

里氏木霉 FS10-C 对伴矿景天吸取修复镉污染土壤的强化作用

马文亭^{1,2}, 滕应^{2*}, 凌婉婷¹, 李振高², 吴龙华², 骆永明^{2,3}

(1 南京农业大学资源与环境科学学院, 南京 210095; 2 中国科学院土壤环境与污染修复重点实验室(南京土壤研究所), 南京 210008; 3 中国科学院烟台海岸带研究所, 山东烟台 264003)

摘要: 为提高伴矿景天对 Cd 污染土壤的修复效果, 通过盆栽模拟试验, 研究了木霉 (*Trichoderma*) 对伴矿景天生长和 Cd 修复效率的影响。结果表明: Cd 的加入抑制了伴矿景天的生长; 伴矿景天在 Cd 含量为 5 mg/kg 模拟污染土壤中对 Cd 的提取效率最高。在不同 Cd 污染水平下, 里氏木霉 (*T. reesei*) FS10-C 使伴矿景天地上部干重比对照组增加了 17.1%~42.5%, 并显著提高伴矿景天地上部对 Cd 的积累。在 15 mg/kg Cd 处理下, 里氏木霉 FS10-C 处理组植物地上部 Cd 积累量高于对照组 46.2%, 但对于土壤中 NH_4OAc 提取态 Cd 含量影响不显著。说明里氏木霉 FS10-C 能提高伴矿景天对 Cd 的抗性, 增加其生物量, 从而提高其修复效率。因此, 里氏木霉 FS10-C 具有强化伴矿景天修复 Cd 污染土壤的应用潜力。

关键词: 镉污染土壤; 里氏木霉 FS10-C; 伴矿景天; 植物修复

中图分类号: X53

植物修复 (Phytoremediation) 是重金属污染土壤生物修复中研究较多、应用较早的一种环境净化技术, 因其在修复过程中不破坏土壤原有的结构和微生物活性而颇具吸引力^[1-3]。其中超积累植物在重金属污染土壤修复中显示出显著的生态、经济和社会效益, 具有广阔的应用前景。目前报道的超积累植物已有 400 多种^[4], 包括 Mn 的超积累植物商陆^[5]; As 的超积累植物蜈蚣草、大叶进口边草^[6-8]; Cd 的超积累植物东南景天^[9]、伴矿景天^[10]等。但由于现有的超积累植物生物量较小、富集系数不高, 限制了其修复效率。为此, 研究者们采用了多种植物修复的强化措施。其中, 利用根际土壤微生物来强化植物修复因具有良好的生态效益而被广泛采用。木霉 (*Trichoderma*) 作为一种优良的微生物资源, 对多种重要植物病原真菌都有拮抗作用, 并且安全系数很高, 已被广泛应用于植物病虫害防治中^[11]。近年来有大量研究表明, 木霉不仅对植物病原真菌具有拮抗效应, 还能促进植物种子萌发、植株生长, 提高作物产量等^[12]。例如, 康氏木霉 (*T. koningii* ORud.) 孢子制剂处理的土壤可提高棉花和菜豆种子活力^[13]。Windham 用玻璃纸膜隔离法验证了哈茨木霉 (*T. harzianum*) 和康氏木霉在菌丝生长过程中产生了某种物质透过纸膜作用于植物, 并刺激了其

生长^[14]。另外, 研究表明, 真菌在代谢过程中可以分解产生有机酸, 同时还能合成一些非挥发性脂肪酸 (反丁烯二酸、琥珀酸、乳酸、苹果酸、柠檬酸等)^[15]。这些有机酸的存在可降低土壤的 pH, 从而提高重金属的移动性。

