

EDTA 辅助下油菜修复铅、镉单一污染土壤的潜力

肖璇¹, 呼世斌^{2*}, 张守文¹, 陈玉亮¹, 王显蕾¹

(1. 西北农林科技大学 资源与环境学院; 2. 西北农林科技大学 理学院, 陕西杨凌 712100)

摘 要: 采用盆栽试验, 研究乙二胺四乙酸二钠(EDTA)辅助下, 科源油 2 号油菜修复铅、镉单一污染土壤的效果。在本实验条件下, EDTA 的最佳投加量为 $5.0 \text{ mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时, 油菜 Pb、Cd 吸收量分别达到 $1542 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $64 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。该结果表明, EDTA 辅助下可显著增强油菜对 Pb、Cd 的吸收累积, EDTA 在诱导油菜修复 Pb、Cd 污染特别是 Pb 污染土壤方面具有很大的潜力。

关键词: Pb; Cd; 油菜; EDTA; 植物修复

中图分类号: X53

文献标识码: A

文章编号: 1004-1389(2009)03-0327-04

The Potential of Rape(*Brassica napus*. L) for Phytoremediation of Pb, Cd Single Contaminated Soil by the Aid of EDTA

XIAO Xuan¹, HU Shibin^{2*}, ZHANG Shouwen¹, CHEN Yuliang¹ and WANG Xianlei¹

(1. College of Resource and Environment of Northwest A&F University; 2. College of Science of Northwest A&F University, Yangling Shaanxi 712100, China)

Abstract: A pot experiment was conducted to investigate the potential of rape(*Brassica napus*. L) for phytoremediation of Pb, Cd single contaminated soil by the aid of EDTA. The best repairing efficiency was observed in the treatment of applying $5.0 \text{ mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ EDTA to the soil in this study, the total uptake amount of Pb, Cd by rape(*Brassica napus*. L) reached 1542 and $64 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ respectively. The results showed that the application of EDTA to the soil significantly increased the uptake amount of Pb, Cd by rape(*Brassica napus*. L). It is indicated that, the EDTA could be regarded as a good chelate candidate for rape(*Brassica napus*. L) phytoextract Pb, Cd pollution, particularly for Pb in contaminated soils.

Key words: Pb; Cd; *Brassica napus*. L; EDTA; Phytoremediation

随着工矿业的迅速发展,含金属污水的农田灌溉、污泥的农业利用、肥料的土壤施用以及矿区、高速公路飘尘的沉降,使许多土壤已经或即将受到重金属的污染。植物修复技术是近年来发展起来的一种经济有效且具有广泛应用前景的绿色生物修复技术,与传统化学、微生物土壤修复技术相比,该技术具有成本低、修复彻底、不破坏土壤生态环境、不引起二次污染和易为大众接受等特

点^[1]。其实质是利用植物对土壤中重金属的吸收和富集作用,通过收获植物来减少土壤重金属含量的技术^[2]。植物对土壤中重金属的吸收具有普遍性,但能达到超富集的植物很有限。筛选和研究各种植物对重金属的吸收已经成为当前土壤污染修复研究的热点之一,它对治理环境污染、修复污染土壤具有重要现实意义和深远的历史意义。

国外 Mahmoud Solhi^[3]等研究了甘蓝型油菜

收稿日期:2008-09-10 修回日期:2008-01-05

基金项目:中央环保专项基金,财建[2006]859号。

作者简介:肖璇(1985-),女,陕西户县人,在读硕士,研究方向:废水处理和土壤重金属植物修复。E-mail: xiaoxuan010203@yahoo.cn

* 通讯作者:呼世斌(1955-),男,陕西延安人,教授,博士生导师,主要从事环境毒理与资源利用研究。E-mail: hushibin2003@yahoo.com.cn

