

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第33卷 第15期 Vol.33 No.15 **2013**

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 33 卷 第 15 期

2013 年 8 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

- 红树林生态系统遥感监测研究进展..... 孙永光,赵冬至,郭文永,等 (4523)
- 基于能值分析方法的城市代谢过程研究——理论与方法 刘耕源,杨志峰,陈 彬 (4539)
- 关于生态文明建设与评价的理论思考 赵景柱 (4552)

个体与基础生态

- 长江口及邻近海域秋冬季小型底栖动物类群组成与分布..... 于婷婷,徐奎栋 (4556)
- 灌河口邻近海域春季浮游植物的生态分布及其营养盐限制..... 方 涛,贺心然,冯志华,等 (4567)
- 春季海南岛近岸海域尿素与浮游生物的脲酶活性..... 黄凯旋,张云,欧林坚,等 (4575)
- 模拟酸雨对蒙古栎幼苗生长和根系伤流量的影响..... 梁晓琴,刘 建,丁文娟,等 (4583)
- 有机酸类化感物质对甜瓜的化感效应..... 张志忠,孙志浩,陈文辉,等 (4591)
- 稻田土壤氧化态有机碳组分变化及其与甲烷排放的关联性..... 吴家梅,纪雄辉,霍莲杰,等 (4599)
- 双氰胺单次配施和连续配施的土壤氮素形态和蔬菜硝酸盐累积变化..... 王煌平,张 青,翁伯琦,等 (4608)
- 不同类型土壤中分枝杆菌噬菌体分离率的比较..... 徐凤宇,苏胜兵,马红霞,等 (4616)
- 模拟酸雨对小麦产量及籽粒蛋白质和淀粉含量及组分的影响 卞雅姣,黄 洁,孙其松,等 (4623)
- 麻花秦艽种子休眠机理及其破除方法 李兵兵,魏小红,徐 严 (4631)
- 4 种金色叶树木对 SO_2 胁迫的生理响应 种培芳,苏世平 (4639)
- 硫丹及其主要代谢产物对紫色土中酶活性的影响..... 熊佰炼,张进忠,代 娟,等 (4649)

种群、群落和生态系统

- 群落水平食物网能流季节演替特征..... 徐 军,周 琼,温周瑞,等 (4658)
- 千岛湖岛屿社鼠的种群数量动态特征..... 张 旭,鲍毅新,刘 军,等 (4665)
- 黄土丘陵沟壑区不同植被区土壤生态化学计量特征..... 朱秋莲,邢肖毅,张 宏,等 (4674)
- 青藏高原高寒草甸退化与人工恢复过程中植物群落的繁殖适应对策..... 李媛媛,董世魁,朱 磊,等 (4683)
- 杉木人工林土壤质量演变过程中土壤微生物群落结构变化..... 刘 丽,徐明恺,汪思龙,等 (4692)
- 不同玉米品种(系)对玉米蚜生长发育和种群增长的影响 赵 曼,郭线茹,李为争,等 (4707)
- 伏牛山自然保护区森林冠层结构对林下植被特征的影响..... 卢训令,丁圣彦,游 莉,等 (4715)
- 内蒙古武川县农田退耕还草对粪金龟子群落的影响 刘 伟,门丽娜,刘新民 (4724)
- 铜和营养缺失对海州香薷两个种群生长、耐性及矿质营养吸收的差异影响 柯文山,陈世俭,熊治廷,等 (4737)
- 新疆喀纳斯国家自然保护区植被叶面积指数观测与遥感估算..... 咎 梅,李登秋,居为民,等 (4744)

景观、区域和全球生态

基于 LUCC 的生态系统服务空间化研究——以张掖市甘州区为例 梁友嘉,徐中民,钟方雷,等 (4758)

人工管理和自然驱动下盐城海滨湿地互花米草沼泽演变及空间差异 张华兵,刘红玉,侯明行 (4767)

基于 PCA 的滇西北高原纳帕海湿地退化过程分析及其评价 尚 文,杨永兴,韩大勇 (4776)

基于遥感和地理信息系统的图们江地区生态安全评价..... 南 颖,吉 喆,冯恒栋,等 (4790)

呼中林区森林景观的历史变域模拟及评价..... 吴志丰,李月辉,布仁仓,等 (4799)

降水时间对内蒙古温带草原地上净初级生产力的影响..... 郭 群,胡中民,李轩然,等 (4808)

研究简报

我国中东部不同气候带成熟林凋落物生产和分解及其与环境因子的关系.....

..... 王健健,王永吉,来利明,等 (4818)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 304 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 32 * 2013-08



封面图说:石质山区的退耕还林——桂西北地区是我国喀斯特集中分布的地区之一,这里的石漠化不仅造成土地退化、土壤资源逐步消失、干旱缺水和土地生产力下降,而且还导致生态系统退化和植被消亡。桂西北严重的地质生态环境问题,威胁着当地居民的基本生存,严重制约了当地社会经济的发展。增加植被覆盖是防治石漠化的重要举措。随着国家退耕还林、生态移民等治理措施的实施,区域植被碳密度显著增加,生态环境有所好转。图为喀斯特地区农民见缝插针用来耕种的鸡窝地(指小、碎、分散的土地),已经退耕还林了。

彩图及图说提供:陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201205040642

柯文山, 陈世俭, 熊治廷, 吴明煜, 李亚东. 铜和营养缺失对海州香薷两个种群生长、耐性及矿质营养吸收的差异影响. 生态学报, 2013, 33(15): 4737-4743.

Ke W S, Chen S J, Xiong Z T, Wu M Y, Li Y D. Cu and nutrient deficiency on different effects of growth, tolerance and mineral elements accumulation between two *Elsholtzia haichouensis* populations. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(15): 4737-4743.

