

# 耐性植物秸秆覆盖对芥菜生长及镉积累的影响

王恒<sup>1</sup>, 石军<sup>2</sup>, 林立金<sup>3</sup>, 杨代宇<sup>4</sup>, 黄科文<sup>4</sup>, 张潇<sup>4</sup>

(1. 四川禹能工程咨询有限公司, 四川 成都 610040; 2. 绵阳市农业科学研究院, 四川 绵阳 621023;  
3. 四川农业大学 果蔬研究所, 四川 成都 611130; 4. 四川农业大学 园艺学院, 四川 成都 611130)

**摘要:** [目的] 研究秸秆覆盖对富集植物重金属积累的影响, 筛选能促进芥菜生长和镉积累的镉耐性植物. [方法] 通过盆栽试验研究镉污染条件下, 覆盖 4 种镉耐性植物(扬子毛茛、通泉草、邻近风轮菜和车前)秸秆对芥菜生长及镉积累的影响. [结果] 覆盖扬子毛茛、通泉草、邻近风轮菜和车前秸秆后, 芥菜的地地上部分生物量、总生物量和叶片叶绿素含量值均低于未覆盖处理. 覆盖扬子毛茛、通泉草、邻近风轮菜和车前秸秆的芥菜总生物量则较未覆盖分别降低了 34.04%, 49.85%, 40.27% 和 18.39%. 只有覆盖邻近风轮菜秸秆提高了芥菜根系镉含量, 而覆盖扬子毛茛和通泉草秸秆则提高了芥菜地上部分镉含量(较未覆盖分别提高了 18.61% 和 12.87%). 然而, 覆盖 4 种耐性植物的芥菜根系、地上部分及整株镉积累量均低于未覆盖. [结论] 在盆栽条件下, 覆盖镉耐性植物(扬子毛茛、通泉草、邻近风轮菜和车前)秸秆不能提高芥菜对镉污染土壤的修复能力.

**关键词:** 耐性植物秸秆; 芥菜; 镉; 化感作用; 植物修复

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2016)01-0184-04

中图分类号: X53, X173

文献参数: 王恒, 石军, 林立金, 等. 耐性植物秸秆覆盖对芥菜生长及镉积累的影响[J]. 水土保持通报, 2016, 36(1): 184-187. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2016.01.032

## Effects of Mulching with Cadmium Tolerant Plant Straws on Growth and Cadmium Accumulation of *Capsella Bursa-pastoris* in Cadmium Contaminated Soil

WANG Heng<sup>1</sup>, SHI Ju<sup>2</sup>, LIN Lijin<sup>2</sup>, YANG Daiyu<sup>3</sup>, HUANG Kewen<sup>4</sup>, ZHANG Xiao<sup>4</sup>

(1. Sichuan Yuneng Engineering Consulting Co. Ltd., Chengdu, Sichuan 610040,

China; 2. Mianyang Academy of Agricultural Sciences, Mianyang, Sichuan 621023, China;

3. Institute of Pomology and Olericulture, Sichuan Agricultural University, Chengdu, Sichuan 611130, China; 4. College of Horticulture, Sichuan Agricultural University, Chengdu, Sichuan 611130, China)

**Abstract:** [Objective] The objective of this paper is to study the effect of mulching with straws of four cadmium tolerant species on heavy metal accumulation of accumulator in order to select cadmium tolerant species which can promote the growth cadmium accumulation of *Capsella bursa-pastoris*. [Methods] A pot experiment was conducted to study the effects of mulching with straws of four cadmium tolerant species (*Ranunculus sieboldii*, *Mazus japonicus*, *Clinopodium confine* and *Plantago asiatica*) on growth and cadmium accumulation of *Capsella bursa-pastoris* in Cd-contaminated soil. [Results] The soil mulching with *R. sieboldii*, *M. japonicus*, *C. confine* and *P. asiatica* straws reduced the shoot biomass, total biomass and leaf SPAD value of *C. bursa-pastoris* compared with control. Compared with control, the soil mulching with *R. sieboldii*, *M. japonicus*, *C. confine* and *P. asiatica* straws reduced the whole biomass of *C. bursa-pastoris* by 37.61%, 52.14%, 43.76% and 21.71% respectively. Only *C. confine* straw increased the cadmium content in root of *C. bursa-pastoris*, and *R. sieboldii* and *M. japonicus* straws increased the cadmium content in shoot of *C. bursa-pastoris* by 18.61% and 12.87% respectively. The cadmium exactions in root, shoot and whole plant of *C. bursa-pastoris* decreased when mulched with four cadmium tolerant plant straws. [Conclusion] The soil mulching with four cadmium tolerant plant (*Ranunculus sieboldii*, *Mazus japonicus*, *Clinopodium confine* and *Plantago asiatica*) straws cannot enhance the ability of *Capsella bursa-pastoris* to remedy cadmium contaminated soil under pot experiment conditions.

