

刘翊涵,肖智华,邹冬生,等.不同油菜类型对土壤重金属镉污染的响应[J].江苏农业科学,2018,46(23):362-365.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.23.089

不同油菜类型对土壤重金属镉污染的响应

刘翊涵,肖智华,邹冬生,曾馨怡,李子涵

(湖南农业大学生物科技学院,湖南长沙 410128)

摘要:油菜因具有生长快、生物量高、对重金属有较强的耐性及吸收积累能力等特点,常用来修复重金属污染土壤。在湖南农业大学耘园实验基地进行温室土培盆栽试验,种植芥菜型油菜绿生 1 号、甘蓝型油菜铁杆直播王和湘杂油 6 号,对比不同品种油菜对重金属的吸收积累情况。结果表明,地上部分镉(Cd)含量绿生 1 号 > 湘杂油 6 号 > 铁杆直播王,地下部分 Cd 含量绿生 1 号 > 铁杆直播王 > 湘杂油 6 号,重金属 Cd 从地下部分转移到地上部分的转运系数为湘杂油 6 号 > 绿生 1 号 > 铁杆直播王, CaCl_2 提取有效态 Cd 的浓度从大到小顺序为铁杆直播王 > 湘杂油 6 号 > 绿生 1 号,二乙烯三胺五乙酸(DTPA)提取有效态 Cd 的浓度从大到小顺序为铁杆直播王 > 湘杂油 6 号 > 绿生 1 号。总的来说,芥菜型油菜绿生 1 号更适合修复 Cd 污染土壤。

关键词:重金属污染;镉;植物修复;油菜

中图分类号: X131.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)23-0362-04

伴随着我国经济飞速发展的是土壤被不同程度地污染^[1]。土壤重金属来源主要有自然污染源和人为污染源:自然环境中重金属污染源主要是富含重金属的矿石以及矿床因风化、水蚀等自然环境因素使得矿石与矿床中的重金属裸露在自然环境中从而使得土壤环境中积累大量重金属;人为污染源主要指在人们各种生产活动中,例如矿产的开采过程中和农作物的种植过程中,将重金属从土壤深处扩散到地表或将化学成分投入土壤中使重金属活化聚集在其中,使土壤中重金属浓度超过一定范围,造成土壤环境的破坏^[2-3]。

我国受到重金属污染的耕地面积达 2 000 万 hm^2 , 约占我国耕地总面积的 1/5^[4], 采矿区、冶炼区周边和大中城市群郊区的农田土壤重金属污染情况越来越严重,有些地区污染的程度严重超过国家Ⅲ级标准。镉(Cd)、砷(As)、汞(Hg)、铅(Pb)、铜(Cu)这几种重金属的单一污染及复合污染尤为明显,其中重金属 Cd 超标的情况又特别突出,因 Cd 超标弃耕土壤达到 13 万 hm^2 ^[5]。

目前,修复土壤重金属污染主要有以下 3 种途径。一是通过在土壤中投入化学试剂从而降低重金属在环境中的活性及生物有效性;二是利用生物技术等方法将土壤中的重金属提取出来,从而降低环境中重金属元素的浓度;三是改变植物的种植方式,防止食物链中重金属的富集从而影响生态环境和人类健康^[6]。利用植物修复重金属污染土壤是生物修复的一种,优点较多,较其他修复技术而言,其安全、廉价的特点正成为研究和开发的热点,比较适合在发展中国家采用,所以

是一项非常有前途的新技术。大量研究表明,我国有大量具有修复潜力的野生植物资源,利用好这些资源对植物修复的意义十分重大^[7]。但野生抗性植物对重金属污染的土壤修复并未取得较大进展,当前因为超富集植物只能吸附某个重金属元素,并且植物受到了不同因素的影响,例如有机质含量、酸碱度、阳离子交换量(CEC)、水分含量、土壤肥力等都将影响植物对重金属污染的修复。富集植物同时也存在生物量较小、生长速率慢,积累效率较低的缺点。我国在这一方面研究较多,并取得了一定的成效,但利用该技术修复污染土壤周期长,效果不显著^[8]。