铜和营养缺失对海州香薷两个种群生长、耐性及矿质营养吸收的差异影响

柯文山^{1,*}, 陈世俭², 熊治廷³, 吴明煜¹, 李亚东¹

(1. 湖北大学生命科学学院, 武汉 430062; 2. 中国科学院地球测量与物理研究所, 武汉 430077;

3. 武汉大学资源与环境科学学院, 武汉 430079)

摘要:以来自铜矿区(CS)和非矿区(UCS)两个海州香薷种群为对象,通过室内水培实验,分析了两种群幼苗在铜及营养缺失胁迫下植物生长、铜富集及矿质营养含量的差异。结果显示,铜、低营养胁迫及其相互作用对非矿区种群生长具有明显的抑制作用,而对矿区种群的影响则远比非矿区种群小,且较低铜浓度(25 $\mu\text{mol/L}$ Cu)明显促进了矿区种群的生长;从耐性指数结果看,矿区种群铜耐性指数和营养胁迫耐性指数均高于非矿区种群。这表明矿区种群不仅进化为铜耐受种群,同时也进化成营养胁迫耐受种群。低营养胁迫明显促进了植物对铜的吸收和运转,如在低营养胁迫和 25 $\mu\text{mol/L}$ Cu 复合处理下,矿区种群根铜含量约为单一铜处理的 25 倍,非矿区种群是单一铜处理 5 倍多。低营养胁迫和过量铜显著减少了非矿区种群矿质营养元素如 P, Mg, K 和 Mn 的吸收积累,而矿区种群则仍然能保持相对稳定;在铜和营养缺失复合作用下,两个种群矿质营养除 Ca 和部分 Fe 外,均显著减少,但矿区种群减少程度明显比非矿区种群小。这些结果表明,矿区种群在胁迫条件下具有保持营养相对稳定和平衡的能力,这种能力使其能在高铜污染和营养缺乏的土壤中正常生长和定居。

关键词:海州香薷;铜耐性;营养缺失耐性;矿质营养积累

Cu and nutrient deficiency on different effects of growth, tolerance and mineral elements accumulation between two *Elsholtzia haichouensis* populations

KE Wenshan^{1,*}, CHEN Shijian², XIONG Zhiting², WU Mingyu¹, LI Yadong¹

1 School of Life Science of Hubei University, Wuhan 430062, China

2 Geodecy and Geophysics Institute of China Academy, Wuhan 430077, China

3 School of Resource and Environmental Science of Wuhan University, Wuhan 430079, China

Abstract: Two *Elsholtzia haichouensis* populations, one from a copper mine (CS) and the other from an uncontaminated site (UCS), were studied in hydroponic experiments for the plant growth, copper accumulation and mineral nutrients content under excess copper, nutrient deficiency and their interaction. The growth of UCS population was significantly inhibited by excessive Cu, nutrient deficiency and their interaction. But the growth of CS population was less affected by these factors, and 25 $\mu\text{mol/L}$ Cu stimulated significantly the growth of CS population. The tolerance indices of root length to Cu and biomass to mineral nutrient deficiency in the CS population were significantly higher than that in the UCS population. The results indicated that the CS population had evolved not only Cu tolerance but also tolerance to low nutrient supply. Nutrient deficiency increased significantly Cu uptake and transport in two populations. For example, at 25 $\mu\text{mol/L}$

基金项目:国家自然科学基金资助(30570322);中国科学院知识创新工程重大项目(KZCX1-YW-08-01-02)

收稿日期:2012-05-04; **修订日期:**2012-11-19

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: kokews2000@163.com

Cu mixed with nutrient deficiency, root-Cu content of CS population was about 25 times that of CS population at 25 $\mu\text{mol/L}$ Cu treatment; root-Cu content of UCS population at interaction of 25 $\mu\text{mol/L}$ Cu and nutrient deficiency was more than 5 times that of CS population at 25 $\mu\text{mol/L}$ Cu treatment. Shoot-Cu contents in two populations also increased, but that in UCS population increased much more than in CS population. Excessive Cu reduced significantly uptake and transport of mineral nutrient including P, Mg, K and Mn. But contents of these mineral elements in CS population was less affected by excessive Cu. At interaction of nutrient deficiency and Cu (25 $\mu\text{mol/L}$), mineral element contents except Ca and some Fe decreased significantly. But the reduction in CS population is less than that in UCS population. The results indicated that the mineral composition homeostasis under the stresses was important in metal tolerance and colonizing normally in the Cu-enriched soils for the Cu-tolerant population.

Key Words: *Elsholtzia haichowensis*; copper tolerance; nutrient deficiency tolerance; mineral element accumulation

铜虽然是植物必需微量元素,但过量能引起植物其它必需元素的缺失^[1-2]。植物体内这些元素的缺失常常是重金属中毒的表现^[3]。然而,和敏感植物相比,重金属抗性植物表现出对矿质元素缺失有更高的耐受性^[3-4]。以前的研究主要都集中在重金属的吸收、蓄积和耐性以及重金属对一些元素含量的影响^[5-6],很少知道铜矿区耐受种群是否对营养缺失也有耐受性,更不清楚这种铜耐受性和营养缺失耐受性有何关系。

海州香薷(*Elsholtzia haichowensis* S.) 俗称铜草,广泛分布于长江流域,尤其在铜矿区,该植物是这些矿区旺盛生长的优势植物之一,是一种 Cu 矿指示植物^[7-8]。研究表明,海州香薷对 Cu 具有很强的富集能力和耐受能力^[9-10],是一种可应用于重金属污染土壤修复的本土资源植物^[11]。且近年来的研究显示,生长于铜矿区或铜污染区的海州香薷在铜吸收控制、铜区隔脱毒、耐性蛋白等方面具有一系列耐铜机制^[12-20]。该植物也在非矿区有生长,但与矿区种群相比,其铜吸收对策、耐性、生理生化方面明显不同于矿区种群^[16,21-24]。铜矿废弃地由于长期开采和冶炼,导致土壤裸露,水土流失,污染严重,土壤不仅铜浓度高,而且营养也不足^[25]。生长于铜矿区的海州香薷已进化形成很强的铜耐性,是否也进化为营养缺失耐性?为此,本研究拟通过水培实验对来自矿区和非矿区的海州香薷不同种群的对比研究,分析其对铜的耐受性和对营养缺失耐受可能的差异,揭示铜耐受性和营养缺失耐受性的关系。

