

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第31卷 第12期 Vol.31 No.12 **2011**

中国生态学学会
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 12 期

2011 年 6 月 (半月刊)

目 次

基于植被遥感的西南喀斯特退耕还林工程效果评价——以贵州省毕节地区为例	李 昊, 蔡运龙, 陈睿山, 等 (3255)
扩散对破碎化景观上宿主-寄生种群动态的影响	苏 敏 (3265)
湿地功能评价的尺度效应——以盐城滨海湿地为例	欧维新, 叶丽芳, 孙小祥, 等 (3270)
模拟氮沉降对杉木幼苗养分平衡的影响	樊后保, 廖迎春, 刘文飞, 等 (3277)
中国东部森林样带典型森林水源涵养功能	贺淑霞, 李叙勇, 莫 菲, 等 (3285)
山西太岳山油松群落对采伐干扰的生态响应	郭东罡, 上官铁梁, 白中科, 等 (3296)
长期施用有机无机肥对潮土微生物群落的影响	张焕军, 郁红艳, 丁维新 (3308)
云南元江干热河谷五种优势植物的内生真菌多样性	何彩梅, 魏大巧, 李海燕, 等 (3315)
塔里木河中游洪水漫溢区荒漠河岸林实生苗更新	赵振勇, 张 科, 卢 磊, 等 (3322)
基于 8hm 样地的天山云杉林蒸腾耗水从单株到林分的转换	张毓涛, 梁凤超, 常顺利, 等 (3330)
古尔班通古特沙漠土壤酶活性和微生物量氮对模拟氮沉降的响应	周晓兵, 张元明, 陶 冶, 等 (3340)
Pb 污染对马蔺生长、体内重金属元素积累以及叶绿体超微结构的影响	原海燕, 郭 智, 黄苏珍 (3350)
春、秋季节树干温度和液流速度对东北 3 树种树干表面 CO ₂ 释放通量的影响	王秀伟, 毛子军, 孙 涛, 等 (3358)
云南南部和中部地区公路旁紫茎泽兰土壤种子库分布格局	唐樱殷, 沈有信 (3368)
利用半球图像法提取植被冠层结构特征参数	彭焕华, 赵传燕, 冯兆东, 等 (3376)
黑河上游蝗虫与植被关系的 CCA 分析	赵成章, 周 伟, 王科明, 等 (3384)
额尔古纳河流域秋季浮游植物群落结构特征	庞 科, 姚锦仙, 王 昊, 等 (3391)
九龙江河口浮游植物的时空变动及主要影响因素	王 雨, 林 茂, 陈兴群, 等 (3399)
东苕溪中下游河岸类型对鱼类多样性的影响	黄亮亮, 李建华, 邹丽敏, 等 (3415)
基于 RS/GIS 公路路域水土流失动态变化的研究——以榆靖高速公路为例	陈爱侠, 李 敏, 苏智先, 等 (3424)
流域景观结构的城市化影响与生态风险评价	胡和兵, 刘红玉, 郝敬锋, 等 (3432)
基于景观格局的锦州湾沿海经济开发区生态风险分析	高 宾, 李小玉, 李志刚, 等 (3441)
若尔盖高原土地利用变化对生态系统服务价值的影响	李晋昌, 王文丽, 胡光印, 等 (3451)
施用鸡粪对土壤与小白菜中 Cu 和 Zn 累积的影响	张 妍, 罗 维, 崔晓勇, 等 (3460)
基于 GIS 的宁夏灌区农田污染源结构特征解析	曹艳春, 冯永忠, 杨引禄, 等 (3468)
底墒和种植方式对夏大豆光合特性及产量的影响	刘 岩, 周勋波, 陈雨海, 等 (3478)
不同施肥模式调控沿湖农田无机氮流失的原位研究——以南四湖过水区粮田为例	谭德水, 江丽华, 张 骞, 等 (3488)
丛枝菌根真菌对低温下黄瓜幼苗光合生理和抗氧化酶活性的影响	刘爱荣, 陈双臣, 刘燕英, 等 (3497)
外源半胱氨酸对铜胁迫下小麦幼苗生长、铜积累量及抗氧化系统的影响	彭向永, 宋 敏 (3504)
专论与综述	
水平扫描技术及其在生态学中的应用前景	胡自民, 李晶晶, 李 伟, 等 (3512)
研究简报	
昆仑山北坡 4 种优势灌木的气体交换特征	朱军涛, 李向义, 张希明, 等 (3522)
不同比例尺 DEM 数据对森林生态类型划分精度的影响	唐立娜, 黄聚聪, 代力民 (3531)
苏南丘陵区毛竹林冠截留降雨分布格局	贾永正, 胡海波, 张家洋 (3537)
外来种湿地松凋落物对土壤微生物群落结构和功能的影响	陈法霖, 郑 华, 阳柏苏, 等 (3543)
深圳地铁碳排放量	谢鸿宇, 王习祥, 杨木壮, 等 (3551)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 304 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2011-06



封面图说: 自然奇观红海滩·辽宁省盘锦市——在辽河入海口生长着大片的潮间带植物碱蓬草, 举目望去, 如霞似火, 蔚为壮观, 人们习惯地称之为红海滩。粗壮的根系加快着海滩土壤的脱盐过程, 掉下的茎叶腐质后肥化了土壤, 它是大海的生态屏障。

彩图提供: 段文科先生 中国鸟网 <http://www.birdnet.cn> E-mail: dwk9911@126.com

Pb 污染对马蔺生长、体内重金属元素积累 以及叶绿体超微结构的影响

原海燕^{1,2}, 郭 智², 黄苏珍^{2,*}

(1. 南京农业大学园艺学院, 南京 210095; 2. 江苏省中国科学院植物研究所, 南京中山植物园, 南京 210014)

摘要:通过土壤单因子 Pb 胁迫盆栽试验和铅锌尾矿污染土壤掺比试验研究了不同土培条件下 Pb 对马蔺 (*Iris lactea* var. *chinensis*) 生长、体内重金属元素积累以及叶绿体超微结构的影响。结果表明:2 种不同土壤 Pb 胁迫下马蔺株高、根长、叶数以及地上、地下部生物量均随 Pb 浓度的增加呈先增后降的趋势,其中,土壤单 Pb 胁迫下,低于 500 mg/kg Pb 胁迫(T1—T3)均增加了马蔺的株高和根长,仅 800mg/kg 高 Pb 浓度处理时马蔺生物量才出现轻微下降($P>0.05$);与单一土壤 Pb 胁迫相比,铅锌尾矿污染土壤掺比试验中铅锌尾矿含量低于一定浓度下对马蔺株高、根长生长同样也具有促进效应,只有 100% 尾矿污染土壤处理下马蔺地上部和根系生物量下降显著($P<0.05$)。马蔺地上部和根系 Pb 含量均随土壤中 Pb 浓度和尾矿含量的增加而增加,800mg/kg 土壤单 Pb 胁迫下为 340.6、1700.02 mg/kg,100% 尾矿污染土壤处理下为 126.9、1725 mg/kg。Pb 单独胁迫下马蔺地上部 Zn 含量随 Pb 含量的增加逐渐下降,Zn 和 Pb 的吸收表现出一定的拮抗效应;而不同掺比污染土壤胁迫下马蔺地上部和根系 Zn 积累同 Pb 一样,均随土壤中 Pb、Zn 浓度的增加而增加,Zn 和 Pb 的吸收表现为一种协同效应。而 2 种不同土壤 Pb 胁迫下马蔺对 Cu、Cd 的吸收均相对较少。研究中,800mg/kg Pb 胁迫处理和 50% 尾砂土壤胁迫处理下马蔺叶片叶绿体双层被膜及内部基粒和类囊体结构与对照相比变化不大。综上所述,马蔺对重金属 Pb 有较强的耐受性,具备修复 Pb 污染土壤的潜在能力。

