ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

第 34 卷 第 7 期 Vol.34 No.7 2014

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版

中国科学院科学出版基金资助出版

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 34 卷 第 7 期　　2014 年 4 月　(半月刊)

目　　次

前沿理论与学科综述

青藏高原东北部 5000 年来气候变化与若尔盖湿地历史生态学研究进展 …… 何奕忻,吴　宁,朱求安,等 (1615)

天山云杉森林土壤有机碳沿海拔的分布规律及其影响因素…… 阿米娜木·艾力,常顺利,张毓涛,等 (1626)

个体与基础生态

小兴安岭红松日径向变化及其对气象因子的响应…… 李兴欢,刘瑞鹏,毛子军,等 (1635)

采伐剩余物对林地表层土壤生化特性和酶活性的影响…… 吴波波,郭剑芬,吴君君,等 (1645)

庞泉沟自然保护区典型森林土壤大团聚体特征 …… 白秀梅,韩有志,郭汉清 (1654)

思茅松天然林树冠结构模型…… 欧光龙,肖义发,王俊峰,等 (1663)

镁缺乏和过量胁迫对纽荷尔脐橙叶绿素荧光特性的影响…… 凌丽俐,黄　翼,彭良志,等 (1672)

斑块生境中食果鸟类对南方红豆杉种子的取食和传播…… 李　宁,王　征,鲁长虎,等 (1681)

重金属铅与两种淡水藻的相互作用…… 刘　璐,闫　浩,李　诚,等 (1690)

刺参养殖池塘初级生产力及其粒级结构周年变化…… 姜森颢,周一兵,唐伯平,等 (1698)

控(微囊)藻鲢、鳙排泄物光能与生长活性 …… 王银平,谷孝鸿,曾庆飞,等 (1707)

五爪金龙中香豆素类物质含量及其对福寿螺、水稻和稗草的影响 …… 犹昌艳,杨　宇,胡　飞,等 (1716)

种群、群落和生态系统

西双版纳国家级自然保护区勐腊子保护区亚洲象种群和栖息地评价…… 林　柳,金延飞,陈德坤,等 (1725)

莱州湾鱼类群落同功能种团的季节变化…… 李　凡,徐炳庆,马元庆,等 (1736)

长期不同施肥方式对麦田杂草群落的影响…… 蒋　敏,沈明星,沈新平,等 (1746)

极端干旱条件下燕麦垄沟覆盖系统水生态过程…… 周　宏,张恒嘉,莫　非,等 (1757)

景观、区域和全球生态

流域景观格局变化对洪枯径流影响的 SWAT 模型模拟分析 …… 林炳青,陈兴伟,陈　莹,等 (1772)

近 20 年青藏高原东北部禾本科牧草生育期变化特征 …… 徐维新,辛元春,张　娟,等 (1781)

丽江城市不同区域景观美学…… 郭先华,赵千钧,崔胜辉,等 (1794)

珠三角河网水域栅藻的时空分布特征…… 王　超,李新辉,赖子尼,等 (1800)

博斯腾湖细菌丰度时空分布及其与环境因子的关系…… 王博雯,汤祥明,高　光,等 (1812)

遗传算法支持下土地利用空间分形特征尺度域的识别…… 吴　浩,李　岩,史文中,等 (1822)

川西亚高山不同海拔岷江冷杉树轮碳稳定同位素对气候的响应…… 靳　翔,徐　庆,刘世荣,等 (1831)

基于 ESDA 的西北太平洋柔鱼资源空间热点区域及其变动研究…… 冯永玖,陈新军,杨铭霞,等 (1841)

城乡与社会生态

基于居民生态认知的非使用价值支付意愿空间分异研究——以三江平原湿地为例……
…… 高 琴,敖长林,陈红光,等 (1851)
浑河河水及其沿岸地下水污染特征 …… 崔 健,都基众,王晓光 (1860)
社会生态系统及脆弱性驱动机制分析 …… 余中元,李 波,张新时 (1870)

