

# 重金属 Cd 对桐花树土壤酶活性的影响

吴桂容<sup>\*</sup>, 刘景春<sup>\*\*</sup>, 张鲁狄, 张培翔, 严重玲

(厦门大学生命科学学院, 福建 厦门 361005)

**摘要:**采用土培模拟方法研究了不同浓度 Cd(0 ~ 50 mg/kg)对桐花树 (*Aegiceras comiculatum*)土壤酶活性的影响. 试验结果表明:低浓度 Cd(0.5 mg/kg)胁迫,可刺激脲酶的活性;在高浓度 Cd(20 ~ 50 mg/kg)处理条件下,脲酶、蛋白酶、蔗糖酶、过氧化物酶活性均受到不同程度的抑制,最大抑制率均达到 25%以上;Cd 处理对过氧化氢酶活性无显著影响. 相关分析表明,Cd 处理浓度与土壤酶活性间均存在显著负相关关系,相关程度为:脲酶 > 蛋白酶 > 过氧化物酶 > 蔗糖酶 > 过氧化氢酶;脲酶、蛋白酶、蔗糖酶、过氧化物酶 4 种酶的活性间呈显著正相关,表明这 4 种酶对 Cd 胁迫有相似的适应性. 脲酶对 Cd 的影响作用最为敏感,建议用脲酶作为 Cd 对桐花树湿地污染的指示酶.

**关键词:**镉; 土壤酶活性; 桐花树

**中图分类号:** X 171.5

**文献标识码:** A

**文章编号:** 0438-0479(2008)S2-0118-05

红树林生态系统是处于陆地和水生生态系统转换带之间的湿地生态系统,属于生态脆弱敏感带,能敏感地受到人类活动产生的逆境影响<sup>[1]</sup>. 国内外研究者认为红树林湿地系统具有将陆地径流和内陆带出的有机物质和其他污染物进行过滤的生态功能,有潜在的净化污水能力<sup>[2-4]</sup>,因此目前红树林湿地系统常被作为处理城市污水的天然场所. 由于大量废物及污水排入红树林湿地,以及河口湾的自我富营养作用,因此红树林湿地非常容易受到污染<sup>[5-8]</sup>,金属污染物被富集,而 Cd 是主要污染元素之一. 目前关于红树林重金属污染的研究主要集中于重金属在红树植物及沉积物中的累积、分布、形态学指标等方面的研究<sup>[9-12]</sup>,而对土壤酶的影响研究鲜见报导. 本文通过对红树植物桐花树 (*Aegiceras comiculatum*) 幼苗盆栽试验,探讨 Cd 胁迫下红树林湿地土壤酶活性的变化规律,以期为了保护红树林湿地提供科学的依据.

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

供试土壤采自福建省龙海市浮宫镇红树林区 (24°24'N, 117°55'E),土壤含水量 45.69%,镉本底值

为 0.4460 mg/kg,其它理化性质见表 1. 试验桐花树 (*Aegiceras comiculatum*) 胚轴采自同一样地,摘取母树上成熟且饱满度相近的胚轴用于试验.

### 1.2 试验处理

野外采集的红树林土壤在移去残枝、石子、贝壳等杂物后充分混匀,并分装于规格一致的塑料桶中 (直径 20 cm,高 25 cm),每桶土重 2.5 kg. 试验共设七个处理,用分析纯 CdCl<sub>2</sub> 配制成为与土壤质量比分别为 0.5、2.5、5.0、20.0、30.0、50.0 mg/kg 的溶液添加到土壤中,以不添加 CdCl<sub>2</sub> 处理为对照 (CK),每处理 10 个重复. 在栽培胚轴前一个月,所有试验土壤均每日充分搅拌一次,使各桶土壤中 CdCl<sub>2</sub> 均匀分布. 于 2005 年 9 月 1 日将野外采集桐花树胚轴栽培于各小桶中,每盆种植 6 株. 培养期间每天用自来水补充蒸发散发的水量.

培养 160 d 后,每个处理随机取 3 盆,分别从各盆内取土样,先除去表层 5 cm 的表土,每盆取土样约 250 g,风干进行酶的测定.