关键词:Pb 污染;马蔺;积累;叶绿体超微结构

Effects of Pb on growth, heavy metals accumulation and chloroplast ultrastructure of *Iris lactea* var. *Chinensis*

YUAN Haiyan^{1,2}, GUO Zhi², HUANG Suzhen^{2,*}

1 College of Horticulture, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China;

2 Institute of Botany, Jiangsu Province and Chinese Academy of Sciences(Nanjing Sun Yat-san Botanical Garden), Nanjing 210014, China

Abstract: Effects of Pb on the growth, the uptake and accumulation of lead (Pb), zinc (Zn), copper (Cu), cadmium (Cd) and chloroplast ultrastructure of *Iris lactea* var. *chinensis* were studied by pot-culture experiments of the soil treated with single Pb and that treated with mixed Pb and Zn tailings. The results showed that the seedling height, root length, leaf number, shoot and root biomass of *I. lactea* var. *chinensis* were all increased first and then dropped in two different soil treatments. The seedling height and root length of the plant were increased under lower single Pb treatment (≤ 500 mg/kg) and slightly decreased ($P>0.05$) under 800 mg/kg Pb in single Pb experiment. Compared with soil of single Pb stress, the soil mixed Pb and Zn tailings also displayed a promoting effect on the height and root length of *Iris lactea* var. *chinensis* when Pb and Zn tailings in soil below a certain concentration. Only under the treatment of 100% tailing the shoot and root biomass of *I. lactea* var. *chinensis* were decreased significantly compared with that of control ($P<0.05$). The Pb contents both in shoots and roots were enhanced with increasing Pb and tailing concentrations in the soil. The levels of Pb in shoots and roots reached 340.6 mg/kg and 1700.02 mg/kg, respectively, in 800 mg/kg Pb treatment, and which reached 126.9

基金项目:国家自然科学基金项目(30771520);江苏省科技厅社会发展项目(BE2008670);江苏省自然科学基金资助项目(BK2010477)

收稿日期:2010-05-20; **修订日期:**2010-09-10

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: Hsz1959@163.com

mg/kg and 1725 mg/kg, respectively, in 100% tailings treatment. The contents of Zn accumulated in shoots of the plant were decreased with an increase of Pb under single Pb stress, expressing as an antagonistic effect. However, the absorption of Zn was increased as the increasing of Pb accumulation in mixed contaminated tailings stress, expressing as a synergistic effect. In contrast, the uptake of Cu and Cd are relatively small. In this study, the chloroplast double membrane and its internal grana and thylakoid structure were almost without change compared with the control under 800 mg/kg Pb and 50% tailings stress. These results indicated that *I. lactea* var *chinensis* was a strong Pb tolerant species and had the potential to remediate Pb contaminated soils.

Key Words: lead (Pb) pollution; *Iris lactea* var *chinensis*; accumulate; ultrastructure of chloroplast

近年来,随着工农业的迅速发展及废弃物的长期排放,使大量重金属进入水体、土壤-植物生态系统,导致环境中重金属污染日益突出,尤其是工矿区农田受选矿废水和尾矿砂的影响重金属污染更为严重^[1]。重金属毒害不仅阻碍植物根系生长,抑制养分吸收,引起一系列生理代谢紊乱,最终导致作物产量减少、品质下降。同时,植物吸收的重金属还通过食物链危害人类健康^[2]。而利用对重金属富集或具有耐性的植物修复环境重金属污染是治理重金属污染的新途径^[3-4]。

马蔺 (*Iris lactea* var *chinensis*) 为鸢尾科鸢尾属多年生草本宿根植物,在亚洲、欧洲和北美洲等北温带地区均有分布,在我国广泛分布于西北、东北、华北等地。马蔺不仅具有广布性,而且适应性强、耐盐碱、易繁殖、管理粗放,已成为一类兼具景观功能和生态功能于一体的优良的生态园林植物^[5-6]。同时,近年来发现鸢尾属植物对水体重金属 Cd、Pb、Cu 等污染还具有较大的修复潜力^[7-8]。最近水培研究表明鸢尾属植物马蔺在 4mmol/L Pb 处理下马蔺地上、下部 Pb 含量分别达 1109、2408 mg/kg,超过了 Pb 超积累植物 1000mg/kg 的标准,对重金属 Pb 表现出较强的耐受和富集能力,是一种潜在的 Pb 超富集植物^[9]。但马蔺在 Pb 污染土壤环境中对 Pb 的修复潜力尚不清楚,由于土壤环境较营养液培养更为复杂,两种不同培养条件下植物对重金属的吸收机理和积累能力也有可能是不同的^[10]。因此,为探讨不同培养条件下马蔺 Pb 吸收积累耐受差异,本文研究了不同重金属污染土壤环境中 Pb 在马蔺体内的积累和分布,以及 Pb 对马蔺生长和细胞超微结构的影响,以揭示不同培养条件下马蔺吸收、积累 Pb 的差异,为进一步研究马蔺 Pb 吸收耐受差异机理、发掘马蔺优良重金属抗性基因培育新种质资源和马蔺最终应用于土壤和水体重金属污染修复提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试材料为马蔺 (*I. lactea* var. *chinensis*),植物材料栽培于江苏省中国科学院植物研究所鸢尾种质圃,种子均为无性繁殖群体自然结实的当年种子。马蔺种子用 0.5% NaClO 消毒 20 min,自来水冲洗数次后浸种催芽,种子萌发后播于干净的石英砂中,待幼苗长至高度约 15cm 时选择整齐一致的幼苗备用。

