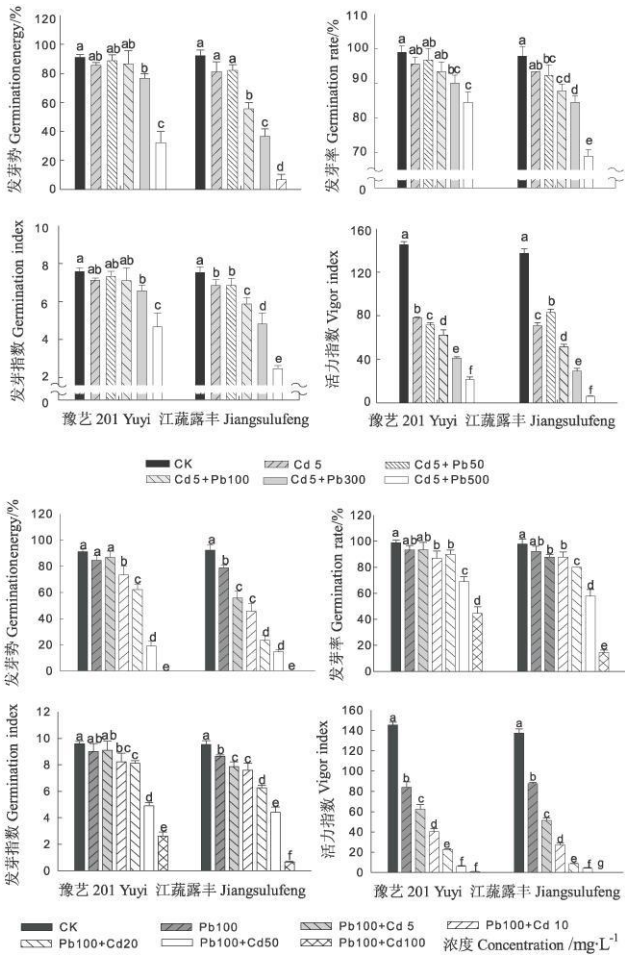


图1 Pb<sup>++</sup>与Cd<sup>++</sup>的相互作用对黄瓜发芽的影响

Fig. 1 Effects of the interaction between Pb<sup>++</sup> and Cd<sup>++</sup> on seed germination in cucumber

计算公式: 发芽势(%)=第3天正常发芽的种子数/供试种子数×100%; 发芽率(%)=第7天正常发芽的种子数/供试种子数×100%; 发芽指数= $\sum G_t/D_t$ , G<sub>t</sub>为t时间内的发芽数, D<sub>t</sub>为相应的发芽天数<sup>[7]</sup>; 活力指数=发芽指数×苗长度<sup>[7]</sup>; 数据分析采用DPS统计软件进行分析, 制图采用Sigma Plot 10.0软件。

2 结果与分析

2.1 不同Cd<sup>++</sup>、Pb<sup>++</sup>浓度及其互作对黄瓜种子发芽的影响

由表2可看出, 随Cd<sup>++</sup>、Pb<sup>++</sup>浓度的增加, 2个黄瓜种子的发芽势、发芽率、发芽指数和活力指数均呈降低的趋势, 但不同Cd<sup>++</sup>、Pb<sup>++</sup>浓度下不同的品种的各发芽指标的反应有所差异, 江蔬露丰在各浓度处理下, 各指标均显著低于对照; 豫艺201在Cd<sup>++</sup><5(mg/L)、Pb<sup>++</sup><300(mg/L)浓度处理下, 发芽势、发芽率和发芽指数与对照之间无显著差异, 随处理浓度的升高, 3个指标显著低于对照, 表明品种之间对Cd<sup>++</sup>、Pb<sup>++</sup>的耐性存在差异。活力指数在2个品种之间在各浓度的处理均显著低于对照, 这可能表明Cd<sup>++</sup>、Pb<sup>++</sup>处理对黄瓜地上部的抑制程度更大。高浓度的Cd<sup>++</sup>、Pb<sup>++</sup>严重抑制了种子的发芽。