收稿日期: 2014-10-23

修回日期: 2014-12-17

资助项目: 国家农业科技成果转化资金项目“川花梨新品种中试与优质高产栽培技术应用及产业化示范”(2011GB2F000006)

第一作者: 王恒(1983—), 男(汉族), 四川省成都市人, 硕士研究生, 工程师, 主要从事水土保持研究. E-mail: 19304992@qq.com.

通讯作者: 林立金(1980—), 男(汉族), 四川省成都市龙泉驿区人, 博士, 助理研究员, 主要从事果树生理生态及栽培研究. E-mail: llj800924@163.com.

**Keywords:** cadmium tolerant plant straw; *Capsella bursa-pastoris*; cadmium; allelopathy; phytoremediation

随着人类活动不断增加,全球土壤重金属污染已经成为危害人类自身健康的重大因素<sup>[1]</sup>。据报告,中国镉污染土壤面积已达到  $2.0 \times 10^5 \text{ km}^2$ , 占总耕地面积的  $1/6$ <sup>[2]</sup>。植物修复技术是土壤重金属污染修复中的一种常用方法,能在不破坏土壤生态环境、保持土壤结构和微生物的状况下,通过植物的根系直接将重金属从土壤中吸收并转移到植物地上部分,从而达到修复被污染土壤的目的<sup>[3]</sup>。镉超富集植物或富集植物是土壤镉污染植物修复技术的重要材料,但已经筛选出的镉超富集植物或富集植物与其他重金属超富集植物或富集植物一样,大多都存在着生长缓慢、生物量小等缺点,在生产上难以广泛应用<sup>[4-5]</sup>。因此,对已筛选出的镉超富集植物或富集植物的修复能力进行改良具有重要的实践意义。

目前对重金属超富集植物或富集植物的改良方法较多,如在土壤中施用表面活性剂(螯合剂)<sup>[6]</sup>,混种<sup>[7]</sup>,喷施植物生长调节剂<sup>[8]</sup>,这些措施虽有一定的效果,但在生产中的应用也不多。为此,寻找更多的与农艺措施相关的改良方法很有必要。秸秆覆盖是农业生产中常用的一种生产技术,其主要目的在于将有机物施入土壤后转化为有机质及其他养分,达到培肥土壤和改善土壤质地的目的<sup>[9]</sup>。有研究表明,秸秆还田能够改善土壤的理化性质、增加土壤有机质含量,从而促进作物生长,提高产量,改善品质<sup>[10]</sup>。秸秆还田除了能为土壤提供一定量的养分外,其腐烂、分解过程中的化感物质还能够影响作物的生长<sup>[11]</sup>。这说明植物秸秆中的化感物质能改变作物的生理代谢,进而能够促进作物对养分元素的吸收<sup>[11]</sup>。鉴于此,若将植物秸秆施入土壤中,利用化感物质也应该能够改变超富集植物或富集植物的生长及其对重金属元素的吸收,但这方面的研究尚未见报道。作为镉耐性植物的扬子毛茛(*Ranunculus sieboldii*)、通泉草(*Mazus pumilus*)、邻近风轮菜(*Clinopodium confine*)和车前(*Plantago asiatica*)<sup>[12]</sup>对镉具有很强的耐性,但对镉的富集量很低,如果将这些植物秸秆施入土壤中,可能能够提高超富集植物或富集植物的抗性以及对重金属的吸收。因此,本研究将这 4 种镉耐性植物的秸秆直接覆盖于镉污染的土壤表面,再种植生物量较小的镉富集植物芥菜(*Capsella bursa-pastoris*)<sup>[13]</sup>,研究镉耐性植物秸秆覆盖对芥菜生长和镉积累的影响,以期筛选出能促进芥菜生长和镉积累的镉耐性植物,为提高芥菜对镉污染土壤的植物修复能力提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试土壤为紫色土,取自四川农业大学雅安校区

