

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

中国生态学会2011年学术年会专辑



第31卷 第19期 Vol.31 No.19 **2011**

中国生态学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 31 卷 第 19 期

2011 年 10 月 (半月刊)

目 次

卷首语	本刊编辑部 (I)
我国生态学研究及其对社会发展的贡献	李文华 (5421)
生态学的现任务——要在混乱和创新中前进	蒋有绪 (5429)
发展的生态观:弹性思维	彭少麟 (5433)
中国森林土壤碳储量与土壤碳过程研究进展	刘世荣,王 晖,栾军伟 (5437)
区域尺度陆地生态系统碳收支及其循环过程研究进展	于贵瑞,方华军,伏玉玲,等 (5449)
流域尺度上的景观格局与河流水质关系研究进展	刘丽娟,李小玉,何兴元 (5460)
中国珍稀濒危孑遗植物珙桐种群的保护	陈 艳,苏智先 (5466)
水资源投入产出方法研究进展	肖 强,胡 聃,郭 振,等 (5475)
我国害鼠不育控制研究进展	刘汉武,王荣欣,张凤琴,等 (5484)
基于 NDVI 的三江源地区植被生长对气候变化和人类活动的响应研究	李辉霞,刘国华,傅伯杰 (5495)
毛乌素沙地克隆植物对风蚀坑的修复	叶学华,董 鸣 (5505)
近 50 年黄土高原地区降水时空变化特征	王麒麟,范晓辉,王孟本 (5512)
森林资源可持续状况评价方法	崔国发,邢韶华,姬文元,等 (5524)
黄土丘陵区景观格局对水土流失过程的影响——景观水平与多尺度比较	王计平,杨 磊,卫 伟,等 (5531)
未来 10 年黄土高原气候变化对农业和生态环境的影响	俄有浩,施 茜,马玉平,等 (5542)
山东近海生态资本价值评估——近海生物资源现存量价值	杜国英,陈 尚,夏 涛,等 (5553)
山东近海生态资本价值评估——供给服务价值	王 敏,陈 尚,夏 涛,等 (5561)
特大冰冻灾害后大明山常绿阔叶林结构及物种多样性动态	朱宏光,李燕群,温远光,等 (5571)
低磷和干旱胁迫对大豆植株干物质积累及磷效率的影响	乔振江,蔡昆争,骆世明 (5578)
中国环保模范城市生态效率评价	尹 科,王如松,姚 亮,等 (5588)
污染足迹及其在区域水污染压力评估中的应用——以太湖流域上游湖州市为例	焦雯珺,闵庆文,成升魁,等 (5599)
近二十年来上海不同城市空间尺度绿地的生态效益	凌焕然,王 伟,樊正球,等 (5607)
城市社区尺度的生态交通评价指标	戴 欣,周传斌,王如松,等 (5616)
城市生态用地的空间结构及其生态系统服务动态演变——以常州市为例	李 锋,叶亚平,宋博文,等 (5623)
中国居民消费隐含的碳排放量变化的驱动因素	姚 亮,刘晶茹,王如松 (5632)
煤矿固废资源化利用的生态效率与碳减排——以淮北市为例	张海涛,王如松,胡 聃,等 (5638)
城市遮阴环境变化对大叶黄杨光合过程的影响	于盈盈,胡 聃,郭二辉,等 (5646)
广东永汉传统农村的聚落生态观	姜雪婷,严力蛟,后德仟 (5654)
长江三峡库区昆虫丰富度的海拔梯度格局——气候、土地覆盖及采样效应的影响	刘 晔,沈泽昊 (5663)
东南太平洋智利竹筴鱼资源和渔场的时空变化	化成君,张 衡,樊 伟 (5676)
豚草入侵对中小型土壤动物群落结构特征的影响	谢俊芳,全国明,章家恩,等 (5682)

我国烟粉虱早春发生与秋季消退·····	陈春丽, 鄧军锐, 戈 峰, 等 (5691)
变叶海棠及其伴生植物峨眉小檗的水分利用策略 ·····	徐 庆, 王海英, 刘世荣 (5702)
杉木人工林不同深度土壤 CO ₂ 通量·····	王 超, 黄群斌, 杨智杰, 等 (5711)
不同浓度下四种除草剂对福寿螺和坑螺的生态毒理效应·····	赵 兰, 骆世明, 黎华寿, 等 (5720)
短期寒潮天气对福州市绿地土壤呼吸及组分的影响·····	李熙波, 曾文静, 李金全, 等 (5728)
黄土丘陵沟壑区景观格局对流域侵蚀产沙过程的影响——斑块类型水平·····	王计平, 杨 磊, 卫 伟, 等 (5739)
气候变化对物种分布影响模拟中的不确定性组分分割与制图——以油松为例·····	张 雷, 刘世荣, 孙鹏森, 等 (5749)
北亚热带马尾松年轮宽度与 NDVI 的关系 ·····	王瑞丽, 程瑞梅, 肖文发, 等 (5762)
物种组成对高寒草甸植被冠层降雨截留容量的影响·····	余开亮, 陈 宁, 余四胜, 等 (5771)
若尔盖湿地退化过程中土壤水源涵养功能 ·····	熊远清, 吴鹏飞, 张洪芝, 等 (5780)
桂西北喀斯特峰丛洼地不同植被演替阶段的土壤脲酶活性·····	刘淑娟, 张 伟, 王克林, 等 (5789)
利用混合模型分析地域对国内马尾松生物量的影响 ·····	符利勇, 曾伟生, 唐守正 (5797)
火烧对黔中喀斯特山地马尾松林土壤理化性质的影响·····	张 喜, 朱 军, 崔迎春, 等 (5809)
不同培育时间侧柏种基盘苗根系生长和分布·····	杨喜田, 董娜琳, 闫东锋, 等 (5818)
Cd ²⁺ 与 CTAB 复合污染对枫香幼苗生长与生理生化特征的影响 ·····	章 芹, 薛建辉, 刘成刚 (5824)
3 种入侵植物叶片挥发物对早稻幼苗根的影响 ·····	张凤娟, 徐兴友, 郭艾英, 等 (5832)
米槠-木荷林优势种群的年龄结构及其更新策略 ·····	宋 坤, 孙 文, 达良俊 (5839)
褐菖鲉肝 CYP 1A 作为生物标志物监测厦门海域石油污染状况 ·····	张玉生, 郑榕辉, 陈清福 (5851)
基于输入-输出流分析的生态网络 φ 模式能流 ρ 模式能流测度方法 ·····	李中才, 席旭东, 高 勤, 等 (5860)
期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 444 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 50 * 2011-10	



封面图说: 胡杨是我国西北干旱沙漠地区原生的极其难得的高大乔木, 树高 15—30 米, 能忍受荒漠中的干旱环境, 对盐碱有极强的忍耐力。为适应干旱气候一树多态叶, 因此胡杨又称“异叶杨”。它对于稳定荒漠河流地带的生态平衡, 防风固沙, 调节绿洲气候和形成肥沃的森林土壤具有十分重要的作用。秋天的胡杨林一片金光灿烂。

彩图提供: 陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

章芹, 薛建辉, 刘成刚. Cd^{2+} 与 CTAB 复合污染对枫香幼苗生长与生理生化特征的影响. 生态学报, 2011, 31 (19): 5824-5831.