研究简报

等渗 NaCl 和 $Ca(NO_3)_2$胁迫对黄瓜幼苗生长和生理特性的影响 …… 周 珩,郭世荣,邵慧娟,等 (1880)

专家观点

关于“生态保护和建设”名称和内涵的探讨 …… 沈国舫 (1891)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 282 * zh * P * ￥90.00 * 1510 * 29 * 2014-04

封面图说:红豆杉人工林——红豆杉为常绿针叶乔木,树高可达 25m,属国家一级保护植物。红豆杉中含有的紫杉醇,具有独特的抗癌机制和较高的抗癌活性,能阻止癌细胞的繁殖、抑制肿瘤细胞的迁移,是世界公认的抗癌药。红豆杉在我国共有 4 个种和 1 个变种,即云南红豆杉、西藏红豆杉、东北红豆杉、中国红豆杉和南方红豆杉(变种)。由于天然红豆杉稀缺,国家严禁采伐利用,因而我国南方很多地方都采取人工种植的方法生产利用。人工种植的南方红豆杉在南方山区多呈斑块状分布,斑块生境中鸟类对红豆杉种子的传播有重要的影响。

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/stxb201211051545
刘璐,闫浩,李诚,李源,周杨,张庭廷.重金属铅与两种淡水藻的相互作用.生态学报,2014,34(7):1690-1697.
Liu L, Yan H, Li C, Li Y, Zhou Y, Zhang T T.Interactions between heavy metal lead and two freshwater algae.Acta Ecologica Sinica,2014,34(7):1690-1697.

重金属铅与两种淡水藻的相互作用

刘 璐,闫 浩,李 诚,李 源,周 杨,张庭廷*
(安徽师范大学生命科学学院;生物环境与生态安全安徽省高校重点实验室,芜湖 241000)

摘要:为了研究重金属铅与淡水藻类之间的相互作用,采用不同 Pb^{2+} 浓度处理铜绿微囊藻(*Microcysis aeruginosa* Kutz.)和斜生栅藻[*Scenedesmus obliquus* (Turp.)Kutz.],分别对两种藻的生物量、藻液电导率、$O_2^{\cdot-}$ 含量、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)活性以及藻对 Pb^{2+} 的吸收作用等进行了测定,并通过扫描电镜观察了不同 Pb^{2+} 浓度处理下两种藻细胞的表面结构。结果显示:(1) Pb^{2+} 浓度低于 3 mg/L 促进铜绿微囊藻生长,高于 9 mg/L 抑制其生长;但在 3—12 mg/L 范围内,Pb^{2+} 均明显抑制了斜生栅藻的生长,说明斜生栅藻对 Pb^{2+} 毒性的敏感程度要高于铜绿微囊藻。(2) 受到铅离子的胁迫,两种藻细胞膜通透性均有一定改变,扫描电子显微镜的照片观察,两种藻细胞表面的絮状物随着 Pb^{2+} 的升高而增多,尤其是斜生栅藻细胞结构改变明显,多数细胞变形破裂;同时,$O_2^{\cdot-}$ 含量升高,POD、CAT 活性早期均可随 Pb^{2+} 的增加而上升,表明氧自由基的产生增多以及由其引起的细胞生理生化改变可能是铅离子作用于藻细胞的主要机制。(3)两种淡水藻对 Pb^{2+} 均有吸收作用,单位量藻细胞内,斜生栅藻对 Pb^{2+} 的吸收能力好于铜绿微囊藻。所有结果提示:斜生栅藻不仅可以作为对重金属敏感的指示生物来监测水体 Pb^{2+} 污染程度;同时由于斜生栅藻比铜绿微囊藻具有更好的 Pb^{2+} 吸收能力,因此还可以利用斜生栅藻作为处理水体 Pb^{2+} 的生物材料。

关键词:铅;铜绿微囊藻;斜生栅藻;相互作用

Interactions between heavy metal lead and two freshwater algae

LIU Lu, YAN Hao, LI Cheng, LI Yuan, ZHOU Yang, ZHANG Tingting*
The Key Laboratory of Biotic Environment and Ecological Safety in Anhui Province, College of Life Sciences, Anhui Normal University, Wuhu 241000, *China*