人们在大量的筛选研究中发现,十字花科芸苔属植物具有生长快、生物量高、对重金属有较强的耐性及吸收积累能力等特点^[9]。我国广泛种植的油菜就是该属植物,不同基因型品种的油菜对重金属都有一定的吸收积累能力并且是一种对重金属有修复潜力的非超累积植物,在我国已被大量研究证实^[10-13]。本研究以 1 种芥菜型油菜(绿生 1 号)及 2 种甘蓝型油菜(铁杆直播王、湘杂油 6 号)为试验材料,采用盆栽模拟试验法,在湖南省浏阳市沙壤土上进行模拟试验,以浓度为 5 mg/kg 的水溶态 Cd 及不同浓度(0.5 mg/kg)对油菜生长的影响和生理生态过程进行研究。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试土壤选择湖南省长沙市浏阳的沙壤土,采样深度 0~20 cm,土壤的基本理化性质见表 1。

1.2 试验方法

在湖南农业大学耘园实验基地进行温室土培盆栽试验,试验于 2017 年 1 月 20 日开始,供试土样风干后去除石块和植物残体,过 60 目尼龙筛备用。试验用盆为直径 20 cm,高 20 cm 的 PVC 盆,每盆装土 2 kg。选取芥菜型油菜(绿生 1 号)、甘蓝型油菜(湘杂油 6 号、铁杆直播王)共 3 个品种,每个品种分别设置 Cd 浓度为 0.5 mg/kg 2 个处理,每个样品 3

收稿日期:2018-03-14

基金项目:湖南重金属污染耕地修复及农作物种植结构调整试点项目(编号:2014NBCH28);湖南省研究生科研创新项目(编号: CX2017B386);湖南省自然科学基金(编号:2018JJ3222)。

作者简介:刘翊涵(1993—),女,湖南益阳人,硕士研究生,主要从事农业生态研究。E-mail:398184881@qq.com。

通信作者:邹冬生,博士,教授,主要从事农业环境修复研究。
E-mail:zoudongsheng2@sina.com。

表 1 土壤基本理化指标

全氮含量 (g/kg)	全磷含量 (g/kg)	全钾含量 (g/kg)	速效氮含量 (mg/kg)	有效磷含量 (mg/kg)	速效钾含量 (mg/kg)	缓效钾含量 (mg/kg)	有机质含量 (%)	pH 值	阳离子交换量 [cmol/kg]
1.67	0.495	19.54	119	23	114	166	2.20	4.5	19.15

个重复,空白为不种植物的盆栽,合计 24 盆样。

将土壤与设计浓度的污染物及底肥充分混匀后,装入密封底部的塑料盆中,加水使含水量为田间持水量的 80%,每盆播种 20 颗种子,随后在种子上铺洒少许干土。出苗后每盆定苗为 2 株,植物生长期间每天以称质量法浇灌饮用水,保持土壤湿度为田间持水量的 70%。植物生长 60 d,采集每个盆栽中的植株和根际土壤。

1.2.1 样品的处理 将采集的植物地上部分与根系部分分别放入 105 ℃ 下杀青 30 min,称量并记录植物地上部和地下部的干质量,然后将烘干的植物样用不锈钢粉碎机粉碎,装在纸袋中,储藏于干燥器中待测;采集的根际土壤放入 -20 ℃ 冰箱保存。

1.2.2 样品的测定 土壤中重金属总量的测定:用 HCl-HNO₃-HF-HClO₄ 消解,用电感耦合等离子体发射光谱仪(ICP-OES)测定重金属含量;植物中重金属的测定:用 HNO₃-HClO₄ 消解,用 ICP-OES 及原子吸收石墨炉测定重金属含量。

1.3 分析方法

转运系数(TF) = 植物地下部分中重金属含量/地上部分中重金属含量;植物提取量 = 植物 Cd 含量 × 植物的生物量。

1.4 数据处理

采用 Excel 2010 和 SPSS 19.0 软件进行数据统计和检验;单因素方差分析(One-way ANOVA)、显著性用 Tukey 法,Origin 8.0 软件作图;所有数据均用平均值 ± 标准差表示。

