

铅-镉复合污染对天竺葵生长的影响

贾玉华, 朱建雯*, 钱翌, 高永甲 (1. 新疆农业大学资源环境学院, 新疆乌鲁木齐830052; 2. 青岛科技大学环境与安全工程学院, 山东青岛266042; 3. 新疆兵团勘测规划设计研究院, 新疆乌鲁木齐830000)

摘要 [目的] 为重金属污染区的生态恢复与重建提供依据。[方法] 采用盆栽方法, 研究铅-镉复合污染对天竺葵生长的影响。[结果] 随着铅-镉复合浓度的增加, 天竺葵的株高、地上及地下干重和Cd、Pb的富集系数及转移系数都呈下降趋势。在1 500 ng/kg Pb、50 ng/kg Cd 污染的条件下, 天竺葵植株没有出现萎黄、死亡等胁迫症状。铅、镉主要分布在天竺葵的根部, 造成铅-镉复合污染对天竺葵根的抑制效应明显大于地上部分。镉、铅之间存在拮抗作用, 且相互抑制地下向地上的转移量。[结论] 天竺葵对铅-镉复合污染有较高的耐性。

关键词 铅-镉; 复合污染; 天竺葵; 耐性

中图分类号 S682.1+9 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2008)07-02649-02

Effects of the Compound Pollution of Pb and Cd on the Growth of *Pelargonium hortorum*

JIA Yu hua et al (College of Resources and Environmental Sciences, Xinjiang Agricultural University, Urumqi, Xinjiang 830052)

Abstract [Objective] The research aimed to provide basis for the ecological restoration and reconstruction in the area polluted by heavy metals. [Method] In the pot test, the effects of the compound pollution of Pb and Cd on the growth of *P. hortorum* were studied. [Result] With the increasing of the compound pollution of Pb and Cd, the plant height, dry matter weight in overground parts and underground parts, the enrichment coefficient and transfer coefficient of Cd and Pb in *P. hortorum* all showed decreasing trends. Under the pollution conditions of 1 500 ng/kg Pb and 50 ng/kg Cd, stress symptoms such as withering and death didn't appeared in the plants of *P. hortorum*. Pb and Cd were mainly concentrated in the root of *P. hortorum*, which caused that the inhibitory effects of the compound pollution of Pb and Cd on the root of *P. hortorum* were obviously greater than that on the overground parts. An antagonistic effect existed between Cd and Pb and they inhibited the transfer amount from the underground parts to the overground parts each other. [Conclusion] *P. hortorum* had higher tolerance to the compound pollution of Pb and Cd.

Key words Pb and Cd; Compound pollution; *Pelargonium hortorum*; Tolerance

随着工业的发展, 重金属复合污染日益严重。据统计, 我国约有1.3万 hm^2 耕地受到铅、镉等重金属污染, 因重金属污染引起的粮食减产达1 000万 $\text{t}^{[1]}$ 。土壤中的重金属一旦进入植物, 不仅危害作物, 造成作物减产甚至绝收, 还通过食物链在有机体中沉积, 通过级联放大和累积作用对人体造成慢性毒害, 危害人体健康 $^{[2-4]}$ 。世界各国学者对重金属污染问题进行了广泛深入的研究。重金属污染在土壤环境中具有隐蔽性、长期性和不可逆转的特点, 使得重金属污染土壤的治理和修复成为亟需解决的现实问题 $^{[5]}$ 。近20年来, 国内外已有一些学者对重金属在土壤与植物系统中的迁移转化进行了研究, 并且在寻找超富集植物方面开展了大量的探索性研究, 但是对复合污染土壤中抗性植物的筛选工作开展的很少。笔者选用花卉植物天竺葵, 通过盆栽试验, 研究Pb-Cd复合污染对天竺葵生长的影响, 为重金属污染区的生态恢复与重建及提高土地利用效率提供科学依据。

1 材料与试验方法

1.1 供试材料 选用花卉植物天竺葵(*Pelargonium hortorum*)为试验材料。供试土壤为采自麦田表层0~20 cm的沙壤土。土壤基本性质:pH值8.01, 有机质18.31 g/kg, 全P 10 ng/kg, 全N 36.09 ng/kg, 全K 11 ng/kg, 全Pb 13.6 ng/kg, 全Cd 0.23 ng/kg。