Cd<sup>++</sup>与Pb<sup>++</sup>相互作用对黄瓜种子发芽的影响见图2, 不论是低浓度的Cd<sup>++</sup>与各浓度Pb<sup>++</sup>, 还是低浓度的Pb<sup>++</sup>与各浓度的Cd<sup>++</sup>, 对黄瓜种子的发芽势、发芽率、发芽指数和活力指数的影响都是: 随处理浓度的增加, 发芽指标均呈降低的趋势; 低浓度的Cd<sup>++</sup>与Pb<sup>++</sup>(浓度≤100 mg/L)相互作用和低浓度的Pb<sup>++</sup>与Cd<sup>++</sup>(浓度≤5 mg/L)相互作用对豫艺201品种的发芽势、发

表2 不同Cd<sup>++</sup>、Pb<sup>++</sup>浓度对黄瓜发芽势、发芽率、发芽指数和活力指数的影响

Table 2 Effects of Cd, Pb on germination and vigor index in cucumber

处理 Treatments /mg·L <sup>-1</sup>	豫艺 201 Yuyi 201				江蔬露丰 Jiangsulufeng			
	发芽势 Germination energy/%	发芽率 Germination rate/%	发芽指数 Germination index	活力指数 Vigor index	发芽势 Germination energy/%	发芽率 Germination rate/%	发芽指数 Germination index	活力指数 Vigor index
CK 0	91.11a	98.89a	9.59a	145.45a	92.22a	97.78a	9.54a	137.40a
Cd <sup>++</sup>	5	85.56ab	95.56ab	9.13ab	81.11b	93.33a	8.85b	82.93b
	10	82.22b	92.22abc	8.91b	73.33b	88.89ab	8.31b	47.30c
	20	63.33c	90.00bc	8.17c	24.44c	83.33b	6.31c	9.40d
	50	8.89d	84.44c	6.38d	7.78d	72.22c	4.87d	5.50e
	100	0.00e	35.56d	2.40e	0.00d	28.89d	1.62e	0.50f
	Cd <sup>++</sup> 各处理	48.00	79.56	7.00	34.72	73.33	5.99	29.13
Pb <sup>++</sup>	50	84.45a	98.89a	9.30a	82.22b	92.22ab	8.81b	104.25b
	100	82.22a	93.33a	9.00a	78.89b	92.22ab	8.63b	87.58c
	300	81.11a	93.33a	8.97a	46.67c	86.67b	7.37c	43.78d
	500	11.11b	73.33b	5.73b	23.07e	76.67c	4.39d	11.99e
	Pb <sup>++</sup> 各处理	64.72	89.72	8.25	66.64	86.95	7.30	61.90
平均 Pb <sup>++</sup> Average								

注 不同字母表示在0.05水平上差异显著, 下同。Note: Different letters represented significant difference at 0.05 level. The same as below.

芽率与发芽指数的影响与对照之间无显著差异, Pb<sup>++</sup> 浓度> 100 mg/ L 和 Cd<sup>++</sup>> 10 mg/ L 发芽势、发芽率和发芽指数显著低于对照, 表明 Cd<sup>++</sup> 与 Pb<sup>++</sup> 相互作用对黄瓜种子发芽的影响大于各自单一的影响(表 2、图 1), 其次 Cd<sup>++</sup> 的影响远大于 Pb<sup>++</sup>; 江蔬露丰品种对 Cd<sup>++</sup> 与 Pb<sup>++</sup> 的耐性低于豫艺 201, 任何浓度 Cd<sup>++</sup> 与 Pb<sup>++</sup> 组合, 均显著降低了 2 个品种的活力指数。

2.2 不同 Cd<sup>++</sup>、Pb<sup>++</sup> 浓度及其互作对黄瓜根系形态参数的影响

由表 3 可知 在不同 Cd<sup>++</sup>、Pb<sup>++</sup> 浓度及其相互作用下, 黄瓜总根长、根系表面积均随各处理浓度的增大呈下降的趋势, 除低浓度的 Pb<sup>++</sup> 处理下, 其他各处理下根长和根系表面积均与对照表现出显著的降低, Cd<sup>++</sup> 和

