

玉米自交系富集镉能力和最佳收获时期

文秋红,于丽华

(大连交通大学环境科学与工程学院,辽宁 大连 116028)

摘要:采用沈阳张士污灌区污染土壤盆栽 6 个玉米自交系试验研究玉米自交系富集镉的能力和最佳的收获时期。试验结果表明,Mo17、1487、丹 598、340、5003 和 880 富集镉能力最强的时间分别为生长 140d、170d、140~170d、140d、170d 和 170d,是最佳收获时期。按照植物含水率为 95%来估算的话,镉超富集植物以湿重计的最低生物富集量系数为 84t/hm²。玉米自交系 1487、340 和 5003 具备镉超富集植物的特征。

关键词:玉米自交系;镉污染土壤;最佳收获时期;富集

文章编号:1000-0933(2006)12-4066-05 **中图分类号:** **文献标识码:**A

The ability of accumulate Cadmium and the best harvest time of six series maize inbred lines in Cd-contaminated soil

WEN Qiu-Hong, YU Li-Hua (*Environmental science and engineering department of Dalian Jiaotong University, Dalian 116028, China*). *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(12): 4066~4070.

Abstract: Heavy metal pollution has recently received increasing attention, mainly because of the public awareness of environmental issues. Cd contamination was resulted from several anthropogenic activities: the application of municipal sewage sludge, atmospheric deposition of Cd, mining activities, application of chemical fertilizers and pesticides. Cd can be transferred to crop plants, and was often accumulated to concentrations higher than its levels in the soil by many times. Cd accumulating ability of Maize at their best harvest time of six series of maize inbred lines was investigated in a greenhouse experiment with Cd-contaminated soil from Shenyang Zhangshi Wastewater Irrigation. The results showed that the period of the most strong accumulation of Cadmium of Mo17, 1487, Dan 598, 340, 5003 and 880 was 140d, 170d, 140~170d, 140d, 170d and 170d, respectively, and also were the best harvest time. If the rate of containing water in plant was calculated with 93%~95%, the least absorption capacity coefficient of Cd hyperaccumulator was 84 t/ha expressed with wet weigh. 1487, 340 and 5003 have character of Cd hyperaccumulator. The definition of Cd hyperaccumulator was extended by application of the absorption capacity coefficient. Therefore, people can select the appropriate plant in more amplitude range so that it was feasible to apply Cd hyperaccumulator for remediate the Cd-contaminated soil.

Key words: maize inbred lines; Cd contaminated soil; the best harvest time; accumulate

镉是一种毒性很强的重金属元素,进入土壤后经植物吸收,积累成为含镉植物。沿食物链进入人体,对人体健康产生危害。镉进入人体后,主要累积在肝、肾、胰腺、甲状腺和骨骼中,使肾脏器官等发生病变,并影响

基金项目:国家杰出青年科学基金资助项目(20225722);大连交通大学博士启动资金资助项目(021403)

收稿日期:2006-03-11;**修订日期:**2006-10-29

作者简介:文秋红(1982~),湖南衡阳人,硕士生,主要从事环境科学和土壤生态学研究。E-mail:wengh2006@yahoo.com.cn

致谢:本文是在史锟导师精心指导下完成;环境工程专业 2005 届本科毕业生汪东亮,蒋润林,宋明和段世光在盆栽试验中给予帮助,在此一并致谢。

Foundation item:The project was financially supported by The National Science Foundation for Distinguished Young Scholars (No. 20225722) and by NSFC, School Ph.D. Startup Fund (No. 021403)

Received date:2006-03-11;**Accepted date:**2006-10-29

Biography:WEN Qiu-Hong, Master candidate, mainly engaged in environmental science and soil ecology. E-mail:wengh2006@yahoo.com.cn