伴矿景天 (*Sedum plumbizincicola*) 是新发现的 Zn 和 Cd 超积累植物^[10]。目前, 关于利用微生物来强化伴矿景天修复的研究还鲜有报导。因此, 本文旨在利用研究组前期筛选到的里氏木霉 FS10-C, 通过盆栽试验研究木霉对 Cd 污染土壤中伴矿景天生长和 Cd 修复效率的影响, 为进一步研发 Cd 污染土壤的微生物-植物联合修复技术提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试土壤: 采自南京栖霞山清洁的铁质湿润淋溶土 (黄棕壤)^[16], 其基本理化性质为: pH 5.38 (H_2O), 有机质 21.3 g/kg, 碱解氮 162.3 mg/kg, 速效磷 11.7 mg/kg, 速效钾 82.2 mg/kg, 阳离子交换量 16.5 cmol/kg, 总 Cd 含量 0.05 mg/kg。土壤样品自然风干后过 2 mm 筛, 以供盆栽模拟试验用。

供试植物: 伴矿景天苗, 为实验室自行培育的幼苗。

基金项目: 国家高技术研究发展计划 (863 计划) 项目 (2007AA061001) 和江苏省自然科学基金项目 (BK2009016) 资助。

* 通讯作者 (yteng@issas.ac.cn)

作者简介: 马文亭 (1985—), 女, 山西太原人, 硕士研究生, 主要从事土壤环境生物修复方面研究。E-mail: wtma@issas.ac.cn

供试菌种：里氏木霉菌株 FS10-C (*Trichoderma reesei* FS10-C) (保藏编号：CGMCC No.3970)，菌丝白色棉絮状，绿色孢子、产黄色素^[17]。

斜面培养基：采用马铃薯葡萄糖琼脂培养基 (PDA)，称 200 g 土豆洗净切块，加适量去离子水煮沸 30 min 后，过滤出上清液，向其中加 20 g 葡萄糖、18 g 琼脂，用去离子水溶解至 1000 ml，121 °C 灭菌 20 min。

液体培养基：采用马铃薯葡萄糖培养基 (PD)，组成同上，不加琼脂。

1.2 试验设计与实施

1.2.1 木霉发酵液制备 将里氏木霉 FS10-C 菌种在 PDA 斜面上进行活化，约 7 天后产孢，用无菌水将孢子洗下后接种于 PDA 液体培养基中，于 28 °C、150 ~ 180 r/min 的恒温摇床上培养 7 天，即为木霉发酵液，混匀后待用。

1.2.2 盆栽试验实施 本试验涉及的土壤 Cd 污染水平 3 个：0、5、15 mg/kg Cd，分别接种木霉发酵液，同时以灭活发酵液为对照，共 6 个处理，重复 3 次。将上述过筛后的土壤分别和氮磷钾基础肥料（以 N 0.15 g/kg，P₂O₅ 0.10 g/kg，K₂O 0.15 g/kg 干土计，其中 N、P、K 分别以 (NH₄)₂SO₄、NaH₂PO₄ 和 KCl 的形式加入）拌匀。再分别加入不同含量的 Cd（以分析纯 CdCl₂·2.5H₂O 形态加入），与土壤充分混合后，加入去离子水，制备得到 0、5、15 mg/kg 的 Cd 模拟污染土壤，并进行土壤预培养。在培养过程中使盆中土壤保持田间最大持水量的 70%，土壤培养 7 天后，用于盆栽试验。把上述培养的土壤分装于塑料盆中，每盆装土 500 g。移栽幼苗前每盆（500 g 土）加入 50 ml 木霉发酵液或灭活发酵液，施加方式为穴施。3 天后定苗，每盆 3 株。生长过程中用去离子水浇灌，并用称重法保持土壤的含水量为最大田间持水量的 70%。在培养 90 天和 130 天时，分别向植物根际部位追加一次木霉发酵液或灭活发酵液，施加量均为 50 ml。

1.3 样品前处理与测定方法

植物生长 150 天后，用不锈钢剪刀沿土面剪取地上部，测定植株鲜重。用去离子水冲洗后，105 °C 杀青 30 min，80 °C 烘干测干重。用不锈钢植物粉碎机磨碎植物，备用。植物样品用 HClO₄:HNO₃（优级纯，v:v=2:3）的混合酸液消煮。

