

商陆修复镉-锌复合污染土壤的潜力初探

吴双桃 (韩山师范学院环境化学应用技术研究所, 广东潮州521041)

摘要 为了解商陆修复镉-锌复合污染土壤的潜力。通过盆栽试验,研究了镉-锌复合污染发生时锌营养条件下镉污染对商陆生长及富集镉、锌能力的影响。商陆在镉-锌复合污染条件下,土壤中镉和锌的最大允许浓度分别建议为150和300 ng/kg。无论镉的单因子污染或是复合污染,商陆中镉的含量均随土壤中镉浓度的增加而增加。在商陆地上部镉-锌之间表现为协同作用,土壤中低浓度镉能促进植株吸收锌,而低浓度锌对植株吸收镉有激发作用。当土壤锌含量小于200 ng/kg时,镉-锌相互作用导致商陆根中镉的积累量随锌浓度增加而增加;大于200 ng/kg时表现为负相关。土壤中锌浓度为0~200 ng/kg时对商陆生长及富集镉总量有一定的促进作用。

关键词 商陆; 镉; 锌; 复合污染

中图分类号 S156 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2007)21-06579-02

Preliminary Study on the Repairing Potential of *Phytolacca acinosa* Roxb. on Cd-Zn Compound Pollution in Soil

WU Shuangtao (Institute of Environmental Chemistry and Technology, Hanzhan Normal College, Chaozhou, Guangdong 521041)

Abstract The research was constructed to know the repairing potential of *Phytolacca acinosa* Roxb. on Cd-Zn compound pollution in soil. In potted experiments, under Cd-Zn compound pollution and the condition of Zn nutrition, the effects of Cd pollution on the growth of *P. acinosa*, and the enrichment capability for Cd and Zn was studied. For *P. acinosa* under Cd-Zn compound pollution, the maximum permissible concentration for Cd and Zn were recommended as 150 ng/kg and 300 ng/kg respectively. The Cd content in *P. acinosa* was increased with the addition concentration of Cd in soil, whether under single-factor pollution or under compound pollution. Synergistic actions existed between Cd and Zn at the aerial part of *P. acinosa*. The low concentration of Cd in soil promoted the Zn absorption in plants, while low concentration of Zn had motivating actions for the Cd absorption in plants. When the Zn content in soil was less than 200 ng/kg, the Cd accumulation in the roots of *P. acinosa* was increased with the increment of Zn concentration, which caused by the interaction of Cd and Zn. When the Zn content in soil was more than 200 ng/kg, the Cd accumulation in root of *P. acinosa* had a negative correlation with the Zn concentration. Zn in soil with the concentration of 0~200 ng/kg promoted the growth of *P. acinosa* and total amount of Cd enrichment.

Key words *Phytolacca acinosa* Roxb.; Cd; Zn; Compound pollution

自然界中重金属的污染多为伴生性或综合性。锌矿中通常含有0.1%~5.0%的镉,镉和锌常作为复合体对生物发生联合作用^[1]。土壤中镉的迁移与锌有关,研究表明Zn/Cd比例的变化将显著影响土壤中镉、锌的有效性,土壤Zn/Cd比值与植物镉含量有关^[2-4]。

笔者定量研究锌营养条件下镉污染对商陆生长及富集镉、锌能力的影响,旨在通过调节植物营养进而调控其对重金属的吸收,为商陆在修复镉污染土壤中的应用提供依据。

1 材料与试验方法

1.1 仪器和试剂 WYX402B原子吸收分光光度计(沈阳分析仪器厂);硝酸镉(AR)、硝酸锌(AR)。

1.2 盆栽试验

1.2.1 供试植物和试验用土。供试植物商陆(*Phytolacca acinosa* Roxb.)为多年生草本,生长速度快,生产力高,适应性强,分布广泛;供试土壤为无污染红壤,采自林阴下表土,有机质含量1.48 g/kg, pH值5.10,土壤中镉浓度0.28 ng/kg。土壤

粘性较重,装盆前适当掺沙,比例为50%。

1.2.2 装盆与栽培。试验用塑料盆,底部铺5 cm左右的小石头,然后装入25 kg干燥土壤。将供试植物剪去地上部分,仅留1~2个芽胞。在未受镉污染土壤中培育30 d,等其成活。选用正交试验设计,共25个处理,重复3次。镉浓度水平分别为0、50、100、150、200 ng/kg(干土),分别记为Cd0、Cd50、Cd100、Cd150、Cd200;锌浓度水平分别为0、100、200、300、400 ng/kg(干土),分别记为Zn0、Zn100、Zn200、Zn300、Zn400,按正交设计中各水平组合配制Cd(NO₃)₂和Zn(NO₃)₂溶液,均匀加入土壤中。

1.3 样品分析 收获植物地上部和地下部,洗净,分别称量根及茎叶的干重。

测定植物各部位镉含量。植物试样采用干灰化法:经电热板预灰化,再在500℃灰化,时间为12 h。加入3 ml 1 mol/L HCl溶解灰分,必要时过滤,用蒸馏水定容至50 ml。镉浓度采用原子吸收分光光度计测定。