1.2 试验设计

1.2.1 土壤单一 Pb 胁迫盆栽试验

供试土壤采自江苏省中国科学院植物研究所内松柏园土壤耕层(0—20cm),风干过 2 mm 筛,每盆装土 1kg,参照国家土壤环境质量标准(GB15618—1995)^[11],Pb(mg/kg)设置 5 个处理,分别为 CK(0,未添加 Pb)、T1(Pb 30)、T2(Pb 300)、T3(Pb 500)、T4(Pb 800),每处理 5 次重复,添加形态为 Pb(NO₃)₂,以溶液的形式添加到土壤中,在温室内平衡 1 个月后每盆移栽 3 株苗,以称重法浇灌自来水,保持土壤湿度为田间持水量的 60%—70%,培养 2 个月后取完整植株进行各项指标测定。

1.2.2 铅锌尾矿污染土壤掺比试验

供试土壤为江苏省中国科学院植物研究所内园土和铅锌尾矿污染土的混合土壤,尾矿采自南京栖霞山铅锌矿区,每盆装土 1.5kg,共 5 个处理,以铅锌尾矿污染土占混合土壤的质量比(干重)计,依次为 CK(0%)、T i (15%)、T ii (30%)、T iii (50%)、T iv (100%),每处理 5 次重复,在温室内平衡 1 个月后每盆移栽 3 株苗,

以称重法浇灌自来水,保持土壤湿度为田间持水量的 60%—70%,各处理随机放置于温室中培养 2 个月后取完整植株进行各项指标测定。供试土壤基本理化性质和重金属含量见表 1。

表 1 供试园土基本理化性状

Table 1 Physical and chemical properties of the tested garden soil

pH (H ₂ O 浸提, 水土比为 1:5)	有机质 Organic matter /(g/kg)	全 N Total Nitrogen /(g/kg)	全 P Total Phosphorus /(g/kg)	速效氮 Available Nitrogen /(mg/kg)	速效磷 Available Phosphorus /(mg/kg)	速效钾 Available Potassium /(mg/kg)
7.21	16.62	0.86	0.29	33.54	7.03	148.93

1.3 测定项目与方法

土壤基本理化性质按土壤农化常规分析法测定^[12]。

地上部和根系生物量的测定:将植物从土壤中取出后,用去离子水冲洗干净,吸水纸吸干表面水分,将叶片和根系分开,105℃下杀青 2 h,然后在 60℃下烘干至恒重后称量。

植物重金属元素含量测定:将烘干至恒重的马蔺地上部和根系用玛瑙研钵磨碎后充分混匀,用 HNO₃:HClO₄ 87:13 混合液消煮提取,消化至近干加硝酸溶解,用体积分数为 5% 的硝酸定容至 20 mL,用 Hitachi 180-80 火焰原子吸收分光光度计测定重金属元素含量。

株高和根长测定:每个处理随机选择 10 株苗最长叶和最长根测定株高和根长并取平均值。

叶片超微结构的观察:取相同部位叶片,用 4% 的戊二醛在室温下初固定 3h,同时抽气直到切块下沉为止,用 pH 7.2 磷酸缓冲液冲洗 3 次,每次 30 min;然后用 1% 的锇酸 4℃ 下后固定 2h, pH 7.2 磷酸缓冲液再次冲洗 3 次;常规梯度乙醇系列脱水,环氧树脂包埋,70℃ 下聚合 8h。LKB-8800 型切片机电薄切片,经醋酸双氧柚和柠檬酸铅双重染色后 JEM-100S 透射电镜观察和照相。

1.4 数据分析

试验数据采用 SPSS14.0 数据统计分析软件进行方差分析及多重比较。

2 结果与分析

2.1 Pb 胁迫对马蔺生长的影响

图 1(A,C,E)显示了不同浓度 Pb(NO₃)₂ 土壤胁迫下马蔺株高、根长及叶数的变化。可以看出,马蔺株高、根长及叶数均随 Pb 浓度的增加呈先增后降的趋势,低于 500 mg/kg Pb 胁迫(T1—T3)均增加了植物的株高和根长,表明低浓度 Pb 对马蔺生长没有毒害作用,其中 30 mg/kg Pb 胁迫下马蔺株高和根长增幅最大,分别比对照增加 24.9%、47.4%。叶数在 300 mg/kg Pb 胁迫下达到最大,比对照增加 15%。800 mg/kg 高浓度 Pb 胁迫下尽管马蔺株高、根长、叶数均低于对照,但与对照相比差异不显著($P>0.05$),说明高浓度 Pb 胁迫并没有明显影响马蔺的正常生长,同时也表明马蔺对 Pb 具有较强的耐受能力。

图 1(B,D,F)显示了不同比例铅锌尾矿污染土壤对马蔺株高、根长及叶数的影响。可以看出,土壤中铅锌尾矿污染土所占比例对马蔺株高、根长及叶数也具有低促高抑的浓度效应,与单一土壤 Pb 胁迫相比对马蔺株高、根长生长的促进效应相对较小,株高和根长均在 15% 尾矿土壤低污染水平下略高于对照($P>0.05$),高于此污染程度,马蔺株高、根长生长受抑,而低于 50% 尾矿土壤处理下马蔺株高和根长变化不明显($P>0.05$)。其中,尾矿污染土壤对马蔺叶数的影响较小,在 100% 尾矿土壤处理下叶数才出现减少。

2.2 Pb 胁迫对马蔺生物量的影响

图 2 显示了 Pb 污染土壤对马蔺地上部和根系生物量的影响。从图 2(A,C)可以看出,不同浓度土壤 Pb

表 2 供试土壤重金属含量

Table 2 The heavy metal contents of the tested soil

土壤 Soil	园土 Garden soil	尾矿土壤 Tailings soil
全 Pb Total lead /(mg/kg)	31.35	389.16
全 Zn Total zinc /(mg/kg)	52.02	231.72
全 Cu Total copper /(mg/kg)	42.29	158.13
全 Cd Total cadmium /(mg/kg)	0.47	19.41