1 材料和方法

1.1 植物材料和预处理

植物种子的采集、选择、消毒和萌发见文献^[21]。种子萌发后,选择一致的小苗种于酸洗过的石英砂中培养,每天浇 1/2Hogland 营养液(HS)。营养液的组成(mmol/L):5KNO₃, 5Ca(NO₃)₂·H₂O, 2MgSO₄·7H₂O, 1KH₂PO₄, 0.02FeSO₄·7H₂O 和 0.02Na₂-EDTA, 0.045H₃BO₃, 0.01MnCl₂·4H₂O, 和微量元素($\mu\text{mol/L}$) 0.8ZnSO₄, 0.3CuSO₄·5H₂O, 0.1NaMoO₄·2H₂O。溶液 pH 用 0.1mol/L NaOH 或 0.1mol/L HCl 调节至 5.5 $\pm$ 0.3。

1.2 铜和营养缺失处理

待幼苗长至 6—8 片小叶时,选择一致的幼苗用于水培实验。幼苗转移到装有 500mL 营养液(HS)白色塑料碗中。预培养 1 周后,分别给以不同铜水平处理(对照,25 和 100 $\mu\text{mol/L}$ Cu²⁺(CuSO₄·5H₂O))、全营养缺失处理(1/50HS)或 Cu 和营养缺失复合处理。每 3 天换 1 次营养液,每处理 3 个重复,每盘 4 株。14d 后收获测定根长、生物量及元素分析。

1.3 耐受指数的确定

铜耐受指数计算用根长指数法^[15],营养缺失耐受根据 Antosiewicz 于 1995 年的方法,即用处理植物的干生物量相对于对照生物量的百分数来表示。

1.4 元素分析

收获的植物根系用 5 mmol/L 冷 Pb(NO₃)₂ 洗 30min 以脱去根表面吸附的铜,再用蒸馏水洗 3 次。然后

分为根和地上部分,于70℃烘48h。干样磨成粉,湿消化法消化^[15]。P元素用比色法测定,K用火焰分光光度计(6400-A,上海分析仪器厂)测定,其它如Cu, Ca, Mg, Fe等元素在等离子发射光谱仪(ICP-OES)上测定。

1.5 统计分析

二维方差分析方法分析处理(因素1)和种群(因素2)的差异($P < 0.05$),邓肯多重比较分析各处理间差异的显著性。

2 结果

2.1 铜、全营养缺失处理条件下,海州香薷矿区和非矿区种群的耐性和生物量差异

不同铜浓度处理幼苗14d后,两个种群的根长耐性指数表现出明显差异(图1):矿区种群(CS种群)显著高于非矿区种群(UCS种群)($P < 0.01$)。较低Cu浓度(25 $\mu\text{mol/L}$)明显促进CS种群根的生长($P < 0.01$),较高浓度(100 $\mu\text{mol/L}$ Cu)没有明显的影响;而两个处理浓度对UCS种群根生长有显著的抑制作用。

在全营养缺失胁迫下,CS种群根生物量显著高于UCS种群($P < 0.01$)(图2),且营养缺失促进了CS种群根的生长而抑制UCS种群根的生长;两个种群地上部分的生长明显抑制,但CS种群仍然显著高于($P < 0.001$)UCS种群。

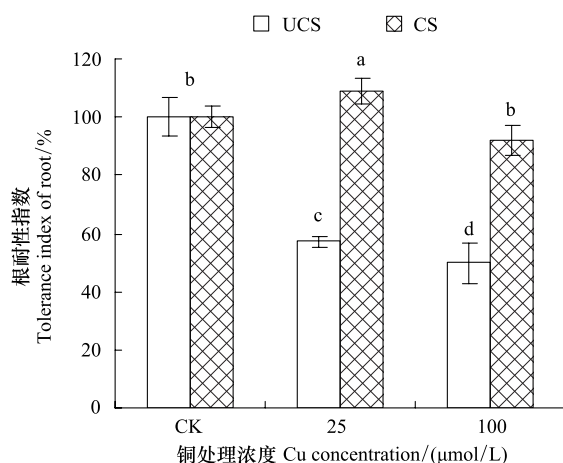


图1 水培条件下海州香薷铜矿区(CS)和非矿区(UCS)两个种群对铜的耐受性

Fig.1 Tolerance index of two *Elsholtzia haichouensis* populations from Cu mine site (CS) and uncontaminated site (UCS) in hydroponic experiments

图中不同字母表示显著性差异($P < 0.01$)

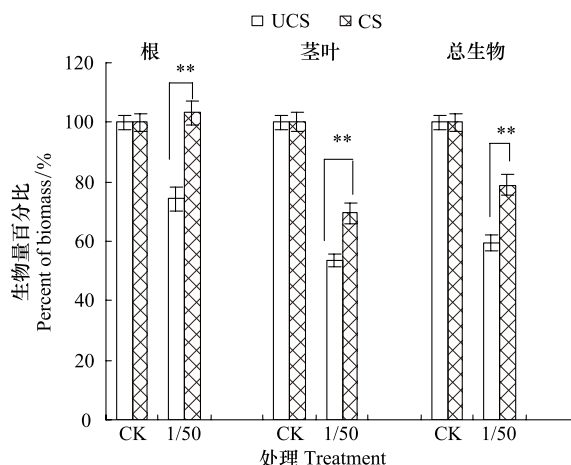


图2 海州香薷两个种群对全营养缺失的耐受性

Fig.2 Tolerance difference of general nutrient deficiency between two *E. haichouensis* populations

* * 指示种群间的显著性差异($P < 0.01$)

不同铜浓度处理对两个种群生物量(相对生物量)的影响表现出明显差异(表1)。较低浓度铜

表1 铜及与全营养缺失(1/50HS)复合胁迫对海州香薷两个种群生物量的影响

Table 1 Relative biomasses (% of controls) of two *E. haichouensis* populations in different Cu and mixture with general nutrient deficiency treatments (1/50HS)

Cu ($\mu\text{mol/L}$) + HS Treatment	根生物量 Root biomass/%		地上生物量 Shoot biomass/%	
	UCS	CS	UCS	CS
CK	100.00 $\pm$ 5.35a	100.00 $\pm$ 7.01b	100.00 $\pm$ 5.81a	100.00 $\pm$ 3.11b
25	41.62 $\pm$ 2.62b	118.26 $\pm$ 13.56a	74.16 $\pm$ 5.68b	119.75 $\pm$ 1.45a
100	33.34 $\pm$ 4.36c	96.07 $\pm$ 3.63b	52.09 $\pm$ 5.72c	97.67 $\pm$ 2.25b
1/50HS+25	29.03 $\pm$ 6.30c	55.43 $\pm$ 9.22c	47.39 $\pm$ 8.22c	61.03 $\pm$ 2.05c
1/50HS+100	25.25 $\pm$ 2.15d	30.78 $\pm$ 1.49d	41.97 $\pm$ 2.40d	52.11 $\pm$ 5.16d