Abstract: To get a better understanding of interactions between heavy metal lead and freshwater algae *Microcysis aeruginosa* Kutz. and *Scenedesmus obliquus* (Turp.) Kutz., the algal biomass, electrical conductivity (EC) of supernatant, concentration of superoxide anion radical ($O_2^{\cdot-}$), activities of POD and CAT as well as the absorption of Pb^{2+} by algal were determined respectively at different concentrations of Pb^{2+}, and the surface structure of two algae cells was contrasted by scanning electron microscopy. The results showed as follows: (1) 3 mg/L of Pb^{2+} accelerated the growth of *M. aeruginosa*, and the opposite effects were observed when exposed to more than 9 mg/L of Pb^{2+}; however, the growth of *S. obliquus* was obviously inhibited when the concentrations of Pb^{2+} ranged from 3 to 12 mg/L. The effects of Pb^{2+} on the two kinds of freshwater algae indicated that *S. obliquus* was more sensitive to the Pb^{2+} pressure. (2) The membrane permeability of the two algae cells was changed under the stress of Pb^{2+}. The photos of scanning electron microscopy showed that the superficial flocs of the two algae cells increased with the increasing of Pb^{2+}, and numerous cells deformed or ruptured evidently, especially for *S. obliquus*. Meanwhile, the increases of O_2^{-} contents were exhibited and the activities of POD and CAT in the two algae were advanced with increasing of Pb^{2+} concentration at the early stage, which indicated that the main mechanisms of Pb^{2+} acting on two algae involve the increasing production of superoxide anion radical and the accompanying physiological

基金项目:国家自然科学基金项目(31170443)
收稿日期:2012-11-05; **修订日期**:2013-05-13
* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: cyhztt@mail.ahnu.edu.cn

and biochemical changes of the algae. (3) Pb^{2+} can be absorbed by the two algae, and moreover *S. obliquus* had higher capacity of Pb^{2+} absorption than *M. aeruginosa* did at the unit cells. From the above points, compared with the *M. aeruginosa*, *S. obliquus* can be used not only as a biological indicator for monitoring heavy metal pollution levels, but also as a biological material to deal with water Pb^{2+} contamination due to its ability of Pb^{2+} absorption.

Key Words: lead; *M. aeruginosa*; *S. obliquus*; interactions

近年来,我国重特大重金属污染事件时有发生,其中,以铅污染尤为突出。由于进入水体中的重金属会随着食物链传递而在生物体内积累,破坏生物的正常代谢与功能,最终对水生态系统以及人类健康造成危害[1-2]。在水体重金属污染的防控研究中,浮游藻类因其某些独特的优势而备受关注。一方面藻类是水生生态系统的初级生产者,外来重金属的侵入必然会使生长在水体中的各种藻类首先受到不同程度的毒害,在对高等水生植物无可见伤害的低剂量污染情况下,藻类就可能出现形态和生理指标的变化[3]。因此,利用一些对重金属敏感的藻类作为指示生物,可以监测水体重金属污染的程度[4-9]。另一方面,浮游藻类生长速度快,不少藻类对重金属具有较强富集作用,因此浮游藻类被认为是一类处理水体中重金属污染的优良生物材料[10],筛选适宜藻类去除水体中的重金属,被认为是一项高效、低耗、经济、环保、具有广阔应用前景的新型技术[11]。到目前为止,关于浮游藻类对重金属的吸附、吸收作用已有一些研究,但是重金属铅与水体最常见水华蓝藻铜绿微囊藻和常见绿藻斜生栅藻之间的相互作用却几乎未见报道。因此,本研究深入探讨了铅与铜绿微囊藻、斜生栅藻之间的相互作用,以便为铅污染的预警以及生物治理提供重要的理论与实验依据。

1　材料和方法

1.1　实验材料

实验藻种铜绿微囊藻(*M. aeruginosa* Kutz.)和斜生栅藻(*S. obliquus* (Turp.) Kutz.)均购自中科院武汉水生生物研究所,分别采用 BG-11[12] 和 HB-4[13] 培养基培养。

