

重金属污染土壤的植物修复研究^①

I. 金属富集植物 *Brassica juncea* 对铜、锌、镉、铅污染的响应

蒋先军 骆永明 赵其国 吴胜春 吴龙华 乔显亮 宋 静

(中国科学院南京土壤研究所 南京 210008)

摘 要 用来修复污染土壤的理想植物应具有高的生物量并能忍耐和积累污染物。印度芥菜(*Brassica juncea*)能富集多种重金属且生物量较大。本文研究了Zn、Cd、Cu、Pb 4种重金属对印度芥菜生长的影响,特别是重金属对印度芥菜地上部生物量的影响。结果表明,在含Cu 250 mg/kg、Pb 500mg/kg或Zn 500mg/kg的污染土壤上,印度芥菜能够忍耐,正常生长。印度芥菜在含Cd 200 mg/kg的土壤上发生镉毒而出现失绿黄化症状,Cd与中等浓度的Zn、Cu、Pb共存时毒害更为严重。这种植物适合Cu、Zn、Pb中等污染土壤的修复。

关键词 植物修复;印度芥菜;重金属;土壤污染

随着城市化、工业化以及农业集约化的发展,人们越来越关注环境质量问题,土壤学家更注目于“土壤环境质量”。土壤被重金属污染后,不仅影响作物产量和品质,而且可能进入食物链影响人类健康。60年代发生在日本富山县的“骨痛病”就是当地居民食用被含Cd废水污染了的土壤所生产的“镉米”所致。重金属进入土壤后,由于移动性小而很难清除。采用工程措施或化学方法来治理土壤重金属污染,不仅成本昂贵,而且还会破坏土壤结构以及微生物区系,还可能造成“二次污染”。植物提取修复技术作为一种新兴的绿色生物技术,能在不破坏土壤生态环境,保持土壤结构和微生物活性的状况下,通过植物的根系直接将大量的污染元素吸收,从土壤中带走,从而修复被污染的土壤^[1]。这种技术在土壤污染治理方面具有极大的潜力,已引起广泛关注。

用来提取修复污染土壤的理想植物应具有高的生物量并能忍耐和积累污染物。但现在发现的许多超积累植物通常生长缓慢、植株矮小、地上部生物量小,极大地限制植物提取修复的实际应用^[1]。印度芥菜(*Brassica juncea*)生物量大,并可同时积累相当浓度的Pb、Cr、Cd、Ni、Zn、Cu^[2]和Se^[3]。Ebbs及其同事(1997)采用营养液培养的方法研究了重金属对印度芥菜生长的影响,在含Zn(6.5mg/L)、Cu(0.32 mg/L)的营养液中生长14天,植物地上部和根的干重都显著下降^[4];他们进一步的土培盆栽结果表明,与Zn/Cd的超积累植物*Thlaspi caerulescens*相比,印度芥菜更能有效地除去土壤中的Zn,二者除去的Cd相当^[3],但没有研究土培盆栽条件下重金属对印度芥菜生长的影响。本文采用温室盆栽试验研究了Zn、Cd、Cu、Pb的单一或复合处理对印度芥菜生物量的影响,以检验这种植物作为土壤污染修复的可能性及其潜力。

1 材料与方法

^① 中国科学院院长特别基金支持,国家自然科学基金(49871042和49831070),江苏省青年科技基金(BQ98050),中国科学院南京土壤研究所土壤圈物质循环开放研究实验室基金和土壤与环境联合开放研究实验室基金项目资助。

1.1 土壤样品

采自江苏省常熟市中国科学院南京土壤研究所生态试验站,为河湖相沉积物发育的水稻土。取表层(0~20cm),风干,过2mm筛。土壤基本性质如下:pH(H₂O)7.80,有机质36.3g/kg,全氮2.25g/kg,全磷0.75g/kg,全钾17.4g/kg,游离Fe₂O₃16.25g/kg,CEC215.9mmol/kg,并含痕量的CaCO₃。