Zhang Q, Xue J H, Liu C G. Effects of complex pollution of CTAB and Cd^{2+} on the growth of Chinese sweetgum seedlings. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31 (19): 5824-5831.

Cd^{2+} 与 CTAB 复合污染对枫香幼苗生长与 生理生化特征的影响

章 芹, 薛建辉*, 刘成刚

(南京林业大学, 江苏省林业生态工程重点实验室, 南京 210037)

摘要: 采用盆栽试验方法, 研究了表面活性剂十六烷基三甲基溴化铵 (CTAB) 与重金属 Cd^{2+} 单一及复合污染对枫香幼苗生长和生理生化指标的影响。结果表明, 在单一 CTAB 污染条件下, 较低浓度的 CTAB (0.1—0.5 g/kg) 能促进枫香幼苗的生长, 较高浓度的 CTAB (0.5—2 g/kg) 对枫香幼苗有毒害作用。在单一浓度 Cd^{2+} 处理条件下, 土壤中 Cd^{2+} 浓度为 100 mg/kg 时, 枫香幼苗的生长受到严重的抑制。在同一浓度 Cd^{2+} 污染土壤中, 随着浇灌水中 CTAB 浓度的增加, 枫香幼苗的株高、干重、叶片叶绿素含量和超氧化物歧化酶 (SOD)、过氧化物酶 (POD)、过氧化氢酶 (CAT) 活性都呈先升后降的趋势。与生长盛期比较, 枫香幼苗生长末期的叶绿素含量大幅下降; 由于幼苗长期处于复合污染条件下, 生长末期叶片 SOD、POD 活性均低于生长盛期的酶活性; 且随着时间推移, 枫香幼苗叶片中丙二醛 (MDA) 积累量有所升高。

关键词: CTAB; Cd^{2+} ; 生理生化指标; 枫香; 幼苗

Effects of complex pollution of CTAB and Cd^{2+} on the growth of Chinese sweetgum seedlings

ZHANG Qin, XUE Jianhui*, LIU Chenggang

Jiangsu Key Laboratory of Forestry Ecological Engineering, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China

Abstract: Effects of single and complex pollution of CTAB and cadmium on the growth and physiological and biochemical indices of Chinese sweetgum (*Liquidambar formosana Hance*) seedlings were studied by means of pot planting experiments. The results showed that lower concentrations (0.1—5 g/kg) of CTAB could promote the growth of Chinese sweetgum, while CTAB was harmful to Chinese sweetgum seedlings under higher concentrations (0.5—2 g/kg). The growth of Chinese sweetgum seedlings was seriously inhibited in the soil with Cd^{2+} concentration of 100 mg/kg. The plant height, dry weight, chlorophyll content and SOD, POD, CAT activities of leaves increased first, then decreased with increasing CTAB concentrations in the same Cd^{2+} polluted soil. Compared with that during the fast-growing stage, total chlorophyll content dropped significantly at the end of growth stage. Moreover, SOD and POD activities of leaves at the end of growth stage were lower than those during the fast-growing stage due to a long time of stress; MDA accumulation quantity of leaves increased over time.

Key Words: CTAB; Cd^{2+} ; physiological and biochemical indices; Chinese sweetgum (*Liquidambar formosana Hance*); seedlings

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划课题 (2008BAJ10B04)

收稿日期: 2011-06-19; 修订日期: 2011-09-16

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jhxue@njfu.edu.cn

随着我国城市化进程的不断加快,城市化过程带来的生态环境问题越来越受到广泛关注。城镇工农业生产和城市居民生活排放的废弃物或污染物都对土壤环境产生深刻影响。城市污水灌溉、污泥填充、工业三废排放、城市生活垃圾填埋等都会导致土壤中重金属及有机污染物的积累^[1]。表面活性剂作为一种较重要的精细化工产品,几乎渗透了所有的工业领域,且其应用范围还在继续扩展。使用过程中,大量含表面活性剂的废水、废渣不可避免地排入水体、土壤等环境中。表面活性剂在土壤上的吸附能显著地改变土壤的物理化学性质,而土壤化学性质的改变会直接影响土壤中化合物的行为^[2]。潘根兴等^[3]研究了不同浓度直链烷基苯磺酸钠(LAS)对太湖地区土壤环境理化性质的影响,发现LAS显著影响土壤性质,降低土壤环境对苯酚的吸附量。表面活性剂也会改变水体性质,危害水中的生物。束良佐等^[4]发现CTAB与Al³⁺共存时,能加剧Al³⁺对玉米幼苗的毒害作用,表现为使幼苗超氧化物歧化酶和过氧化物酶活性升高,过氧化氢酶活性下降,超氧阴离子产生速率增大,脂质过氧化作用加剧,质膜透性上升,而叶绿素含量下降。当CTAB浓度在临界胶束浓度(cmc,0.92mmol/L)以上时玉米光合速率及蒸腾速率急剧降低。罗立新等^[5]研究了溶液培养条件下锡与3种类型的表面活性剂LAS、CTAB和Tween-80的复合污染对小麦的毒性,发现表面活性剂促进锡在小麦叶中的积累,其效应顺序为CTAB>LAS>Tween-80,锡和表面活性剂复合污染条件下,小麦叶中锡的大量积累导致的细胞膜脂过氧化水平远高于单纯锡污染下的水平。Cd是环境中危害较大的重金属之一,由于采矿、污灌、空气污染和化肥施用等引起的土壤Cd污染日趋严重,给农作物和人畜健康造成很大危害^[6]。由于土壤对Cd²⁺有很强的吸附和化学固定能力,因而Cd²⁺易在土壤中造成积蓄,很难从土壤中移除。这两类污染物单独在土壤中的物理、化学行为及其植物效应已有较多研究报道。由于二者性质上存在较大的差异性,有关Cd²⁺和表面活性剂复合污染的研究报道较少。然而,两者的复合污染是目前城市土壤污染中广泛存在的问题。因此,研究这两种物质对树木的复合作用规律与机理,了解复合污染物的生态环境效应及其与单一污染影响的差异,均具有重要的理论和实践意义。枫香(*Liquidamba formosana* Hance)作为城市绿化树种的后起之秀,起源古老,是第三纪的孑遗植物^[5],它也是我国重要的乡土树种,主产于江苏、浙江、安徽、湖南、湖北、江西、福建、台湾、广西等省(区)^[7],分布广泛。枫香为金缕梅科(*Hamamelidaceae*)枫香亚科(*Hamamelidaceae* Harms)枫香属(*Liqui dambar* L1)的高大落叶乔木^[8]。枫香适应性广,生长迅速,抗风抗大气污染,对土壤要求不严,耐干旱瘠薄,耐火烧,采伐迹地能天然更新恢复成林,属典型的“荒山先锋”树种,也是亚热带地区优良速生落叶阔叶树种。同时,枫香维护地力及生态效益良好,是重要的人工造林树之一,并且在观赏、药用、工业、用材方面都有重要作用。近年来,枫香在遗传育种、用材林培育等方面开展了较多研究。