### 1.3 分析测定方法

过氧化氢酶用 KMnO<sub>4</sub> 滴定法<sup>[13]</sup>,酶活性用单位时间内 1 g 土消耗 0.1 mol/L KMnO<sub>4</sub> 的 mL 数表示;脲酶采用苯酚钠比色法<sup>[13]</sup>,酶活性用 1 g 土在 37 °C 培养 24 h 释放出的 NH<sub>3</sub>-N 的 mg 数表示;蔗糖酶用滴定法<sup>[13]</sup>,酶活性用 1 g 土在 37 °C 培养 24 h 所消耗的 0.1 mol/L Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 的 mL 数表示;过氧化物酶用比色法<sup>[13]</sup>,以 1 g 土在 30 °C 培养 3 h 后产生的紫色没食子素的 mg 数表示;蛋白酶检测用比色法<sup>[14]</sup>,酶活性以在 30 °C 培养 24 h 后 1 g 土壤产生甘氨酸的 μg 数表

收稿日期: 2008-09-20

基金项目:国家自然科学基金项目 (30530150, 30710103908),福建省高校创新团队培育计划和国家基础科学人才培养基金项目 (J0630649)资助

\* 现工作单位:贺州学院化学与生物工程系

\*\* 通讯作者: liujingchun@xmu.edu.cn

表 1 幼苗培养所用土壤理化性质

Tab 1 Physical-chemical properties of soil for seedling culturing

全氮 / (g · kg <sup>-1</sup> )	碱解氮 / (mg · kg <sup>-1</sup> )	全磷 / (g · kg <sup>-1</sup> )	速效磷 / (mg · kg <sup>-1</sup> )	全钾 / (g · kg <sup>-1</sup> )	有效钾 / (mg · kg <sup>-1</sup> )	有机质 / %	阳离子交换量 / (mol · kg <sup>-1</sup> )	pH
1.28	95.20	1.00	26.20	21.02	616.59	2.96	16.54	7.21

示.土壤 Cd采用原子吸收分光光度计法测定<sup>[15]</sup>.土壤基本理化性质采用常规分析方法测定<sup>[16]</sup>.

实验数据用 SPSS (11.0) 统计软件进行单因素方差分析、相关分析.

## 2 结果与分析

### 2.1 重金属 Cd对土壤酶活性的影响

#### 2.1.1 重金属 Cd对过氧化氢酶活性的影响

试验条件下,不同处理土壤过氧化氢酶活性的变化如图 1所示,从图可看出,过氧化氢酶活性在不同处理条件下无显著差异 ( $p > 0.05$ ).这一研究结果与杨志新的研究结果相似<sup>[17]</sup>.过氧化氢酶促进过氧化氢的分解,具有解毒作用.本试验结果可能的原因是土壤和桐花树对重金属 Cd具有适应性抗性或生物修复作用,减弱了 Cd对土壤的毒性,对土壤过氧化氢酶活性的影响相对较小.

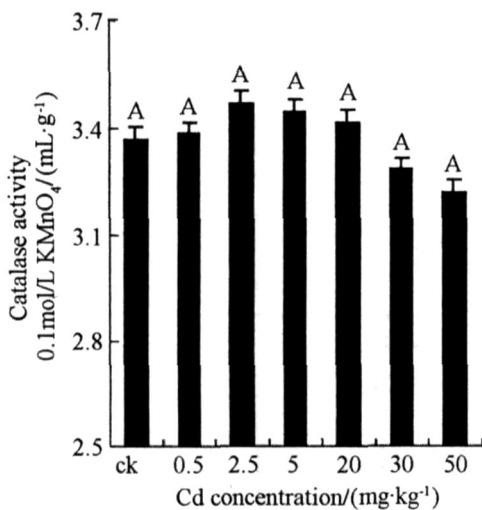


图 1 Cd对桐花树土壤过氧化氢酶活性的影响

注:标不同字母者表示差异达极显著水平 ( $p < 0.01$ ),下同

Fig 1 Effect of Cd on the activity of catalase in *Aegiceras corniculatum* soil

#### 2.1.2 重金属 Cd对土壤脲酶的影响

由图 2可看出,在 Cd浓度为 0.5 mg/kg处理组时脲酶活性极显著增加 ( $p < 0.01$ ),比对照增加了

16.91%;但当 Cd浓度高于 0.5 mg/kg时,脲酶活性呈下降趋势,到 50 mg/kg下降到最小值 0.372 mg/g,抑制率为 32.75%.方差分析表明,除了 Cd 2.5及 5 mg/kg两处理组外,其它各处理组土壤脲酶活性与对照均存在极显著差异 ( $p < 0.01$ ).试验结果表明低浓度的 Cd对脲酶有刺激作用,并且土壤对一定浓度的 Cd有适应性或抗性,但是当 Cd浓度超过其承受限度时,则抑制脲酶活性.