1.2 试验设计 试验在乌鲁木齐南郊板房沟镇华联农业科技示范区的温室进行。称取过筛风干土, 加入分析纯 $\text{Pb}(\text{NO}_3)_4$ 、 CdCl_2 配制成Cd、Pb复合污染的不同浓度(表1)。试验共7个处理, 每个处理4次重复。

表1 试验设计

ng/kg

Table 1 Test design

处理 Treatment	Cd	Pb
(CK)	0.23	13.6
	0.6	300
	1	500
	5	800
	10	1000
	20	1200
	50	1500

将处理过的土壤混合均匀后装盆, 每盆装风干土4.5 kg, 加入自来水, 使土壤含水量为田间持水量的70%。平衡1周后, 在每盆中移栽3株天竺葵。植物生长期间保持土壤含水量为田间持水量的70%。植物生长120 d后收获, 收获时测量株高, 然后沿土表剪取地上部, 同时洗出根系, 105℃杀青30 min, 70℃烘干, 分别称量地上部和根的干重, 粉碎、备用。将每盆的全部土壤阴干, 过100目筛, 备用。

1.3 测定项目及方法 铅、镉含量均利用火焰原子吸收光谱仪测定。

1.3.1 天竺葵样品铅、镉含量的测定。 称取天竺葵样品1 g于100 ml消化瓶中, 采用硝酸-高氯酸法, 在低温电热板上缓慢加热7 h至消化完全, 取下后冷却至室温, 用二次去离子水定容到50 ml, 取上清液上机测定 $^{[9]}$ 。

1.3.2 土壤样品铅、镉含量的测定。 称取晾干的土壤样品0.1 g于30 ml消化瓶中, 按顺序依次加入硝酸10 ml, 氢氟酸3 ml, 高氯酸3 ml, 在低温电热板上缓慢加热7 h至消化完全, 取下后冷却至室温, 用二次去离子水定容到50 ml, 取上清液上机测定 $^{[9]}$ 。

1.4 数据处理 试验结果为4次重复的平均值。数据进行方差分析, 并用新复极差法(Duncan's New Multiple Range

基金项目 新疆维吾尔自治区高校科研计划科学研究重点项目(XJEDU2005I08)。

作者简介 贾玉华(1976-), 女, 新疆乌鲁木齐人, 硕士研究生, 研究方向: 土壤重金属污染与生态修复学。* 通讯作者。

收稿日期 2007-11-09

Method) 进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 铅-镉复合污染对天竺葵株高的影响 利用植物的株高、干物质重可以阐明土壤中重金属对天竺葵生长发育的影响。由表2可知,随着铅-镉复合浓度的增加,天竺葵株高呈下降趋势。低浓度时(处理、),处理间株高差异显著;高浓度时,处理、、、的株高分别比对照下降24%、29%、34%和37%。研究表明,镉破坏叶绿体结构,Pb-Cd复合污染会加强叶绿体破坏,影响植物光合作用^[6];Pb-Cd复合作用可使细胞膜透性增大,损伤细胞膜,引起代谢紊乱^[7];同时镉和铅的复合作用可降低根系的活力^[8]。因此随着铅-镉复合浓度的增加,植物受抑制的程度增加。

表2 铅-镉复合污染对天竺葵株高及干物质重的影响

Table 2 Effects of Pb-Cd combined pollution on plant height and biomass of *P. hortorum*

处理 Treatment	株高 Plant height cm	地上干重 Dry weight of above ground part g/株	地下干重 Dry weight of underground part g/株
(CK)	729.4 a	57.9 a	16.7 a
	26.3 b	56.3 a	11.9 b
	23.3 c	54.7 ab	9.2 c
	22.3 cd	51.9 b	8.3 cd
	20.8 de	45.4 c	7.9 cd
	19.4 ef	34.0 d	7.4 d
	18.5 f	29.5 e	5.6 e

注:同列不同小写字母表示差异在0.05水平显著。下同。

Note: Different lowercase letters in same column indicate significantly different at 0.05 probability level. The same as below.