农场农田(29°59'N,102°59'E),其基本理化性质为<sup>[14]</sup>: pH 6.94,有机质 43.64 g/kg,全氮 3.63 g/kg,全磷 0.38 g/kg,全钾 17.54 g/kg,全镉 0.103 mg/kg,碱解氮 195.00 mg/kg,速效磷 6.25 mg/kg,速效钾 191.13 mg/kg,有效态镉 0.022 mg/kg。镉耐性植物扬子毛茛、通泉草、邻近风轮菜和车前地上部分于 2013 年 8 月采自四川农业大学雅安校区农场农田,采集区土壤未被重金属污染。将采集到的 4 种镉耐性植物地上部分于 110 °C 杀青 15 min,75 °C 烘干至衡重,剪碎(长约 1 cm),备用。芥菜幼苗直接采自四川农业大学雅安校区农场农田(未被重金属污染区)。

### 1.2 试验方法

试验于 2013 年 8—10 月在四川农业大学雅安校区农场进行。2013 年 8 月,将土壤风干、压碎、过 5 mm 筛后,分别称取 4.0 kg 装于 18 cm × 21 cm (高 × 直径)的塑料盆内,加入分析纯  $\text{CdCl}_2 \cdot 2.5 \text{ H}_2\text{O}$  溶液,使其镉浓度为 10 mg/kg<sup>[14]</sup>,并与土壤充分混匀,保持土壤含水量在田间持水量的 80% 左右,自然放置平衡 4 周后再次混合备用。2013 年 9 月,选择长势一致,2 片真叶展开的芥菜幼苗移栽至盆中,之后将处理好的 4 种镉耐性植物秸秆直接覆盖于盆栽土壤表面,每盆覆盖 6 g<sup>[14]</sup>,折合 225 g/m<sup>2</sup>。试验设置 5 个处理,分别为:未覆盖、覆盖扬子毛茛、覆盖邻近风轮菜、覆盖通泉草、覆盖车前。每盆种植芥菜幼苗 5 株,每个处理重复 3 次。于透明遮雨棚内栽培,根据土壤水分实际情况不定期浇水确保土壤水分保持在田间持水量的 80% 左右,35 d 后芥菜处于盛花期,用叶绿素仪(SPAD-502 PLUS,日本产)测定叶片叶绿素含量值,每株测定完全展开的成熟新叶 2 片,测定位置为叶片的中心。之后,整株收获,将植物根系和地上部分分别封装。芥菜根系和地上部分分别用自来水洗净,再用去离子水冲洗 3 次后,于 110 °C 杀青 15 min,75 °C 烘干至衡重<sup>[15]</sup>。植物样品用硝酸—高氯酸(体积比为 4:1)放置 12 h 后消化至溶液透明,用 iCAP 6300 型 ICP-MS 光谱仪测定(Thermo Scientific, USA)镉含量。

### 1.3 数据处理方法

数据采用 DPS 系统进行方差分析(Duncan 新复极差法进行多重比较)。富集系数(BCF) = 根系镉含量(地上部分镉含量)/土壤镉含量,转运系数(TF) = 植物地上部分镉含量/根系镉含量<sup>[16]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 耐性植物秸秆覆盖对芥菜生物量及 SPAD 值的影响

从表 1 可知,覆盖 4 种镉耐性植物秸秆后,除了

覆盖车前秸秆的芥菜根系生物量高于未覆盖 ( $p < 0.05$ ) 外,其余处理的芥菜根系生物量均低于未覆盖 ( $p < 0.05$ )。与根系不同,覆盖四种镉耐性植物秸秆后,芥菜地上部分生物量及总生物量均低于未覆盖,差异均达显著水平,这说明覆盖耐性植物秸秆在一定程度上抑制了芥菜的生长。覆盖扬子毛茛、通泉草、邻近风轮菜和车前秸秆的芥菜地上部分生物量分别较未覆盖降低了 37.61%, 52.14%, 43.76% 和