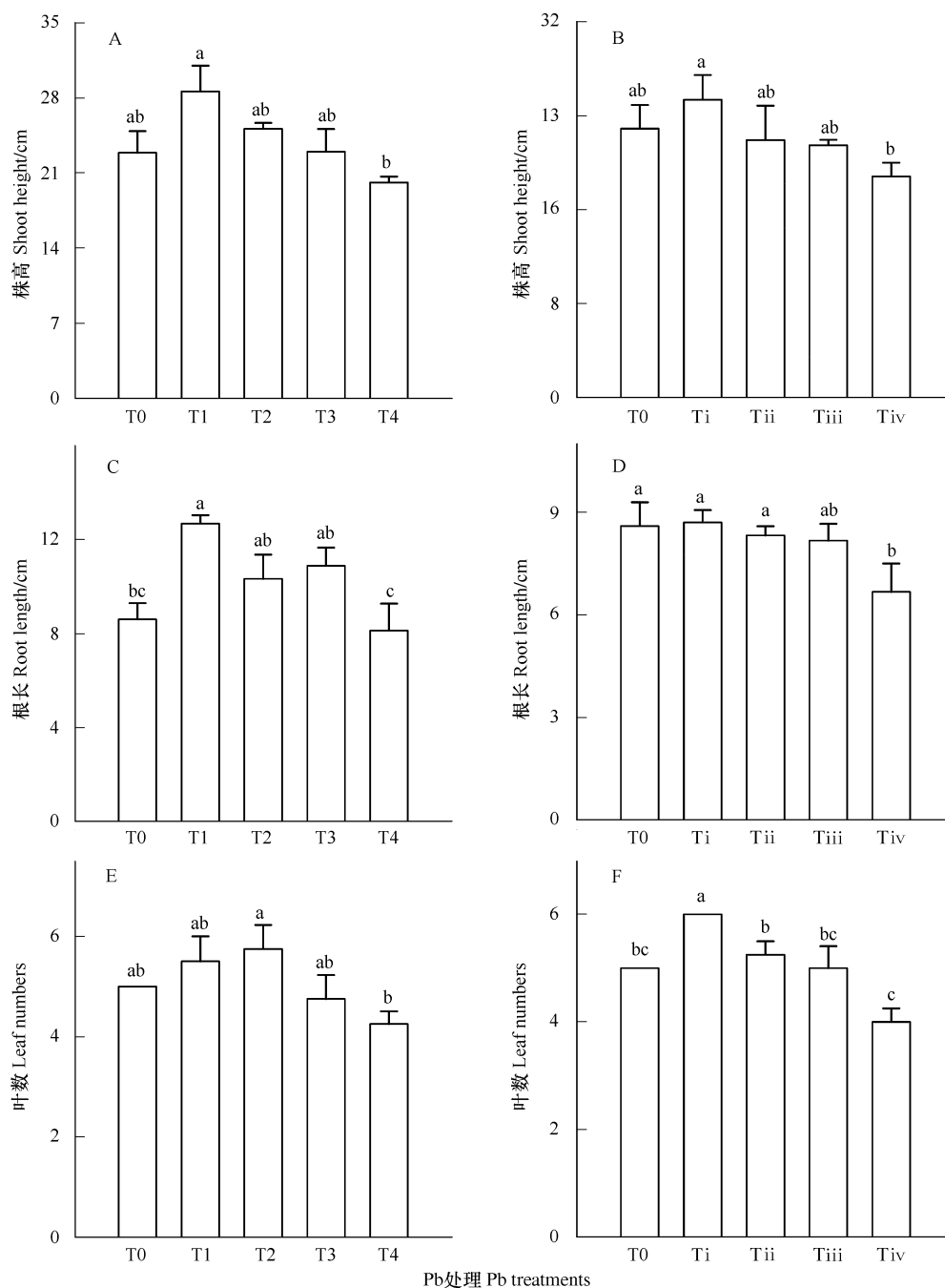


图1 Pb胁迫对马蔺生长的影响

Fig. 1 The effect of different Pb treatments on growth of *Iris lactea* var. *chinensis*

胁迫对马蔺地上部和根系生物量的影响较小,地上部生物量增幅为8.2%—17.9%,根系生物量增幅为1.8%—17.5%,地上部和根系生物量增幅和降幅程度各处理间差异均不显著($P>0.05$)。与单一Pb污染胁迫相比,不同比例尾矿污染土壤胁迫对植物根系生长的影响与地上部相比相对较大(图2 B, D),15%尾矿污染土壤胁迫下均促进了马蔺地上部和根系的生长,生物量分别比对照增加10.1%、8.5%,15%—50%尾矿污染土壤处理下马蔺地上部和根系生物量尽管出现下降趋势,但与对照相比差异不显著,其中50%尾矿污染土壤处理下地上部和根系生物量分别比对照降低1.7%、14.9%,对根系生长的抑制作用较为明显。而100%尾矿污染土壤处理下地上部和根系生物量分别比对照降低29.2%、32.1%,地上部和根系均受到了显著的影响($P<0.05$)。

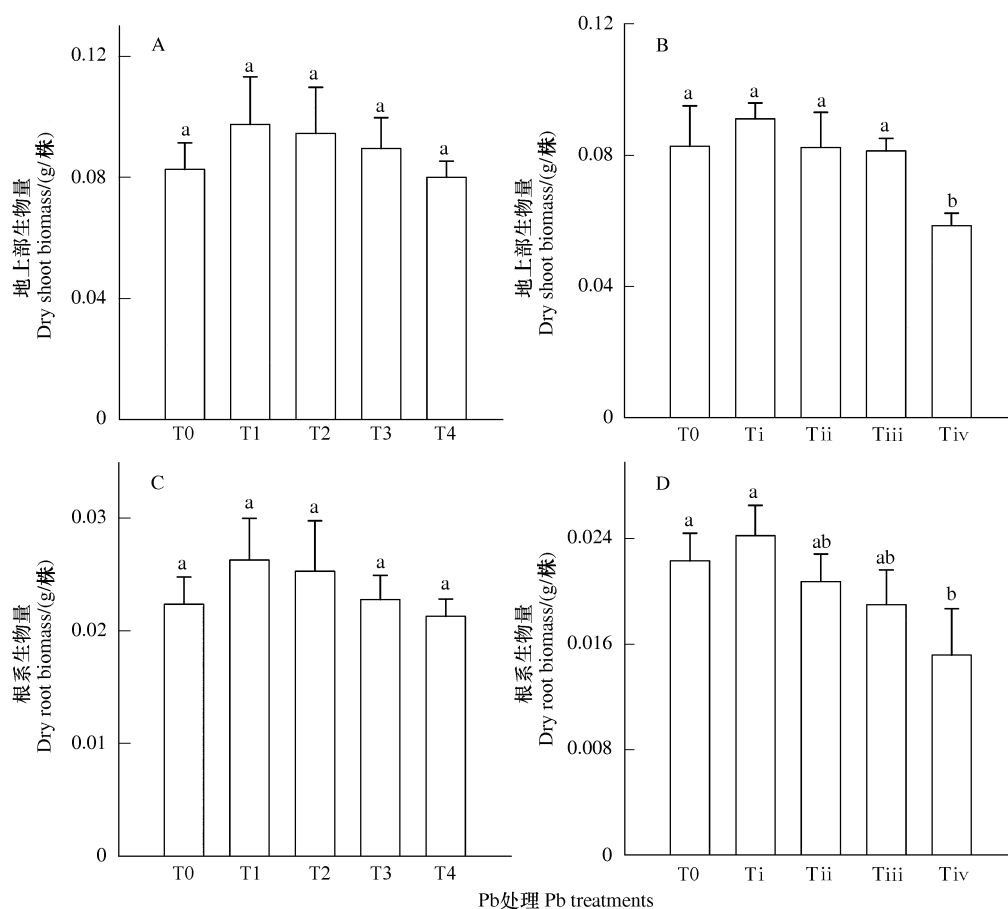


图2 Pb胁迫对马蔺生物量的影响

Fig. 2 The effect of different Pb treatments on biomass of *Iris lactea* var. *chinensis*