对 Pb、Zn 的修复作用,证明了甘蓝型油菜作为植物修复的可行性。Grispen VMJ^[4]和 Mathe-Gaspar, Gabriella^[5]等的研究表明甘蓝型油菜对 Cd、Cu 也有一定的修复作用。但是在不加助剂的情况下,油菜对各种重金属的修复效果都不够理想。因此本文以甘蓝型油菜科源油 2 号为研究材料,采用盆栽试验,研究乙二胺四乙酸二钠(EDTA)辅助下油菜对土壤中 Pb、Cd 单一污染的修复效果。

1 材料与方法

1.1 材料

供试土壤:试验用土壤采自杨凌南庄村大棚内,土壤质地为轻粘土,0~20 cm 的表层土,经自然风干后,过 2 mm 筛。pH 值为 7.38,水分(分析基)土壤阳离子交换量 $16.18 \text{ cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$,有机质含量为 $35.70 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,速效钾含量 $1113.04 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,有效磷为 $575.98 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,土壤全氮量为 $1.79 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全 Pb 含量为 $30.43 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,全 Cd 含量为 $0.38 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,试验用花盆为 $\Phi 36 \text{ cm}$ 、H26.5 cm 的塑料盆钵。

供试作物为油菜(科源油 2 号),螯合剂为 EDTA(乙二胺四乙酸二钠)。仪器为 MDS-6 型非脉冲式温压双控微波消解仪,日立 Z-5000 原子吸收光谱仪。

1.2 方法

采用温室盆栽试验,每盆加入风干过筛后土样 6 kg,向土样中加入营养液作为底肥,每千克风干土样加入 N (NH_4NO_3) 250 mg, P (KH_2PO_4) 109 mg, K ($\text{KH}_2\text{PO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4$) 207 mg,2 d 后,将重金属溶液与土样混合。土壤 Pb 处理质量分数为 $800 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,Cd 处理质量分数为 $10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。用 $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 和 $\text{CdCl}_2 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$ 配制,分别与过 2 mm 筛土壤反复混匀,在温室中稳定 1 个月,3 次重复。

螯合剂的投加设置 4 个水平:① $0 \text{ mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$;② $2.5 \text{ mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$;③ $5.0 \text{ mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$;④ $10.0 \text{ mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ (分别以 E0、E2.5、E5.0、E10.0 表示)将油菜播种到无污染的土壤中育苗,待出苗后长到 6~8 cm 时,取苗高相近的油菜苗 5 株移栽到花盆中,植物生长期间用自来水浇灌,保持土壤湿度为田间持水量的 60% 左右。植物生长 4 周后,每周加营养液追肥,植物生长 10 周后,加入不同浓度的 EDTA 溶液,处理 1 周后收割样

品。

1.3 样品分析

用不锈钢剪刀沿土面剪取植株地上部,植物样品在 105°C 杀青 30 min, 70°C 下烘 48 h,称植株干重。植物样品中重金属含量采用高压微波消解法,植物样品烘干粉碎过 100 目筛,用 $\text{HNO}_3 + \text{HClO}_4(5:1)$ 消解,原子吸收光谱法测定重金属含量。计算各处理的地上部和根部吸镉量,采用 SPSS13.0 软件,统计相关性及其差异显著性。

2 结果与分析

2.1 添加 EDTA 对油菜干质量的影响

2.1.1 Pb 处理土壤添加 EDTA 对油菜地上部和根部干质量的影响 对受试含 Pb 土壤进行 EDTA 处理后,油菜地上和地下部位生长均受到不同程度的抑制,添加不同浓度的螯合剂处理地上部干质量显著降低,根部干质量相对于对照有所降低但各处理间差异不显著。在 EDTA 投加量为 $2.5 \text{ mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $5.0 \text{ mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 水平下油菜生物量有所下降但植株没有明显的中毒症状,在投加量为 $10.0 \text{ mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,油菜出现干枯、黄化等中毒症状,干质量显著低于对照和其他处理。