人体的正常活动,造成贫血、高血压、神经痛、骨质疏松、肾炎和分泌失调等病症。防治土壤镉对人体的危害,必须弄清镉从土壤向作物迁移转化的机理。玉米对镉胁迫的忍受能力比较强^[1],镉污染的土壤种植玉米是相对安全的,玉米吸收的镉主要积累在根系或茎叶部位,较少向作物的籽实内转运^[2]。作为土壤污染修复的植物既要有一定的忍耐能力,又要具有超累积吸收重金属的能力,因此研究玉米修复镉污染土壤的能力是很有必要的。玉米自交系的特点是遗传基础纯合,性状整齐一致,并且,自身生活力较弱,但配合力高。用自交系配成的杂交种在生产上有广泛的应用。因此,研究玉米自交系吸收镉的能力为选育耐镉新玉米品种和利用玉米修复镉污染土壤提供基础资料。

1 材料与方 法

1.1 供试土壤

供试的土壤采自沈阳市张士污灌区 20cm 表土,为镉污染土壤。土壤采回后经风干、磨碎过 5 目(4mm)筛后保存,以备试验分析及玉米栽培。土壤镉含量为 $5.986\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

1.2 供试玉米

供试玉米由大连市农科院提供,品种为 Mo17、1487、丹 598、340、5003 和 880。

1.3 试验方法

试验采用塑料盆(外径 20cm,内径 14.4cm,高 14cm)。每盆装过筛后镉污染土壤 2kg。浇水使土壤湿润。每盆播种 3 粒玉米自交系种子,呈正三角形,播后覆镉污染土约 1cm。盆栽置于室外接受自然光照射。定期浇水使土壤含水量保持为 90%。试验重复 10 次,共 60 盆。

1.4 采样与分析

试验开始后,分 5 次收获玉米。玉米生长 50d 时间,使每盆只留 1 株玉米。由于玉米前期生物量比较小,第 1 次和第 2 次采样每个品种随机收获几个重复样品进行分析。在生长 50、80、110、140d 和 170d 时采样,日期分别为 5 月 25 日、6 月 26 日、7 月 26 日、8 月 25 日和 9 月 25 日。每个样品分为根部、地上部和土壤,同时测定玉米根部和地上部的生物量。

把玉米的根部和地上部分开,分别用自来水冲洗,去除粘附于样品上的泥土和污物,再用去离子水冲洗。沥去水分后,在烘干时,先在 105℃ 烘箱中杀青 30min,然后在 80℃ 中烘至恒重。烘干的样品用植物粉碎机粉碎、混合均匀装入写好标签的纸袋,备测。采集的土壤样,在烘干时,先在 140℃ 烘箱中杀青 30min,然后在 120℃ 中烘至恒重。磨碎过 200 目筛混合均匀,装入写好标签的纸袋,备测。

分别取备测植物和土壤样品 1g 采用 $\text{HNO}_3\text{-HClO}_4$ 法消解,用原子吸收分光光度计测定镉含量。每个样品重复 3 次。

2 结果与讨论

2.1 玉米自交系吸收镉特点

一般超富集植物的界定考虑以下两个主要因素:(1)植物地上部富集的重金属应达到一定的量。镉临界含量为 $100\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$;(2)植物地上部重金属含量应高于根部。图 1 反映的是 6 个玉米自交系不同生长时期根、茎叶和其相应的土壤的镉含量。除 880 在生长 80~140d 时表现为根部镉含量高于茎叶镉含量外,其它 5 个品种镉含量基本表现为茎叶 > 根,具备超富集植物的一个特征。但地上部镉含量最高为 $21.716\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,远远低于镉超富集植物的临界含量。植物地上部镉含量随着土壤中镉含量增加而增加^[3],在一定含量范围内呈一次线性关系。据此推算地上部的镉含量要达到 $100\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,则要求土壤的镉含量最低为 $27.565\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。

目前发现的镉超积累植物宝山莘菜^[4]和龙葵^[5]地上部镉含量为 $1168\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $103.8\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,都达到了镉临界含量。其相应的土壤镉含量为 $663\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 和 $25\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$,远远超出了大多实际镉污染区土壤的镉含量。因此,在低浓度镉污染区很难找到地上部镉含量达到 $100\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 的植物,这也是我国目前难以发现镉超积累植物的原因之一。