21.71%,总生物量则分别降低了 34.04%, 49.85%, 40.27% 和 18.39%。覆盖 4 种镉耐性植物秸秆后的芥菜根冠比均高于未覆盖,这说明芥菜通过提高根系所占比重增强对耐性植物秸秆的抑制作用。覆盖 4 种镉耐性植物秸秆后的芥菜 SPAD 值均低于未覆盖,除覆盖通泉草秸秆的芥菜 SPAD 值显著低于未覆盖外,其余 3 种耐性植物处理的芥菜 SPAD 值降低差异均不显著。

表 1 芥菜植株的生物量及 SPAD 值

耐性植物	根系(g/株)	地上部分(g/株)	总生物量(g/株)	根冠比	SPAD 值
未覆盖	0.073±0.002 <sup>b</sup>	0.585±0.009 <sup>a</sup>	0.658±0.011 <sup>a</sup>	0.125±0.003 <sup>c</sup>	31.02±1.92 <sup>a</sup>
扬子毛茛	0.069±0.003 <sup>c</sup>	0.365±0.018 <sup>c</sup>	0.434±0.021 <sup>c</sup>	0.188±0.018 <sup>a</sup>	29.56±1.21 <sup>ab</sup>
通泉草	0.051±0.002 <sup>e</sup>	0.280±0.007 <sup>e</sup>	0.330±0.009 <sup>e</sup>	0.181±0.003 <sup>ab</sup>	28.24±1.55 <sup>b</sup>
邻近风轮菜	0.064±0.004 <sup>d</sup>	0.329±0.004 <sup>d</sup>	0.393±0.008 <sup>d</sup>	0.193±0.010 <sup>a</sup>	29.10±2.15 <sup>ab</sup>
车前	0.079±0.003 <sup>a</sup>	0.458±0.013 <sup>b</sup>	0.537±0.016 <sup>b</sup>	0.172±0.002 <sup>b</sup>	30.10±1.76 <sup>ab</sup>

注:同列数据后的不同小写字母表示差异达显著水平 ( $p < 0.05$ )。下同。

## 2.2 耐性植物秸秆覆盖对芥菜镉含量的影响

从表 2 可以看出,覆盖邻近风轮菜秸秆的芥菜根系镉含量高于未覆盖,较未覆盖提高了 11.36%;但覆盖扬子毛茛、通泉草和车前秸秆的芥菜根系镉含量低于未覆盖。就地上部分镉含量而言,覆盖扬子毛茛和通泉草秸秆的芥菜地上部分镉含量均高于未覆盖,较未覆盖分别提高了 18.61% 和 12.87%,而覆盖邻近风轮菜和车前秸秆的芥菜地上部分镉含量均低于未覆盖。这说明不同耐性植物秸秆对芥菜植物镉含量的影响完全不同,与耐性植物秸秆对芥菜根际土壤环境的影响有关。与根系和地上部分镉含量一致,只有覆盖邻近风轮菜秸秆的芥菜根系富集系数高于未覆盖,覆盖扬子毛茛和通泉草秸秆的芥菜地上部分富集

系数高于未覆盖,其余处理均低于未覆盖。从转运系数来看,覆盖扬子毛茛、通泉草和车前秸秆的芥菜转运系数高于未覆盖,而覆盖邻近风轮菜秸秆的芥菜转运系数低于未覆盖。这说明扬子毛茛、通泉草和车前秸秆能促进镉从芥菜根系向地上部分的转运,而邻近风轮菜秸秆则抑制了镉从芥菜根系向地上部分的转运。

## 2.3 耐性植物秸秆覆盖对芥菜镉积累量的影响

覆盖 4 种镉耐性植物秸秆后,芥菜根系、地上部分及整株镉积累量均低于未覆盖(表 3)。与未覆盖相比,除覆盖邻近风轮菜的芥菜根系镉积累量降低程度不显著外,其余处理的芥菜根系、地上部分及整株镉积累量降低程度均达显著水平。这说明在盆栽条件下,4 种耐性植物秸秆均抑制了芥菜植株的镉积累量。