本论文采用盆栽实验方法,探讨重金属Cd²⁺与表面活性剂CTAB单一与复合污染条件下对一年生枫香幼苗生理生化特征的影响,包括叶片叶绿素含量、SOD、CAT、POD、MDA等生化指标和苗木生物量等。研究结果可为受Cd²⁺和CTAB单一或复合污染土壤的植物生态修复与城市绿化提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

选择平均地径、平均苗高的枫香一年生实生幼苗作为供试植物。盆栽用土取自镇江句容南京林业大学下蜀实习林场。表面活性剂选用阳离子型表面活性剂十六烷基三甲基溴化铵(CTAB)。外源镉污染添加CdCl₂·2.5H₂O,以上两种药品均为分析纯,购自国药集团化学试剂有限公司。

表1 供试土壤基本理化性质

Table 1 Basic physical and chemical properties of the tested soil

重金属全量 Heavy metal content(mg/kg)					pH	有机质	水解氮	有效磷	速效钾
Cd	Cu	Mn	Pb	Zn		Organic material /(%,g/100g)	Hydrolyzable nitroge (mg/kg)	Available phosphorus (mg/kg)	Available potassium (mg/kg)
0.175	1024.1	688.875	25.825	45.788	6.7	2.19	25.07	3.28	42.63

1.2 实验设计

采用全光照温室盆栽控制的试验方法,1年生枫香苗移栽前其根系用500 mg/kg NAA(萘乙酸)处理30 min,以保证每株植物生根良好,每盆移栽1株幼苗,每个处理8个重复。盆栽用土壤每盆装5kg(干重),pH值控制在6.5—7.0之间。2010年3月份移植苗木,6月对各供试苗木进行污染处理。其中Cd以 $\text{CdCl}_2 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$ 盐溶液的形式加入,CTAB以溶液形式加入,处理时先把 $\text{CdCl}_2 \cdot 2.5\text{H}_2\text{O}$ (以纯Cd计算)配成10g/L,然后根据设置的处理溶液均匀加入(以干土重计算纯Cd、CTAB含量)。对照组用不含 Cd^{2+} 、CTAB的清水均匀加入,使土壤的田间持水量保持在80%左右。根据幼苗生长节律,于6月10日到7月20日,7月21日到8月20日为两次生长高峰期。分别于8月底及10月初采集植物、土壤样品。

1.3 生理生化指标测定

(1)在幼苗生长过程中,观测幼苗生长情况,测定供试幼苗叶面积及根茎比。每个处理3个重复,取平均值。

①根茎比 采集整株苗木样品,分别测定根系和地上部分鲜重,取部分样品置于80℃恒温烘箱中,烘干至恒重,分别计算根、茎的生物量并计算根茎比。

②叶面积 叶面积采用AM300叶面积仪测量叶面积。

(2)丙二醛含量(MDA)测定 改进的硫代巴比妥酸显色法:取剪碎的新鲜叶片0.5g,加入5%三氯乙酸(TCA)5mL研磨;离心,吸取离心上清液2mL,加入0.67%硫代巴比妥酸(TBA),混匀,置于沸水浴反应15min,迅速冷却,离心。取上清液测定450、532、600nm波长下的吸光度 A_{450} 、 A_{532} 、 A_{600} 。对照以2mL蒸馏水代替。

$$\text{MDA 含量}(\mu\text{mol/g 鲜重}) = 6.45 \times (A_{532} - A_{600}) - 0.56 \times A_{450}$$

(3)不同酶活性的测定 取不同处理的新鲜叶片,加入磷酸缓冲液(0.1 mol/L, pH=7.0),在预冷的研钵中研磨(在冰上操作)。匀浆后移入离心管,10000r/min、4℃下离心20min。取上清液,即为测定SOD、POD、CAT活性的粗提液^[9-11]。

①超氧化物歧化酶SOD活性测定 反应体系为3.1mL 0.1mol/L磷酸缓冲液(pH=7.8)+0.2mL 20μg/mL甲硫氨酸(Met)+0.2mL 1mg/mL氮蓝四唑(NBT)+0.2mL 1mg/mL乙二胺四乙酸(EDTA)+0.2mL 0.1mg/mL核黄素+0.1mL酶液,对照用3.2mL磷酸缓冲液代替酶液,其他反应体系相同。混匀后,4000lx的光照下反应30min,要求各管受光一致。反应结束后,用黑布终止反应,置分光光度计在560nm处测定吸光值,用U/g鲜重表示。

②过氧化物酶POD活性测定 反应体系为3.8mL 3%(g/100mL)愈创木酚+0.1mL酶液+0.1mL体积分数2% H_2O_2 ,对照用0.1mL磷酸缓冲液代替酶液。加入 H_2O_2 后立即用秒表记录时间。用分光光度计在470nm下测定吸光值,每隔15s读数1次,连续记录1.5min。以每分钟内 A_{470} 变化1.0个单位为一个酶活力单位。用 $A_{470}\text{min/g 鲜重}$ 表示。

③过氧化氢酶CAT活性测定 反应体系为3mL 0.1mol/L磷酸缓冲液(pH=7.0)+0.15mL体积分数0.3% H_2O_2 +0.1mL酶液,对照用3.1mL磷酸缓冲液代替酶液。用分光光度计在240nm处测定吸光值,每隔10s连续记录反应体系的 A_{240} 变化值,连续1min,以每分钟内 A_{240} 下降0.01个单位为一个酶活单位。用 $0.01A_{240}\text{min/g 鲜重}$ 表示。

(4)叶绿素含量测定(丙酮乙醇浸提法) 取新鲜叶片,加95%乙醇溶液研磨至组织发白,过滤,定容,摇匀。取叶绿素提取液至比色杯中,以95%乙醇为空白,在波长665nm、649nm、470nm下测定吸光度 A_{665} ,

表2 Cd^{2+} 、CTAB处理的实验设计

Table 2 Experimental design of Cd^{2+} and CTAB treatment			
CTAB(g/kg)	Cd^{2+} (mg/kg)		
	0	50	100
0	0	50	100
0.1	0.1	0.1+50	0.1+100
0.5	0.5	0.5+50	0.5+100
1	1	1+50	1+100
2	2	2+50	2+100
4	4	4+50	4+100