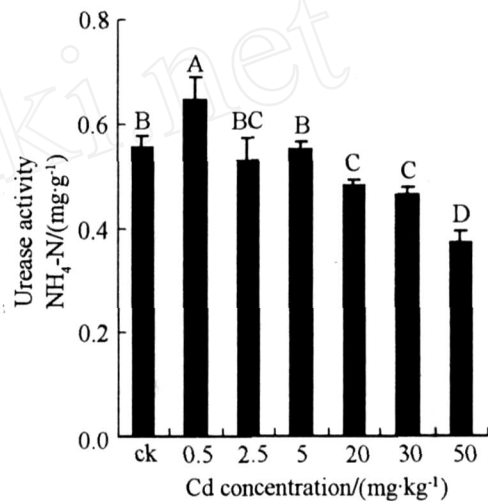


图 2 Cd对桐花树土壤脲酶活性的影响

Fig 2 Effect of Cd on the activity of urease in *Aegiceras corniculatum* soil

#### 2.1.3 重金属 Cd对土壤蛋白酶的影响

Cd胁迫下,蛋白酶活性变化如图 3所示.蛋白酶活性在 Cd 0.5 mg/kg处理组较之于对照有所升高,但不显著,表明低浓度 Cd胁迫对蛋白酶影响不大;当 Cd浓度高于 0.5 mg/kg,蛋白酶活性随 Cd浓度增加而呈现逐渐下降趋势,在 50 mg/kg处理组达到最小值 0.312 μg/g,抑制率为 27.63%.方差分析表明,5 mg/kg以上各处理组与对照差异极显著 ( $p < 0.01$ ).

#### 2.1.4 重金属 Cd对土壤蔗糖酶的影响

由图 4可看出,随着 Cd浓度的增加,蔗糖酶的活性逐渐下降,于 20 mg/kg时降到最低值 3.500 mL/g,抑制率达到 41.67%;然后蔗糖酶活性有所增加,但仍显著低于对照,抑制率在 34.44% ~ 35%,总体呈下降趋势.方差分析表明: Cd 0.5 mg/kg以上各处理组与

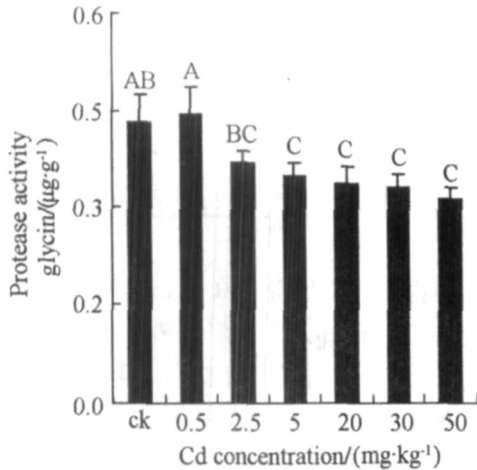


图3 Cd对桐花树土壤蛋白酶活性的影响  
Fig.3 Effect of Cd on the activity of protease in *Aegiceras corniculatum* soil

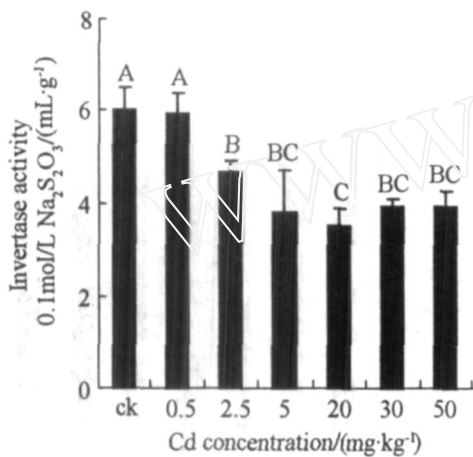


图4 Cd对桐花树土壤蔗糖酶活性的影响  
Fig.4 Effect of Cd on the activity of invertase in *Aegiceras corniculatum* soil

对照有极显著差异 ( $p < 0.01$ ).