表 2 芥菜植株的镉含量

耐性植物	镉含量/(mg·kg <sup>-1</sup> )		根系富集系数	地上部分富集系数	转运系数
	根系	地上部分			
未覆盖	72.93±0.72 <sup>b</sup>	29.13±1.54 <sup>b</sup>	7.29±0.07 <sup>b</sup>	2.91±0.15 <sup>b</sup>	0.399±0.017 <sup>b</sup>
扬子毛茛	69.76±1.30 <sup>c</sup>	34.55±2.19 <sup>a</sup>	6.98±0.13 <sup>c</sup>	3.46±0.22 <sup>a</sup>	0.495±0.023 <sup>a</sup>
通泉草	71.93±1.47 <sup>bc</sup>	32.88±2.63 <sup>a</sup>	7.19±0.15 <sup>bc</sup>	3.29±0.26 <sup>a</sup>	0.457±0.027 <sup>a</sup>
邻近风轮菜	80.61±2.11 <sup>a</sup>	17.09±1.99 <sup>d</sup>	8.06±0.21 <sup>a</sup>	1.71±0.20 <sup>d</sup>	0.212±0.019 <sup>c</sup>
车前	56.37±3.29 <sup>d</sup>	25.54±2.14 <sup>c</sup>	5.64±0.33 <sup>d</sup>	2.55±0.21 <sup>c</sup>	0.453±0.065 <sup>a</sup>

表 3 芥菜植株的镉积累量

耐性植物	根系镉积累量		地上部分镉积累量		整株镉积累量	
	积累量(μg/株)	增量/%	积累量(μg/株)	增量/%	积累量(μg/株)	增量/%
未覆盖	5.32±0.26 <sup>a</sup>	—	17.05±1.18 <sup>a</sup>	—	22.37±1.44 <sup>a</sup>	—
扬子毛茛	4.80±0.31 <sup>bc</sup>	-9.77	12.62±0.16 <sup>b</sup>	-25.98	17.42±0.47 <sup>b</sup>	-22.13
通泉草	3.64±0.24 <sup>d</sup>	-31.58	9.19±0.98 <sup>c</sup>	-46.10	12.83±1.22 <sup>c</sup>	-42.65
邻近风轮菜	5.13±0.47 <sup>ab</sup>	-3.57	5.62±0.73 <sup>d</sup>	-67.04	10.75±1.20 <sup>d</sup>	-51.94
车前	4.45±0.42 <sup>c</sup>	-16.35	11.70±0.66 <sup>b</sup>	-31.38	16.15±1.08 <sup>b</sup>	-27.81

### 3 讨论与结论

植物秸秆含有大量的养分,在秸秆腐烂、分解过程中,这些养分会被释放出来,从而能够被其他活体植物吸收<sup>[9]</sup>。然而,植物秸秆在腐烂、分解过程中也会产生大量的有机酸,这些有机酸在一定程度上会抑制其他活体植物的根系生长,最终导致地上部分生长受到抑制<sup>[17]</sup>。本试验研究表明,在盆栽试验条件下,覆盖 4 种镉耐性植物(扬子毛茛、通泉草、邻近风轮菜和车前)秸秆后,芥菜的地上部分生物量、总生物量和叶片 SPAD 值均低于未覆盖。这与农业生产中的秸秆还田促使作物增产的效果<sup>[10]</sup>不同,可能原因是 4 种镉耐性植物秸秆腐烂、分解所产生的有机酸抑制了芥菜的生长,降低了芥菜叶片 SPAD 值和生物量,这有待进一步研究。