2.3 Pb胁迫对马蔺体内重金属含量的影响

图3(A,C)显示了土壤单Pb胁迫下马蔺地上部和根系内Pb、Zn、Cu、Cd含量的变化,可以看出,马蔺地上部和根系Pb含量均随土壤中Pb浓度的增加而增加,800 mg/kg Pb胁迫下马蔺地上部和根系Pb含量达到最大,分别为340.6、1700.02 mg/kg,吸收的Pb主要积累在根系部位。由于胁迫处理只添加了外源Pb,因此,土壤中只存在极其微量的Zn、Cu和Cd,植物体内吸收积累的Zn、Cu和Cd也较少,且不同浓度Pb处理间马蔺Cu、Cd吸收差异相对较小。但添加外源Pb后植物地上部和根系对微量元素Zn的积累表现出一定的差异,地上部Zn含量随Pb胁迫程度和地上部Pb含量的增加而降低,而根系Zn含量随Pb胁迫程度的增加表现出先增后降的趋势,表明一定程度上Pb的吸收降低了马蔺对Zn的吸收。

图3(B,D)显示了不同比例铅锌尾矿污染土壤胁迫下马蔺地上部和根系内Pb、Zn、Cu、Cd含量的变化,可以看出,污染土壤中铅锌尾矿污染土比例越大,马蔺基本上对Pb、Zn的积累越高,地上部和根系重金属含量均为Zn>Pb>Cu>Cd,50%尾矿污染土壤处理下马蔺地上部和根系Pb含量分别为121、1390 mg/kg,Zn含量分别为131.8、1017.4 mg/kg,100%尾矿污染土壤处理下马蔺地上部和根系Pb含量为126.9、1725 mg/kg,Zn含量为151、832.5 mg/kg,Zn相对于Pb向地上部转运的能力相对较强。同样,不同尾矿污染土壤胁迫下马蔺对Cu、Cd的吸收相对较少,这与土壤中本身存在少量的Cu和Cd可能存在着关系。

2.4 Pb胁迫对马蔺叶片叶绿体超微结构的影响

叶绿体是植物光合作用的场所,也是细胞中对重金属胁迫较为敏感的细胞器。研究发现重金属胁迫导致叶绿体内类囊体排列紊乱、膨大,基粒排列方向改变,基粒和基质片层界限模糊不清,被膜破损或消失,甚至解体^[13]。本研究Pb胁迫下马蔺叶片叶绿体超微结构电镜观察结果显示,在对照马蔺叶细胞中,叶绿体为长椭

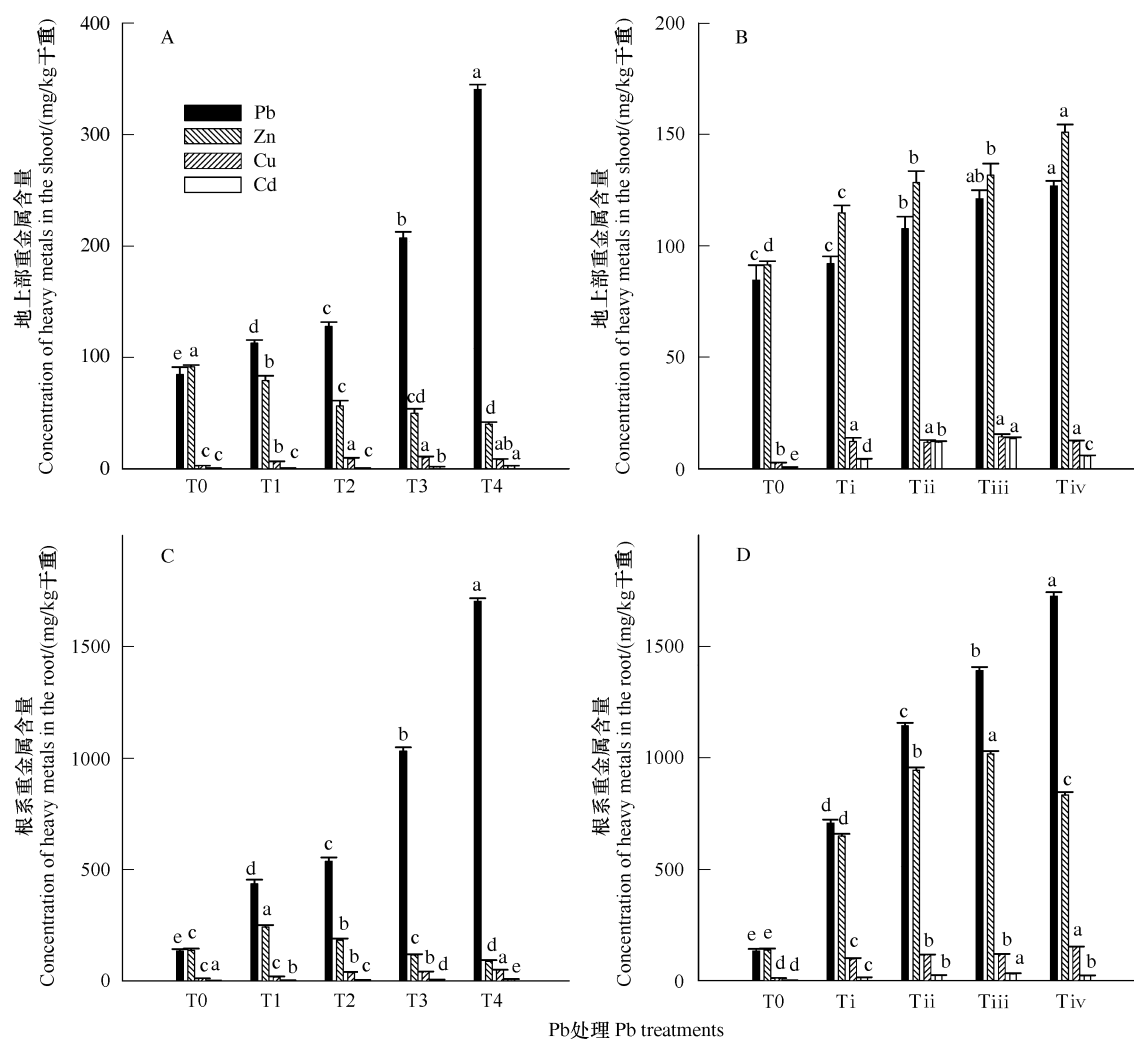


图3 Pb胁迫对马蔺体内重金属含量的影响

Fig. 3 The effect of different Pb treatments on heavy metal contents of *Iris lactea* var. *chinensis*