A_{649}, A_{470} 。

叶绿素 a 含量 $Chla = 13.95 A_{665} - 6.88 A_{649}$

类胡萝卜素含量 $Cxc = (1000 A_{470} - 2.05 Chla - 114.8 Chlb) / 245$

叶绿素 b 含量 $Chlb = 24.96 A_{649} - 7.32 A_{665}$

叶绿素总含量 $Chl = Chla + Chlb$

2 结果与分析

2.1 Cd²⁺-CTAB 复合污染对枫香幼苗生长特征的影响

植物在污染条件下,其不同器官细胞在结构、生理生化代谢过程等方面发生一系列适应性变化,最终反映在植株的生长状况和形态特征上,表现为植物生长受到抑制、植株矮小、失绿、产量下降等症状。因此,植物的生长发育、形态特征均可作为植物耐污染的指标。这类指标主要有叶面积、根茎比、茎高、生物量等。

2.1.1 Cd²⁺-CTAB 复合污染对枫香幼苗叶面积和茎生长量的影响

由表 3 可以看出,随着 Cd²⁺ 和 CTAB 浓度的增加,枫香幼苗叶面积基本呈递减的趋势,当年茎生长量也呈递减趋势,相比于 Cd0-CTAB0 处理,Cd50-CTAB0 水平枫香幼苗叶面积增加了 2.75%,Cd100-CTAB0 水平枫香幼苗叶面积降低 37.58%,说明一定浓度 Cd²⁺ 的加入,能刺激并促进枫香幼苗的生长,当 Cd²⁺ 的量足够大时会抑制枫香幼苗的生长;同时,Cd0-CTAB1 处理枫香幼苗与对照相比,叶面积增加了 11.12%。随着 CTAB 浓度的增加,枫香幼苗叶面积递减,说明适量浓度的 CTAB 也能促进枫香幼苗叶片生长。当土壤中同时加入 0.1g/kgCTAB 与 100mg/kg Cd²⁺ 时,与单一加入 100mg/kg Cd²⁺ 的幼苗相比,叶面积增加 16.23%,说明一定量的 CTAB 能够缓解高浓度 Cd²⁺ 对枫香幼苗的毒害。

表 3 Cd²⁺ 与 CTAB 复合污染对枫香幼苗叶面积及茎生长量的影响

Table 3 Effect of Cd²⁺-CTAB complex pollution on the leaf area and new shoot increment of Chinese sweetgum seedlings

	Cd0		Cd50		Cd100	
	平均单株叶面积 Average leaf area /cm ²	茎生长量 New shoot increment /cm	平均单株叶面积 Average leaf area /cm ²	茎生长量 New shoot increment /cm	平均单株叶面积 Average leaf area /cm ²	茎生长量 New shoot increment /cm
C0	2895.84a	38.67	2975.57a	35.67	1807.51ab	26.33
C1	3217.88a	36	2307.1ab	33	2100.85a	30.67
C2	2345.35b	34.33	2040.12b	30.67	1645.1ab	22
C3	2000.34bc	30.67	1939.51b	25.67	1483.93b	20.67
C4	1794.244c	25.67	1761.46b	23	1247.76b	17.33
C5	1794.24c	21	1651.9b	20.33	1094.73b	11

Cd0、Cd50、Cd100 分别表示土壤中加入的外源 Cd²⁺ 浓度为 0、50mg/kg、100mg/kg; C0、C1、C2、C3、C4、C5 分别表示加入 CTAB 浓度为 0、0.1、0.5、1、2、4g/kg, 字母相同表示无显著性差异, 字母不同表示有显著性差异, 小写字母表示在 $P < 0.05$

2.1.2 Cd²⁺-CTAB 复合污染对枫香幼苗生物量和根茎比的影响

由表 4 可看出,随着 Cd²⁺ 浓度的增加,枫香幼苗生物量先升后降,这说明低浓度的 Cd²⁺ 加入能刺激幼苗生物量的增加,而加入高浓度的 Cd²⁺ 则明显抑制枫香幼苗的生长。Cd100-CTAB0 水平生物量为 24.51g,而 Cd100-CTAB1 水平幼苗生物量为 26.42g,说明加入一定浓度的 CTAB 能减缓 Cd²⁺ 对枫香幼苗的毒害作用,在 Cd100-CTAB5 水平下,生物量仅为 11.43g,与 Cd0-CTAB5 和 Cd100-CTAB0 相比,其生物量减少量的差异达极显著水平。这表明在土壤中高浓度的 CTAB 和 Cd²⁺ 复合污染比单一污染对幼苗生长的抑制作用更强。

与对照组相比,随着 Cd²⁺ 和 CTAB 浓度的增加,枫香幼苗的根茎比均呈下降趋势,这表明在复合污染下枫香幼苗根系生长和茎叶生长均受到明显抑制,但对根系的影响大于对茎叶的影响。

2.2 Cd²⁺-CTAB 复合污染对枫香幼苗生理生化特征的影响

2.2.1 叶片叶绿素与类胡萝卜素含量变化

叶绿素含量在一定程度上反映了植物光合作用的水平,植物叶片中叶绿素含量与光合速率、营养状况等

密切相关,因此常用叶绿素含量的高低来表征植物在逆境下受伤害的程度。单一 CTAB 污染对叶绿素含量有显著影响,与对照相比,叶绿素含量明显减少。在复合污染条件下,Cd²⁺与 CTAB 对枫香幼苗叶片叶绿素 a、类胡萝卜素含量有极显著作用;当土壤中 Cd²⁺浓度为 50mg/kg 和 100mg/kg 时,随着加入的 CTAB 溶液浓度的升高,叶绿素含量呈先升后降的趋势,与生长盛期相比,生长末期叶绿素低于生长盛期的含量,类胡萝卜素含量高于生长盛期。

表 4 Cd²⁺与 CTAB 复合污染对枫香幼苗生物量和根茎比的影响
Table 4 Effect of Cd²⁺-CTAB complex pollution on biomass and root to stem ratio of Chinese sweetgum seedlings

		Cd0	Cd50	Cd100
生物量 Biomass	C0	35.71±3.734a	39.91±0.203a	24.51±1.645a
	C1	36.82±1.538ba	30.64±0.543b	26.42±1.143ab
	C2	32.03±4.558b	27.82±0.226c	22.66±0.433b
	C3	28.93±4.068c	25.84±0.937cd	19.49±4.973c
	C4	26.21±0.203d	23.73±1.124d	15.88±3.676d
	C5	19.02±1.746e	18.57±1.29e	11.43±0.305e
根茎比 Root to stem ratio	C0	1.75±0.09a	1.73±0.006a	1.67±0.006a
	C1	1.73±0.001a	1.69±0.003a	1.64±0.01ab
	C2	1.72±0.003a	1.66±0.004a	1.57±0.001b
	C3	1.66±0.005ab	1.53±0.001b	1.45±0.007c
	C4	1.60±0.004b	1.46±0.0003b	1.04±0.003d
	C5	1.56±0.003b	1.27±0.003c	0.51±0.003e