1.2 盆栽试验

称取过筛风干土,加入分析纯Zn(NO₃)₂、Cd(NO₃)₂、Cu(NO₃)₂、Pb(NO₃)₂制成含不同浓度Zn、Cd、Cu、Pb的污染土壤。设9个处理:1)对照,不加重金属;2)Zn,500mg/kg(干土计);3)Zn,1000mg/kg;4)Cd,200mg/kg;5)Pb,500mg/kg;6)Cu,250mg/kg;7)Zn500+Cd200mg/kg;8)Zn500+Cd200+Cu250mg/kg;9)Zn500+Cd200+Cu250+Pb500mg/kg。将处理过的土壤装入塑料盆,每盆1.5kg(以烘干土计),加入分析纯KH₂PO₄使含量为P80mg/kg,K100mg/kg;加入分析纯NH₄NO₃为氮肥,NH₄NO₃的加入量视处理而异,以弥补因金属硝酸盐造成的氮素差异。土样混和均匀后装盆,加入蒸馏水使含水量为田间持水量的60%,保持2天后,播入印度芥菜种子,生长一周后间苗,每盆留4苗;植物生长期间保持土壤湿度为田间持水量的60%。生长66天后收获,沿土面剪取地上部,测量株高、鲜重,同时洗出根系;在105℃下杀青半小时,70℃烘干,称地上部和根的干重。

1.3 数据处理

本文的结果为4次重复的平均值,数据进行方差分析,并用新复极差法进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 印度芥菜根对 Zn、Cd、Cu、Pb 污染的响应

印度芥菜根对Zn、Cd、Cu、Pb污染的响应如图1所示。从图1可见,与对照相比,根量随Zn处理量加大而显著减少($p < 0.01$),Cd单一处理或与Zn、Cu、Pb复合处理的根量减少量更多($P < 0.01$),单一Pb处理的根量也显著减少,但单一Cu处理时差异不明显。高浓度的Zn或Cd对印度芥菜的根生长有抑制作用,这种作用在多金属复合污染时更强烈。

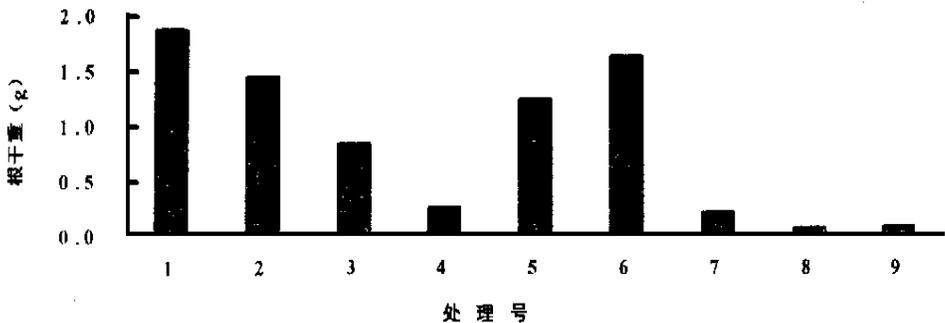


图1 印度芥菜根对 Zn、Cd、Cu、Pb 单一或复合污染的响应

(图中处理号代表:1:对照;2:Zn500;3:Zn1000;4:Cd200;5:Pb500;6:Cu250;7:Zn500+Cd200;8:Zn500+Cd200+Cu250;9:Zn500+Cd200+Cu250+Pb500;金属元素后面为加入剂量,单位均为mg/kg(干土计))。

2.2 印度芥菜地上部对 Zn、Cd、Cu、Pb 污染的响应

2.2.1 叶片 本试验中观察到,植物生长两周后叶片出现失绿症状,以含Cd处理最为

明显。症状从心叶叶缘开始，呈紫红、黄色，逐渐枯萎，有的植株到收获期时老叶复绿，但心叶周围第1、2叶仍呈黄色。通常在第三周后，各处理受抑制的程度有减缓的趋势，特别是Pb、Cu的处理，到第五周时长势与对照相当。

