

史景允,于伟红,梁秋生. 蓖麻对镉污染土壤的修复潜力[J]. 江苏农业科学,2014,42(11):386-388.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2014.11.137

蓖麻对镉污染土壤的修复潜力

史景允¹, 于伟红¹, 梁秋生²

(1. 河北师范大学资源与环境科学学院, 河北石家庄 050024; 2. 河北师范大学人口研究所, 河北石家庄 050024)

摘要:采用营养液栽培试验研究不同品种蓖麻对镉的积累与耐性特征的影响,分析不同有机酸对蓖麻耐镉的影响,采用盆栽试验研究蓖麻对土壤镉的积累和迁移能力。结果显示,在淄蓖麻 5 个品种中淄蓖麻 5 号对镉的耐性与积累最好,6 号对镉的耐性与积累性最差。在土壤镉含量为 25 mg/kg 时,蓖麻株高和植株干质量最大,但随着土壤镉含量的增加,蓖麻生长变慢、植株变小,在土壤镉含量为 200 mg/kg 时出现较明显的叶片黄化、根系发黑等重金属中毒症状。说明低浓度的镉促进蓖麻生长,高浓度镉抑制蓖麻的生长。

关键词:能源植物;蓖麻;镉;土壤;重金属污染;植物修复;积累;迁移;有机酸

中图分类号: X53 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2014)11-0386-03

土壤重金属污染是人类面临的重大生态环境问题,引起了国内外的普遍关注。由于重金属元素在土壤中一般不易随水移动,很难被植物、微生物降解,而在土壤中累积。甚至有可能转化成毒性更强的甲基化合物,容易通过食物链传递给人类和动物,极大地危害人体健康。植物修复技术因成本低、不破坏土壤、无二次污染而受到关注,被《国家土壤环境保护十二五规划》列为重点推广技术之一。普通植物由于不具备经济价值而难以推广,且在生育期结束后难以得到有效的处理,容易造成二次污染。一些研究表明,部分能源作物对重金属具有耐受性和吸收能力,有的能源作物甚至还是超累积植物。如果能够利用这些能源作物来修复重金属污染的土壤既能达到治理污染土壤的目的,还可以带来经济效益,缓解能源紧张的现状。因此,采用能源植物修复重金属污染土壤兼具环保、经济和能源效益^[1]。本研究以蓖麻为例,分析蓖麻对镉的耐受性与积累特征,为能源植物修复重金属污染土壤提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 供试材料

淄蓖麻 3、5、6、7、8 号种子购于山东淄家祥博蓖麻研究所。

1.2 主要仪器

PYX-400G-B 光照培养箱、ZSX1000GS 型植物生长箱、DHG-9246A 型电热恒温鼓风干燥箱、多通量密闭微波化学工作站等。

1.3 营养液的配制

1.3.1 10 倍营养液的配制 分别称取硝酸钾、硫酸镁、磷酸二氢钾、 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 6.07、4.93、1.15、9.45 g,充分溶解一个药品后再加另一个药品进行溶解,用蒸馏水定容至 1 L 容量瓶中。

1.3.2 铁盐溶液的配制 分别称取 EDTA-Na、

$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 3.73、2.78 g,并将其溶解,然后合在一起煮沸,定容至 500 mL 的容量瓶中。

1.3.3 微量元素液的配制 分别称取碘化钾、硫酸锰、钼酸钠、氯化钴、硼酸、硫酸锌、硫酸铜 0.083 0、2.230 0、0.025 0、0.002 5、0.630 0、0.860 0、0.002 5 g,用蒸馏水定容至 1 L 容量瓶中获得微量元素储备液,使用时取 1 mL 储备液定容至 100 mL 容量瓶中。

1.3.4 1/4 营养液的配制 取 10 倍稀释的营养液 50 mL、铁盐溶液 1.25 mL、微量元素溶液 2.5 mL,用蒸馏水定容至 2 L 容量瓶中。

1.4 方法

1.4.1 水培试验 淄蓖麻 3、5、6、7、8 号 5 个品种的种子经消毒后,在光照培养箱沙培育种 7 d,再移至植物生长箱培育 8~10 d,挑选生长一致的幼苗用 1/4 营养液培养,3 d 更换 1 次营养液。待幼苗适应营养液 3 d 后,更换营养液并添加 0.1 mmol/L 镉溶液。5 个蓖麻品种添加 0.1 mmol/L 镉且每个品种各设 1 个对照(不加镉)共有 10 个处理,每个处理 3 次重复,8 d 后收获。