在重金属污染条件下,植物对重金属元素的吸收影响主要集中在根际环境中<sup>[18]</sup>。植物秸秆腐烂、分解产生的有机酸及腐殖质等有机物能够改变根际 pH 值、氧化还原电位及养分有效性等状况,进而影响根际土壤重金属的生物有效性<sup>[19]</sup>。本试验研究表明,在盆栽试验条件下,只有覆盖邻近风轮菜秸秆的芥菜根系镉含量高于未覆盖,覆盖扬子毛茛和通泉草秸秆的芥菜地上部分镉含量均高于未覆盖,其余处理方式均低于未覆盖。这说明在盆栽条件下,4 种镉耐性植物秸秆所产生的物质改变了芥菜根际环境,特别是 4 种镉耐性植物秸秆分泌的有机酸在抑制芥菜生长的同时也降低了芥菜的抗性,从而使部分处理的芥菜植株镉含量降低。这也可能与不同镉耐性植物秸秆释放的化感物质不同有关<sup>[11]</sup>,有待进一步研究。此外,在盆栽试验条件下,由于覆盖 4 种镉耐性植物的芥菜生物量均低于未覆盖,使得各个处理的芥菜镉积累量也均低于未覆盖。

#### [参 考 文 献]

[1] 钟晓兰,周生路,黄明丽,等. 土壤重金属的形态分布特征及其影响因素[J]. 生态环境学报,2009,18(4):1266-1273.

[2] 李玉浸. 集约化农业的环境问题与对策[M]. 北京:中国农业出版社,2001:57-82.

[3] 何启贤. 镉超富集植物筛选研究进展[J]. 环境保护与循环经济,2013(1):46-48.

[4] Datta R, Sarkar D. Effective integration of soil chemistry and plant molecular biology in phytoremediation of metals[J]. Environmental Geosciences, 2004, 11(2): 53-63.

[5] 鲍桐,廉梅花,孙丽娜,等. 重金属污染土壤植物修复研

究进展[J]. 生态环境,2008,17(2):858-865.

[6] Zhao Huayin, Lin Lijin, Yan Qiaolun, et al. Effects of EDTA and DTPA on lead and zinc accumulation of ryegrass [J]. Journal of Environmental Protection, 2011, 2(7): 932-939.

[7] 蒋成爱,吴启堂,吴顺辉,等. 东南景天与不同植物混作对土壤重金属吸收的影响[J]. 中国环境科学,2009,29(9):985-990.

[8] 李波. 植物激素、EDTA 对龙葵等植物镉富集能力的影响[D]. 长沙:湖南大学,2011.

[9] 吴婕,朱钟麟,郑家国,等. 秸秆覆盖还田对土壤理化性质及作物产量的影响[J]. 西南农业学报,2006,19(2): 192-195.

[10] 葛立立,马义虎,卞金龙,等. 玉米秸秆还田与实地氮肥管理对水稻产量与米质的影响[J]. 中国水稻科学, 2013,27(2):153-160.

[11] 贾黎明,翟明普,冯长红. 化感作用物对油松幼苗生长及光合作用的影响[J]. 北京林业大学学报,2003,25(4):6-10.

[12] Lin Lijin, Jin Qian, Liu Yingjie, et al. Screening of a new cadmium hyperaccumulator, *Galinsoga parviflora*, from winter farmland weeds using the artificially high soil cadmium concentration method[J]. Environmental Toxicology and Chemistry, 2014, 33(10):1698-1704.

[13] 刘英杰. 芥菜对 Cd、Pb 胁迫的生理响应与富集特性研究[D]. 成都:四川农业大学,2014.

[14] Lin Lijin, Liao Ming'an, Ren Yajun, et al. Effects of mulching tolerant plant straw on soil surface on growth and cadmium accumulation of *Galinsoga parviflora* [J]. PLoS ONE,2014,9(12):e114957.

[15] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京:中国农业出版社, 2000.

[16] Zhang Xingfeng, Xia Hanping, Li Zhi'an, et al. Identification of a new potential Cd-hyperaccumulator *Solanum photeinocarpum* by soil seed bank-metal concentration gradient method[J]. Journal of Hazardous Materials, 2011,189(1/2):414-419.

[17] 单玉华,蔡祖聪,韩勇,等. 淹水土壤有机酸积累与秸秆碳氮比及氮供应的关系[J]. 土壤学报,2006,43(6): 941-947.

[18] Tatár E, Mihucz V G, Varga A, et al. Determination of organic acids in xylem sap of cucumber; Effect of lead contamination[J]. Microchemical Journal,1998,58(3):306-314.

[19] 杨仁斌,曾清如,周细红. 植物根系分泌物对铅锌尾矿污染土壤中重金属的活化效应[J]. 农业环境保护, 2000,19(3):152-155.