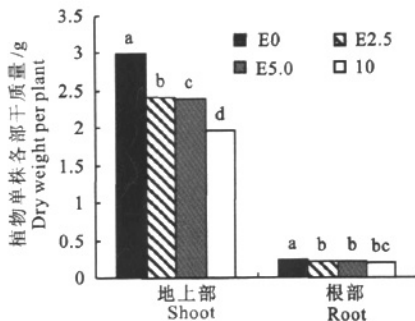


图 1 EDTA 对油菜地上部和根部干质量的影响

Fig. 1 Effects of EDTA on the shoot dry weight and root dry weight of rape

2.1.2 Cd 处理土壤添加 EDTA 对油菜地上部和根部干质量的影响 对受试含 Cd 土壤进行添加 EDTA 试验,当 EDTA 浓度分别为 $2.5 \text{ mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $5.0 \text{ mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 和 $10.0 \text{ mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,油菜地上部分和根部的干质量相对于对照处理均有显著降低,生长受到明显的抑制,其生物量随 EDTA 浓度的增加基本呈下降趋势。但油菜根部在 EDTA 浓度分别为 $2.5 \text{ mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $5.0 \text{ mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时差异不显著。这与 Blaylock^[6]等

人对印度芥菜的研究结果相似,具体情况见图2。

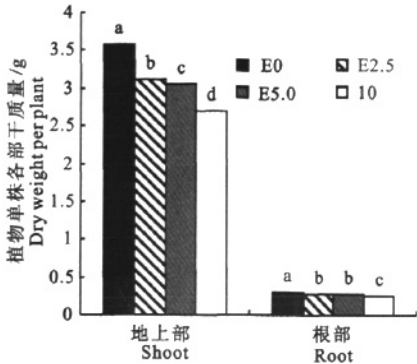


图2 EDTA对油菜地上部和根部干重的影响
Fig. 2 Effects of EDTA on the shoot dry weight and root dry weight of rape

2.2 EDTA对油菜吸收Pb、Cd的影响

2.2.1 EDTA对油菜不同部位吸收Pb的影响

在800 mg · kg⁻¹铅处理的土壤中,分别用0, 2.5,5.0,10.0 mmol · kg⁻¹ EDTA 进行处理后,油菜地上部Pb含量分别为23,871,1 542,1 647 mg · kg⁻¹,油菜地上部分Pb含量分别是对照的38,67,71倍。由此可知,加入EDTA能显著增加土壤Pb的有效性,提高油菜地上部Pb的含量。这可能是因为EDTA整合了土壤中的重金属形成可溶性金属整合物,从而增加土壤溶液中重金属的浓度。有报道认为:植物可以吸收整合态Pb,并且通过木质部运输,积累于地上部^[7-8]因此,进入植物体内的Pb,很可能是以整合态形式直接被植物吸收^[9]。

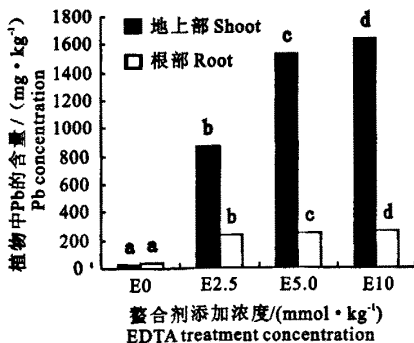


图3 EDTA对油菜吸收Pb的影响
Fig. 3 Effects of EDTA on Pb concentrations of rape

EDTA处理前,根部Pb含量高于地上部Pb含量,说明油菜根部对Pb的吸收很强,这是由于Pb在植物体内活性较低,到达根部的Pb大部分被固定,向地上部运输的比例较低。匡少平^[10]、刘云惠等^[11]对玉米等作物的研究也证明了这点。

EDTA处理后,根部Pb含量增加的幅度比地上部要小,EDTA的加入增加土壤溶液中Pb的浓度,整合态Pb能直接被根系吸收并向地上部运输^[12],大大促进了Pb从油菜根部向地上部的迁移,使得根部富集相应减少。不同的EDTA处理浓度对油菜根部吸收Pb的效果影响不显著,具体情况见图3。