表1 正交试验设计 L₂₅(5⁵)及商陆各部位干重 g

处理	Cd0		Cd50		Cd100		Cd150		Cd200	
	地上部	根	地上部	根	地上部	根	地上部	根	地上部	根
Zn0	71.1	35.5	65.5	30.1	65.5	29.2	59.5	27.5	51.2	25.3
Zn100	74.8	39.4	67.9	35.4	66.8	32.8	61.2	30.5	54.4	27.1
Zn200	78.4	42.9	71.1	39.8	67.9	36.4	60.1	32.9	51.9	29.1
Zn300	81.7	47.8	69.5	41.2	63.7	35.6	55.7	29.7	47.7	25.1
Zn400	80.2	47.1	67.3	38.7	60.1	34.2	50.1	24.1	40.6	19.2

2 结果与分析

2.1 镉-锌复合污染对商陆生物量的影响 根据商陆在镉-锌复合污染土壤中的生长反应和生物量的差异,可确定适合商陆生长的镉、锌浓度范围。如表1所示,当土壤中只投加锌,浓度为0~300 ng/kg时商陆生物产量随锌浓度增加而增加,超过此范围则随之下降。植物从土壤中吸收过量的

基金项目 广东省科技厅计划项目(2005B33302002);韩山师范学院青年基金科研项目(2005年)。

作者简介 吴双桃(1976-),女,湖南益阳人,硕士,助理研究员,从事污水处理和土壤治理研究。

收稿日期 2007-04-02

锌,抑制其生长。若使商陆不至于锌中毒,应保持土壤中锌含量小于300 ng/kg。

由于植物根直接与重金属接触,受到镉的危害大,根对镉的反应是确定最佳浓度范围的限制性因素。商陆根在镉浓度为0~50 ng/kg,生物量随锌浓度增加而增加。因此,适宜商陆生长的最佳浓度组合应该为镉0~50 ng/kg,锌0~300 ng/kg。另外,相对商陆最高生物产量减产约10%时,土壤镉和锌的浓度分别为150和300 ng/kg。若以减少10%为限,土壤中镉和锌的最大允许浓度建议分别为150和300 ng/kg。

2.2 商陆地上部镉和锌含量变化 根据对镉-锌复合污染的研究,可确定植株各器官组织累积镉对土壤中镉浓度增加

的反应因土壤锌浓度增加而变得更为“灵敏”。也就是说,镉-锌交互作用有导致植株体内累积更多有毒元素镉的可能。复合污染条件下商陆地上部镉、锌的含量见表2。

镉-锌复合污染对商陆地上部重金属镉、锌累积和分配的影响,取决于该土壤中镉和锌的浓度及其组合关系,并不是单纯的协同(或拮抗)效应,这较镉单因素污染时复杂得多。为便于分析镉-锌复合污染效应对植物吸收镉、锌的作用规律,笔者将植物体内的镉、锌浓度值作比较,得表3。

如表3所示,在某个锌水平上,随着镉浓度增大,Cd/Zn比值增大,这表明无论是镉的单因子污染或复合污染,商陆中镉的含量均随土壤中镉浓度的增加而增加。

表2 镉-锌复合污染商陆地上部Cd和Zn的含量 ng/kg

处理	Cd0		Cd50		Cd100		Cd150		Cd200	
	Cd	Zn	Cd	Zn	Cd	Zn	Cd	Zn	Cd	Zn
Zn0	9.8	67.9	276.4	127.7	371.5	54.5	431.4	50.4	482.4	47.5
Zn100	11.5	1288.3	432.8	1331.1	478.4	1215.4	501.7	1159.5	532.6	1091.4
Zn200	12.9	1347.6	474.1	1451.5	509.9	1281.1	543.4	1168.9	559.7	1108.7
Zn300	14.1	1434.5	485.7	1523.9	507.1	1296.3	534.5	1181.1	551.1	1130.9
Zn400	17.8	1474.1	496.1	1596.1	502.7	1324.7	532.8	1211.6	543.1	1153.1

据研究,锌有促进植物吸收镉的作用^[5-6]。试验中,除锌空白处理,任一镉浓度上随着锌浓度增加,Cd/Zn比值基本相等,可视为常数,证明增加锌量可促进植物吸收镉和锌,因此认为低浓度锌能促进镉的吸收。但镉浓度增大至150

ng/kg以上,随着锌浓度的增大,Cd/Zn比值规律不明显,即高浓度镉对植物产生毒害作用,掩盖了锌对植物吸收镉的促进作用。因而镉-锌复合污染仅在锌浓度低的时候才表现出明显的促进作用。