2.2.2 株高 收获时，对照的株高明显高于其它处理，差异达极显著水平 ($p < 0.01$)。单一处理 Zn 1000 与复合污染的处理最矮。据观察，对照处理植株处于抽薹期，而其余的尚处在营养生长期，说明重金属污染影响到印度芥菜的生长和发育。

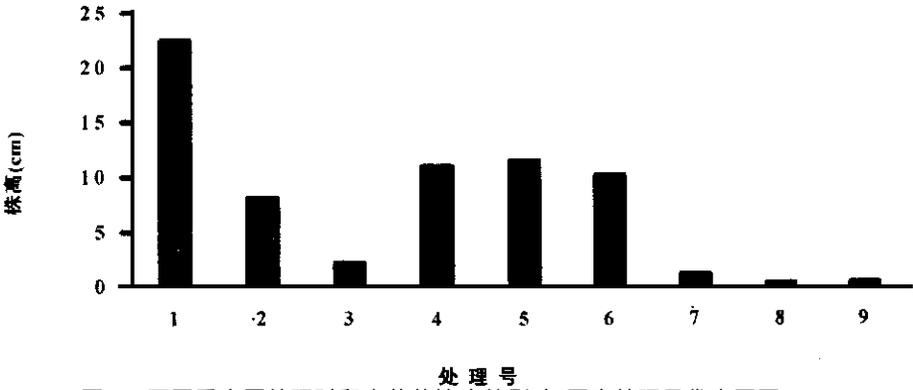


图2 不同重金属处理对印度芥菜株高的影响(图中处理号代表同图1)

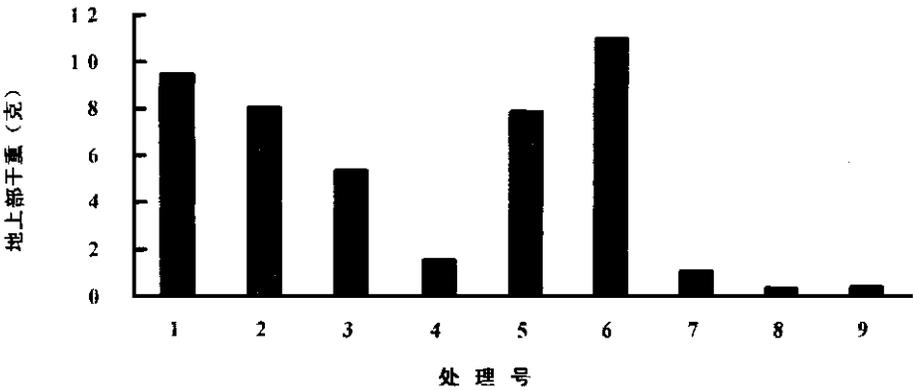


图3 不同重金属处理对印度芥菜地上部生物量的影响(图中处理号代表同图1)

2.2.3 地上部干重 多重比较结果表明，地上部干重在 Zn、Cd、Cu、Pb 处理与对照之间无显著差异；但含 Zn 1000mg/kg、Cd 200mg/kg 及含 Cd 复合污染的处理对印度芥菜地上部干物质重的影响达极显著水平。这说明在含 Cu 250 mg/kg、Pb 500mg/kg、Zn 500mg/kg 的污染土壤上，印度芥菜能够正常生长，这种植物适合中等 Zn、Cd、Cu、Pb 污染土壤的修复。但在高浓度的 Zn (1000mg/kg) 或 Cd

表1 不同处理印度芥菜地上部干重的新复极差多重比较结果

处 理 (mg/kg)	平均值 (g)	差异显著性	
		在 5% 水平	在 1% 水平
Cu 250	11.03	a	A
对照	9.48	ab	AB
Zn 500	8.05	b	B
Pb 500	7.93	b	B
Zn 1000	5.30	c	C
Cd 200	1.60	d	D
Zn 500+ Cd 200	1.10	d	D
Zn500+ Cd200+ Cu250+ Pb500	0.43	d	D
Zn500+ Cd200+ Cu250	0.38	d	D