2.2.2 EDTA对油菜不同部位吸收Cd的影响

在10 mg · kg⁻¹镉处理的土壤中,分别用0, 2.5,5.0,10.0 mmol · kg⁻¹ EDTA 进行处理后,油菜地上部镉的含量都显著增大。其中EDTA浓度为10.0 mmol · kg⁻¹时,地上部镉的含量最大。油菜根部镉的含量也有增大,但是增加的幅度比地上部小,整合剂浓度的增加对根部镉吸收的促进作用不显著。可能是EDTA的加入活化了土壤中的镉,加速了镉在土壤—根部—地上部动态平衡中的迁移,使得镉向地上部迁移的能力增强。大量的活化的镉对植物的根部产生了毒害作用,使细胞膜的通透性增强,使EDTA络合物能够穿过细胞膜,进入植物体,然后通过蒸腾作用将重金属由根部运输到植物的地上部^[13-14]。

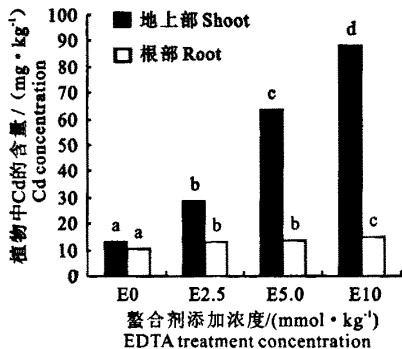


图4 EDTA对油菜吸收Cd的影响
Fig. 4 Effects of EDTA on Cd concentrations of rape

2.3 EDTA对油菜Pb、Cd积累总量的影响

2.3.1 EDTA对油菜Pb积累总量的影响 在800 mg · kg⁻¹铅处理的土壤中,分别用0,2.5, 5.0,10.0 mmol · kg⁻¹ EDTA 进行处理后,由图5可知,油菜中Pb总提取量分别为78,2 161, 3 721,3 291 μg · 株⁻¹,油菜Pb总提取量分别是对照的28,48和42倍。EDTA浓度为10.0 mmol · kg⁻¹处理Pb积累总量比EDTA浓度为5.0 mmol · kg⁻¹处理时低,这与图3所呈现的规律有所不同,原因是EDTA浓度为10.0 mmol · kg⁻¹处理油菜生长受到较大影响,生物量较小导

致的。由此可知,加入 EDTA 都能大幅度提高油菜 Pb 积累总量,对修复 Pb 污染的土壤具有重要作用,但是高浓度的 EDTA 对植物有毒害作用,影响植物整体对 Pb 的提取,在本试验条件下,EDTA 浓度为 $5.0 \text{ mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时,油菜提取 Pb 的总量达到最大。

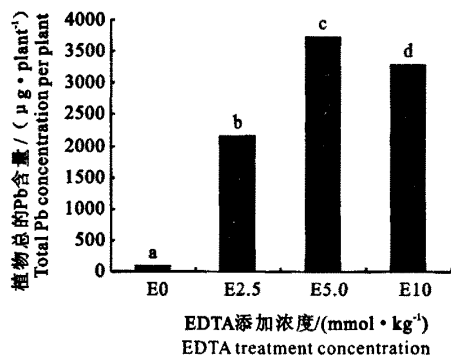


图 5 EDTA 对油菜提取 Pb 总量的影响

Fig. 5 Effects of EDTA on the total Pb concentrations of rape

2.3.2 EDTA 对油菜 Cd 积累总量的影响 在 $10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 镉处理的土壤中,分别用 0, 2.5, 5.0, $10.0 \text{ mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ EDTA 进行处理后,油菜中镉的含量都显著增大分别是对照的 2, 4 和 5 倍。由此可知,在本试验条件下,随着螯合剂的增加,油菜中 Cd 的积累总量也呈递增趋势,对于更高浓度的 EDTA 处理对油菜中 Cd 的积累总量是否有促进作用还有待于进一步研究。