在120 d的生长期,天竺葵植株在最高铅-镉复合浓度条件下也没有出现萎黄、死亡等胁迫症状。说明天竺葵对Pb-Cd复合污染的耐受性较高。从天竺葵株高受抑制程度来看,试验设计的铅-镉复合浓度还远没有达到其耐受的上限浓度,因此该植物在提高重金属污染区的土地利用效率、恢复植被等方面具有较强的优势。

2.2 铅-镉复合污染对天竺葵地上及地下干重的影响 干物质重是衡量植物生长的重要指标。由表2可知,随着土壤铅-镉复合浓度的增加,天竺葵地上及地下部分的干重均呈下降趋势,但变化不同。地上干重在低浓度时(处理、)差异不显著,高浓度时(处理~)差异显著。高浓度时差异不显著。高浓度时差异不显著。处理、、、、的地上干重分别比对照下降10%、22%、41%、49%。地下干重却表现出低浓度时差异显著。处理、、、、的地下干重分别比对照下降45%、53%、56%和66%。由此可以看出,Pb-Cd复合污染对植物地下部分抑制效应明显大于地上部分,这是由于Pb、Cd主要分布于植物根部(见表3),因此对根造成的伤害大于地上部分。

2.3 铅-镉复合污染对天竺葵铅、镉积累量的影响 重金属对植物的影响与植物体内铅、镉的积累量密切相关。由表3可以看出,铅、镉主要分布在天竺葵的根部,与梁利芳等^[10]的研究结果一致,但与赵菲佚等^[7]的研究结果不同。随着铅-镉复合浓度的增加,天竺葵地上及地下部分的铅、镉均呈增加趋势,但累积速率有所不同。镉元素地上及地下部分的

累积速率高于铅元素的累积速率。以处理 为例,土壤中镉和铅含量均约为对照的88倍,镉地上和地下部分积累量分别是对照的25.0、22.4倍,而铅地上和地下部分积累量分别是对照的2.8、9.6倍,与王学峰等^[12]的结果不一致。表明随着土壤中复合浓度的增加,镉地上及地下含量基本上是同步增长,而铅地上部分积累量远小于地下部分的积累量。

表3 铅-镉复合污染对天竺葵Pb和Cd积累量的影响

Table 3 Effects of Pb-Cd combined pollution on Cd, Pb accumulation in *P. hortorum*

元素 Element	处理 Treatment	地上部分 Above ground part ng/kg	地下部分 Underground part ng/kg	植物体内浓度 Concentration in frond ng/kg	富集系数 Enrichment coefficient ng/kg	转移系数 Transfer coefficient ng/kg	
Cd		0.73 a	0.82 a	0.24 a	3.20	0.89	
		0.08 b	0.35 b	0.50 b	0.84	0.23	
		0.11 c	0.34 b	0.35 c	0.35	0.32	
		0.15 d	0.78 c	0.26 d	0.05	0.19	
		0.25 e	1.17 d	1.17 e	0.12	0.21	
		0.35 f	3.36 e	0.97 f	0.05	0.10	
		0.53 g	3.26 e	1.06 g	0.02	0.16	
	Pb		3.40 a	3.48 a	3.40 a	0.25	1.00
			5.30 b	11.70 b	6.50 b	0.02	0.45
		7.10 c	21.70 c	9.29 c	0.02	0.33	
		6.20 d	24.80 d	9.43 c	0.01	0.25	
		7.30 e	30.90 e	11.62 d	0.01	0.24	
		9.60 f	33.30 f	14.45 e	0.01	0.29	
		12.10 g	31.80 g	15.90 e	0.01	0.38	