圆形,其中含有很多基粒,在每个基粒中,基粒类囊体排列紧密有序,垛叠有规律,基质片层丰富、清晰(图4A, B)。800 mg/kg Pb胁迫处理下,叶绿体的形状基本没有改变,大部分基粒片层基本上保持垛叠状态,仅部分基粒结构排列比较松散、紊乱、不清晰(图4C, D)。50%尾砂土壤胁迫处理下马蔺叶绿体结构与对照相比并无明显变化,马蔺叶绿体具有完整的双层被膜,内部基粒和类囊体排列整齐紧密,类囊体片层结构清晰,即有亲水的蛋白质基质和密布在基质间的类囊体,类囊体呈平行状排列,在基质间有规律延伸,形成了复杂的膜系统(图4E, F)。综上表明,800 mg/kg Pb胁迫处理和50%尾砂均没有明显损伤马蔺叶绿体超微结构。

3 讨论

Pb是植物非必需元素,适量浓度的Pb对植物生长具有一定的刺激作用,如低浓度Pb胁迫对荞麦根的生长不仅没有抑制作用,反而表现出一定的促进效应^[14];东南景天在1000 μmol/L Pb浓度处理下,植株须根数目增多,根系长度明显增加^[15]。本研究中,Pb单独胁迫下,低于500 mg/kg Pb胁迫均增加了马蔺的株高、根长、地上部和地下部干质量,表明低浓度Pb胁迫对马蔺生长具有一定的刺激作用,其中,30 mg/kg Pb浓度处理对马蔺生长的促进效应最为明显,株高、根长、地上部和地下部干质量分别比对照增加24.9%、47.4%、17.9%、17.5%。Zn尽管是植物生长的必需营养元素,但Zn同Pb一样同时也是导致环境污染的重金属元素,Zn和Pb超过一定的量均会对植物产生一定的毒害作用^[16-17]。本研究中,不同掺比污染土壤对马蔺生长

的影响显示,15%尾矿土壤处理对马蔺生长具有一定的刺激效应,这与孙丹等^[18]对不同尾砂含量盆栽土壤胁迫下小麦的生长结果相似,超过此比例,马蔺生长受抑程度随体内 Pb、Zn 含量的增加而逐渐增加,但低于 50% 尾矿土壤处理对马蔺生长的影响不大,只有在尾矿土壤比例达 100% 时马蔺地上、下部生物量才显著下降。

植物对 Pb 的吸收能力很低,向地上部运输的能力则更低,大多数植物体内的 Pb 含量基本上按根、茎、叶、籽粒的顺序呈递减趋势。且不同培养条件下植物积累 Pb 的能力、向地上部的转运能力、积累模式、解毒机制均存在较大差异^[19]。即使溶液培养中 Pb 以水溶状态存在时,植物根系也只能吸收一定数量的 Pb,且只有大约 3% 能转运到地上部,90% 以上仍积累在根系^[20]。本研究中,马蔺地上部和根系 Pb 含量在 800 mg/kg 土壤单 Pb 胁迫下分别为 340.6、1700.02 mg/kg,在 100% 尾矿污染土壤处理下为 126.9、1725 mg/kg,而本课题组前期研究表明马蔺在 4mmol/L Pb 溶液培养下地上部和根系 Pb 含量分别达 1109、2408 mg/kg^[9]。与溶液培养条件下马蔺 Pb 积累量相比,尽管土培下马蔺仍具有较强的 Pb 吸收能力,但与水培相比 Pb 积累量出现较大幅度下降,尤其对于地上部降幅极为显著,其原因可能与 Pb 的水溶性很低以及土壤中可被植物吸收的有效态 Pb 量较少有关^[21-22]。马蔺对 Zn 的吸收因不同培养环境而存在着差异,Pb 单独胁迫下马蔺体内 Zn 含量随 Pb 含量的增加逐渐下降,Pb、Zn 吸收表现出一定的拮抗效应;而不同掺比污染土壤胁迫下马蔺地上部和根系 Zn 积累同 Pb 一样,均随土壤中 Pb、Zn 浓度的增加而增加,表现为一种协同效应,这与董艺婷的研究结果相似^[23],两种不同污染土壤环境下马蔺体内 Zn 积累差异的原因可能是土壤中存在的 Pb、Zn 浓度效应造成的,即当土壤中 Zn 浓度增加时可能诱导了马蔺体内 Zn 吸收转运蛋白的表达从而增强了对外部环境中 Zn 的吸收和转运能力,其机理还有待进一步研究。

叶绿体是植物叶片进行光合作用的细胞器,叶绿体膜结构和类囊体结构是保证植物光能吸收与转换的前提,类囊体垛叠紧密,可使膜电荷保持稳定,膜成分区域化,能更有效传递光能,使光合系统处于较佳状态^[24]。本研究中,800mg/kg Pb 胁迫处理和 50% 尾砂土壤胁迫处理下马蔺叶绿体膜及内部结构与对照相比变化不大,表现在叶绿体呈椭圆状,叶绿体结构良好,基粒片层清晰可见,垛叠类囊体丰富,片层结构发达。表明重金属胁迫对马蔺的毒害较轻,并未严重影响马蔺的光合作用,这也与马蔺生长未受明显影响相一致。

References:

- [1] Chen H M. Environmental Agrology. Beijing: Chinese Science Press, 2005: 218-219.
- [2] Wagner G J. Accumulation of cadmium in crop plants and its consequences to human health. *Advances in Agronomy*, 1993, 51: 173-212.
- [3] Cunningham S D, Ow D W. Promises and prospects of phytoremediation. *Plant Physiology*, 1996, 110: 715-719.

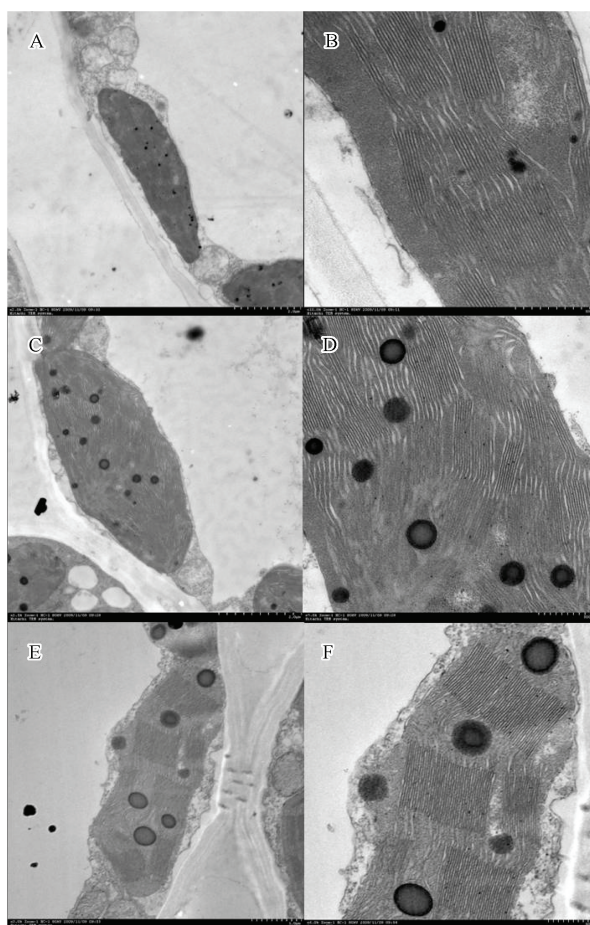


图4 Pb胁迫对马蔺叶片叶绿体超微结构的影响

Fig. 4 Changes of leaf Chloroplast ultrastructure of *Iris lactea* var. *chinensis* under Pb treatments