Pb<sup>++</sup> 的互作效应大于各自的单一影响; 黄瓜根系平均直径均随金属处理浓度的增大呈增粗的趋势。根系的增粗是植物在重金属胁迫下的明显反应<sup>[8]</sup>, 植物根尖在重金属胁迫下细胞木质素积累显著增加, 细胞分裂和伸长受阻, 因而导致根系增粗<sup>[9]</sup>, 且根系平均直径增加越多, 表明重金属的胁迫也越严重 对植物根系生长的抑制作用越强烈。试验中 Cd<sup>++</sup> 浓度为 100 mg/ L 时, 根系直径又急剧下降, 说明是高浓度的重金属已严重抑制根系的生长。Cd<sup>++</sup> 单一作用对黄瓜根系平均直径的影响大于 Pb<sup>++</sup> 单一作用, 且豫艺 201 根系平均直径对 Cd<sup>++</sup> 的耐性大于江蔬露丰, 2 品种根系平均直径对 Pb<sup>++</sup> 的耐性差异不大; Cd<sup>++</sup>、Pb<sup>++</sup> 互作效应对根系形态参数的影响均大于各自的单一影响。

表 3

不同 Cd<sup>++</sup>、Pb<sup>++</sup> 浓度及其相互作用对黄瓜根系形态参数的影响

Table 3

Effects of Cd、Pb and their interaction on root morphological parameters in cucumber

处理 Treatment		总根长 Total root length/ cm		根系表面积/ cm <sup>2</sup>		根系体积 Root volume / cm <sup>3</sup>		平均直径 Average diameter / mm		
/ mg * L <sup>-1</sup>		豫艺 201	江蔬露丰	豫艺 201	江蔬露丰	豫艺 201	江蔬露丰	豫艺 201	江蔬露丰	
Cd <sup>++</sup>	CK	0	38. 26a	33. 18a	8. 10a	7. 47a	0. 137a	0. 136a	0. 68a	0. 73b
	5	21. 36b	26. 64b	4. 67b	6. 68a	0. 195ab	0. 336a	0. 80a	0. 80b	
	10	18. 99b	12. 75c	4. 28b	4. 71b	0. 124b	0. 139a	1. 13a	1. 19ab	
	20	9. 46c	2. 99d	4. 07b	1. 92c	0. 157a	0. 099a	1. 21a	1. 57ab	
	50	1. 02d	2. 91d	0. 92c	1. 85c	0. 066b	0. 115a	1. 45a	2. 28a	
	100	0. 68d	0. 32d	0. 59c	0. 30d	0. 042b	0. 022b	0. 62a	0. 59b	
Cd <sup>++</sup> 各处理平均 Average		10. 30	9. 12	2. 91	3. 09	0. 12	0. 14	1. 04	1. 29	
Pb <sup>++</sup>	CK	0	38. 26a	33. 18a	8. 10a	7. 47a	0. 137ab	0. 136b	0. 68b	0. 73b
	50	31. 54b	32. 00a	8. 05a	7. 04a	0. 164a	0. 183a	0. 82b	0. 81b	
	100	28. 73b	30. 88a	7. 93a	6. 27b	0. 174a	0. 177ab	0. 88b	0. 85b	
	300	14. 36c	17. 87b	4. 59b	5. 48b	0. 119b	0. 143ab	1. 02b	1. 04b	
	500	8. 96c	3. 62c	4. 28b	1. 99c	0. 168a	0. 088c	1. 53a	1. 42a	
	Pb <sup>++</sup> 各处理平均 Average	20. 90	21. 09	6. 21	5. 20	0. 16	0. 15	1. 06	1. 03	
Cd+Pb	CK	0	38. 26a	33. 18a	8. 10a	7. 47a	0. 137a	0. 136a	0. 68c	0. 73c
	Cd 5+ Pb 50	18. 61b	19. 47b	6. 33b	6. 16b	0. 132a	0. 158a	1. 06bc	1. 01bc	
	Cd 5+ Pb 100	17. 44b	15. 20b	6. 10b	5. 62b	0. 174a	0. 166a	1. 08bc	1. 18ab	
	Cd 5+ Pb 300	15. 38b	7. 53c	4. 98c	3. 77c	0. 176a	0. 152a	1. 15b	1. 43ab	
	Cd 5+ Pb 500	6. 45c	2. 16d	3. 36d	1. 21d	0. 141a	0. 057b	1. 67a	1. 60a	
	Cd 5+ 不同 Pb 处理平均 Average	14. 47	11. 09	5. 19	4. 19	0. 16	0. 13	1. 24	1. 31	
Pb+ Cd	CK	0	38. 26a	33. 18a	8. 10a	7. 47a	0. 137a	0. 136ab	0. 68c	0. 73c
	Pb 100+ Cd 5	17. 44b	15. 20b	4. 10b	5. 62b	0. 144a	0. 166a	1. 08bc	1. 18c	
	Pb 100+ Cd 10	10. 09c	6. 47c	3. 11c	3. 24c	0. 125a	0. 133ab	1. 32b	1. 65b	
	Pb 100+ Cd 20	9. 80c	2. 84cd	3. 36c	2. 19d	0. 156a	0. 137ab	1. 68ab	2. 29a	
	Pb 100+ Cd 50	7. 04c	2. 56cd	0. 62d	1. 78d	0. 058b	0. 114b	2. 08a	2. 52a	
	Pb 100+ Cd 100	6. 18c	0. 00d	0. 35e	0. 00e	0. 016b	0. 000c	0. 41c	0. 00d	
Pb 100+ 不同 Cd 处理平均 Average		10. 11	5. 41	2. 31	2. 57	0. 10	0. 11	1. 31	1. 53	