### 2.1.5 Cd对土壤过氧化物酶的影响

图5表明,随着Cd浓度的增加,过氧化物酶活性总体上呈下降趋势,在Cd浓度50 mg/kg处理组降到最低值11.07 mL/g,抑制率达到31.41%。方差分析表明,所有处理组过氧化物酶活性在0.01水平上与对照差异极显著。

### 2.2 重金属Cd与土壤酶及土壤酶间的相关性

相关分析表明(表2),脲酶、过氧化物酶、蛋白酶、蔗糖酶之间存在显著或极显著的正相关性,说明4种酶对Cd胁迫具有相似的适应性。过氧化氢酶与这4种酶之间无显著相关性。土壤Cd浓度与脲酶、蛋白酶、过氧化物酶及蔗糖酶活性均在0.01水平上达到极显

著负相关,相关系数分别为 -0.878、-0.692、-0.625、-0.565,与过氧化氢酶活性达到显著负相关 ( $p < 0.05$ ),相关程度为脲酶 > 蛋白酶 > 过氧化物酶 > 蔗糖酶 > 过氧化氢酶,表明脲酶对重金属Cd的污染最敏感。

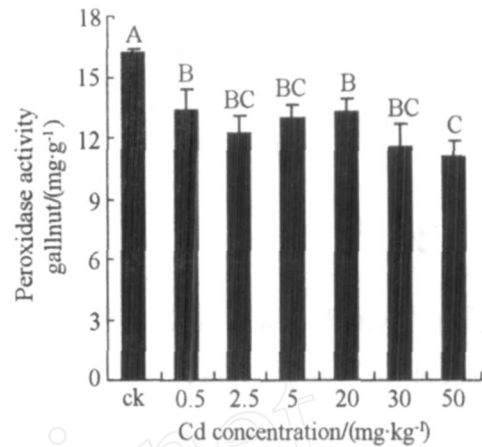


图5 Cd对桐花树土壤过氧化物酶活性的影响  
Fig.5 Effect of Cd on the activity of peroxidase in *Aegiceras corniculatum* soil

表2 土壤酶活性间的相关性

Tab 2 Correlation analyses between the soil enzymes activities

相关因子	过氧化氢酶	脲酶	蛋白酶	蔗糖酶	过氧化物酶
过氧化氢酶	1	0.321	0.182	0.098	0.321
脲酶		1	0.714**	0.621**	0.499*
蛋白酶			1	0.822**	0.688**
蔗糖酶				1	0.580**
过氧化物酶					1

注:  $n=7$ ; \*表示显著相关 ( $p < 0.05$ ); \*\*表示极显著相关 ( $p < 0.01$ ).

## 3 讨论与结论

土壤是一个复杂的生态大系统,土壤对污染物的反应是一个物理、化学和生物的综合反应。同一种重金属对某一种酶在某一时空有抑制作用,而对另一种酶却有促进作用。

蛋白酶及脲酶参与土壤氮循环,是表征土壤氮素转化过程的强度的重要指标。脲酶酶促产物——氨是植物氮源之一,因此脲酶大量存在可为植物提供自身生长所需的氮。本实验表明,低浓度Cd(0.5 mg/kg)可刺激脲酶的活性,酶活性升高的原因一方面可能与

微量的 Cd对微生物毒性较小,并且土壤微生物生物量存在显著刺激浓度范围<sup>[18]</sup>;另一方面,酶体作为蛋白质,微量的重金属离子作为辅基,促进酶活性中心与底物间的配位结合,使酶分子与其活性中心保持一定的专性结构,改变酶催化反应的平衡性质和酶蛋白的表面电荷,从而可增强酶活性,即表现出一定的刺激性<sup>[19]</sup>。随着土壤 Cd浓度升高,蛋白酶及脲酶活性显著下降,并且蛋白酶与脲酶呈极显著的正相关性,这说明蛋白质的分解过程和氨化过程,是土壤含氮有机化合物的转化过程中的两个相继的环节,脲酶活性能为氨基酸激活。研究表明<sup>[20]</sup>,当土壤重金属达到一定量时,土壤氮循环受阻,有害的亚硝态氮积累。底物浓度降低,酶活性相对降低。至于桐花树土壤氮循环在重金属 Cd胁迫受到的影响,有待于进一步研究。