土壤中镉含量表现为前期较低,基本在生长 110d 为最高,后期略有下降。通常会认为植物吸收了土壤中

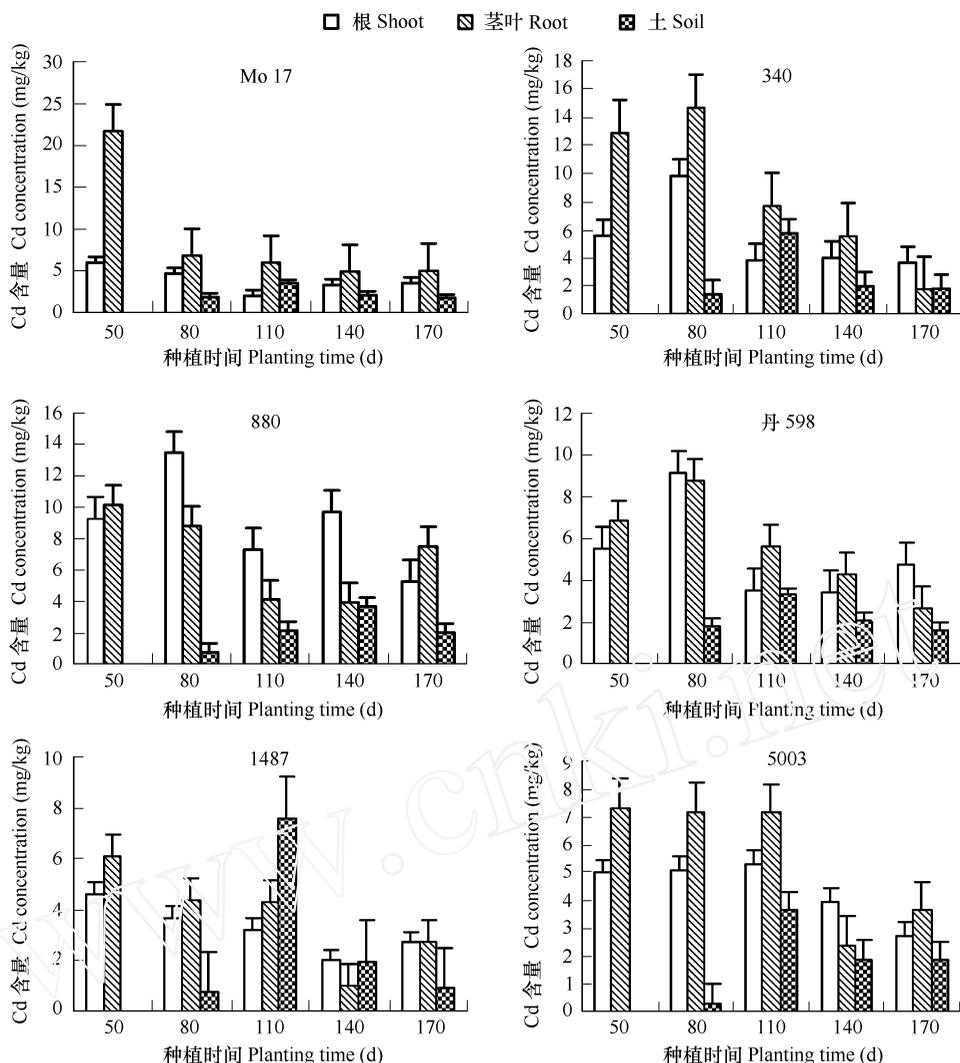


图 1 玉米自交系 Mo17、1487、丹 598、340、5003 和 880 不同种植时间根、茎叶及相应土壤的镉含量

Fig. 1 The Cd concentrations in shoot and root and the relevant soil of Mo17, 487, Dan598, 340, 5003 and 880 in different planting time

的镉, 土壤中的镉应该减少, 但是试验中镉含量呈现增加趋势, 甚至高于盆栽初期测定的土壤镉含量。可能是由于温度的变化所引起的, 温度升高, 镉矿化程度加强。但是, 影响土壤镉含量的因素比较多, 机理比较复杂, 有待进一步研究。