土壤中 Cd 总量：土样风干后过 100 目尼龙筛，用 HCl:HNO₃（优级纯，v:v=4:1）的混合酸液消煮。土壤中 Cd 有效态：土样风干后过 20 目尼龙筛，用 1 mol/L NH₄OAc (pH 7) 按 1:5 的土液比提取，振荡、

离心后，过滤出上清液待测。上述 Cd 含量均用石墨炉原子吸收分光光度计 (Varian SpectrAA-220FS) 进行测定。土壤 pH 采用常规分析方法^[17]。

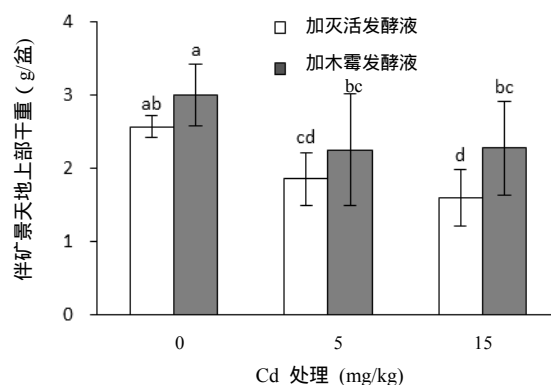
1.4 数据统计分析

试验数据采用 Excel 和 DPS7.05 统计软件 LSD 法进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 里氏木霉 FS10-C 对伴矿景天生物量的影响

从图 1 可以看出，在加入灭活发酵液的对照组中，伴矿景天的地上部干重随着土壤 Cd 添加浓度的升高而呈现降低趋势，在 15 mg/kg Cd 处理中地上部干重仅为 0 mg/kg Cd 处理时的 62.3%。而加入木霉发酵液的处理其地上部生物量要大于各自加入灭活发酵液的对照。不同 Cd 处理下，干重分别提高了 17.1% (0 mg/kg Cd)、21.0% (5 mg/kg Cd)、42.5% (15 mg/kg Cd)。可见木霉发酵液的加入对伴矿景天的生长有明显的促进作用。同时，可以看出随着 Cd 污染水平的加大，木霉发酵液对伴矿景天的促生作用越明显。



(图中数据为平均值 ± 标准差 (n=3); 多重比较采用 LSD 法; 不同小写字母表示数据间差异在 P<0.05 水平显著, 下同)

图 1 木霉对伴矿景天生物量的影响

Fig. 1 Effects of *Trichoderma* on biomass of *Sedum plumbizincicola*

2.2 里氏木霉 FS10-C 对伴矿景天地上部 Cd 含量的影响

从图 2、3 可以看出，伴矿景天地上部 Cd 浓度及 Cd 积累量随着土壤 Cd 处理水平的提高都显著升高，在 5 和 15 mg/kg Cd 处理时，Cd 含量分别达到 388 和 739 mg/kg，而 Cd 积累量则达到了 0.68 和 1.19 mg/盆。在各个 Cd 处理水平下，与加入灭活发酵液的对照相比，加入木霉发酵液对伴矿景天地上部 Cd 含量未产生显著影响，而地上部 Cd 的积累量则有所上升，且

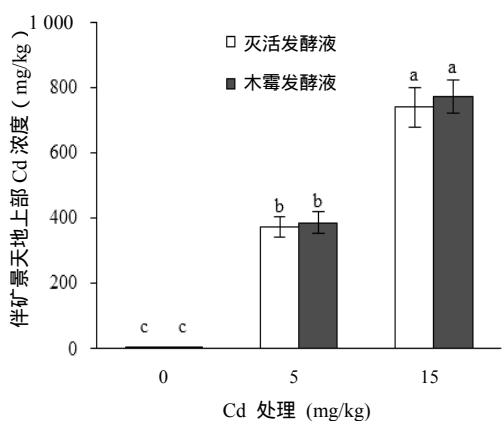


图 2 木霉对伴矿景天地上部 Cd 浓度的影响

Fig. 2 Effects of *Trichoderma* on Cd concentration in shoots of *S. Plumbizincicola*