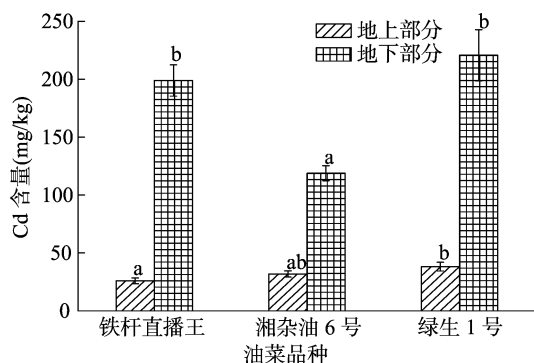
2 结果与分析

2.1 不同油菜品种对重金属 Cd 积累的情况

由图 1 可知,从地上部分 Cd 总含量来看,同一浓度下,铁杆直播王、湘杂油 6 号和绿生 1 号的 Cd 含量分别为 25.90、31.85、38.18 mg/kg,绿生 1 号地上部分 Cd 总含量分别比铁杆直播王和湘杂油 6 号高 47.41% 和 19.87%,湘杂油 6 号地上部分 Cd 总含量比铁杆直播王高 22.97%;从地下部分 Cd 总含量来看,铁杆直播王、湘杂油 6 号和绿生 1 号的含量分别为 198.880、118.820、220.635 mg/kg,绿生 1 号 Cd 含量分别比铁杆直播王和湘杂油 6 号高 10.94% 和 85.69%,铁杆直播王地下部分 Cd 总含量比湘杂油 6 号高 67.38%。3 种油菜都不同程度地吸收了重金属 Cd,且在不同油菜品种之间绿生 1 号和铁杆直播王地上部分 Cd 含量有显著性差异,地下部分湘杂油 6 号与铁杆直播王、绿生 1 号 Cd 含量有显著性差异($P < 0.05$)。

2.2 不同油菜品种在不同浓度下生长情况

由图 2 可知,从地上部分生物量来看,水溶态 Cd 浓度为 0 mg/kg 时,铁杆直播王、湘杂油 6 号和绿生 1 号的地上部分生物量分别为 5.14、5.00、4.64 g,铁杆直播王的地上部分生物量分别比湘杂油 6 号和绿生 1 号高 2.80% 和 10.78%,湘杂油 6 号地上部分生物量比绿生 1 号高 7.76%;水溶态 Cd



不同小写字母表示经 Tukey 法检验差异显著($P < 0.05$)。下图同
图 1 3 种油菜地上部分和地下部分 Cd 含量比较

浓度为 5 mg/kg 时,铁杆直播王、湘杂油 6 号和绿生 1 号的地上部分生物量分别为 3.87、4.53、3.60 g,湘杂油 6 号地上部分生物量分别比铁杆直播王和绿生 1 号高 17.05% 和 25.83%,铁杆直播王的地上部分生物量比绿生 1 号高 7.50%。从地下部分生物量来看,Cd 浓度为 0 mg/kg 时浓度,铁杆直播王、湘杂油 6 号和绿生 1 号的地下部分生物量分别为 0.59、0.68、0.50 g,湘杂油 6 号分别比铁杆直播王和绿生 1 号高 15.25% 和 36.00%,铁杆直播王地下部分生物量比绿生 1 号高 18.00%;Cd 浓度为 5 mg/kg 时,铁杆直播王、湘杂油 6 号和绿生 1 号的地下部分生物量分别为 0.659、0.663、0.470 g,湘杂油 6 号的地下部分生物量分别比铁杆直播王和绿生 1 号高 0.61% 和 41.06%,铁杆直播王地下部分生物量比绿生 1 号高 40.21%。同一品种中地下部分生物量并没有随着处理浓度的增加而有太大差别。