2.2 玉米自交系富集镉能力及转运能力

世界各国在植物修复领域中进行了大量深入的工作, 主要运用富集系数和转运系数评价植物富集能力。植物富集系数和转运系数在评价超富集植物的修复能力时能够说明一些问题, 但存在明显的不足^[6]。它仅仅从浓度角度考虑植物对重金属的富集能力和转运能力, 忽略了植物富集总量与生长量的关系。当前许多已发现和定论的超富集植物往往是含量高, 生物量小, 这些植物在实际应用中能够去除土壤污染元素的总量较小, 因而作为土壤修复植物, 具有较小的经济和应用价值。因此, 除了植物的吸收及转运能力外, 植物的生物量, 尤其是植物在污染环境中的抗性和生长能力是植物修复的一个决定性因素。

本研究中引入生物富集量系数和转运量系数^[6]来评价玉米的修复能力以及确定最佳的修复时间。生物富集量系数 = (地上部植物中元素质量分数 × 地上部植物生物量) / 土壤中元素质量分数, 转运量系数 = (地上部植物中元素质量分数 × 地上部生物量) / (地下部植物中元素质量分数 × 地下部生物量)。表 1 列出的 6 个

玉米自交系的不同时期的生物富集量系数和转运量系数与富集系数和转运系数。生物富集量系数不仅能够较好地指示植物对污染元素富集能力,同时,也能反映植物对污染环境的适应性。它以评价植物地上部去除重金属总量能力为目标,通过分析该系数可以确定植物的最佳修复时间(在此期间植物的修复效率最高)。转运量系数能够较好地反映植物生长量和富集量在地上和地下器官分布的规律。

表 1 6 个玉米自交系的生物富集量系数和转运量系数与富集系数和转运系数

Table 1 Absorption capacity coefficient, transformation capacity coefficient, absorption coefficient and transformation coefficient of six series maize inbred lines

品种 Variety	种植时间 (d) Planting time	生物富集 量系数 (t/hm ²) 湿重) ACC	转运量 系数 TCC	富集系数 AC	转运系数 TC	品种 Variety	种植时间 (d) Planting time	生物富集 量系数 (t/hm ²) (湿重) ACC	转运量 系数 TCC	富集系数 AC	转运系数 TC
Mo17	50	—	7.068	—	3.609	340	50	—	2.680	—	2.312
	80	51.60	3.090	3.565	1.447		80	117.22	1.591	10.431	1.490
	110	21.39	3.058	1.690	2.875		110	18.43	2.239	1.339	2.019
	140	171.77	4.285	2.278	1.471		140	1270.02	8.949	2.822	1.387
	170	139.27	1.947	2.785	1.405		170	239.33	1.093	0.957	0.479
1487	50	—	3.414	—	1.315	5003	50	—	2.902	—	1.466
	80	120.63	1.655	5.723	1.182		80	190.15	2.263	22.240	1.402
	110	10.32	0.888	0.563	1.317		110	59.17	1.798	1.973	1.338
	140	251.15	0.845	0.502	0.492		140	157.09	0.895	1.257	0.601
	170	518.85	1.299	2.965	0.996		170	248.70	1.239	1.990	1.345
丹 598	50	—	3.215	—	1.244	880	50	—	1.697	—	1.093
	80	62.59	1.172	4.763	0.957		80	139.45	0.715	11.645	0.654
	110	31.23	5.415	1.713	1.609		110	28.38	1.515	1.936	0.564
	140	79.20	7.485	2.050	1.239		140	67.20	2.974	1.075	0.408
	170	124.83	3.718	1.664	0.567		170	946.78	2.784	3.725	1.421

ACC absorption capacity coefficient ; TCC transformation capacity coefficient ; AC absorption coefficient ; TC transformation coefficient

Mo17 的生物富集量系数在生长 140d 时最大, 这阶段 Mo17 对镉的富集能力最强, 对镉污染环境的适应性强, 是最佳的修复时期。同时这阶段转运量系数也相对较高, 根部向地上部转运能力比较强。如果用富集系数和转运系数来评价, 其富集能力最强是在生长 80d 时, 转运能力在第 110 天时最强, 那么 Mo17 的最佳收获时期应为生长 80~110d 时。而实际上此时玉米 Mo17 生物量还比较小, 去除镉的总量没有达到最大, 还不是最佳的收获时期。