表3 Cd、Zn比值

处理	Cd0		Cd50		Cd100		Cd150		Cd200	
	Cd/Zn	Zn/Cd	Cd/Zn	Zn/Cd	Cd/Zn	Zn/Cd	Cd/Zn	Zn/Cd	Cd/Zn	Zn/Cd
Zn0	0.14	6.93	2.16	0.46	6.82	0.15	8.56	0.12	10.16	0.10
Zn100	0.01	112.00	0.33	3.10	0.39	2.50	0.43	2.30	0.49	2.00
Zn200	0.01	104.50	0.33	3.10	0.40	2.50	0.46	2.20	0.50	2.00
Zn300	0.01	101.70	0.32	3.10	0.39	2.60	0.45	2.20	0.49	2.10
Zn400	0.01	82.80	0.31	3.20	0.38	2.60	0.44	2.30	0.47	2.10

镉、锌复合污染对植物吸收镉的影响也可从Zn/Cd比值变化规律上判断。在任一镉浓度上,除了镉空白处理,可以看到在50 ng/kg镉浓度处理水平上,商陆地上部Zn/Cd比值最大,然后随着镉浓度增大到200 ng/kg,Zn/Cd比值降低。显然,低浓度镉污染土壤中,随着镉的增加有促进植株吸收镉的功能,而高浓度的镉继续增大则抑制植物对镉的吸收。复合效应在不同植物中有不同的反应,在商陆中,镉-锌之间表现为协同作用。

0~200 ng/kg的锌可促进商陆地上部对镉的吸收富集,

结合此浓度锌能促进商陆生长,可确定锌浓度在0~200 ng/kg是促进商陆生长和富集的最佳浓度。

2.3 商陆根中镉和锌的含量变化(表4) 当土壤锌含量小于200 ng/kg时,镉-锌相互作用导致商陆根中镉的积累量随锌浓度增加而增加;大于200 ng/kg时表现为负相关关系。镉-锌复合污染对根的效应再次证明,低浓度锌对商陆富集镉有较大的促进作用,且这个范围和地上部同为0~200 ng/kg,商陆根在该范围能增大整株生物量和镉浓度。

商陆根中累积镉规律与地上部基本相同,低浓度镉促进

表4 镉-锌复合污染商陆根中Cd和Zn的含量 ng/kg

处理	Cd0		Cd50		Cd100		Cd150		Cd200	
	Cd	Zn	Cd	Zn	Cd	Zn	Cd	Zn	Cd	Zn
Zn0	11.7	98.4	104.2	119.4	128.4	51.7	177.5	38.7	270.8	21.8
Zn100	12.6	1325.7	123.1	1551.8	144.7	1294.5	187.5	1255.8	287.9	1211.4
Zn200	13.4	1385.9	132.9	1672.4	161.1	1354.4	196.9	1321.7	295.1	1265.7
Zn300	14.8	1464.1	120.3	1742.5	148.2	1430.7	170.5	1367.8	262.7	1282.1
Zn400	15.6	1511.9	108.4	1794.1	130.7	1482.1	148.6	1401.1	229.9	1305.5

商陆根吸收和富集镉,但这个范围比较狭窄,在植物修复镉污染土壤中应注意控制土壤中镉浓度,以免镉对镉富集产生拮抗作用,从而降低植物修复效果。

3 结论

(1) 复合污染时土壤中镉和锌的最大允许浓度可建议分

(下转第6616页)

(上接第6580页)

别为150和300 mg/kg。

(2) 土壤添加锌0~200 mg/kg为营养范围,能够促进植物的生长和对镉的吸收。

(4) 在商陆地上部,镉-锌之间表现为协同作用,土壤中低浓度镉的增加有促进其吸收锌的功能,而低浓度锌的增加对植株吸收镉有激发作用。

(4) 镉-锌复合污染中镉加重了锌的毒害,随着镉浓度增大到200 mg/kg,使得锌的毒害临界值从300 mg/kg下降到100 mg/kg。

(5) 在镉污染土壤治理中,可从复合污染角度考虑镉-

锌复合效应对商陆的作用,也可从营养角度考虑添加锌对商陆生长和富集镉的影响。

参考文献

- [1] 中国地理学会自然地理专业委员会. 生物地球化学与植物土壤元素交换 M. 北京: 科学出版社, 1965 :5 - 30.
- [2] 任继凯, 陈清朗, 陈灵芝, 等. 土壤中镉、铜、锌及其相互作用对作物的影响[J]. 植物生态学与地植物学丛刊, 1982, 6(4) :320 - 329.
- [3] 贺建群, 杨居荣, 许袁琳, 等. 重金属及其交互作用对小麦幼苗中金属含量的影响[J]. 生态学杂志, 1992, 12(4) :5 - 10.
- [4] 徐红宁, 许嘉琳. 土壤环境中重金属复合污染对小麦的影响[J]. 中国环境科学, 1993, 13(5) :367 - 371.
- [5] 周启星, 吴燕玉, 熊先哲. 重金属Cd-Zn对水稻的复合污染和生态效应[J]. 应用生态学报, 1994, 5(4) :428 - 431.
- [6] 余国营, 吴燕玉. 土壤环境中金属元素的相互作用及其对吸持特性的影响[J]. 环境化学, 1997, 15(1) :30 - 36.