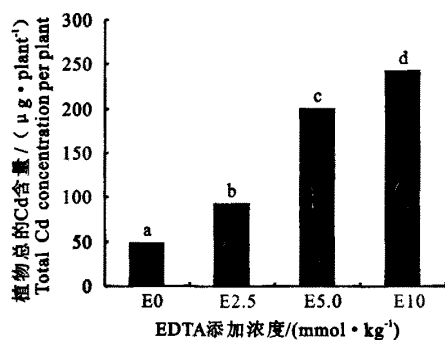


图 6 EDTA 对油菜积累 Cd 总量的影响

Fig. 6 Effects of EDTA on the total Cd concentrations of rape

3 结论

EDTA 加入活化土壤中的重金属,增加了土壤的生物有效性。EDTA 的加入明显增加了科源油 2 号油菜对 Pb 的吸收,在 EDTA 浓度为

$10.0 \text{ mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 时其对 Pb 的吸收达到最大,而积累总量在 EDTA 浓度为 $5.0 \text{ mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 达到最大,由于高浓度的 EDTA 处理对油菜有毒害作用,因此在本试验条件下选用 EDTA 浓度为 $5.0 \text{ mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 作为油菜修复 Pb 污染土壤的助剂更为理想。

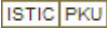
EDTA 加入对科源油 2 号油菜地上部 Cd 的吸收增加效果显著,根部则影响较小。对于更高浓度的 EDTA 处理对科源油 2 号油菜中 Cd 的积累是否有促进作用还有待于进一步研究。

参考文献:

- [1] 骆永明. 金属污染土壤的植物修复[J]. 土壤, 1999, 31(5): 261-265.
- [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): 1197-1203.
- [3] Mahmoud Solhi. Lead and zinc extraction potential of two common crop plants, *Helianthus annuus* and *Brassica napus*[J]. Water, Air, and Soil Pollution, 2005, 167 (1/4): 59-71.
- [4] Grispen, V. M. J. Phytoextraction with *Brassica napus* L: a tool for sustainable management of heavy metal contaminated soils[J]. Environmental Pollution, 2006, 144 (1): 77-83.
- [5] Mathe-Gaspar. Gabriella Study of phytoremediation by use of willow and rape[J]. Acta Biologica Szegediensis, 2005, 49 (1-2): 73-74.
- [6] Blaylock M J, Salt DE, Dushenkov S, et al. Enhanced accumulation of Pb in Indian Mustard by soil-applied chelating agents[J]. Environmental Science and Technology, 1997, 31: 860-865.
- [7] 陈亚华, 李向东, 刘红云, 等. EDTA 辅助下油菜修复铅污染土壤的潜力[J]. 南京农业大学学报, 2002, 25(4): 15-18.
- [8] Vassil A D, Kapulnik Y, Raskin, et al. The role of EDTA in lead transport and accumulation by Indian mustard[J]. Plant Physiol, 1998, 117: 447-453.
- [9] Epstein A L, Gussman C D, Blaylock M J, et al. EDTA and Pb-EDTA accumulation in *Brassica juncea* grown in Pb-amended soil[J]. Plant and Soil, 1999, 208: 87-94.
- [10] 匡少平, 张书圣. 作物对土壤中环境激素铅的吸收效应及污染防治[J]. 农业环境保护, 2002, 21(6): 481-484.
- [11] 刘云惠, 魏显有, 王秀敏, 等. 土壤中铅镉的作物效应研究[J]. 河北农业大学学报, 1999, 22(1): 24-28.
- [12] Huang J W, Chen J J, William R B, et al. Phytoremediation of lead contaminated soils: role of synthetic chelates in lead phytoextraction [J]. Environ Sci Technol, 1997, 31: 800-805.
- [13] L. Sanita di Toppi, R. Gabbriellini. Response to cadmium in higher plants[J]. Environmental and Experimental Botany, 1999, 41 (2): 105-130.
- [14] 蒋先军, 骆永明, 赵其国, 等. 镉污染土壤植物修复的 EDTA 调控机理[J]. 土壤学报, 2003, 40(2): 205-209.