从全株生物量来看,Cd 浓度为 0 mg/kg 时,铁杆直播王、湘杂油 6 号和绿生 1 号的全株生物量分别为 5.73、5.68、5.14 g,铁杆直播王的全株生物量分别比湘杂油 6 号和绿生 1 号高 0.88% 和 11.48%,湘杂油 6 号的全株生物量比绿生 1 号高 10.51%。Cd 浓度为 5 mg/kg 时,铁杆直播王、湘杂油 6 号和绿生 1 号的全株生物量分别为 4.53、5.19、4.06 g,湘杂油 6 号的全株生物量分别比铁杆直播王和绿生 1 号高 14.57% 和 27.83%,铁杆直播王的全株生物量比绿生 1 号高 11.58%。3 个品种全株生物量都随着处理浓度的增加呈下降趋势。

从铁杆直播王来看,Cd 浓度为 5 mg/kg 时油菜地上部分生物量和全株生物量分别比 Cd 浓度为 0 mg/kg 时降低了 24.71% 和 20.94%,而地下部分生物量在 Cd 浓度为 5 mg/kg 时比 Cd 浓度为 0 mg/kg 时增高了 11.69%;从湘杂油 6 号来看,Cd 浓度为 5 mg/kg 时油菜地上部分、地下部分生物量和全株生物量分别比 Cd 浓度为 0 mg/kg 时低了 9.40%、2.50% 和 8.63%;从绿生 1 号来看,Cd 浓度为 5 mg/kg 时油菜地上部分、地下部分生物量和全株生物量分别比 Cd 浓度为 0 mg/kg 时降低了 22.41%、6.00% 和 21.01%。

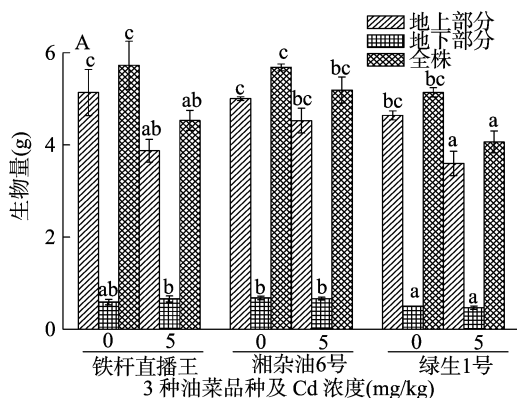


图2 3种油菜在Cd浓度为0和5 mg/kg下的生物量(A)及根冠比(B)

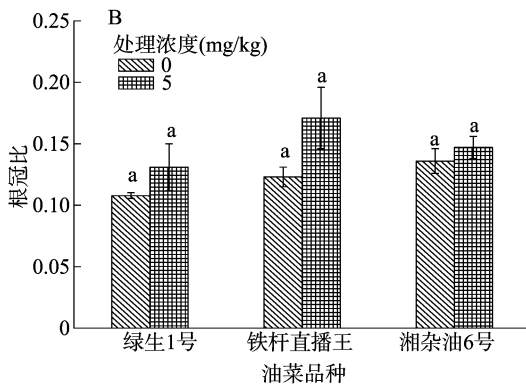


图3 Cd浓度为5 mg/kg时不同油菜品种中的重金属的迁移转运系数

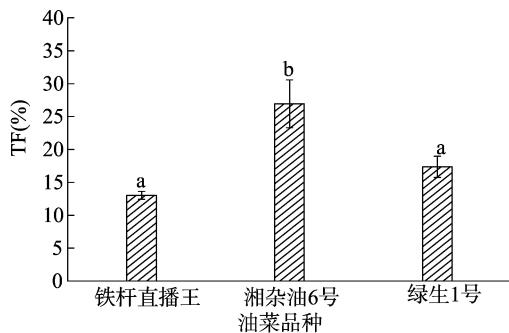


图4 Cd浓度为5 mg/kg时不同油菜品种中的重金属的迁移转运系数

根冠比是生物量累积分配的主要指标,其变化反映了植物地下部分物质积累的变化情况^[14]。3种油菜的根冠比都随着处理浓度的增加而增加,可以看出重金属Cd污染对油菜生长产生了胁迫作用,与Cd浓度为0 mg/kg时相比,Cd浓度为5 mg/kg时的地下部分生物量明显加大,铁杆直播王、湘杂油6号和绿生1号根冠比的增幅分别为48%、8%和21.23%。