表中数据为平均数±标准误差 (Mean±SE);字母相同表示无显著性差异,字母不同表示有显著性差异,小写字母表示在 P<0.05

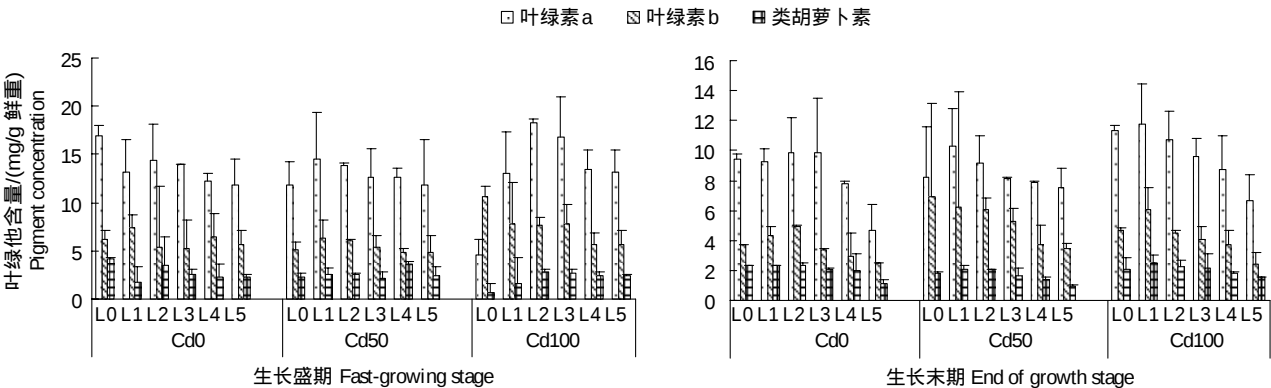
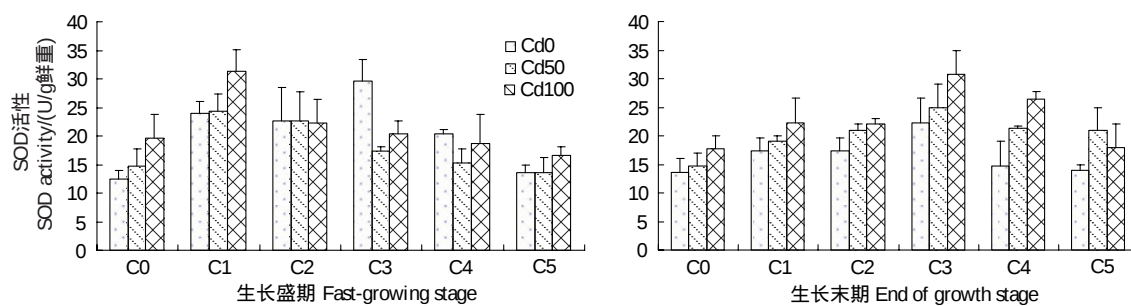


图 1 Cd²⁺与 CTAB 复合污染对枫香幼苗叶绿素含量的影响
Fig. 1 Effect of Cd²⁺-CTAB complex pollution on pigment of Chinese sweetgum seedlings

2.2.2 叶片 SOD 活性变化

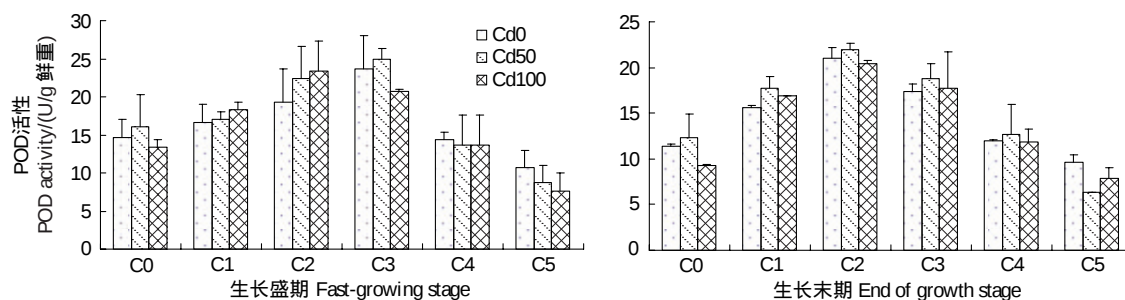
当植物长期处于污染状态时,体内产生的活性氧超过了抗氧化防御系统的清除范围,会引起抗氧化酶活性发生相应变化。

由图 2 可知,单一 Cd²⁺污染下,随着 Cd²⁺浓度的升高,SOD 活性增高。单一 CTAB 污染下,随 CTAB 浓度升高,SOD 活性呈先升后降的趋势;在幼苗生长盛期,当土壤中 Cd²⁺含量为 50、100mg/kg 时,SOD 活性分别比对照增加 17.6%、57.8%。复合污染下,随着土壤中 Cd²⁺浓度的增加,CTAB 浓度分别为 1、0.1、0.1g/kg 时,SOD 活性达到最大值。幼苗生长末期 SOD 活性略低于生长盛期;在生长末期,当土壤中 Cd²⁺含量为 50、100mg/kg 时,SOD 活性分别比对照增加 7.32%、29.27%。复合污染下,随着 Cd²⁺浓度的增加,CTAB 为 1g/kg 时,SOD 活性均达到最大值。

图2 Cd²⁺与CTAB复合污染对枫香幼苗SOD活性的影响Fig. 2 Effect of Cd²⁺-CTAB complex pollution on SOD activities of Chinese sweetgum seedlings

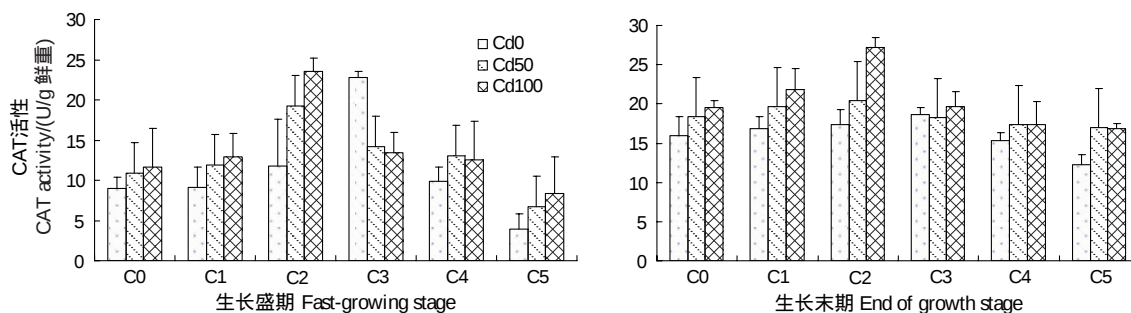
2.2.3 叶片 POD 活性变化

由图3可知,由于枫香幼苗长期处于污染物污染状态,其生长末期POD活性低于生长盛期;生长盛期,在单一CTAB污染下,随CTAB浓度升高,POD活性呈先升后降的趋势;当浓度为1g/kg时,POD活性达最大值;单一Cd²⁺污染下,随着Cd²⁺浓度的升高,POD活性呈先升后降的趋势。当土壤中加入Cd²⁺浓度为50mg/kg及CTAB浓度为1g/kg时,POD活性达最大值,比对照增加70.45%,其差异达极显著水平($P<0.05$)。生长末期,单一CTAB污染下,随CTAB浓度升高,POD活性呈先升后降的趋势,当浓度为0.5g/kg时,POD活性达最大值,与对照相比增加83.59%,达极显著水平($P<0.05$)。复合污染下,随着Cd²⁺浓度的增加,CTAB为0.5g/kg时,POD活性均达到最大值。