富集系数(BF)也称吸收系数,是指植物中某种元素含量与土壤中该元素含量的比值。富集系数越高,表明植物地上部分重金属富集质量分数越大^[11]。转移系数(TF)是指植物地上部分某种元素的含量与地下部分同种元素含量的比值,用来评价重金属从地下向地上运输和富集的能力。转移系数越大,植物从根系向地上器官运送重金属的能力越强^[11]。由表3可知,随着Pb-Cd复合浓度的增加,天竺葵镉的富集系数及转移系数均呈下降趋势。即在铅-镉复合作用下,低浓度时植物吸收较多的镉离子,并转移到地上部分,高浓度时植物对镉离子表现出避性,且转移能力下降,表明铅的存在可能抑制根对镉的吸收和地下向地上的转移量,与梁利芳等^[10]的结果一致。随着铅-镉复合浓度的增加,天竺葵铅的富集系数下降,且在高浓度时停滞,这可能是由于Pb-Cd交互作用时,镉元素的毒性较强,抑制了根对铅的吸收,镉、铅同时存在时,铅可夺取镉在土壤中的吸附位,而且土壤对铅也具有很强的吸附性,使铅更易于通过化学反应生成沉淀物质,固定在土壤中不易被吸收^[12]。铅的转移系数从处理 到处理 总体呈下降趋势,表明镉的存在抑制了铅的地下向地上的转移量,这一结果与梁利芳等^[10]结果不同。因此,对天竺葵而言,镉和铅具有拮抗效应,相互抑制地下向地上的转移量。处理 镉和铅的富集系数表现为下降和不变,但转移系数增加,其原因有待进一步研究。

3 结论

(1) 天竺葵是一种对Pb-Cd复合污染有较高耐性的植物,在Pb 1 500 ng/kg、Cd 50 ng/kg的情况下也没有出现萎

(下转第2767页)

势种类相对比较丰富,草本优势种类亦比较丰富。群落类型从某个角度也可以反映出了其群落的演替进程,对于处于发展演替初期的群落,主要以草本为主,因此会表现出草本层的优势种的数量比较多,而灌木层优势种则比较单一。因此,可以推断,尾叶桉林下植被的发展进程相对于任豆来讲稍快一些。

3 小结与讨论

(1) 对大化县退耕还林尾叶桉模式和任豆模式植被情况的调查,结果可知,尾叶桉林呈现出快速恢复的状态,林下植被中,灌木的优势度逐渐显现;任豆林则恢复速度略低于尾叶桉林,林下植被以草本为主;不同的退耕造林树种,对其林下植被种类数以及覆盖度等并没有显著的影响。

(2) 在退耕地的固定样地中,草本覆盖度最大。这是由于所调查的模式均为退耕初期的林分,处于群落演替的初期,在此期间,土壤具有一定的水土保持能力,生长的多为一些耐旱喜光的草本植物。而在草本植物把生态环境改善后,灌木会逐渐侵入,但是在演替初期,灌木还没有发展到阻碍草本生长的阶段,因此,在调查结果中,林下植被中草本层占优势。由于固定样地为固定监测点,每年对其进行监测时,对其林下植被造成了干扰,因此演替进程在一定程度上受到阻碍。另外还有许多不确定因素的影响,如生物践踏、不确定的气候因素的变化等,都有可能影响到群落的生存和发展。而且由于两种模式的退耕林均处于发展状态,植物种类均处于上升状态,群落各层植物种类数均随林分年龄增加而增加。

(3) 调查中发现,尾叶桉模式林下植被覆盖度相对比任

(上接第2650页)

黄、死亡等胁迫症状。

(2) 随着Pb - Cd复合浓度的增加,天竺葵的株高呈下降趋势。处理 、 、 的株高分别比对照下降24%、29%、34%和37%。

(3) 随着Pb - Cd复合浓度的增加,天竺葵地上和地下的每株干重均呈下降趋势,而且对根的抑制程度明显高于地上部分,原因是天竺葵吸收的镉和铅均主要分布在根部,因此对根的生长产生较大的影响。

(4) 处理 ~ 镉的地上及地下部分积累量均高于铅,镉、铅的富集系数及转移系数均呈下降的趋势;镉和铅之间存在拮抗作用,且相互抑制地下向地上的转移量。

参考文献

[1] 张从. 污染土壤生物修复技术[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2000: 1 - 42.

[2] MCGRATH S P, ZHAO F J, LOMI E. Root and rhizosphere processes involved in phytoremediation of metal-contaminated soils[J]. *Plant and Soil*, 2001, 232(1/2): 207 - 214.