2.3 3种油菜对土壤中重金属Cd提取量的情况

由图3可知,Cd浓度为5 mg/kg时,铁杆直播王、湘杂油6号和绿生1号地上部分对重金属Cd的提取量分别是100.255、136.912和144.143 μg,其中绿生1号比铁杆直播王、高43.78%和5.28%;铁杆直播王、湘杂油6号和绿生1号地下部分对重金属Cd的提取量分别是130.697、78.928和102.498 μg,其中铁杆直播王要比湘杂油6号和绿生1号高65.59%和27.51%,铁杆直播王地下部分提取量显著高于其他2个品种。铁杆直播王、湘杂油6号和绿生1号全株对重金属Cd的提取量分别是230.952、223.071和239.409 μg,其中绿生1号全株Cd提取量最高,而湘杂油6号全株Cd提取量最低,3个品种全株Cd提取量差异性不显著。

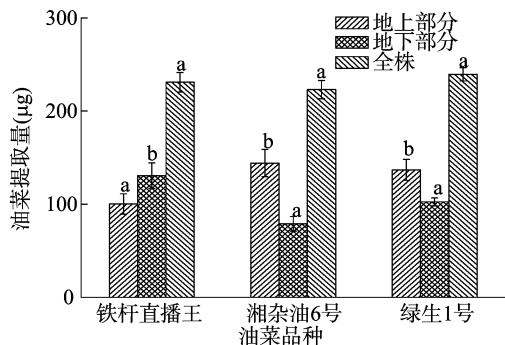


图3 Cd浓度为5 mg/kg时不同油菜品种提取量

2.4 不同油菜品种对Cd吸收转移情况

植物对重金属的转运系数(TF)是判断植物是否具有修复重金属潜力的重要指标。由图4可知,铁杆直播王、湘杂油6号和绿生1号根茎的转运系数分别是13.02%、26.94%和17.35%,湘杂油6号的转运系数显著高于铁杆直播王和绿生1号。3个品种的转移系数都小于1,可能是这3个油菜品种会通过自身的排斥机制减少毒害。

2.5 不同油菜品种对有效态Cd的吸附情况

由图5可知,Cd浓度为5 mg/kg时对照的pH值为

4.027,铁杆直播王、湘杂油6号、绿生1号pH值分别为4.22、4.22、4.27;3种油菜品种的土壤都呈酸性,且pH值均高于对照,但3种油菜品种间差异不显著。铁杆直播王、湘杂油6号、绿生1号有效态Cd浓度均低于对照,说明3个油菜品种对土壤的有效态Cd有一定的吸附性作用;铁杆直播王、湘杂油6号、绿生1号和对照的CaCl₂提取有效态Cd浓度分别是1.98、1.56、1.34和2.01 mg/kg,绿生1号CaCl₂提取有效态Cd的浓度比铁杆直播王、湘杂油6号和对照分别低32.32%、14.10%和33.33%,湘杂油6号CaCl₂提取有效态Cd浓度比铁杆直播王和对照分别低21.21%和22.39%,铁杆直播王CaCl₂提取有效态Cd浓度比对照降低1.49%。铁杆直播王、湘杂油6号、绿生1号和对照的二乙烯三胺五乙酸(DTPA)提取有效态Cd浓度分别是1.918、1.631、1.528和1.944 mg/kg,绿生1号DTPA提取有效态Cd浓度分别比铁杆直播王、湘杂油6号和对照降低20.33%、6.32%和21.40%,湘杂油6号DTPA提取有效态Cd浓度分别比铁杆直播王和对照降低14.96%和16.10%,铁杆直播王DTPA提取有效态Cd浓度比对照降低1.34%。显然,绿生1号在酸性环境中对土壤有效态Cd的吸附能力最强,且与铁杆直播王差异显著,但与湘杂油6号无显著差异。