同一行中的不同字母表示显著差异($P < 0.05$) (邓肯多重比较)

(25 $\mu\text{mol/L Cu}$) 处理时, CS 种群生物量明显增加, 较高浓度铜 (100 $\mu\text{mol/L Cu}$) 处理则略有降低, 但没有表现出显著性; 而 UCS 种群生物量在不同浓度铜均有显著减少。在铜与全营养缺失胁迫 (1/50HS) 复合作用下, 海州香薷两个种群生物量都明显降低, 但仍然可看出两个种群的差异: CS 种群的生物量 (相对生物量) 普遍高于 UCS 种群, 除了根在 1/50HS 和 100 $\mu\text{mol/L Cu}$ 复合处理中没有显著差异外, 其它都达到显著水平。和单一铜处理相比, 复合胁迫条件下的两个种群的生物量都明显低于相应铜处理水平, 但矿区种群仍然高于非矿区种群。

3.2 营养缺失对海州香薷 Cu 吸收、积累及运转的影响

表 2 显示的是营养缺失及与 Cu 复合对海州香薷两个种群 Cu 吸收的影响。在营养缺失条件下, 两个种群根中的 Cu 含量明显降低 ($P < 0.05$), 种群间没有明显的差异, 矿区为对照的 68.5%, 非矿区为对照的 70.3%。然而, 非矿区种群地上部分则明显增加 ($P < 0.05$), 是对照的 150.5%, 矿区种群略有增加。两个种群在营养胁迫条件下, 地上部分和根的铜含量比值都明显增加。在 25 $\mu\text{mol/L Cu}$ 处理中, 非矿区种群根 Cu 含量急剧增加, 约是矿区的 5 倍。地上增加相对较少, 非矿区种群略高于矿区。然而, 在全营养缺失和 25 $\mu\text{mol/L Cu}$ 复合胁迫处理下, 两个种群根和地上的 Cu 含量急剧增加 (表 2)。

表 2 营养缺失及与 Cu 复合处理 14d 对海州香薷两个种群 Cu 富集及运转的影响

Table 2 Effect of general nutrient deficiency and Cu on Cu uptake and transport in two *E. haichouensis* populations after 14 days of hydroponic culture

种群 Population	处理 Treatments	根铜含量 (Root Cu, $\mu\text{g/g}$)	地上铜含量 Shoot Cu ($\mu\text{g/g}$)	地上根 Shoot/Root
UCS	Control	26.05 $\pm$ 2.66e	12.65 $\pm$ 0.83e	0.49
	1/50HS	18.31 $\pm$ 1.50f	19.03 $\pm$ 3.76d	1.04
	1/50HS+25 $\mu\text{mol/L Cu}$	6117.78 $\pm$ 300.44a	470.6 $\pm$ 18.46a	0.08
	25 $\mu\text{mol/L Cu}$	1125.81 $\pm$ 103.36c	22.86 $\pm$ 5.23cd	0.02
CS	Control	20.55 $\pm$ 1.31e	11.23 $\pm$ 1.58e	0.55
	1/50HS	14.08 $\pm$ 1.24f	12.72 $\pm$ 1.83e	0.90
	1/50HS+25 $\mu\text{mol/L Cu}$	5248.08 $\pm$ 221.02b	397.1 $\pm$ 21.29b	0.076
	25 $\mu\text{mol/L Cu}$	201.10 $\pm$ 14.01d	17.996 $\pm$ 1.46d	0.06

表中结果是平均值 $\pm$ S. D. ($n=3$); 同一栏中的不同字母表示显著性差异 ($P < 0.05$) (根据邓肯多重比较)

3.3 全营养缺失及铜胁迫对海州香薷矿质元素吸收的影响

3.3.1 铜对海州香薷矿质元素吸收的影响

表 3 显示的是铜对海州香薷两个种群矿质元素吸收的影响。从表 3 可看出, 过量铜对矿区种群植物矿质元素吸收积累的影响明显比非矿区种群小, 如矿区种群 P、Ca、Mg 矿质元素含量的变化不明显, 但非矿区种群除 Ca 含量变化较大外, 均随铜浓度的增加而急剧减少; 两个种群 Fe、K 和 Mn 元素随铜浓度的增加都有减少, 但矿区种群量减少明显比非矿区小。尤其是根 K 和 Mn, 在较低铜浓度 (25 $\mu\text{mol/L Cu}$) 处理时, 非矿区种群 K 和 Mn 含量分别是其对照的 41.7% 和 31.4%, 而矿区种群分别为对照的 88.2% 和 94.4%。

3.3.2 营养缺失及与铜复合对海州香薷矿质元素吸收的影响

表 4 显示的是营养缺失及与 Cu 复合对海州香薷两个种群矿质元素吸收的影响。营养缺失条件下, 两个种群根中元素含量均有明显的减少, 但仍然表现为非矿区种群降低的幅度比矿区种群大。地上部分元素含量的变化则没有根显著。在营养缺失和铜复合作用下, 除根 Ca 和 Fe 元素增加外, 其它元素含量均进一步减少。其中根 K 和 Mn 含量减少更为显著, 矿区种群分别为对照的 35.4% 和 25.97%, 非矿区种群分别为对照的 15.8% 和 8.7%。

4 讨论

重金属能干扰植物对必需营养元素的吸收和运输, 从而影响植物体内矿质营养组成, 最终导致植物金属毒性效应的产生^[2]。铜虽然是植物必需重金属元素, 但过量会导致植物毒害。在本实验中, 过量铜明显减少