3 讨论

镉、铅是植物体生长的非必需元素, 而且是毒性较大的诱变剂<sup>[10]</sup>。试验结果表明, 在不同 Cd<sup>++</sup> 与 Pb<sup>++</sup> 浓度的处理下, 黄瓜种子萌发的 4 项指标均随 Cd<sup>++</sup> 与 Pb<sup>++</sup> 浓度的增加呈下降趋势, 4 项指标受抑强度依次均为: 活力指数> 发芽势> 发芽指数> 发芽率。Pb<sup>++</sup> 对种子萌发的影响小于 Cd<sup>++</sup>, 这与前人研究结果一致<sup>[6, 10-12]</sup>。这可能是由于 Cd<sup>++</sup> 在植物细胞内多以有效

性高的可溶态存在, 易于在植物体内运输迁移, 而 Pb<sup>++</sup> 则多沉积在细胞壁, 很难从吸收部位向其他部位迁移<sup>[13]</sup>。不同浓度的 Pb<sup>++</sup> 和低浓度 Cd<sup>++</sup>、不同浓度的 Cd<sup>++</sup> 和低浓度 Pb<sup>++</sup> 的互作效应大于 Cd<sup>++</sup> 与 Pb<sup>++</sup> 的单一影响。

镉、铅进入植物体后, 大多数积累在根的生长部位<sup>[13]</sup>, 根细胞壁中存在大量交换位点, 能将重金属离子固定在这些位点上<sup>[9]</sup>, 进而破坏细胞内染色体和核仁。随着体内镉、铅量的增加, 对染色体和核仁的破坏加重

这可能是影响黄瓜根系形态参数的主要原因。试验  $Pb^{++}$  与  $Cd^{++}$  对黄瓜单株的根系总长度、平均根系直径、总表面积和总体积都有明显的影响, 这些指标都在一定程度上反映出重金属  $Pb^{++}$  与  $Cd^{++}$  对黄瓜根系的影响, 但从各处理间的差距来看, 不同重金属  $Pb^{++}$  与  $Cd^{++}$  处理条件下, 黄瓜单株的根系总长度的变化幅度最大, 因为根系总长度不仅包括了主根在重金属  $Pb^{++}$  与  $Cd^{++}$  胁迫下的变化, 而且包括了侧根和分枝根对重金属胁迫的反应, 更能准确地表达植物根系对重金属  $Pb^{++}$  与  $Cd^{++}$  的综合反应, 因而在植物重金属胁迫根系研究或作物抗重金属毒筛选指标研究时可考虑优先采用单株的根系总长度这个指标。

前人研究发现<sup>[8]</sup>, 重金属  $Cd^{++}$  与  $Pb^{++}$  复合污染在较低浓度下表现为一定的拮抗作用, 浓度增加到一定作用则表现为协同作用。在试验中, 黄瓜种子萌发时期, 低浓度的  $Pb^{++}$  对低浓度的  $Cd^{++}$  污染、低浓度的  $Cd^{++}$  对低浓度的  $Pb^{++}$  污染均具有一定的缓解作用; 当  $Pb^{++}$  浓度达到 100 mg/L 时,  $Cd^{++}$  浓度达到 10 mg/L 时其复合污染毒性显著增大。可见重金属  $Cd^{++}$  与  $Pb^{++}$  复合污染对植物的影响要比单一污染复杂得多, 其中的微机理有待更深入研究。