1.4.2 盆栽试验 称取过筛风干土壤 3 kg/盆,以溶液态加入 $\text{CdCl}_2 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$ 制成不同浓度的镉污染土壤,处理浓度为 10、25、50、100、200 mg/kg(不包括土壤背景值),并以未加 $\text{CdCl}_2 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$ 的土壤作空白对照,3 盆镉浓度为 100 mg/kg 的溶液加入 EDTA-乳酸、EDTA+乳酸,共 9 个处理,土样混合均匀后,装入塑料花盆,每天加入一定量的蒸馏水使土壤镉浓度混合更均匀,保持 5 d,种入在光照培养箱沙培育种 5 d 的蓖麻,每盆 6 株。蓖麻生长 10 d 后定苗,每盆留 3 株长势相同的蓖麻然后培育 30 d。每 5 d 测量 1 次株高和叶片数。蓖麻生长周期内每天补水 1 次,30 d 后收获。

1.5 检测方法

在收获蓖麻时将植株连根拔出,尽量不破坏根系,将根系洗净,并在蒸馏水中浸泡 15 min,以去除表面残留的金属离子,然后分离根、茎、叶部分并将其剪碎,105 ℃杀青 30 min,70 ℃烘干 36 h,分别测根、茎、叶的干质量。准确称量一定量烘干磨碎的根、茎、叶进行消解,最后用火焰原子吸收测定根、

收稿日期:2014-04-09

作者简介:史景允(1989—),女,河北保定人,硕士研究生,主要从事资源与环境规划研究。E-mail:czjeepfans@163.com。

茎、叶中重金属镉的含量^[2]。

2 结果与分析

2.1 蓖麻镉胁迫响应和积累特征的品种间差异

2.1.1 生物量分析 由图 1 可知,3 号品种的生物量是 5 个蓖麻品种中最多的,为 1.91 g;其次是 7 号品种,为 1.72 g;6 号品种生物量是 5 个品种最低的,仅为 0.7 g,比其他品种低了 1 倍多。蓖麻叶片干质量占了植株干质量的大部分,叶片干质量几乎就能反映植株的干质量;除了 6 号品种以外,其余品种根和茎的干质量相差不大;茎干质量最多的是 5 号品种,为 0.37 g,根干质量最多的是 3 号品种,为 0.46 g。

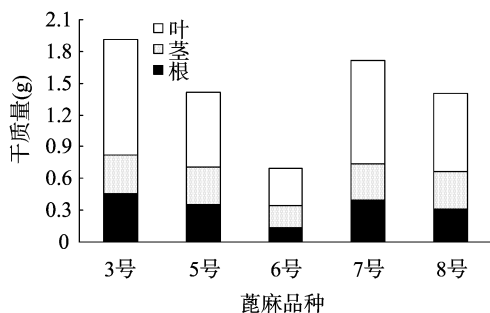


图1 蓖麻胁迫条件下不同蓖麻品种对其各器官干质量的影响

2.1.2 植株镉积累量分析 由图 2 可知,6 号品种植株镉含量是 5 个品种中最高的,为 2 985.61 mg/kg;3 号品种植株镉含量是 5 个品种中最底的,为 1 637.30 mg/kg;植株镉含量从高到低依次为 6 号>5 号>8 号>7 号>3 号。从蓖麻的各部分来看,植株镉含量绝大部分来源于根系,各器官镉含量从高到低依次为根>茎>叶。茎中镉含量最高的是 5 号品种,为 418.29 mg/kg;叶中镉含量最高的是 8 号品种,为 48.33 mg/kg。