(200mg/kg) 环境里，印度芥菜的生长显著地受抑制，表现出对 Cd 有更高的敏感性。不过，

通常 Cd 污染土壤中的 Cd 含量在 10mg/kg 以下, 远远低于本试验中加入的量, 因而印度芥菜仍然可以用来修复中、轻度 Cd 污染的土壤。印度芥菜对 Cd 毒性的临界点有待于进一步探明。

从本试验结果可见, 印度芥菜对多种重金属都有忍耐作用。Ebbs 等(1997)的研究中把它作为一种修复植物, 与 Zn/Cd 的超积累植物 *Thlaspi caerulescens* 相比, 发现印度芥菜比 *Thlaspi caerulescens* 更能除去土壤中的 Zn; 在土壤 Zn 全量高达 11700mg/kg、醋酸铵提取态 Zn 高达 1660mg/kg 时, 印度芥菜从土壤中除去的 Zn 是 *Thlaspi caerulescens* 4 倍以上^[9]。本研究中, 当土壤 Zn 全量达 1000mg/kg 时, 印度芥菜仍然能生长, 但生物量显著下降, 表现出高锌剂量的毒害; 在土壤中加入 Zn 为 500 mg/kg 时, 与对照比较, 印度芥菜没有明显的毒害, 生物量也没有显著的变化, 生长基本正常, 所以这种植物作为修复植物应该能更有效地去除中等锌污染土壤中的锌。植物修复的两个重要基础是植物地上部的生物量与积累浓度。本试验中, 中等污染水平的 Cu (250mg/kg)、Zn(500mg/kg)、Pb(500mg/kg)对印度芥菜地上部的生物量形成没有显著影响, 可能的原因有二: 一是印度芥菜能忍耐并积累大量的 Cu、Zn、Pb; 二是由于土壤的 pH 较高, 重金属元素的生物有效性低, 对此有待于进一步研究。无论是哪种原因, 印度芥菜都是一种很有潜力的特别适合 Zn、Cd、Cu、Pb 中等污染土壤修复的植物。

3 结语

根据本试验结果, 可作如下结论:

1. 在含 Cu 250mg/kg、Pb 500mg/kg 或 Zn 500mg/kg 的污染土壤上, 印度芥菜能够忍耐, 正常生长, 这种植物适合 Cu、Zn、Pb 中等污染土壤的修复。

2. 印度芥菜在含 Cd 200mg/kg 的土壤上发生镉中毒而出现失绿黄化症状, Cd 与中等浓度的 Zn、Cd、Cu、Pb 共存时毒害更为严重。

参 考 文 献

- 1 骆永明, 金属污染土壤的植物修复. 土壤, 1999, 31(5), 261~265
 - 2 Nanda-Kumar, P. B. A. et al., Environ. Sci. Technol., 1995, 29(5): 1232~1238
 - 3 Banuelos G S et al., Plant and Soil, 1993, 148:253~263
 - 4 Ebbs, S D et al., J. Environ. Qual. 1997, 26: 776~781
 - 5 Ebbs, S D et al., J. Environ. Qual. 1997, 26: 1424~1430
- (上接第 61 页)
- 18 吴龙华等. 铜污染土壤修复的有机调控研究 II. 根际土壤铜的有机活化效应. 土壤, 2000, 32(2): 67~70
 - 19 Anderson C W N et al., Nature, 1998, 395~554
 - 20 Luo Y M et al. In: Proceedings of Extended Abstracts of 5th International Conference on the Biogeochemistry of Trace Elements 1999, 2: 882~884
 - 21 Means J L et al., Environmental Pollution, 1980, 1: 45~60
 - 22 Sillanpaa M. Reviews in Environmental contamination and Toxicology, 1997, 152: 85~111
 - 23 Tiedje J M. Applied Microbiology, 1975, 30: 327~329
 - 24 Tiedje J M and Mason B B. Soil Science Society of America Proceedings, 1974, 38: 278~283