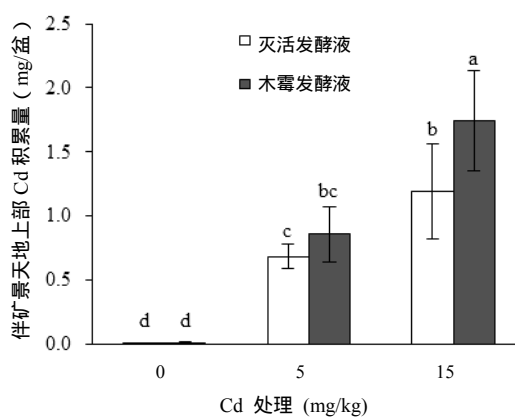


图 3 木霉对伴矿景天地上部 Cd 积累量的影响

Fig. 3 Effects of *Trichoderma* on Cd uptake by *S. plumbizincicola*

在 15 mg/kg Cd 处理时达到显著水平 ($P < 0.05$), 比对照提高了 46.2%, 达到了 1.74 mg/盆。

2.3 里氏木霉 FS10-C 对伴矿景天修复后土壤 Cd 总量及有效态的影响

伴矿景天单独修复 150 天后, 5 和 15 mg/kg Cd 处理的土壤中 Cd 含量分别降到了 3.20 和 13.00 mg/kg, 去除效率分别达到 35.26% 和 13.36% (表 2)。相比之下, 尽管高浓度处理时伴矿景天地上部 Cd 提取量较高, 但由于土壤中 Cd 总量较高, 最终的去除率相对较

低。添加木霉处理进一步促进了土壤中 Cd 的去除, 5 和 15 mg/kg Cd 处理的下土壤 Cd 含量降低到了 2.92 和 12.19 mg/kg, 而 Cd 去除率则上升到了 41.25% 和 18.72%。另外, 修复后土壤 pH 与修复前的 5.38 相比有所下降, 但各处理之间无显著差异。土壤中 NH_4OAc 提取态 Cd 含量占到全量的 52% ~ 72%, 加木霉发酵液使土壤中 Cd 有效态含量有进一步增加的趋势, 不同 Cd 处理下分别比对照高 17.2% (5 mg/kg Cd), 4.3% (15 mg/kg Cd), 但未达到显著水平差异。

表 2 木霉对伴矿景天修复后土壤 Cd 含量的影响

Table 2 Effects of *Trichoderma* on soil Cd contents after phytoremediation by *S. Plumbizincicola*

Cd 污染水平 (mg/kg)	发酵液是否灭活	修复后土壤 Cd 全量 (mg/kg)	土壤中 Cd 去除率 (%)	土壤 pH	NH_4OAc 提取态 Cd (mg/kg)
0	是	0.06 ± 0.01 c	-	4.95 ± 0.07 a	0.025 ± 0.003 c
0	否	0.06 ± 0.01 c	-	5.00 ± 0.06 a	0.033 ± 0.003 c
5	是	3.20 ± 0.46 b	35.26 ± 7.81 a	4.93 ± 0.00 a	1.63 ± 0.30 b
5	否	2.92 ± 0.24 b	41.25 ± 4.27 a	4.93 ± 0.03 a	1.91 ± 0.17 b
15	是	13.00 ± 1.12 a	13.36 ± 7.42 b	4.94 ± 0.03 a	8.34 ± 0.40 a
15	否	12.19 ± 1.19 a	18.72 ± 2.89 b	4.93 ± 0.06 a	8.70 ± 0.67 a

3 讨论

以往的研究表明, 伴矿景天新叶中 Zn 和 Cd 含量最高可以达到 25 500 和 777 mg/kg^[19]。在对污染土壤的实际修复过程中, 通过对光照、水分、种植密度、生长周期等的调控可以有效提高伴矿景天对土壤中 Cd 和 Zn 的吸取效率, 同时可以改善土壤结构, 提高土壤微生物和酶活性, 具有广泛的应用前景^[19-22]。在本研究中, 伴矿景天在 5 和 15 mg/kg Cd 污染土壤中生