过氧化物酶将有机质分解产生的醌类化合物,能增强植物对恶劣环境的抗性,并且能与蛋白质降解的产物—氨基酸或肽凝聚成腐殖质,是碳循环中的一个重要环节。蔗糖酶对增加土壤中易溶性营养物质起重要作用。研究证明,蔗糖酶与土壤有机质、氮、磷含量、微生物数量及土壤呼吸强度等许多土壤因子有关<sup>[13]</sup>。本实验表明,随着土壤 Cd含量的增加,过氧化物酶及蔗糖酶活性下降,表明重金属 Cd浓度升高会导致土壤酶活性降低。这与研究报导的结果相似<sup>[21-22]</sup>。土壤酶活性下降的原因可能是 Cd与酶分子中的活性部位—巯基和含咪唑的配位结合,形成较稳定的络合物,产生了与底物的竞争性抑制;也可能是由于重金属添加抑制土壤微生物的生长和繁殖,减少体内酶的合成和分泌量,削弱了土壤中 C、N营养元素的循环速率和能量流动最终导致土壤酶活性下降<sup>[23-25]</sup>;还可能由于高 Cd胁迫抑制桐花树幼苗生长<sup>[26]</sup>,减少了土壤酶的来源,从而导致土壤酶活性下降。

由于脲酶、蔗糖酶、蛋白酶及过氧化物酶、过氧化氢酶均与重金属 Cd达到显著负相关,相关程度为脲酶 >蛋白酶 >过氧化物酶 >蔗糖酶 >过氧化氢酶,而且脲酶、蔗糖酶、蛋白酶及过氧化物酶 4种酶活性之间具有显著相关性,表明重金属 Cd对参与 C素、N素转化相关的酶活性产生了不同程度的抑制作用,其中以脲酶与重金属 Cd相关系数最大,表明对重金属 Cd污染最为敏感,因此建议可作为检测土壤重金属 Cd污染的指示酶。

本实验旨在研究重金属 Cd对红树林湿地土壤酶活性的影响,对重金属 Cd如何影响红树林湿地微生物的活动及土壤酶活性的机理有待做进一步研究。

## 参考文献:

- [1] 卢昌义,叶勇. 湿地生态与工程——以红树林湿地为例 [M]. 厦门:厦门大学出版社, 2006
- [2] 黄立南,蓝崇钰,束文圣. 污水排放对红树林湿地生态系统的影响 [J]. 生态学杂志, 2000, 19(2): 13 - 19.
- [3] 林益明,林鹏. 中国红树林生态系统植物种类、多样性、功能及其保护 [J]. 海洋湖沼通报, 2001, 3: 8 - 16
- [4] 韩维栋,高秀梅,卢昌义. 红树林生态系统及其生态价值 [J]. 福建林业科技, 2000, 27(2): 10 - 14.
- [5] 郑文教,林鹏. 深圳福田白骨壤红树林 Cu、Pb、Zn、Cd的累积及分布 [J]. 海洋与湖沼, 1996, 27(4): 386 - 393.
- [6] Tam N F Y. Spatial variation of heavy metals in surface sediments of Hong Kong mangrove swamps [J]. Environmental Pollution, 2000, 11(2): 195 - 205.
- [7] Kehring H A, Pinto FN, Moreira I, et al. Heavy metals and methylmercury in a tropical coasta estuary and a mangrove in Brazil [J]. Organic Geochemistry, 2003, 34: 661 - 669.
- [8] 何斌源,戴培建,范航清. 广西英罗港红树林沼泽沉积物 and 大型动物中重金属含量的研究 [J]. 海洋环境科学, 1996, 15(1): 35 - 41.
- [9] MacFarlane G R, Pulkownik A, Burchett M D. Accumulation and distribution of heavy metals in the grey mangrove, *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh.: biological indication potential [J]. Environmental Pollution, 2003, 123(1): 139 - 151.
- [10] 咎启杰,王勇军,王伯荪. 深圳福田红树林无瓣海桑与海桑群落的重金属累积和循环 [J]. 环境科学, 2002, 23(4): 81 - 88.
- [11] 王文卿,林鹏. 红树林生态系统重金属污染的研究 [J]. 海洋科学, 1999, 3: 45 - 48.
- [12] 郑逢中,林鹏,郑文教. 红树植物秋茄幼苗对镉耐性的研究 [J]. 生态学报, 1994, 14(4): 408 - 414.
- [13] 关松荫,等. 土壤酶及其研究法 [M]. 北京:农业出版社, 1986.
- [14] 曹承锦,张志明,周礼恺. 几种蛋白酶活性测定方法的比较 [J]. 土壤通报, 1982, 13(2): 38 - 40.
- [15] 中国环境监测总站. 土壤元素的近代分析方法 [M]. 北京:中国环境科学出版社, 1992: 82 - 84.
- [16] 鲁如坤,主编. 土壤农业化学分析方法 [M]. 北京:中国农业科技出版社, 2000.
- [17] 杨志新,冯圣东,刘树庆. 镉、锌、铅单元素及其复合污染与土壤过氧化氢酶活性关系的研究 [J]. 中国生态农业学报, 2005, 13(4): 138 - 141.
- [18] 史艇. 重金属和矿物油对微生物生态活性的影响 [J]. 农业环境保护, 1993, 12(3): 105-107.
- [19] Marxadori C, Ciavatta D. Effect of lead pollution on different soil enzyme activities [J]. Soil Fertil Soil, 1996, 23(6): 581 - 587.
- [20] 胡荣桂,李玉林,彭佩钦,等. 重金属 Cd、铅对土壤生化活性影响的初步研究 [J]. 农业环境保护, 1990, 9(4):