图3 Cd²⁺与CTAB复合污染对枫香幼苗POD活性的影响Fig. 3 Effect of Cd²⁺-CTAB complex pollution on POD activities of Chinese sweetgum seedlings

2.2.4 叶片 CAT 活性变化

由图4及方差分析结果表明,单一的Cd²⁺污染对枫香幼苗CAT活性的影响为随着Cd²⁺浓度的升高,其活性呈升高趋势,生长末期植株的CAT活性略高于生长盛期。当土壤中Cd²⁺浓度为50mg/kg时,生长盛期和生

图4 Cd²⁺与CTAB复合污染对枫香幼苗CAT活性的影响Fig. 4 Effect of Cd²⁺-CTAB complex pollution on CAT activities of Chinese sweetgum seedlings

长末期 CAT 活性分别比对照增加:21.64%、14.82%;当土壤中 Cd^{2+} 浓度为 100mg/kg 时,生长盛期和生长末期 CAT 活性分别比对照增加:30.97%、22.55%。生长盛期,随着土壤中 Cd^{2+} 浓度增加时,CTAB 浓度分别为 1、0.5、0.5g/kg 时,CAT 活性达到较高的峰值,随后 CAT 含量急剧下降;生长末期, Cd^{2+} 与 CTAB 的复合作用产生的影响不显著,呈先升后降的趋势,当土壤中 Cd^{2+} 浓度为 100mg/kg 及 CTAB 浓度为 0.5g/kg 时,CAT 活性达到最大值。

2.2.5 叶片 MDA 含量变化

由图 5 可以看出,在枫香幼苗的生长盛期和末期,幼苗叶片中 MDA 的含量,均表现为随着 Cd^{2+} 浓度的增大而增大,随着 CTAB 浓度的增大而表现为先升后降;且植株在生长的末期,枫香幼苗叶片中 MDA 积累量高于生长盛期。单一 CTAB 处理下,MDA 含量随着 CTAB 浓度的增大呈现出先升后降的变化趋势。在单一 Cd^{2+} 污染下,MDA 含量均随着 Cd^{2+} 浓度的增加而增加。当土壤中 Cd^{2+} 浓度为 100mg/kg 及 CTAB 浓度分别为 0.5g/kg 时,生长盛期幼苗叶片中 MDA 的含量达到峰值;当土壤中 Cd^{2+} 浓度为 100mg/kg 及 CTAB 浓度分别为 1g/kg 时,生长末期幼苗叶片中 MDA 的含量达到峰值,与对照相比增加:94.26%;差异性达极显著水平。

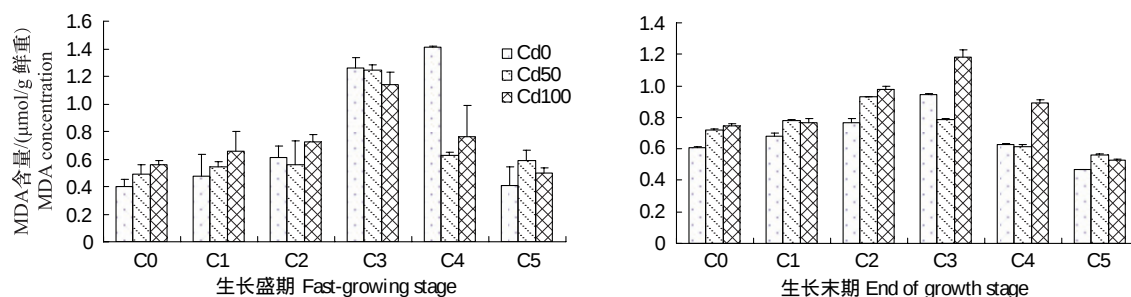


图 5 Cd^{2+} 与 CTAB 复合污染对枫香幼苗 MDA 含量的影响

Fig. 5 Effect of Cd^{2+} -LAS complex pollution on MDA content of Chinese sweetgum seedlings

3 讨论

3.1 Cd^{2+} 与 CTAB 单一及复合污染的作用差异

本文测定结果表明,当 Cd^{2+} 处理浓度为 50mg/kg 时,枫香幼苗叶片叶绿素含量升高。有学者将这种现象解释为重金属在低浓度时对植物的合成代谢有积极的刺激作用,这实质上是加速了植物体的生理生化活动,产生大量代谢产物同金属离子络合以解毒,是植物的一种适应能力^[12]。但当用浓度为 100mg/kg 的 Cd^{2+} 溶液处理时,其叶绿素含量开始下降。导致叶绿素含量下降的原因可能是过量的 Cd^{2+} 导致大量元素的缺乏,叶绿素合成减少,从而使植物失绿,生长受阻;也可能是 Cd^{2+} 使叶绿素酶活性增加导致叶绿素分解加快,其含量则减少。有报道认为,重金属污染后植物的叶绿体受到严重影响,低浓度的重金属处理时叶绿体的基粒片层稀疏,层次减少;随着重金属浓度升高,基粒片层消失,叶绿体功能受到破坏,重金属对叶片色素合成产生明显的抑制作用^[13]。在 Cd^{2+} 污染下,MDA 在植物体内积累,使植物器官膜脂过氧化作用增强,使细胞膜受到伤害,造成膜透性增大,细胞内的离子和有机物大量外渗,外界有毒物质进入细胞,结果导致植物体内一系列生理生化过程失调,降低了植株的抗逆能力^[14]。单一 CTAB 作用于植物时,随着 CTAB 浓度的升高,叶绿素含量呈现先升后降的趋势。这与低浓度的 CTAB 溶液能提供碳源,促进了枫香幼苗的生长有关^[15],而当加入的 CTAB 溶液超过一定浓度时,则对枫香幼苗生长产生明显的抑制作用。在 Cd^{2+} 与 CTAB 共同作用时,低浓度的 CTAB 可能消除部分 Cd^{2+} 的毒害作用;也可能由于 Cd^{2+} 的加入刺激了枫香幼苗体内的自由基清除系统,使其充分发挥作用,消除自由基,但随两者浓度加大,对植株的伤害渐趋明显。

3.2 不同生长时期枫香幼苗对 Cd^{2+} 与 CTAB 复合污染的响应

本文测定结果表明,与生长盛期比较,枫香幼苗生长末期的叶绿素含量大幅下降;由于幼苗长期处于复合

污染条件下,生长末期叶片 SOD、POD 活性均低于生长盛期的酶活性;且随着时间推移,枫香幼苗叶片中 MDA 积累量有所升高。生长末期枫香幼苗叶片中抗氧化酶活性都小于生长盛期,这可能是环境中的 CTAB 由于土壤的自然降解作用和枫香幼苗的吸附、吸收作用而显著降低其浓度,使得抗氧化酶在试验后期主要表现出对 Cd²⁺ 污染的抗性反应;MDA 作为一种膜脂过氧化的产物,对植物的耐胁迫性起着十分重要的作用。因此造成了枫香幼苗在生长末期其叶片 MDA 含量大于生长盛期。