长 150 天后, 地上部 Cd 含量可以分别达到 390 和 740 mg/kg, 而土壤中 Cd 的去除率分别达到了 35.26% 和 13.36%, 充分证明了其对 Cd 的超积累能力, 以及应用于土壤 Cd 污染修复的潜在价值。另外, 在不同 Cd 处理下, 伴矿景天对土壤的修复效率有所不同, 在 5 mg/kg Cd 处理下的修复效果优于 15 mg/kg Cd 处理时, 这也说明伴矿景天更适合于中低污染程度的土壤修复。

有研究证实, 多种木霉对植物具有促生作用, 如

哈茨木霉、深绿木霉等^[23-25]。本实验中里氏木霉 FS10-C 对伴矿景天生长的影响也与之类似,在不同 Cd 污染水平下,里氏木霉 FS10-C 处理使植物地上部干重分别提高了 17.1%(0 mg/kg Cd)、21.0%(5 mg/kg Cd)、42.5%(15 mg/kg Cd)。这可能是由于里氏木霉 FS10-C 的加入增加了植物对磷、铁等营养元素的吸收,从而促进其生长。研究表明哈茨木霉 T22 在液体培养条件下,能溶解难溶性 Fe_2O_3 、 MnO_2 、Zn 和 $\text{Ca}_2(\text{PO}_4)_3$ ^[26]。黄有凯^[27]的研究也表明,哈茨木霉 H-13 能提高水稻植株硝酸还原酶活力、增强水稻植株对氮、磷、钾的吸收。此外,许多种木霉代谢产物中含有促生物质(如,生长素 IAA 和赤霉素 GA 等)也是促生机制的一个重要原因^[28]。

微生物在土壤中可以通过自身的作用改变土壤中重金属的化学形态,包括固定、移动或转化^[29-30]。这些作用的结果是增加或抑制重金属的移动性,从而影响植物对重金属的提取。本实验中,木霉 FS10-C 与伴矿景天联合修复后土壤中有效态 Cd 含量没有明显变化,可能是人工污染的土壤中,有效态 Cd 含量本身就很高,里氏木霉 FS10-C 的作用没有体现出来。

微生物强化超积累植物修复的途径主要为:提高超积累植物地上部生物量;增加土壤中重金属的生物有效性。在本试验条件下,里氏木霉 FS10-C 对土壤中有效态 Cd 含量及伴矿景天地上部 Cd 含量未产生显著影响。但由于本试验中里氏木霉 FS10-C 对伴矿景天的促生作用明显,生物量的增加使其地上部 Cd 积累量与提取效率显著高于对照,尤其在 15 mg/kg Cd 处理时,伴矿景天地上部 Cd 积累量比对照增加了 46.2%。由此可见,里氏木霉 FS10-C 强化伴矿景天吸取修复 Cd 污染土壤的原因为能够促进伴矿景天的生长,而不降低植物地上部 Cd 含量。

4 结论

本实验条件下,里氏木霉 FS10-C 对土壤中有效态 Cd 含量及伴矿景天地上部 Cd 含量没有明显影响,但能显著促进伴矿景天的生长,使其鲜重增加 10.9%~38.0%,干重增加 17.1%~42.5%;而且使伴矿景天地上部 Cd 积累量显著提高。尤其是在 Cd 污染水平为 15 mg/kg 时,促生效果最为显著,该处理下伴矿景天地上部 Cd 积累量高于对照 46.2%。因此,里氏木霉 FS10-C 可以强化伴矿景天吸取修复 Cd 污染土壤,有关促生机制及其代谢产物对土壤中 Cd 移动性的影响

还有待进一步研究。

参考文献:

- [1] Chaney RL, Malik M, Li YM, Brown SL, Brewer EP, Angle JS, Baker AJ. Phytoremediation of soil metals. *Current Opinion in Biotechnology*, 1997, 8: 279-284
- [2] 骆永明. 金属污染土壤的植物修复. *土壤*, 1999, 31(5): 261-265
- [3] McGrath SP, Zhao FJ. Phytoextraction of metals and metalloids from contaminated soils. *Current Opinion in Biotechnology*, 2003, 14: 277-282
- [4] Brooks RR, Chambers MF, Nicks LJ, Robinson BH. Phytomining. *Trends Plant Sci.*, 1998, 3(9): 359-362
- [5] Xu XG, Shi JY, Chen YX, Chen XC, Wang H, Perera A. Distribution and mobility of manganese in the hyperaccumulator plant *Phytolacca acinosa* Roxb. (Phytolaccaceae). *Source Plant and Soil*, 2006, 285(1/2): 323-331
- [6] Ma LQ, Komar KM, Tu C, Zhang WH, Cai Y, Kennelley ED. A fern that hyperaccumulates arsenic. *Nature*, 2001, 409: 579
- [7] 陈同斌, 韦朝阳, 黄泽春, 黄启飞, 鲁全国, 范稚莲. 砷超富集植物蜈蚣草及其对砷的富集特征. *科学通报*, 2002, 47(3): 207-210
- [8] 韦朝阳, 陈同斌, 黄泽春, 张学青. 大叶井口边草——一种新发现的富集砷的植物. *生态学报*, 2002, 22(5): 777-778
- [9] 魏树和, 周启星, 王新, 张凯松, 郭观林. 一种新发现的镉超积累植物龙葵(*Solanum nigrum* L.). *科学通报*, 2004, 49(24): 2568-2573
- [10] 吴龙华, 周守标, 毕德, 骆永明, 蒋玉根. 镉铜复合污染土壤的植物修复方法: 中国, 200710020380.5. 2007-08-15
- [11] 庄敬华, 陈捷, 杨长成, 高增贵, 刘限, 牟连晓, 郑雅楠. 生防木霉菌生物安全性评价. *中国农业科学*, 2006, 39(4): 715-720
- [12] Harman GE. Overview of mechanisms and uses of *Trichoderma* spp.. *Phytopathology*, 2006, 96(2): 190-194
- [13] 焦琮, 路炳生. 康氏木霉制剂对棉花和菜豆幼苗几个生理生化指标的影响. *中国生物防治*, 1995, 11(1): 30-32
- [14] Windham MT, Elad Y, Baker R. A mechanism for increasing plant growth induced by *Trichoderma* spp. *Phytopathology*, 1986, 76(5): 518-521
- [15] Stevenson FJ. Organic acids in soil // McLaren AD, Peterson GH. *Soil Biochemistry*. New York: Marcel Dekker, 1967: 119-146
- [16] 龚子同. 中国土壤系统分类. 北京: 科学出版社, 1999
- [17] 滕应, 骆永明, 田晔, 赵静, 李振高, 吴龙华. 一株促进污染土壤植物修复的木霉菌株 FS10-C 及其微生物制剂的制备方法: 中国, 201010592007.9. 2011-06-01