A. 对照;示叶绿体($\times 2000$); B. 对照;示叶绿体($\times 10000$); C. 800 mg/kg Pb 处理细胞;示叶绿体($\times 2500$); D. 800 mg/kg Pb 处理细胞;示叶绿体($\times 7000$); E. 50% 尾矿土壤处理细胞;示叶绿体($\times 3000$); F. 50% 尾矿土壤处理细胞;示叶绿体($\times 6000$)

- [4] Wei C Y, Chen T B. Hyperaccumulators and phytoremediation of heavy metal contaminated soil: a review of studies in China and abroad. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(7): 1196-1203.
- [5] Bai W B, Li P F, Li B G, Fujiyama H, Fan F C. Some physiological responses of Chinese iris to salt stress. *Pedosphere*, 2008, 18(4): 454-463.
- [6] Sun Y C, Fan F C, Xi G S. The exploitation and application of *Iris lactea* var. *chinensis*. *Forest By-Product and Speciality in China*, 2003, (4): 52-53.
- [7] Yuan H Y, Huang S Z, Guo Z, Han Y L. Effects of Zn on the growth, Cd accumulation and physiological resistance of *Iris lactea* var. *chinensis* under Cd stress. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(9): 2111-2116.
- [8] Han Y L, Yuan H Y, Huang S Z, Guo Z, Xia B, Gu J G. Cadmium tolerance and accumulation by two species of *Iris*. *Ecotoxicology*, 2007, 16(8): 557-563.
- [9] Han Y L, Huang S Z, Gu J G, Qiu S, Chen J M. Tolerance and accumulation of lead by species of *Iris* L. *Ecotoxicology*, 2008, 17(8): 853-859.
- [10] Zabładowska E, Kowalska J, Jedynak L, Wojaś S, Skłodowska A, Antosiewicz D M. Search for a plant for phytoremediation — What can we learn from field and hydroponic studies?. *Chemosphere*, 2009, 77(3): 301-307.
- [11] National Environmental Protection Agency. GB 15618 — 1995 Environmental Quality Standard for Soils. Beijing: China Standard Press, 1995.
- [12] Bao S D. Soil and Agricultural Analysis. Beijing: China Agriculture Press, 2000: 30-34, 81-83.
- [13] Qin J Q, Xia B C, Zhao P. Photosynthetic physiological response of two *Miscanthus floridulus* populations to Cd stress. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(2): 288-299.
- [14] Liu Y H, Yu L, Chen Y B, Liu X H, Wu L, Huang S J, He S P. Lead tolerance of different *Fagopyrum esculentum* cultivars. *Chinese Journal of Ecology*, 2006, 25(11): 1344-1347.
- [15] Xiong Y H, Yang X E, Ye Z Q, He B. Comparing the characteristics of growth response and accumulation of cadmium and lead by *Sedum alfredii* Hance. *Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry (Natural Science Edition)*, 2004, 32(6): 101-106.
- [16] Malayeri B E, Chehregani A, Mohsenzade F, Golmohammadi R. Effect of heavy metals on the developmental stages of ovules and embryonic sac in *Euphorbia cheirandenia*. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 2005, 8(4): 622-625.
- [17] Sawidis T. Effect of cadmium on pollen germination and tube growth in *Lilium longiflorum* and *Nicotiana tabacum*. *Protoplasma*, 2008, 33(1/2): 95-106.
- [18] Sun D, Cong P F, Cong Z L. Accumulations of heavy metal in wheat plant and the growth status under pot experiment with different contents of tailings. *Journal of Agro-Environment Science*, 2007, 26(2): 683-687.
- [19] Arshad M, Silvestre J, Pinelli E, Kallerhoff J, Kaemmerer M, Tarigo A, Shahid M, Guisresse M, Pradere P, Dumat C. A field study of lead phytoextraction by various scented *Pelargonium* cultivars. *Chemosphere*, 2008, 71(11): 2187-2192.
- [20] Zimdahl R L, Skogerboe R K. Behavior of lead in soil. *Environmental Science and Technology*, 1977, 11(13): 1202-1207.
- [21] Zhuang J, Yu G R, Liu X Y. Characteristics of lead sorption on clay minerals in relation to metal oxides. *Pedosphere an International Journal*, 2000, 10(1): 11-20.
- [22] Harter R D. Effect of soil pH on adsorption of lead, copper, zinc and nickel. *Soil Science Society of America Journal*, 1983, 47(1): 47-51.
- [23] Dong Y T, Cui Y S, Wang Q R. Uptake of Cd, Zn and Pb by two susceptible plants under mono- and multiple-contamination conditions. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(5): 1018-1024.
- [24] Yao Y C, Wang S H, Kong Y. Characteristics of photosynthesis mechanism in different peach species under low light intensity. *Scientia Agricultura Sinica*, 2007, 40(4): 855-863.

参考文献:

- [1] 陈怀满. 环境土壤学. 北京: 科学出版社, 2005: 218-219.
- [4] 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. *生态学报*, 2001, 21(7): 1196-1203.
- [6] 孙跃春, 樊奋成, 奚广生. 马蔺的开发与利用. *中国林副特产*, 2003, (4): 52-53.
- [7] 原海燕, 黄苏珍, 郭智, 韩玉林. 锌对镉胁迫下马蔺生长、镉积累及生理抗性影响. *应用生态学报*, 2007, 18(9): 2111-2116.
- [11] 国家环境保护局. GB 15618 — 1995 土壤环境质量标准. 北京: 中国标准出版社, 1995.
- [12] 鲍士旦. 土壤农化分析. 北京: 中国农业出版社, 2000: 30-34, 81-83.
- [13] 秦建桥, 夏北成, 赵鹏. 五节芒不同种群对 Cd 污染胁迫的光合生理响应. *生态学报*, 2010, 30(2): 288-299.
- [14] 刘拥海, 俞乐, 陈奕斌, 刘昔辉, 吴磊, 黄竟尚, 何素萍. 不同荞麦品种对铅胁迫的耐性差异. *生态学杂志*, 2006, 25(11): 1344-1347.
- [15] 熊愈辉, 杨肖娥, 叶正钱, 何冰. 东南景天对镉、铅的生长反应与积累特性比较. *西北农林科技大学学报: 自然科学版*, 2004, 32(6): 101-106.
- [18] 孙丹, 丛培芳, 丛自立. 不同尾矿含量盆栽小麦生长结实和重金属富集状况. *农业环境科学学报*, 2007, 26(2): 683-687.
- [23] 董艺婷, 崔岩山, 王庆仁. 单一与复合污染条件下两种敏感性植物对 Cd、Zn、Pb 的吸收. *生态学报*, 2003, 3(5): 1018-1024.
- [24] 姚允聪, 王绍辉, 孔云. 弱光条件下桃叶片结构及光合特性与叶绿体超微结构变化. *中国农业科学*, 2007, 40(4): 855-863.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 12 June, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Effect assessment of the project of grain for green in the karst region in Southwestern China: a case study of Bijie Prefecture	LI Hao, CAI Yunlong, CHEN Ruishan, et al (3255)
The effect of dispersal on the population dynamics of a host-parasite system in fragmented landscape	SU Min (3265)
The effect of spatial scales on wetland functions evaluation: a case study for coastal wetlands in Yancheng, Jiangsu Province	OU Weixin, YE Lifang, SUN Xiaoxiang, et al (3270)
Effects of simulated nitrogen deposition on nutrient balance of Chinese fir (<i>Cunninghamia lanceolata</i>) seedlings	FAN Houbao, LIAO Yingchun, LIU Wenfei, et al (3277)
The water conservation study of typical forest ecosystems in the forest transect of eastern China	HE Shuxia, LI Xuyong, MO Fei, et al (3285)
The ecological responses of <i>Pinus tabulaeformis</i> forests in Taiyue Mountains of Shanxi to artificial Harvesting	GUO Donggang, SHANGGUAN Tielang, BAI Zhongke, et al (3296)
The influence of the long-term application of organic manure and mineral fertilizer on microbial community in calcareous fluvo-aquic soil	ZHANG Huanjun, YU Hongyan, DING Weixin (3308)
Endophytic fungal diversity of five dominant plant species in the dry-hot valley of Yuanjiang, Yunnan Province, China	HE Caimei, WEI Daqiao, LI Haiyan, et al (3315)
Seedling recruitment in desert riparian forest following river flooding in the middle reaches of the Tarim River	ZHAO Zhenyong, ZHANG Ke, LU Lei, et al (3322)
Scaling up for transpiration of <i>Pinaceae schrenkiana</i> stands based on 8hm permanent plots in Tianshan Mountains	ZHANG Yutao, LIANG Fengchao, CHANG Shunli, et al (3330)
Responses of soil enzyme activities and microbial biomass N to simulated N deposition in Gurbantunggut Desert	ZHOU Xiaobing, ZHANG Yuanming, TAO Ye, et al (3340)
Effects of Pb on growth, heavy metals accumulation and chloroplast ultrastructure of <i>Iris lactea</i> var. <i>Chinensis</i>	YUAN Haiyan, GUO Zhi, HUANG Suzhen (3350)
Effects of temperature and sap flow velocity on CO ₂ efflux from stems of three tree species in spring and autumn in Northeast China	WANG Xiuwei, MAO Zijun, SUN Tao, et al (3358)
The soil seed bank of <i>Eupatorium adenophorum</i> along roadsides in the south and middle area of Yunnan, China	TANG Yingyin, SHEN Youxin (3368)
Extracting the canopy structure parameters using hemispherical photography method	PENG Huanhua, ZHAO Chuanyan, FENG Zhaodong, et al (3376)
The CCA analysis between grasshopper and plant community in upper reaches of Heihe River	ZHAO Chengzhang, ZHOU Wei, WANG Keming, et al (3384)
Community structure characteristics of phytoplankton in argun River Drainage Area in autumn	PANG Ke, YAO Jinxian, WANG Hao, et al (3391)
Spatial and temporal variation of phytoplankton and impacting factors in Jiulongjiang Estuary of Xiamen, China	WANG Yu, LIN Mao, CHEN Xingqun, et al (3399)
Effect of bank type on fish biodiversity in the middle-lower reaches of East Tiaoqi River, China	HUANG Liangliang, LI Jianhua, ZOU Limin, et al (3415)
Study on dynamic changes of soil and water loss along highway based on RS/GIS: an example of Yujing expressway	CHEN Aixia, LI Min, SU Zhixian, et al (3424)
The urbanization effects on watershed landscape structure and their ecological risk assessment	HU Hebing, LIU Hongyu, HAO Jingfeng, et al (3432)
Assessment of ecological risk of coastal economic developing zone in Jinzhou Bay based on landscape pattern	GAO Bin, LI Xiaoyu, LI Zhigang, et al (3441)
Impacts of land use and cover changes on ecosystem service value in Zoige Plateau	LI Jinchang, WANG Wenli, HU Guangyin, et al (3451)
Effect of chicken manure application on Cu and Zn accumulation in soil and <i>Brassica sinensis</i> L.	ZHANG Yan, LUO Wei, CUI Xiaoyong, et al (3460)
GIS analysis of structural characteristics of pollution sources in irrigable farmland in Ningxia China	CAO Yanchun, FENG Yongzhong, YANG Yinlu, et al (3468)
Effects of pre-sowing soil moisture and planting patterns on photosynthetic characteristics and yield of summer soybean	LIU Yan, ZHOU Xunbo, CHEN Yuhai, et al (3478)
<i>In situ</i> study on influences of different fertilization patterns on inorganic nitrogen losses through leaching and runoff: a case of field in Nansi Lake Basin	TAN Deshui, JIANG Lihua, ZHANG Qian, et al (3488)
Effects of AM fungi on leaf photosynthetic physiological parameters and antioxidant enzyme activities under low temperature	LIU Airong, CHEN Shuangchen, LIU Yanying, et al (3497)
Effects of exogenous cysteine on growth, copper accumulation and antioxidative systems in wheat seedlings under Cu stress	PENG Xiangyong, SONG Min (3504)
Review and Monograph	
The horizon scanning technology and its application prospect in Ecology	HU Zimin, LI Jingjing, LI Wei, et al (3512)
Scientific Note	
The gas exchange characteristics of four shrubs on the northern slope of Kunlun Mountain	ZHU Juntao, LI Xiangyi, ZHANG Ximing, et al (3522)
Effect of DEM data at different scales on the accuracy of forest Ecological Classification system	TANG Lina, HUANG Jucong, DAI Limin (3531)
Canopy interception of rainfall by Bamboo plantations growing in the Hill Areas of Southern Jiangsu Province	JIA Yongzheng, HU Haibo, ZHANG Jiayang (3537)
Effects of exotic species slash pine (<i>Pinus elliottii</i>) litter on the structure and function of the soil microbial community	CHEN Falin, ZHENG Hua, YANG Bosu, et al (3543)
The carbon emission analysis of Shenzhen Metro	XIE Hongyu, WANG Xixiang, YANG Muzhuang, et al (3551)

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 12 期 (2011 年 6 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 12 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@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.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