1487、丹 598、340、5003 和 880 富集镉能力最强分别为种植时间为 170d、140~170d、140d、170d 和 170d, 是最佳收获时期。差异性分析表明, 1487 各个时期根、茎叶和土壤镉含量差异显著, 其他 5 个自交系差异都极显著 ($p < 0.01$)。若根据富集系数和转运系数来判断则分别为生长时间为 80d、140d、80d、80d 和 80d, 此时植物的生物量都还比较小。忽略了植物的生长量, 得出的最佳修复时期与其实际最大富集能力时期不完全相符, 从而给实际修复工作带来困难。

依照吴双桃 得出的镉超富集植物的最低生物富集量系数为 $4.2\text{t}/\text{hm}^2$ (干重), 若按照植物含水率为 95% 来估算的话, 镉超富集植物以湿重计的最低生物富集量系数为 $84\text{t}/\text{hm}^2$ 。本研究中玉米自交系 1487、340 和 5003 具备镉超富集植物的特征。

应用生物富集量系数将扩大超富集植物的定义, 使人们能在更广阔的范围内选择适合的植物, 从而增大植物修复在实际应用中的可行性。

3 结论

植物修复作为一种新的重金属污染治理方法,已有很广泛的研究,但是由于已发现的超富集植物不多,且这类植物多生物量太小,以致去除效率太差,限制其应用。利用生物富集量系数和转运量系数评价植物的富集能力,使得富集含量虽未达到临界含量,但生物量大的植物也能作为超富集植物,通过上述评价指标所得超富集植物均具有较好的修复效率,这样使筛选出的超富集植物更具实际应用价值。Mo17、1487、丹598、340、5003和880富集镉能力最强时期分别为生长140d、170d、140~170d、140d、170d和170d,是最佳收获时期。通常植物含水率为93%~96%,若按照植物含水率为95%来估算的话,镉超富集植物以湿重计的最低生物富集量系数为 $84\text{t}/\text{hm}^2$ 。玉米自交系1487、340和5003具备镉超富集植物的特征,可以作为镉污染土壤的修复植物;而且它们作为父本或者母本参与组配的杂交种有许多在生产上得到了广泛的应用,因此同时为研究耐镉型玉米提供了基础资料。

References:

- [1] Jiang H S. Effects on the physiological character of maize under Cd stress. *Journal of Liaoning University of Petroleum & Chemical Technology*, 2004, 24 (2) :35 ~ 37, 41.
- [2] Wang Q R, Liu X M, Dong Y T. Contamination and characters of vegetation polluted by heavy metals in typical industrial regions subjected to sewage as irrigation. *Agro-environment Protection*, 2002, 21 (2) :115 ~ 118.
- [3] Ru S H, Wang J Q, Su D C. Characteristics of Cd uptake and accumulation in two Cd accumulator oilseed rape species. *Journal of Environmental Science*, 2004, 16(4) :594 ~ 598.
- [4] Liu W, Shu W S, Lan Ch Y. *Viola baoshanensis* — a new accumulator of Cadmium, *Chinese Science Bulletin*, 2003, 48(19) :2046 ~ 2049.
- [5] Wei S H, Zhou Q X, Wang X, *et al.* A new Cadmium accumulator — *Solanum nigrum* L., *Chinese Science Bulletin*, 2004, 49(24) :2568 ~ 2573.
- [6] Nie F H. New comprehensions of Hyperaccumulator. *Ecology and Environment*, 2005, 14(1) :136 ~ 138.

参考文献:

- [1] 姜虎生. 镉胁迫对玉米生理特性的影响. *辽宁石油化工大学学报*, 2004, 24(2) :35 ~ 37, 41.
- [2] 王庆仁, 刘秀梅, 董艺婷. 典型重工业区与污灌区植物的重金属污染状况及特征. *农业环境保护*, 2002, 21(2) :115 ~ 118.
- [4] 刘威, 束文圣, 蓝崇钰. 宝山堇菜——一种新的镉超富集植物. *科学通报*, 2003, 48(19) :2046 ~ 2049.
- [5] 魏树和, 周启星, 王新等. 一种新发现的镉超积累植物龙葵. *科学通报*, 2004, 49(24) :2568 ~ 2573.
- [6] 聂发辉. 关于超富集植物的新理解. *生态环境*, 2005, 14(1) :136 ~ 138.