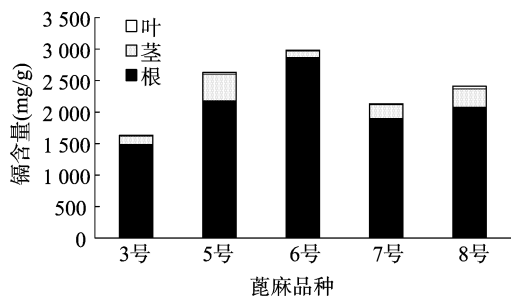


图2 蓖麻胁迫条件下不同蓖麻品种对植株镉含量的影响

从图 3 可知,5 号品种植株镉积累量是所有品种中最多的,为 888.19 $\mu\text{g}/\text{盆}$;其次是 7 号品种,为 821.35 $\mu\text{g}/\text{盆}$;植株镉积累量最差的是 6 号,仅为 472.87 $\mu\text{g}/\text{盆}$,6 号品种单位镉含量是最高的,但是由于生物量太少,导致镉积累量很少。蓖麻镉积累量绝大部分在根系,各器官镉积累量从多到少依次为根>茎>叶。根中镉积累量最多的是 7 号品种,为 769.50 $\mu\text{g}/\text{盆}$;茎中镉积累量最多的是 5 号品种,为 154.77 $\mu\text{g}/\text{盆}$;叶片中镉积累量最多的是 8 号品种,为 35.05 $\mu\text{g}/\text{盆}$ 。

2.2 蓖麻对土壤镉的迁移积累能力的影响

2.2.1 镉对蓖麻生长的影响 不同浓度的镉处理对蓖麻种子的发芽以及幼苗的生长都有一定的影响。在镉处理浓度较低的污染土壤中,蓖麻种子催芽后约 2 d 出土,而随着土壤镉含量的增加,催芽蓖麻种子比空白对照约晚 1 d 破土发芽。

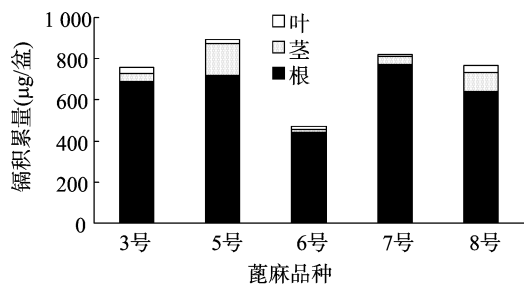


图3 蓖麻胁迫条件下蓖麻植株镉积累量的品种间差异

说明含镉量高的土壤对蓖麻种子发芽具有抑制作用。

由图 4 可知,随着土壤镉含量的增加,蓖麻的长势先上升后下降,在土壤镉含量为 10 mg/kg 时,蓖麻株高最高,为 15.1 cm;随着土壤镉含量的增加,平均株高逐渐下降,当土壤镉含量为 200 mg/kg 时,蓖麻株高仅为 9.7 cm,说明高浓度镉抑制蓖麻生长。0.50 mg/kg 镉处理的株高几乎一样,说明在土壤镉含量为 0~50 mg/kg 时会促进蓖麻生长。在低浓度镉处理下,蓖麻生长良好,植株生长旺盛,叶片鲜绿、肥厚。在土壤镉含量为 0~50 mg/kg,蓖麻生长良好,但从土壤镉含量为 100 mg/kg 开始出现新叶有所变黄、植株相对矮小、生长缓慢、重金属中毒的症状,随着土壤镉含量的不断地增加,蓖麻生长受抑制的现象逐渐明显;到土壤镉含量为 200 mg/kg 时,根系短小发黑,植株矮小,叶片坏死,说明蓖麻重金属中毒严重。所以,严重毒害镉浓度在 200 mg/kg 以上。

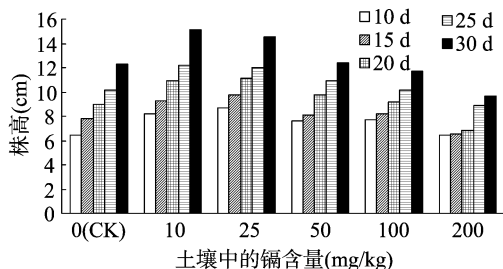


图4 不同镉浓度对蓖麻株高的影响

由图 5 可知,根部干质量变化不明显,只是在低浓度镉处理时表现出一定的促进作用。地上部叶和茎干质量受土壤中不同含量镉处理的影响较明显,当土壤镉含量为 25 mg/kg 时,植株各部分干质量都最大,根、茎、叶分别为 0.19、0.27、0.42 g。随着土壤镉含量的增加,干质量逐渐下降,当土壤镉含量为 200 mg/kg 时,干质量仅为 0.47 g。