3 结论

以2种不同类型,3个品种的油菜为研究对象,在其培养含有浓度为5 mg/kg CdCl₂的盆栽中,通过对其各部位重金属进行了相关分析,数据显示:(1)从种植铁杆直播王来看,在0 mg/kg CdCl₂下,其生物量是3个品种中最优的。而在5 mg/kg CdCl₂下,各品种生物量明显下降,铁杆直播王植株的Cd含量在3个品种中处于居中位置。提取量是植物Cd

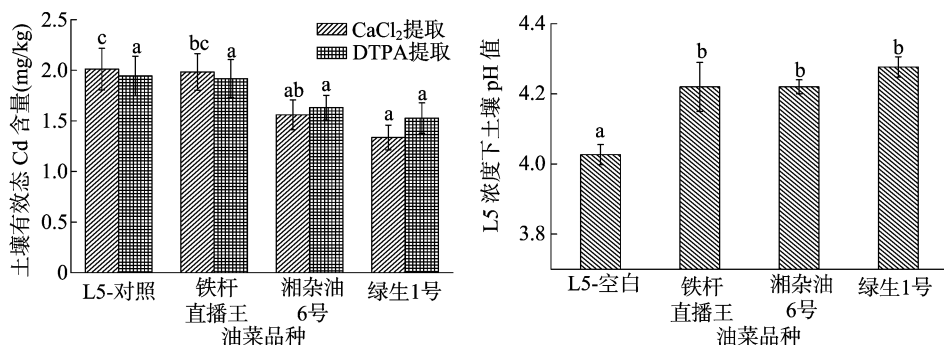


图5 L5浓度下不同油菜品种中的有效态 Cd 含量及 pH 值

含量与植物的生物量之积,所以铁杆直播王地上部分的提取量小于其他 2 种油菜;此外,在酸性土壤环境下,它的有效态 Cd 含量与不种油菜的对照无显著性差异,且转运系数远小于其他 2 种油菜品种。由此可见,铁杆直播王较其他品种对土壤的修复能力较差。(2)从种植湘杂油 6 号来看,Cd 在油菜体内分布大小为地下部分 > 地上部分,且相对其他 2 个品种,Cd 浓度为 5 mg/kg 时的生物量并没有比 Cd 浓度为 0 mg/kg 时下降太多,说明它的耐 Cd 能力比其他 2 个品种好,且转运能力也是最强的。但是,从数据上看,它对重金属 Cd 吸收的能力明显比绿生 1 号差,在酸性土壤下,植株的 Cd 含量和对土壤有效态 Cd 的吸附含量小于绿生 1 号。由此可见,在重金属 Cd 污染浓度较低的土壤中,湘杂油 6 号不仅能够修复土壤,还能够取得不错的经济效益。(3)从种植绿生 1 号来看,相比 Cd 浓度为 0 mg/kg 时,绿生 1 号植株全株生物量都在 Cd 浓度为 5 mg/kg 时大大减小,幅度高达 21.01%,说明其耐 Cd 能力较差;在 pH 值为 3.5~4.0 的土壤中,从植株的重金属 Cd 含量和土壤有效态 Cd 含量来看,绿生 1 号的含量最高,在生物量大幅减少的情况下,植株提取量还是最高的。由此可见,在 5mg/kg CdCl₂ 浓度下绿生 1 号对 Cd 的吸附能力是最强的。