豆模式比较小,任豆模式的覆盖度比较高。根据推测,任豆林下植被覆盖度较高于尾叶桉林下可能是由于土壤肥沃度以及林分郁闭度等的愿意。据了解,在任豆林中,林下的灌草都是经过人为经营措施的,其生物量在一定程度上都处于半分解的状态中。而在尾叶桉林中,很多灌草都是自然枯萎,凋落或者是桉树自然整枝的结果。所以在土壤肥沃度方面,任豆模式要比尾叶桉模式肥沃。再者,任豆林分的郁闭度要比尾叶桉林分的郁闭度要低,因此透过任豆林到达临夏植被的光照强度和ación时间也会比较有利于林下植被的生存和发展,综合以上条件,使得任豆林下植被生长情况比尾叶桉林下植被要好。而任豆林下植被丰富度指数低于尾叶桉,可能由于尾叶桉林下土壤中植物残留体比任豆林下要高。又或者是任豆林下植被演替发展速度稍低于尾叶桉模式。

参考文献

- [1] 王世昌, 卢爱英, 王世裕. 山西省偏关县退耕还林地物种多样性及其保护[J]. *山西林业科技*, 2006, 12(4): 33 - 35.
- [2] 郑佳丽, 高国雄, 王荣秀, 等. 北川河流域退耕还林还草地主要植物群落物种多样性研究[J]. *水土保持研究*, 2006, 8(4): 101 - 106.
- [3] 贾俊妹, 李文忠, 高国雄, 等. 大通县退耕还林不同配置模式物种多样性的研究[J]. *西北林学院学报*, 2006, 21(3): 1 - 6.
- [4] 沈迪玉, 宫渊波, 鲜骏仁, 等. 广元市退耕还林区林下物种多样性分析[J]. *四川农业大学学报*, 2005, 9(3): 327 - 331.
- [5] 黄庆丰, 高健, 吴泽民. 巢湖低丘不同森林类型物种多样性数量特征研究[J]. *安徽农业大学学报*, 2003, 30(2): 163 - 167.
- [6] SHANNON C E, WEAVER W. *The mathematical theory of communication* [M]. Univ. Illinois Press, Urbana, 1949.
- [7] SIMPSON H. *Measurement of diversity* [J]. *Nature*, 1949, 167: 688.
- [8] MAGURRAN A E. *Ecological diversity and its measurement* [M]. New Jersey: Princeton University Press, 1988.
- [9] 李景文. *森林生态学* [M]. 2版. 北京: 中国林业出版社, 1994: 212.
- [3] REEVES R D, BAKER J M. *Metal-accumulating plants* [C] // RASKIN H, ENSLEY B D. *Phytoremediation of Toxic Metals: Using Plants to Clean Up the Environment* London: John Wiley & Sons, Inc., 2000: 193 - 230.
- [4] 周启星, 黄国宏. *环境生物地球化学及全球环境变化* [M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- [5] 孙约兵, 周启星. 镉超富集植物球果躑躅对镉、砷复合污染的反应及其吸收积累特征[J]. *环境科学*, 2007, 28(6): 1355 - 1360.
- [6] 付庆灵, 吕意, 黎佳佳, 等. 生菜对灰潮土重金属Cd - Pb污染的反应与矿质元素吸收[J]. *农业环境科学学报*, 2006, 25(5): 1153 - 1156.
- [7] 赵菲佚, 翟禄新, 陈荃, 等. Cd - Pb复合处理下对植物膜的伤害初探[J]. *兰州大学学报*, 2002, 38(2): 115 - 119.
- [8] 何翠屏, 王慧忠. 重金属镉、铅对草坪植物根系代谢和叶绿素水平的影响[J]. *湖北农业科学*, 2003(5): 60 - 63.
- [9] 鲍士旦. *土壤农化分析* [M]. 3版. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [10] 梁利芳, 张丽霞, 杨肖伟, 等. 稀土镧及其配合物对植物铅、镉单一及复合污染的作用[J]. *广西师范学院学报*, 2002, 19(1): 69 - 73.
- [11] FAYIGA A O, MA L Q, CAO X D, et al. Effects of heavy metals on growth and arsenic accumulation in the arsenic hyperaccumulator *Peis vittata* L. [J]. *Environmental Pollution*, 2004, 132(2): 289 - 296.
- [12] 王学峰, 师东阳. Cd - Pb复合污染在土壤-烟草系统中生态效应的研究[J]. *土壤通报*, 2007, 38(4): 738 - 740.
- [13] 陈英旭, 林琦, 陆芳, 等. 根系对环境中重金秘史铅、镉富集的修复作用[J]. *浙江大学学报*, 2000, 26(1): 61 - 66.