试验也发现不同品种之间对  $Cd^{++}$  与  $Pb^{++}$  的耐性有差异, 而且在不同的生长阶段, 差异不同推测这可能是由于在黄瓜种子发芽的后期及幼苗生长初期, 由于生长发育, 自身物质不断积累, 而使体内污染物浓度相应降低, 即自身稀释解毒能力有差异。另外, 镉、铅进入黄瓜种子后, 与细胞内多聚糖醛酸、羧基、羟基、纤维二糖、氨基、-SH 等结合, 从而降低毒性<sup>[14]</sup>, 而江蔬露丰对重金

属的这种解毒作用可能要强于豫艺 201, 对于不同器官、不同重金属的解毒效果又不同。所以, 直观地表现为黄瓜发芽、以及芽鲜重与根鲜重品种间的变化不一致(未列结果)。有关这一论点有待进一步研究。

### 参考文献

- [1] 周泽义. 中国蔬菜重金属污染控制[J]. 资源生态环境网络研究动态, 1999, 10(3): 21-27.
- [2] 陈素华, 孙铁珩, 周启星. 重金属复合污染对小麦种子根活力的影响[J]. 应用生态学报, 2003, 14(4): 577-580.
- [3] 宋玉芳. 土壤重金属污染对蔬菜生长的抑制作用及其生态毒性[J]. 农业环境科学学报, 2003, 22(1): 13-15.
- [4] 毛学文, 张海林. 重金属镉对南瓜种子发芽和出苗的影响[J]. 种子, 2003(1): 70-71.
- [5] 王林, 史衍玺. 镉、铅及其复合污染对辣椒生理生化特性的影响[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2005, 36(1): 107-112.
- [6] 何欢乐, 蔡润, 潘俊松等. 盐胁迫对黄瓜种子萌发特性的影响[J]. 上海交通大学学报(农业科学版), 2005, 23(2): 48-52.
- [7] 周青, 黄晓华, 张一. 镉对种子萌发的影响[J]. 农业环境保护, 2000, 19(3): 156-158.
- [8] 李元, 祖艳群. Cd、Pb 及其相互作用对小麦种子生活力的影响[J]. 云南农业大学学报, 1994, 9(4): 75-81.
- [9] 曹莹, 黄瑞冬, 蒋文春等. 重金属铅和镉对玉米品质的影响[J]. 沈阳农业大学学报, 2005, 36(2): 218-220.
- [10] 张义贤. 重金属对大麦毒性的研究[J]. 环境科学学报, 1997, 17(2): 199-205.
- [11] 任安芝, 高玉葆, 刘爽, 铬、镉、铅胁迫对青菜几种生理生化指标的影响[J]. 应用与环境生物学报, 2000, 6(2): 112-116.
- [12] 杨居荣, 鲍子平, 张素芹. 镉、铅在植物细胞内的分布及其可溶性结合形态[J]. 中国环境科学, 1993, 13(4): 263-268.
- [13] 廖自基. 环境中的微量元素的污染危害与迁移转化[M]. 北京: 科学出版社, 1989: 1-31.
- [14] 王焕校. 污染生态学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.

## Effects of Cd、Pb and their Interaction on Seed Germination and Root Morphology in Cucumber

CHEN Xin-hong, YE Yu-xiu, PANG Run-jin

(College of Life Sciences and Engineering, Huaiyin Institute of Technology, Huaian, Jiangsu 223003, China)

**Abstract:** Effects on seed germination and root morphology in cucumber were studied by treatments of Cd, Pb, Pb+Cd and Cd+Pb. The results showed that the seed germination indices of cucumber decreased with increasing concentration of Cd、Pb; The total root length、surface area of cucumber roots were also decreased with increasing concentration of Cd、Pb; the average diameter of cucumber roots were increased with increasing concentration of Cd、Pb under the low consistence, but were decreased obviously under the high consistence; The single effect of Cd on cucumber seed germination and roots was obvious than that of Pb. The effect of their interaction on cucumber seed germination and roots was higher than their own effect. Yuyi 201 cucumber was more tolerant to Cd and Pb than jiangshulufeng cucumber.

**Key words:** Cd; Pb; Interaction; Cucumber; Germinate; Root morphology