了海州香薷非矿区种群对矿质营养 P, Mg, K, Mn 的吸收和运输,增加了根 Ca 的吸收和积累(表 3),而对矿区种群的影响则不明显。这种现象在铜和全营养缺少复合胁迫下也有相同表现:矿区种群影响小,而非矿区种群影响显著(表 4)。通常认为,铜毒产生的第一个效应是根细胞膜的损伤,继而引起离子流失、脂质过氧化及原生质膜受损^[13]。根 K 元素含量的显著减少常常说明根膜受损程度,本实验中矿区耐性种群的减少量明显比非矿区少,说明矿区种群根膜受损程度比非矿区种群小。因此,海州香薷耐性种群可能具有较强的防止铜毒产生的能力,保证细胞膜不受或少受损伤,因而能维持植物体内矿质营养的相对稳定。

表 3 海州香薷两个种群在 14d 的铜处理后根矿质元素含量(mg/g 干重; Mn: $\mu\text{g/g}$ 干重)

Table 3 Mineral concentrations (mg/g DW; Mn and Zn: $\mu\text{g/g}$ DW) in plant tissues of two *Elsholtzia haichouensis* populations after 14 days of hydroponic culture with various copper concentrations

元素 Elements	根 Root Control	地上部分 Shoot				
		25 $\mu\text{mol/L}$ Cu	100 $\mu\text{mol/L}$ Cu	Control	25 $\mu\text{mol/L}$ Cu	100 $\mu\text{mol/L}$ Cu
P-CS	3.96 $\pm$ 0.68 b	4.60 $\pm$ 0.32 a	3.82 $\pm$ 0.29 b	3.41 $\pm$ 0.04a	3.39 $\pm$ 0.15a	3.18 $\pm$ 0.31a
-UCS	3.49 $\pm$ 0.38 b	2.71 $\pm$ 0.32d	2.48 $\pm$ 0.22e	3.45 $\pm$ 0.26a	2.17 $\pm$ 0.08b	1.86 $\pm$ 0.07c
Ca-CS	1.55 $\pm$ 0.096 c	1.42 $\pm$ 0.45cd	1.60 $\pm$ 0.28c	21.40 $\pm$ 1.69 bc	23.59 $\pm$ 3.42b	26.22 $\pm$ 2.05 a
-UCS	1.15 $\pm$ 0.07 e	3.07 $\pm$ 0.15 b	3.84 $\pm$ 0.69 a	23.66 $\pm$ 2.42 b	18.32 $\pm$ 3.04 d	21.27 $\pm$ 1.93bc
Mg-CS	11.45 $\pm$ 1.95b	14.87 $\pm$ 0.54a	13.66 $\pm$ 2.23ab	9.37 $\pm$ 0.78a	10.10 $\pm$ 1.09a	10.14 $\pm$ 1.11a
-UCS	10.32 $\pm$ 1.69b	8.44 $\pm$ 0.87c	3.70 $\pm$ 0.33d	9.03 $\pm$ 0.57a	8.20 $\pm$ 0.97b	4.90 $\pm$ 0.31c
Fe-CS	1.66 $\pm$ 0.33 c	1.19 $\pm$ 0.21d	0.88 $\pm$ 0.01e	0.21 $\pm$ 0.08a	0.21 $\pm$ 0.02a	0.16 $\pm$ 0.044b
-UCS	1.98 $\pm$ 0.19b	2.62 $\pm$ 0.25a	0.66 $\pm$ 0.04f	0.10 $\pm$ 0.005d	0.09 $\pm$ 0.007e	0.13 $\pm$ 0.01c
K-CS	83.81 $\pm$ 3.73a	73.91 $\pm$ 3.55b	59.89 $\pm$ 6.46c	39.23 $\pm$ 0.09b	43.60 $\pm$ 2.49a	35.39 $\pm$ 3.15bc
-UCS	78.47 $\pm$ 2.64ab	32.76 $\pm$ 4.70d	11.16 $\pm$ 4.29e	34.75 $\pm$ 0.84c	31.24 $\pm$ 1.27d	33.52 $\pm$ 0.76c
Mn-CS	60.37 $\pm$ 5.16a	56.97 $\pm$ 2.20a	35.995 $\pm$ 8.24b	53.15 $\pm$ 5.14a	50.58 $\pm$ 10.51a	34.77 $\pm$ 5.04b
-UCS	64.13 $\pm$ 2.85a	20.11 $\pm$ 5.87c	8.63 $\pm$ 2.49d	50.03 $\pm$ 3.80a	24.67 $\pm$ 2.33c	18.72 $\pm$ 5.05d

表中结果是平均值 $\pm$ S. D. ($n=3$); 同一行中以及同一元素两个种群间的不同字母表示处理水平及种群间的显著差异($P<0.05$), 据邓肯检验

表 4 全营养缺失(1/50HS)及与 Cu 复合胁迫 14d 处理后海州香薷两个种群根和地上矿质元素含量(mg/g 干重; Mn, $\mu\text{g/g}$ 干重)

Table 4 Mineral concentrations (mg/g DW; Mn, $\mu\text{g/g}$ DW) of roots in plant tissues of two *E. haichouensis* populations after 14 days of hydroponic culture with general nutrient deficiency and its mix with Cu