作者：[肖璇](#)，[呼世斌](#)，[张守文](#)，[陈玉亮](#)，[王显蕾](#)，[XIAO Xuan](#)，[HU Shibin](#)，[ZHANG Shouwen](#)，[CHEN Yuliang](#)，[WANG Xianlei](#)

作者单位：[肖璇](#)，[张守文](#)，[陈玉亮](#)，[王显蕾](#)，[XIAO Xuan](#)，[ZHANG Shouwen](#)，[CHEN Yuliang](#)，[WANG Xianlei](#)([西北农林科技大学](#)，[资源与环境学院](#))，[呼世斌](#)，[HU Shibin](#)([西北农林科技大学](#)，[理学院](#)，[陕西杨凌](#)，[712100](#))

刊名：[西北农业学报](#) 

英文刊名：[ACTA AGRICULTURAE BOREALI-OccIDENTALIS SINICA](#)

年，卷(期)：2009，18(3)

被引用次数：1次

参考文献(14条)

1. [骆永明](#) [金属污染土壤的植物修复](#) 1999(05)
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](#)[期刊论文]-[生态学报](#) 2001(07)
3. [Mahmoud Solhi](#) [Lead and zinc extraction potential of two common crop plants, Helianthus annuus and Brassica napus](#) 2005(1/4)
4. [Grispen V M J](#) [Phytoextraction with Brassica napus L: a tool for sustainable management of heavy metal contaminated soils](#)[外文期刊] 2006(01)
5. [Mathe-Gaspar Gabriella](#) [Study of phytoremediation by use of willow and rape](#) 2005(1-2)
6. [Blaylock M J](#)；[Salt DE](#)；[Dushenkov S](#) [Enhanced accumulation of Pb in Indian Mustard by soil-applied chelating agents](#) 1997
7. [陈亚华](#)；[李向东](#)；[刘红云](#) [EDTA辅助下油菜修复铅污染土壤的潜力](#)[期刊论文]-[南京农业大学学报](#) 2002(04)
8. [Vassil A D](#)；[Kapulnik Y](#)；[Raskin](#) [The role of EDTA in lead transport and accumulation by Indian mustard](#) [外文期刊] 1998(2)
9. [Epstein A L](#)；[Gussman C D](#)；[Blaylock M J](#) [EDTA and Pb-EDTA accumulation in Brassica juncea grown in Pb-amended soil](#)[外文期刊] 1999(1)
10. [匡少平](#)；[张书圣](#) [作物对土壤中环境激素铅的吸收效应及污染防治](#)[期刊论文]-[农业环境保护](#) 2002(06)
11. [刘云惠](#)；[魏显有](#)；[王秀敏](#) [土壤中铅镉的作物效应研究](#) 1999(01)
12. [Huang J W](#)；[Chen J J](#)；[William R B](#) [Phytoremediation of lead contaminated soils: role of synthetic chelates in lead phytoextraction](#) 1997
13. [L Sanita di Toppi](#)；[R Gabbrielli](#) [Response to cadmium in higher plants](#)[外文期刊] 1999(02)
14. [蒋先军](#)；[骆永明](#)；[赵其国](#) [镉污染土壤植物修复的EDTA调控机理](#)[期刊论文]-[土壤学报](#) 2003(02)

引证文献(1条)

1. [郑楠](#)，[王月平](#)，[吴玉环](#)，[徐根娣](#)，[蔡妙珍](#)，[刘鹏](#) [重金属对油菜生理生化影响的研究现状](#)[期刊论文]-[安徽农业科学](#) 2011(9)

引用本文格式：[肖璇](#)，[呼世斌](#)，[张守文](#)，[陈玉亮](#)，[王显蕾](#)，[XIAO Xuan](#)，[HU Shibin](#)，[ZHANG Shouwen](#)，[CHEN Yuliang](#)，[WANG Xianlei](#) [EDTA辅助下油菜修复铅、镉单一污染土壤的潜力](#)[期刊论文]-[西北农业学报](#) 2009(3)