综合分析结果显示,芥菜型油菜绿生 1 号对重金属 Cd 的吸附能力最强。相关研究表明,Cd 可以通过地下部分进入植物体内,过量的 Cd 积累容易对植物生长和代谢活动造成一定程度的伤害,如生长抑制、养分吸收受阻、代谢抑制、甚至植株坏死等^[15]。许多超富集植物都属于十字花科芸苔属^[16-17]植物,如印度芥菜被认为是其中最具有修复潜力的超富集植物,在大量的水培、盆栽及温室试验中都证明了印度芥菜对重金属 Cd 有很强的耐性和吸收能力^[18-19];甘蓝型油菜湘杂油 6 号比铁杆直播王对重金属 Cd 的吸附能力好,且对毒害的耐性更强,生长情况前者明显优于后者;从转运系数来看,甘蓝型油菜湘杂油 6 号转运能力明显高于其他 2 种;在研究有效态 Cd 时笔者发现,酸性土壤环境芥菜型油菜绿生 1 号吸附能力比其他 2 种好。综上,这 3 种品种油菜都能在重金属 Cd 污染的土壤中正常生长,表现出一定的耐性,而对于酸性土壤的湖南地区,芥菜型油菜绿生 1 号更适合修复重金属 Cd 污染。

参考文献:

- [1]姜妮. 重金属污染危害凸显[J]. 环境经济,2011(10):10-14.
- [2]曹勤英,黄志宏. 污染土壤重金属形态分析及其影响因素研究进

- 展[J]. 生态科学,2017,36(6):222-232.
- [3]杨学乐,何录秋,刘寿明,等. 向日葵、油菜对镉胁迫反应及对镉污染土地修复作用研究进展[J]. 作物研究,2017,31(1):93-98.
- [4]杨启良,武振中,陈金陵,等. 植物修复重金属污染土壤的研究现状及水肥调控技术展望[J]. 生态环境学报,2015(6):1075-1084.
- [5]串丽敏,赵同科,郑怀国,等. 土壤重金属污染修复技术研究进展[J]. 环境科学与技术,2014(增刊2):213-222.
- [6]胡鹏杰,李柱,钟道旭,等. 我国土壤重金属污染植物吸取修复研究进展[J]. 植物生理学报,2014,50(5):577-584.
- [7]徐良将,张明礼,杨浩. 土壤重金属镉污染的生物修复技术研究进展[J]. 南京师大学报(自然科学版),2011,34(1):102-106.
- [8]张新英. 土壤污染来源及生物修复技术[J]. 农技服务,2010,27(10):1288-1289.
- [9]周建军,周桔,冯仁国. 我国土壤重金属污染现状及治理战略[J]. 中国科学院院刊,2014(3):315-320.
- [10]张小敏,张秀英,钟太洋,等. 中国农田土壤重金属富集状况及其空间分布研究[J]. 环境科学,2014,35(2):692-703.
- [11]祝方,陈雨,刘文庆. 螯合剂对用芥菜型油菜修复镉污染土壤镉形态转化的影响[J]. 能源环境保护,2013,27(1):25-28.
- [12]徐素琴,程旺大. 油菜、芥菜萌芽与幼苗生长的耐镉性差异[J]. 浙江农业科学,2005,1(6):436-438.
- [13]鲁先文,丁时和. Cd、Pb 污染对油菜种子萌发及幼苗生物量的影响[J]. 中国农学通报,2011,27(6):124-127.
- [14]蔺晓晖,段爱国,何彩云,等. 镉胁迫对 107 杨幼苗光合作用和干物质分配的影响[J]. 林业科学研究,2012,25(5):651-656.
- [15]张凯. 镉富集植物小飞蓬对镉的耐性机制研究[D]. 福州:福建农林大学,2010.
- [16]Baker A J M,Reeves R D,Hajar A S M. Heavy metal accumulation and tolerance in British populations of the metallophyte *Thlaspi caerulescens* J. & C. Presl (Brassicaceae)[J]. New Phytologist, 2010,127(1):61-68.
- [17]Prasad M N V,Freitas H M de O. Metal hyperaccumulation in plants - Biodiversity prospecting for phytoremediation technology[J]. Electronic Journal of Biotechnology,2003,6(3):189-198.
- [18]Lang M L,Zhang Y X,Chai T Y. Identification of genes up-regulated in response to Cd exposure in *Brassica juncea* L. [J]. Gene,2005,363(2):151-158.
- [19]Marchiol L,Sacco P,Assolari S,et al. Reclamation of polluted soil: phytoremediation potential of crop-related *Brassica*, species[J]. Water Air & Soil Pollution,2004,158(1):345-356.