References:

- [1] Hu X F, Wu H X, Hu X, Fang S Q, Wu C J. Impact of urbanization on shanghai's soil environmental quality. *Pedosphere*, 2004, 14(2): 151-158.
- [2] Rao P H, He M. The behavior of surfactant in soils and its effect on physical characteristics of soils. *Journal of Shanghai Jiaotong University (Agricultural Science)*, 2005, 23(3): 325-331.
- [3] Pan X G, Han Y J. Effect of LAS on physico-chemical properties and microorganism activity in soil environment Q. *Chinese Journal of Environmental Science*, 2001, 22(1): 57-61.
- [4] Shu L Z, Zhu Y X. Effect of combined pollution of Aluminium (Al³⁺) and cationic surfactant (CTAB) on maize seedlings. *Rural Eco-Environment*, 2001, 17(2): 50-52.
- [5] Luo L X, Sun T H. Effect of cadmium-surfactant combined pollution on physiological characteristics of wheat leaf. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1998, 9(1): 95-100.
- [6] Zhang S H, Sheng Y W. Danger to soil by heavy metals pollution from polluted irrigation. *The Administration and Technique of Environmental Monitoring*, 2000, 12(2): 22-24.
- [7] Wang F G, Ye H G, Ye Y S. Seeding and cultivation techniques and exploitation of *Liquidambar formosana*. *Economic Forest Researches*, 2003, 21(4): 51-53.
- [8] Chen B T, Liu T Z, Wen T, Mao H, Wang Z J. The status of natural resource and the strategies of selection and breeding on *Liquidambar formosana* in Guizhou Province. *Guizhou Forestry Science and Technology*, 2005, 33(3): 17-19.
- [9] Zhang Z L. *The Guidance of Plant Physiology Experiments*. 2nd ed. Beijing: Higher Education Press, 1990: 154-156.
- [10] Wang A L, Gao Q, Chen Y J. The physiological effects of brassinolide (BR) in *Pinus elliottii* Engelm. seedlings. *Journal of Nanjing Forestry University(Natural Sciences)*, 1995, (4): 1-6.
- [11] Li H S. *Principles and Techniques of Plant Physiological Biochemical Experiment*. Beijing: Higher Education Press, 2000: 184-185.
- [12] Tomseit A B, Thurman D A. Molecular biology of metal tolerances of plants. *Plant Cell and Environment*, 1988, 11(5): 383-394.
- [13] Chen G X, Shi G X, He B, Xie K B, Lu C M, Chang F C, Wei J C. Effect of mercury and cadmium on photochemical activity and polypeptide compositions of photosynthetic membranes from winter bud of *Brasenia schreberi*. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 1999, 19(5): 521-525.
- [14] Zhou X Q, Mo C K. The plant heavy metal coercion and its antioxidation system. *Journal of Xinjiang Education Institute*, 2003, 19(2): 103-108.
- [15] Huang S Z, Chen G G, Wang D R, Zhao J, Cui S Z. Study of the effect of the synthetic detergent (LAS) on crops. *Agro-Environmental Protection*, 1994, 13(2): 58-62.

参考文献:

- [2] 饶品华,何明. 表面活性剂在土壤中的行为及其对土壤物理特性的影响. *上海交通大学学报(农业科学版)*, 2005, 23(3): 325-331.
- [3] 潘兴根,韩永镜. LAS 对土壤环境理化性质和生物活性的影响. *环境科学*, 2001, 22(1): 57-61.
- [4] 束良佐,朱育晓. Al³⁺ 和阳离子型表面活性剂复合污染对玉米幼苗的影响. *农村生态环境*, 2001, 17(2): 50-52.
- [5] 罗立新,孙铁珩. Cd 和表面活性剂复合污染对小麦叶片若干生理性状的影响. *应用生态学报*, 1998, 9(1): 95-100.
- [6] 张书海,沈跃文. 污灌区重金属污染对土壤的危害. *环境监测管理与技术*, 2000, 12(2): 22-24.
- [7] 王发国,叶华谷,叶育石. 枫香的育苗栽培技术及其开发. *经济林研究*, 2003, 21(4): 51-53.
- [8] 陈波涛,刘铁柱,文弢,毛红,王仲军. 贵州省枫香资源的生长状况与良种选育策略初探. *贵州林业科技*, 2005, 33(3): 17-19.
- [9] 张志良. *植物生理学实验指导(第二版)*. 北京:高等教育出版社,1990: 154-156.
- [10] 汪安琳,高强,陈裕菊. 油菜素内脂对湿地松苗的生理作用. *南京林业大学学报(自然科学版)*, 1995, (4): 1-6.
- [11] 李合生. *植物生理生化实验原理和技术*. 北京:高等教育出版社,2000: 184-185.
- [13] 陈国祥,施国新,何兵,解凯彬,陆长梅,常福辰,魏锦城. Hg、Cd 对莼菜越冬芽光合膜光化学活性及多肽组分的影响. *环境科学学报*, 1999, 19(5): 521-525.
- [14] 周希琴,莫灿坤. 植物重金属胁迫及其抗氧化系统. *新疆教育学院学报*, 2003, 19(2): 103-108.
- [15] 黄士忠,陈国光,王德荣,赵静,崔淑贞. 合成洗涤剂(LAS)对农作物影响的研究. *农业环境保护*, 1994, 13(2): 58-62.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 19 October, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Ecology research and its effects on social development in China	LI Wenhua (5421)
The current mission of ecology-advancing under the situation of chaos and innovation	JIANG Youxu (5429)
Resilience thinking: development of ecological concept	PENG Shaolin (5433)
A review of research progress and future prospective of forest soil carbon stock and soil carbon process in China	LIU Shirong, WANG Hui, LUAN Junwei (5437)
Research on carbon budget and carbon cycle of terrestrial ecosystems in regional scale: a review	YU Guirui, FANG Huajun, FU Yuling, et al (5449)
Advances in the studying of the relationship between landscape pattern and river water quality at the watershed scale	LIU Lijuan, LI Xiaoyu, HE Xingyuan (5460)
Research on the protection of <i>Davidia involucrata</i> populations, a rare and endangered plant endemic to China	CHEN Yan, SU Zhixian (5466)
Progress on water resources input-output analysis	XIAO Qiang, HU Dan, GUO Zhen, et al (5475)
Research advances of contraception control of rodent pest in China ...	LIU Hanwu, WANG Rongxin, ZHANG Fengqin, et al (5484)
Response of vegetation to climate change and human activity based on NDVI in the Three-River Headwaters region	LI Huixia, LIU Guohua, FU Bojie (5495)
Remediation of blowout pits by clonal plants in Mu Us Sandland	YE Xuehua, DONG Ming (5505)
Precipitation trends during 1961—2010 in the Loess Plateau region of China	WANG Qixiang, FAN Xiaohui, WANG Mengben (5512)
An evaluation method for forest resources sustainability	CUI Guofa, XING Shaohua, JI Wenyuan, et al (5524)
Effects of landscape patterns on soil and water loss in the hilly area of loess plateau in China: landscape-level and comparison at multiscale	WANG Jiping, YANG Lei, WEI Wei, et al (5531)
The impacts of future climatic change on agricultures and eco-environment of Loess Plateau in next decade	E Youhao, SHI Qian, MA Yuping, et al (5542)
Valuation of ecological capital in Shandong coastal waters: standing stock value of biological resources	DU Guoying, CHEN Shang, XIA Tao, et al (5553)
Valuation of ecological capital in Shandong coastal waters: provisioning service value	WANG Min, CHEN Shang, XIA Tao, et al (5561)
The dynamics of the structure and plant species diversity of evergreen broadleaved forests in Damingshan National Nature Reserve after a severe ice storm damage in 2008, China	ZHU Hongguang, LI Yanqun, WEN Yuanguang, et al (5571)
Interactive effects of low phosphorus and drought stress on dry matter accumulation and phosphorus efficiency of soybean plants	QIAO Zhenjiang, CAI Kunzheng, LUO Shiming (5578)
The eco-efficiency evaluation of the model city for environmental protection in China	YIN Ke, WANG Rusong, YAO Liang, et al (5588)
Pollution footprint and its application in regional water pollution pressure assessment: a case study of Huzhou City in the upstream of Taihu Lake Watershed	JIAO Wenjun, MIN Qingwen, CHENG Shengkui, et al (5599)
Ecological effect of green space of Shanghai in different spatial scales in past 20 years	LING Huanran, WANG Wei, FAN Zhengqiu, et al (5607)
Assessing indicators of eco-mobility in the scale of urban communities ...	DAI Xin, ZHOU Chuanbin, WANG Rusong, et al (5616)
Spatial structure of urban ecological land and its dynamic development of ecosystem services: a case study in Changzhou City, China	LI Feng, YE Yaping, SONG Bowen, et al (5623)
The carbon emissions embodied in Chinese household consumption by the driving factors	YAO Liang, LIU Jingru, WANG Rusong (5632)
The research on eco-efficiency and carbon reduction of recycling coal mining solid wastes: a case study of Huabei City, China	ZHANG Haitao, WANG Rusong, HU Dan, et al (5638)
Effects of urban shading on photosynthesis of <i>Euonymus japonicas</i>	YU Yingying, HU Dan, GUO Erhui, et al (5646)