- [18] 中国土壤学会农业化学专业委员会. 土壤农业化学常规分析方法. 北京: 科学出版社, 1983
- [19] 崔立强, 吴龙华, 李娜, 李思亮, 李恋卿, 潘根兴, 骆永明. 水分特征对伴矿景天生长和重金属吸收性的影响. 土壤, 2009, 41(4): 572-576
- [20] 刘玲, 吴龙华, 李娜, 崔立强, 李柱, 蒋金平, 蒋玉根, 裘希雅, 骆永明. 种植密度对镉污染土壤伴矿景天植物修复效率的影响. 环境科学, 2009, 30(11): 3 422-3 426
- [21] 李娜, 唐明灯, 崔立强, 吴龙华, 骆永明. 光照强度对伴矿景天生长和镉吸收性的影响. 土壤学报, 2010, 47(2): 371-373
- [22] Jiang JP, Wu LH, Li N, Luo YM, Liu L, Zhao QG, Zhang L, Christie P. Effects of multiple heavy metal contamination and repeated phytoextraction by *Sedum plumbizincicola* on soil microbial properties. *European Journal of Soil Biology*, 2010, 46(1): 18-26
- [23] Chang YC, Baker R, Chet I. Increased growth of plants in the biological control agent *Trichoderma harzianum*. *Plant Disease*, 1986, 70(2): 145-148
- [24] Yedidia I, Benhamou N, Kapulnik Y, Chet H. Induction and accumulation of PR proteins activity during early stages of root colonization by the microparasite *Trichoderma harzianum* strain T203. *Plant Physiology and Biochemistry*, 2000, 38(11): 863-873
- [25] Vinale F D, Ambrosio G, Abadi K, Felice S, Marra R, Turra D, Woo Sheridan L, Lorito M. Application of *Trichoderma harzianum*(T22) and *Trichoderma atroviride*(P1) as plant growth promoters, and their compatibility with copper oxychloride. *Journal of Zhejiang University Science*, 2004, 30: 2-8
- [26] Altomare C, Norve WA, Bjorkman T, Harman GE. Solubilization of phosphates and micronutrients by the plant growth promoting and biocontrol fungus *Trichoderma harzianum* Rilai. *Appl Environ. Microbiol.*, 1999, 65: 2 926-2 933
- [27] 黄有凯. 哈茨木霉对水稻硝酸还原酶活力及氮磷钾含量的影响(硕士学位论文). 合肥: 安徽农业大学, 2003
- [28] 谭丽华. 发酵液植物激素的生物测定和 HPLC 检测(硕士学位论文). 山东泰安: 山东农业大学, 2003
- [29] 陈佩林. 微生物吸附重金属离子研究进展. *生物学教学*, 2003, 28(12): 1-3
- [30] Siegel SM, Keller P, Neufeld R. Uptake of heavy metal ions by *Rhizopus arrhizus* biomass. *Appl. Environ. Microbiol.*, 1984, 47(4): 821-824

Enhancing Remediation of *Sedum plumbizincicola* in Cadmium Contaminated Soils by *Trichoderma reesei* FS10-C

MA Wen-ting^{1,2}, TENG Ying², LING Wan-ting¹, LI Zhen-gao², WU Long-hua², LUO Yong-ming^{2,3}

(1 College of Resources and Environmental Science, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China; 2 Key Laboratory of Soil Environment and Pollution Remediation, Chinese Academy of Sciences(Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences), Nanjing 210008, China;
3 Yantai Institute of Coastal Zone Research, Chinese Academy of Sciences, Yantai, Shandong 264003, China)

Abstract: A pot experiment was carried out by using *Sedum plumbizincicola* as a hyper-accumulator to explore effects of *Trichoderma reesei* FS10-C on phytoremediation of Cd-contaminated soils. Results showed that the growth of *T. reesei* FS10-C was inhibited in Cd-contaminated soils. *S. plumbizincicola* grown in 5mg/kg Cd-contaminated soils showed higher phytoextraction efficiency than those in 15mg/kg Cd-contaminated soils. And the treatment of *T. reesei* FS10-C enhanced plants growth, especially in 15mg/kg Cd-contaminated soils. The shoots of *Sedum plumbizincicola* resulted a 17.1%-42.5% increase in dry weight with the treatment of *T. reesei* FS10-C, respectively ($P < 0.5$). Meanwhile the strain significantly improved Cd uptake. Compared with the non-inoculated plants it was increased by 46.2% in 15mg/kg Cd-contaminated soils. However, the difference of Cd extracted by NH_4OAc did not differ significantly between the two treatments and controls. In conclusion, *T. reesei* FS10-C could enhance the growth of *S. plumbizincicola*, the biomass of the over-ground part and the phytoextraction efficiency. Thus *T. reesei* FS10-C has a high value in use in the field of improving phytoremediation of Cd-contaminated soils by *S. plumbizincicola*.

Key words: Cd-contaminated soils, *Trichoderma reesei* FS10-C, *Sedum plumbizincicola*, Phytoremediation