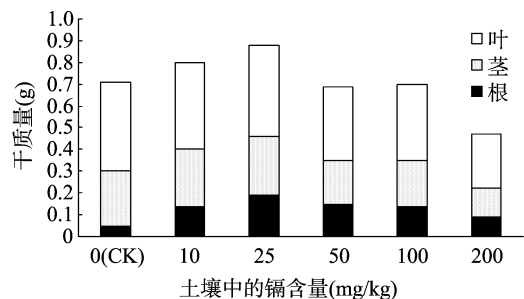


图5 不同浓度镉对蓖麻各器官干质量的影响

镉是植物非必需元素,当镉在植物体内积累到一定程度时,会对植物生理代谢产生毒害作用,通常表现为生长缓慢、叶片发黄、植株矮小、产量下降等症状。有研究表明,土壤中

镉含量较高会降低植物的光合作用,干扰植株体内营养物质的再分配和迁移,影响植物生长。当土壤镉含量很低时,农作物的产量会增加,说明低浓度的镉对某些植物的生长发育有一定的促进作用。本试验中蓖麻在含镉量低的土壤中生长旺盛,在含镉量高的土壤中植株矮小,证实了镉对植物的“低促高抑”现象^[3]。

由于蓖麻在含镉量为 0~100 mg/kg 的土壤中能够正常生长,未表现出明显的重金属中毒症状,因此蓖麻对镉土壤污染具有很好的耐性。根据我国土壤环境重金属污染程度分级标准,严重级镉污染土壤中镉含量只大于 2 mg/kg,因此蓖麻对严重级镉污染土壤的修复有一定的潜力。

2.2.2 蓖麻对镉的吸收和积累 从图 6 可知,植株镉含量随着土壤镉含量的增加而增加,在土壤镉含量为 200 mg/kg 时,植株镉含量最高,为 613.28 mg/kg。根中的镉含量在土壤镉含量为 0~25 mg/kg 时缓慢增加,在土壤镉含量为 25~100 mg/kg 时几乎不增加,在土壤镉含量为 100~200 mg/kg 时迅速增加,当土壤镉含量为 25、100、200 mg/kg 时,根中的镉含量为 203.18、219.50、521.50 mg/kg。茎中的镉含量在土壤镉含量为 0~100 mg/kg 时缓慢增加,在土壤镉含量为 100~200 mg/kg 时迅速增加,当土壤镉含量为 100、200 mg/kg 时,茎中的镉含量为 20.76、73.48 mg/kg。叶片中镉含量随着土壤镉含量的增加而缓慢增加,但在土壤镉含量为 50 mg/kg 时有所降低。

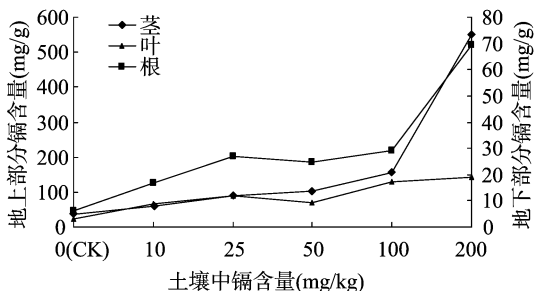


图6 不同浓度镉对蓖麻各器官镉吸收量的影响

图 7 可知,植株镉积累量随着土壤镉含量的增加表现为增加—减少—增加的趋势。在土壤镉含量为 0~25 mg/kg 时,蓖麻对镉的积累量随着土壤镉含量的增加而增加;在土壤镉含量为 25~50 mg/kg 时有所减少,即在土壤镉含量为 25 mg/kg 时镉能促进蓖麻生长,而在土壤镉含量为 50 mg/kg 时镉会抑制蓖麻生长,在土壤镉含量为 25~100 mg/kg 时蓖麻植株镉含量几乎没有增加,所以导致蓖麻对镉积累量减少;在土壤镉含量为 100~200 mg/kg 时迅速增加。在土壤镉含量为 200 mg/kg 时,植株镉积累量最高,为 65.60 $\mu\text{g}/\text{盆}$ 。