Ecological view of traditional rural settlements: a case study in Yongshan of Guangdong Province	JIANG Xueting, YAN Lijiao, HOU Deqian (5654)
The altitudinal pattern of insect species richness in the Three Gorge Reservoir Region of the Yangtze River: effects of land cover, climate and sampling effort	LIU Ye, SHEN Zehao (5663)
Spatial-temporal patterns of fishing grounds and resource of Chilean jack mackerel (<i>Trachurus murphyi</i>) in the Southeast Pacific Ocean	HUA Chengjun, ZHANG Heng, FAN Wei (5676)
Impacts of <i>Ambrosia artemisiifolia</i> invasion on community structure of soil meso- and micro- fauna	XIE Junfang, QUAN Guoming, ZHANG Jiaen, et al (5682)
Appearance in spring and disappearance in autumn of <i>Bemisia tabaci</i> in China	CHEN Chunli, ZHI Junrui, GE Feng, et al (5691)
Water use strategies of <i>Malus toringoides</i> and its accompanying plant species <i>Berberis aemulans</i>	XU Qing, WANG Haiying, LIU Shirong (5702)
Analysis of vertical profiles of soil CO ₂ efflux in Chinese fir plantation	WANG Chao, HUANG Qunbin, YANG Zhijie, et al (5711)
Eco-toxicological effects of four herbicides on typical aquatic snail <i>Pomacea canaliculata</i> and <i>Crown conchs</i>	ZHAO Lan, LUO Shiming, LI Huashou, et al (5720)
Effects of short-term cold-air outbreak on soil respiration and its components of subtropical urban green spaces	LI Xibo, ZENG Wenjing, LI Jinqian, et al (5728)
Effects of landscape pattern on watershed soil erosion and sediment delivery in hilly and gully region of the Loess Plateau of China: patch class-level	WANG Jiping, YANG Lei, WEI Wei, et al (5739)
Partitioning and mapping the sources of variations in the ensemble forecasting of species distribution under climate change: a case study of <i>Pinus tabulaeformis</i>	ZHANG Lei, LIU Shirong, SUN Pengsen, et al (5749)
Relationship between masson pine tree-ring width and NDVI in North Subtropical Region	WANG Ruili, CHENG Ruimei, XIAO Wenfa, et al (5762)
Effects of species composition on canopy rainfall storage capacity in an alpine meadow, China	YU Kailiang, CHEN Ning, YU Sisheng, et al (5771)
Dynamics of soil water conservation during the degradation process of the Zoigê Alpine Wetland	XIONG Yuanqing, WU Pengfei, ZHANG Hongzhi, et al (5780)
Soil urease activity during different vegetation successions in karst peak-cluster depression area of northwest Guangxi, China	LIU Shujuan, ZHANG Wei, WANG Kelin, et al (5789)
Analysis the effect of region impacting on the biomass of domestic Masson pine using mixed model	FU Liyong, ZENG Weisheng, TANG Shouzheng (5797)
Influence of fire on a <i>Pinus massoniana</i> soil in a karst mountain area at the center of Guizhou Province, China	ZHANG Xi, ZHU Jun, CUI Yingchun, et al (5809)
The growth and distribution of <i>Platyclus orientalis</i> Seed-base seedling root in different culture periods	YANG Xitian, DONG Nalin, YAN Dongfeng, et al (5818)
Effects of complex pollution of CTAB and Cd ²⁺ on the growth of Chinese sweetgum seedlings	ZHANG Qin, XUE Jianhui, LIU Chenggang (5824)
The influence of volatiles of three invasive plants on the roots of upland rice seedlings	ZHANG Fengjuan, XU Xingyou, GUO Aiying, et al (5832)
Age structure and regeneration strategy of the dominant species in a <i>Castanopsis carlesii</i> - <i>Schima superba</i> forest	SONG Kun, SUN Wen, DA Liangjun (5839)
A study on application of hepatic microsomal CYP1A biomarkers from <i>Sebastiscus marmoratus</i> to monitoring oil pollution in Xiamen waters	ZHANG Yusheng, ZHENG Ronghui, CHEN Qingfu (5851)
The method of measuring energy flow ϕ and p in ecological networks by input-output flow analysis	LI Zhongcai, XI Xudong, GAO Qin, et al (5860)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 31 卷 第 19 期 (2011 年 10 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 19 2011

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@csppg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@csppg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元