元素 Elements	根 Root Control	地上部分 Shoot				
		1/50HS	1/50HS+25 $\mu\text{mol/L}$ Cu	Control	1/50HS	1/50HS+25 $\mu\text{mol/L}$ Cu
P-CS	3.96 $\pm$ 0.68 a	3.10 $\pm$ 0.18b	2.80 $\pm$ 0.25 c	3.41 $\pm$ 0.035a	3.17 $\pm$ 0.14 b	2.69 $\pm$ 0.34 c
-UCS	3.49 $\pm$ 0.38ab	1.99 $\pm$ 0.06d	1.64 $\pm$ 0.31e	3.45 $\pm$ 0.26 a	2.57 $\pm$ 0.21c	2.28 $\pm$ 0.18d
Ca-CS	1.55 $\pm$ 0.1c	0.79 $\pm$ 0.05e	1.78 $\pm$ 0.047b	21.40 $\pm$ 1.69a	22.32 $\pm$ 4.61a	22.20 $\pm$ 2.53a
-UCS	1.15 $\pm$ 0.07 d	0.78 $\pm$ 0.08 e	4.39 $\pm$ 1.25 a	23.66 $\pm$ 2.42a	18.78 $\pm$ 0.167b	13.09 $\pm$ 3.97c
Mg-CS	11.45 $\pm$ 1.95a	9.73 $\pm$ 0.83b	8.07 $\pm$ 2.04c	9.37 $\pm$ 0.78a	9.28 $\pm$ 0.69a	7.80 $\pm$ 0.47b
-UCS	10.32 $\pm$ 1.69a	5.22 $\pm$ 0.87d	2.21 $\pm$ 0.23e	9.03 $\pm$ 0.57a	7.84 $\pm$ 1.29b	6.83 $\pm$ 0.41c
Fe-CS	1.66 $\pm$ 0.33 a	0.47 $\pm$ 0.1c	0.53 $\pm$ 0.04c	0.21 $\pm$ 0.08b	0.20 $\pm$ 0.04b	0.30 $\pm$ 0.08a
-UCS	1.98 $\pm$ 0.19a	0.32 $\pm$ 0.04d	0.890 $\pm$ 0.055b	0.22 $\pm$ 0.01b	0.19 $\pm$ 0.01b	0.101 $\pm$ 0.01c
K-CS	83.81 $\pm$ 3.73a	50.64 $\pm$ 2.76c	29.66 $\pm$ 1.09e	39.23 $\pm$ 2.51a	35.3 $\pm$ 1.30ab	32.05 $\pm$ 3.88b
-UCS	78.47 $\pm$ 2.64a	33.50 $\pm$ 2.49d	12.37 $\pm$ 0.97f	34.75 $\pm$ 0.84ab	28.14 $\pm$ 1.54c	23.38 $\pm$ 2.32d
Mn-CS	60.37 $\pm$ 5.16a	34.79 $\pm$ 6.30b	15.68 $\pm$ 1.90c	53.15 $\pm$ 5.14a	38.02 $\pm$ 4.95b	40.86 $\pm$ 3.18b
-UCS	64.13 $\pm$ 2.85a	18.10 $\pm$ 2.73c	5.60 $\pm$ 1.46d	50.03 $\pm$ 3.80a	22.76 $\pm$ 3.78c	19.79 $\pm$ 8.46c

表中结果是平均值 $\pm$ S. D. ($n=3$); 根据邓肯多重比较分析,同一元素行中两个种群的不同字母表示显著性差异($P<0.05$)

Antosiewicz^[3]的研究证明,土豆和蝇子草的铅耐受品种对低营养胁迫同样表现出高的耐受性。海州香薷矿质营养胁迫实验结果显示,矿质营养缺失胁迫对海州香薷铜耐性种群生物量的影响明显小于非矿区(敏感)种群,在铜和低营养胁迫复合作用时也是如此(表 1)。这表明,海州香薷铜耐性种群对低营养胁迫同样具

有较高的耐受性。另一方面,在营养缺失胁迫条件下,铜耐性种群植物体内矿质营养组成(如 P, Mg, K 和 Mn)的变化明显比非矿区种群小(表 3)。因而,在营养胁迫或铜胁迫下,矿区种群具有较强的维持植物体内营养组成平衡的能力,这可能成为矿区种群在富铜土壤中正常生长的原因。也许矿区种群铜耐性和低营养胁迫耐性独立进化,但其生长的铜矿土壤因为具有高铜和低营养含量而选择在一起^[26]。然而,这两者在遗传上和生理上是否有联系需要进一步研究。

本实验中,较低铜浓度(25 $\mu\text{mol/L}$)明显促进了铜耐性种群的生长(生物量增加)(低营养胁迫也促进该种群根的生长),表现出明显的 hormesis 效应^[27],但该浓度明显抑制了非矿区种群生长,这可能与来源不同的种群具有不同的耐性阈值有关。矿区种群因长期生长于高铜污染土壤,已经形成高铜耐性生态型^[26],25 $\mu\text{mol/L}$ 铜浓度对于矿区种群来说,处于低剂量促进效应范围,而对于非矿区种群则处于高剂量抑制效应范围。然而,当 25 $\mu\text{mol/LCu}$ 和低营养胁迫共同作用时,矿区耐性种群植物生长也明显受到抑制(表 1)。这可能与其植物体内铜含量急剧增加有关。两因子共同处理时,矿区种群根铜含量是其单一铜处理的 25 倍,非矿区种群为 5 倍(表 2)。显然,低营养胁迫显著促进了植物对铜的吸收和富集。即使作为铜耐性种群,铜的过量积累超过了植物耐受限度,使植物生长受到抑制,导致生物量减少。

6 结论

总之,在铜和低营养胁迫下,海州香薷两个种群在生长、铜富集、耐性及矿质营养组成上存在明显差异。矿区种群不仅进化成铜耐受生态型,也进化为营养胁迫耐受生态型。铜和低营养胁迫对矿区种群植物矿质营养组成的影响明显小于非矿区种群。这表明海州香薷铜耐性种群体内矿质营养组成的稳定和平衡,在其铜耐性中起重要作用,这也是其能定居于富铜土壤的重要原因。这些结果为从营养稳定和平衡理论的角度进一步理解铜耐性机制提供了很好的思路。同时,低营养胁迫促进了植物对重金属铜的吸收和运转,这间接表明,营养元素充足可以减少植物重金属富集,也为避免农作物在营养不足条件下因重金属积累而产生毒害提供科学参考。

References:

- [1] Godbold D L, Kettner C. Lead influences root growth and mineral nutrition of *Picea abies* seedlings. *Journal of Plant Physiology*, 1991, 139(1): 95-99.
- [2] Monni S, Salemaa M, White C, Tuittila E, Huopalaainen M. Copper resistance of *Calluna vulgaris* originating from the pollution gradient of a Cu-Ni smelter, in southwest Finland. *Environmental Pollution*, 2000, 109(2): 211-219.
- [3] Antosiewicz D M. The relationships between constitutional and inducible Pb-tolerance and tolerance to mineral deficits in *Biscutella laevigata* and *Silene inflata*. *Environmental and Experimental Botany*, 1995, 35(1): 55-69.
- [4] Baker A J M, Walker P L. Ecophysiology of metal uptake by tolerant plants // Shaw A J, ed. *Heavy Metal Tolerance in Plants: Evolutionary Aspects*. Boca Raton, FL: CRC Press, 1990: 155-177.
- [5] Chen H M, Zhen C R, Tu C, Zhu Y G. Heavy Metal Pollution in Soils in Chian: Status and Countermeasures. *AMBIO*, 1999, 2: 130-134
- [6] Wallace A, Cha J W. Interactions involving copper toxicity and phosphorus deficiency in bush bean plants grown in solutions of low and high pH. *Soil Science*, 1989, 147(6): 430-431.
- [7] Xie X J, Xu Z B. *Elsholtzia haichowensis*-an indicator of copper mine. *Geological Acta*, 1952, 32(4): 360-368.
- [8] Ke W S, Xi H A, Yang Y, Wang W X, Chen S J. Analysis on characteristics of Phytogeochemistry of *Elsholtzia haichowensis* in Daye Tonglushan copper mine. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(6): 907-912.
- [9] Tang S R, Wilke B M, Brooks R R. Heavy-metal uptake by metal-tolerant *Elsholtzia haichowensis* and *Commelina communis* from China. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2001, 32(5/6): 895-905.
- [10] Yang M J, Yang X E, Römheld V. Growth and nutrient composition of *Elsholtzia splendens* Nakai under copper toxicity. *Journal of Plant Nutrient*, 2002, 25(7): 1359-1375.
- [11] Jiang L Y, Yang X E, He Z L. Growth response and phytoextraction of copper at different levels in soils by *Elsholtzia splendens*. *Chemosphere*, 2004, 55(9): 1179-1187.
- [12] Shi J Y, Chen Y X, Huang Y Y, He W. SRXRF microprobe as a technique for studying elements distribution in *Elsholtzia splendens*. *Micron*, 2004, 35(7): 557-564.

- [13] Lou L Q, Shen Z G, Li X D. The copper tolerance mechanisms of *Elsholtzia haichowensis*, a plant from copper-enriched soils. *Environmental and Experimental Botany*, 2004, 51(2): 111-120.
- [14] Chen Y X, Wang Y P, Lin Q, Luo Y M. Effect of copper-tolerant rhizosphere bacteria on mobility of copper in soil and copper accumulation by *Elsholtzia splendens*. *Environment International*, 2005, 31(6): 861-866.
- [15] Liu J, Xiong Z T, Li T Y, Huang H. Bioaccumulation and ecophysiological responses to copper stress in two populations of *Rumex dentatus* L. from Cu contaminated and non-contaminated sites. *Environmental and Experimental Botany*, 2004, 52(1): 43-51.
- [16] Ke W S, Xiong Z T, Jin Z X, Ke S S. Differences of Cu uptake and acid phosphatase activities of two *Elsholtzia haichowensis* Sun populations. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(8): 3172-3181.
- [17] Zhang H X, Zhang F Q, Xia Y, Wang G P, Shen Z G. Excess copper induces production of hydrogen peroxide in the leaf of *Elsholtzia haichowensis* through apoplastic and symplastic CuZn-superoxide dismutase. *Journal of Hazardous Materials*, 2010, 178(1/3): 834-843.
- [18] Wu B, Susnea I, Chen Y X, Przybylski M, Becker J S. Study of metal-containing proteins in the roots of *Elsholtzia splendens* using LA-ICP-MS and LC-tandem mass spectrometry. *International Journal of Mass Spectrometry*, 2011, 307(1/3): 85-91.
- [19] Zhang J, Tian S K, Lu L L, Shohag M J I, Liao H B, Yang X E. Lead tolerance and cellular distribution in *Elsholtzia splendens* using synchrotron radiation micro-X-ray fluorescence. *Journal of Hazardous Materials*, 2011, 197: 264-271.
- [20] Zhang H X, Song Y F, Wang G P, Shen Z G. Identification of Cu-induced Protein in Root of *Elsholtzia haichowensis* under Cu Stress. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2011, 31(7): 1335-1339.
- [21] Ke W S, Xiong Z T, Xie M J, Xiong S L, Huang H, Li M J. Differences in Cu resistance and accumulation of *Elsholtzia haichowensis* Sun and *Daucus carota* L. populations from Cu mine sites and uncontaminated sites. *Chinese Journal of Environmental Engineering*, 2007, 1(5): 94-100.
- [22] Ke W S, Xiong Z T, Chen S J, Wang Z H. Differences of Cu accumulation and Cu-induced ATPase activity in roots of two populations of *Elsholtzia haichowensis* Sun. *Environmental Toxicology*, 2008, 23(2): 193-199.
- [23] Ke W S, Xiong Z T, Ke S S, Jin Z X. Effects of copper toxicity on photosynthesis and transpiration of three *Elsholtzia splendens* Nakai ex F. Maekawa populations. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(4): 1368-1375.
- [24] Liu J, Xiong Z T. Differences in accumulation and physiological response to copper stress in three populations of *Elsholtzia haichowensis* S. Water, Air, and Soil Pollution, 2005, 168(1/4): 5-16.
- [25] Huang M H, Luo Y M. Land remediation and ecological restoration of mined land. *Acta Pedologica Sinica*, 2003, 40(2): 161-169.
- [26] Ke W S, Xiong Z T, Chen S J, Chen J J. Effects of copper and mineral nutrition on growth, copper accumulation and mineral element uptake in two *Rumex japonicus* populations from a copper mine and an uncontaminated field sites. *Environmental and Experimental Botany*, 2007, 59(1): 59-67.
- [27] Calabrese E J, Baldwin L A. Defining hormesis. *Human and Experimental Toxicology*, 2002, 21(2): 91-98.