比较蓖麻根部和地上部对镉的积累量可知,蓖麻对重金属镉的积累主要集中在根部,表现为普通植物的特征,并不满足超积累植物的要求。但是,镉在蓖麻茎和叶中有较高的积累,说明蓖麻具有将镉从地下部转运到地上部的能力,且能够忍耐高浓度的镉污染。可见蓖麻是重金属镉的富集和耐性植物,因此蓖麻对修复镉污染土壤有很大的潜力。

从图 8 可知,蓖麻转移系数在土壤镉含量为 0~50 mg/kg 时缓慢变小,主要是因为该浓度的镉能促进植物生长,根部分含镉量较大;在土壤镉含量为 50~100 mg/kg 时,转移系数迅

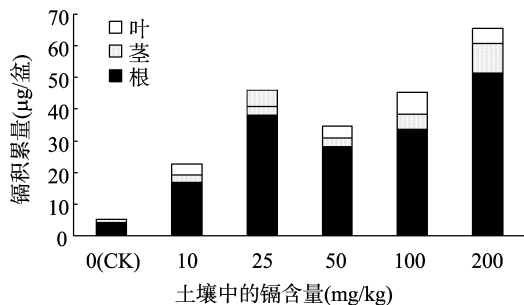


图7 不同浓度镉对蓖麻各器官镉积累量的影响

速变大,说明该浓度的镉开始抑制蓖麻生长,蓖麻会将多余的镉往地上部分运输,所以转移系数变大;在土壤镉含量为 100~200 mg/kg 时,转移系数迅速变小,说明过高浓度的镉会破坏植株体内细胞,所以对镉运输能力下降。富集系数随着土壤镉含量的增加而减少,在土壤镉含量为 0~50 mg/kg 时,富集系数迅速变小;在土壤镉含量为 50~200 mg/kg 时缓慢下降。因为低浓度促进植株生长,高浓度抑制植株生长,所以在低浓度时蓖麻主动吸收镉,高浓度时抑制镉进入体内^[4]。

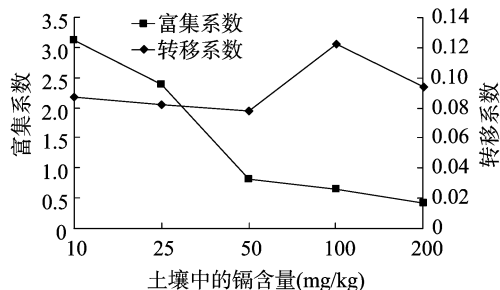


图8 不同镉含量对蓖麻镉积累的分配特征

3 结论

本研究对淄蓖麻 3、5、6、7、8 号等 5 个品种的镉积累与分配特征进行比较分析,研究有机酸对蓖麻镉胁迫的调节作用,采用盆栽试验研究蓖麻对镉污染土壤的修复潜力,探索外源调节剂单施与配施对蓖麻修复镉污染土壤的强化效果。结果显示,淄蓖麻 5 号在 5 个品种中对镉的耐性与积累性最好。在含重金属镉的污染土壤中,镉对蓖麻的临界毒害浓度约 50 mg/kg,严重毒害的临界浓度 200 mg/kg,此时蓖麻仍能生长,表现出较强的耐性。

蓖麻的根对镉有较强的吸收和积累作用,并随着土壤镉含量的增加而增强,在土壤镉含量为 200 mg/kg 时,叶、茎、根对镉的积累量分别达到 51.89、9.25、4.46 $\mu\text{g}/\text{盆}$ 。说明蓖麻这种植物适合高浓度镉污染土壤的植物修复。

参考文献:

- [1] 张 慧,李 宁,戴友芝. 重金属污染的生物修复技术[J]. 化工进展,2004,23(5):562-565,574.
- [2] 韦朝阳,陈同斌. 重金属超富集植物及植物修复技术研究进展[J]. 生态学报,2001,21(7):1196-1203.
- [3] 林肇信,刘天齐,刘逸农. 环境保护概论[M]. 北京:高等教育出版社,2006.
- [4] 孙敬亮,武文钧,赵瑞雪,等. 重金属土壤污染及植物修复技术[J]. 长春理工大学学报,2003,26(4):46-48.