- 6 - 9.
- [21] 邱莉萍, 张兴昌. Cu、Zn、Cd和 EDTA对土壤酶活性影响的研究 [J]. 农业环境科学学报, 2006, 25 (1): 30 - 33.
- [22] Kuperman Roman G, Potapov Michael B, Sinitzina E A. Precipitation and pollution interaction effect on the abundance of Collembola in hardwood forests in the lower Midwestern United States [J]. European Journal of Soil Biology, 2002, 38: 277 - 280.
- [23] 周礼恺. 土壤酶学 [M]. 北京: 科学出版社, 1987.
- [24] 史长青. 重金属污染对水稻土壤酶活性的影响 [J]. 土壤通报, 1995, 26 (1): 34 - 35.
- [25] 周礼恺. 土壤的重金属污染与土壤酶活性 [J]. 环境科学学报, 1985, 5 (2): 76 - 84.
- [26] 吴桂容, 严重玲. 镉对桐花树幼苗生长及渗透调节的影响 [J]. 生态环境, 2006, 15 (5): 1003 - 1008.

## Effects of Cd on the Soil Enzyme Activity of *Aegiceras corniculatum* Seedlings

WU Gui-rong<sup>\*</sup>, LIU Jing-chun<sup>\*\*</sup>, ZHANG Lu-di,  
ZHANG Pei-xiang, YAN Chong-lin  
(School of Life Sciences, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

**Abstract:** To study the effects of cadmium (Cd) on the enzymatic activity of *Aegiceras corniculatum* soil propagules of *A. corniculatum* were cultivated in soil supplied with various concentrations of Cd (0 ~ 50 mg/kg). The results showed that soil urease activity was increased under low level of Cd (0.5 mg/kg) treatment. Under conditions of higher Cd concentrations (20 ~ 50 mg/kg), the activities of soil enzymes (urease, protease, peroxidase and invertase) were inhibited, and the maximum rates of inhibition were over 25%. No significant differences of catalase activities were found among different treatment in this study. Significant negative correlations were found between soil Cd concentrations and activities of the five soil enzymes, and the order of correlation was: urease > protease > peroxidase > invertase > catalase. Meanwhile, significant positive correlations between enzymatic activities were found in this study except catalase, this may suggest that these four enzymes have similar response patterns to Cd pollution. Urease was mostly sensitive to Cd among these four enzymes, it may be used as the index to screen the pollution of Cd in mangrove wetlands.

**Key words:** cadmium; soil enzyme activity; *Aegiceras corniculatum*