参考文献:

- [5] 陈怀满, 郑春荣, 涂从, 朱永官. 中国土壤重金属污染现状与防治对策. *AMBIO-人类环境杂志*, 1999, 28(2): 130-134.
- [8] 柯文山, 席红安, 杨毅, 王万贤, 陈世俭. 大冶铜绿山矿区海州香薷 (*Elsholtzia hai-chowensis*) 植物地球化学特征分析. *生态学报*, 2001, 21(6): 907-912.
- [20] 张红晓, 宋玉峰, 王桂萍, 沈振国. 铜胁迫下海州香薷根中铜诱导蛋白的鉴定. *西北植物学报*, 2011, 31(7): 1335-1339.
- [21] 柯文山, 熊治廷, 谢明吉, 熊双莲, 黄河, 李民敬. 不同来源的海州香薷和野胡萝卜的铜抗性及其铜积累差异. *环境工程学报*, 2007, 1(5): 94-100.
- [23] 柯文山, 熊治廷, 柯世省, 金则新. 铜毒对海州香薷 (*Elsholtzia splendens*) 不同种群光合作用和蒸腾作用的影响. *生态学报*, 2007, 27(4): 1368-1375.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 15 Aug. ,2013(Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- A review on the application of remote sensing in mangrove ecosystem monitoring SUN Yongguang, ZHAO Dongzhi, GUO Wenyong, et al (4523)
- Urban metabolism process based on emergy synthesis: Theory and method LIU Gengyuan, YANG Zhifeng, CHEN Bin (4539)
- Theoretical considerations on ecological civilization development and assessment ZHAO Jingzhu (4552)

Autecology & Fundamentals

- Assemblage composition and distribution of meiobenthos in the Yangtze Estuary and its adjacent waters in autumn-winter season Yu Tingting, XU Kuidong (4556)
- Ecological distribution and nutrient limitation of phytoplankton in adjacent sea of Guanhe Estuary in spring FANG Tao, HE Xinran, FENG Zhihua, et al (4567)
- The distribution of urea concentrations and urease activities in the coastal waters of Hainan Island during the spring HUANG Kaixuan, ZHANG Yun, OU Linjian, et al (4575)
- Effects of simulated acid rain on growth and bleeding sap amount of root in *Quercus mongolica* LIANG Xiaoqin, LIU Jian, DING Wenjuan, et al (4583)
- Allelopathic effects of organic acid allelochemicals on melon ZHANG Zhizhong, SUN Zhihao, CHEN Wenhui, et al (4591)
- Fraction changes of oxidation organic carbon in paddy soil and its correlation with CH₄ emission fluxes WU Jiamei, JI Xionghui, HUO Lianjie, et al (4599)
- Changes of soil nitrogen types and nitrate accumulation in vegetables with single or multiple application of dicyandiamide WANG Huangping, ZHANG Qing, WENG Boqi, et al (4608)
- Comparison of isolation rate of mycobacteriophage in the different type soils XU Fengyu, SU Shengbing, MA Hongxia, et al (4616)
- Effects of different acidity acid rain on yield, protein and starch content and components in two wheat cultivars BIAN Yajiao, HUANG Jie, SUN Qisong, et al (4623)
- The causes of *Gentiana straminea* Maxim. seeds dormancy and the methods for its breaking LI Bingbing, WEI Xiaohong, XU Yan (4631)
- Physiological responses of four golden-leaf trees to SO₂ stress CHONG Peifang, SU Shiping (4639)
- Influence of endosulfan and its metabolites on enzyme activities in purple soil XIONG Bailian, ZHANG Jinzhong, DAI Juan, et al (4649)

Population, Community and Ecosystem

- Seasonal dynamics of food web energy pathways at the community-level XU Jun, ZHOU Qiong, WEN Zhourui, et al (4658)
- Population dynamics of *Niviventer confucianus* in Thousand Island Lake ZHANG Xu, BAO Yixin, LIU Jun, et al (4665)
- Soil ecological stoichiometry under different vegetation area on loess hilly-gully region ZHU Qiulian, XING Xiaoyi, ZHANG Hong, et al (4674)
- Adaptation strategies of reproduction of plant community in response to grassland degradation and artificial restoration LI Yuanyuan, DONG Shikui, ZHU Lei, et al (4683)
- Effect of different *Cunninghamia lanceolata* plantation soil qualities on soil microbial community structure LIU Li, XU Mingkai, WANG Silong, et al (4692)
- Effects of different maize hybrids (inbreds) on the growth, development and population dynamics of *Rhopalosiphum maidis* Fitch ZHAO Man, GUO Xianru, LI Weizheng, et al (4707)
- Effects of forest canopy structure on understory vegetation characteristics of Funiu Mountain Nature Reserve LU Xunling, DING Shengyan, YOU Li, et al (4715)

- Influence of restoring cropland to grassland on dung beetle assemblages in Wuchuan County, Inner Mongolia, China LIU Wei, MEN Lina, LIU Xinmin (4724)
- Cu and nutrient deficiency on different effects of growth, tolerance and mineral elements accumulation between two *Elsholtzia haichouensis* populations KE Wenshan, CHEN Shijian, XIONG Zhiting, et al (4737)
- Measurement and retrieval of leaf area index using remote sensing data in Kanas National Nature Reserve, Xinjiang ZAN Mei, LI Dengqiu, JU Weimin, et al (4744)
- Landscape, Regional and Global Ecology**
- An spatial ecosystem services approach based on LUCC: a case study of Ganzhou district of Zhangye City LIANG Youjia, XU Zhongmin, ZHONG Fanglei, et al (4758)
- Spatiotemporal characteristics of *Spartina alterniflora* marsh change in the coastal wetlands of Yancheng caused by natural processes and human activities ZHANG Huabing, LIU Hongyu, Hou Minghang (4767)
- Process analysis and evaluation of wetlands degradation based on PCA in the lakeside of Napahai, Northwest Yunnan Plateau SHANG Wen, YANG Yongxing, HAN Dayong (4776)
- On eco-security evaluation in the Tumen River region based on RS&GIS NAN Ying, JI Zhe, FENG Hengdong, et al (4790)
- Evaluation and simulation of historical range of variability of forest landscape pattern in Huzhong area WU Zhifeng, LI Yuehui, BU Rencang, et al (4799)
- Effects of precipitation timing on aboveground net primary productivity in inner mongolia temperate steppe GUO Qun, HU Zhongmin, LI Xuanran, et al (4808)
- Research Notes**
- Litter production and decomposition of different forest ecosystems and their relations to environmental factors in different climatic zones of mid and eastern China WANG Jianjian, WANG Yongji, LAI Liming, et al (4818)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于1981年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大16开本,300页,国内定价90元/册,全年定价2160元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路18号 电话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

本期责任副主编 赵景柱

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33卷 第15期 (2013年8月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 15 (August, 2013)

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	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
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 90.00 元