1.2　实验方法

1.2.1　藻的培养

实验前一周,两种藻分别用培养基进行扩大培养。无菌条件下,在已洗净灭菌的 1000 mL 三角锥形瓶中加入 100 mL BG-11 培养基,接入铜绿微囊藻藻种,摇匀,置光照培养箱中进行培养。培养条件:光照度 4000 lx,光周期 12L∶12D,温度(24±2) ℃,pH 值 7.0 。每天摇动锥形瓶 4 次,每 24 h 添加 100 mL 新鲜培养基,培养至藻细胞进入对数生长期。斜生栅藻的培养基用 HB-4 培养基,其他培养条件同铜绿微囊藻。

无菌条件下,取上述藻液分别加入到 500 mL 已灭菌三角烧瓶,加入新鲜无菌 BG-11 或 HB-4 培养基,然后加入 $Pb(NO_3)_2$,铜绿微囊藻的起始密度为 7.5×10^5 个/mL,斜生栅藻的起始密度为 3×10^5 个/mL,Pb^{2+} 终浓度为 3,6,9,12 mg/L,每组 3 个平行,对照组不加 $Pb(NO_3)_2$,培养条件同藻种扩大培养。

1.2.2　相关试验指标的测定

主要测定的指标有:藻细胞的形态变化,藻细胞计数,测定反映膜通透性的电导率的变化,测定超氧化物阴离子自由基($O_2^{\cdot-}$)含量、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)活性以及藻细胞内 Pb^{2+} 含量,除酶活力和 Pb^{2+} 含量最后一天测定,其余各指标每隔 24 h 测定 1 次。

藻生物量变化通过细胞计数来反映;电导率用电导仪测定;$O_2^{\cdot-}$ 含量参照萧华山等测定[14];过氧化氢酶(CAT)活性的测定参照 Patra 等方法[15];过氧化物酶(POD)活性测定参照改进的 Cakmak 等方法[16]。

1.2.3　藻对铅的吸收处理方法

取藻液 50 mL,用 15 μg/mL 的 $NaHCO_3$ 和蒸馏水各洗 3 次,然后烘干、称重及消化处理,用 J-8000 原子吸收分光光度计测定铅含量。

藻细胞形态的观察采用扫描电镜。取藻细胞,2500 rpm 离心收获,采用无菌培养基洗 2—3 次,置于 2.5% 戊二醛中固定 2 h,再用新鲜配制的 0.1 mol/L PBS 缓冲液冲洗 3 次,最后用系列乙醇

(脱水剂的乙醇浓度依次为 30%—50%—70%—80%—90%—100%乙醇(两次)脱水,醋酸异戊酯置换后,CO_2临界点干燥,金属喷镀,扫描电镜观察。

1.3 数据处理

实验数据的处理采用 SPSS13.0 软件,图用 Excel 软件制作。对照组和处理组之间采用单因素方差分析,$P<0.05$ 表示有显著性差异;$P<0.01$ 表示有极显著性差异。

2 结果和分析

2.1 铅对两种藻生物量的影响

图 1 和图 2 是不同浓度 Pb^{2+}对两种藻生长动态的影响。图 1 显示,Pb^{2+}对铜绿微囊藻的抑制强度与 Pb^{2+}浓度呈正相关。从第 4 天开始,浓度为 3,6 mg/L 处理组的藻细胞数均比同期对照组高;在第 6 天时,3 mg/L 处理组与对照组差异达到极显著($P<0.01$),说明低浓度(3 mg/L)Pb^{2+}对铜绿微囊藻的生长有促进作用;然而 9,12 mg/L 处理组藻细胞数目始终低于同期对照组,在第 6 天时,两处理组与对照组相比差异极显著($P<0.01$),说明高浓度(9,12 mg/L)Pb^{2+}对铜绿微囊藻的生长有抑制作用。该结果表明在 3—12 mg/L 范围内,Pb^{2+}对铜绿微囊藻的生长起着低促高抑的效果。

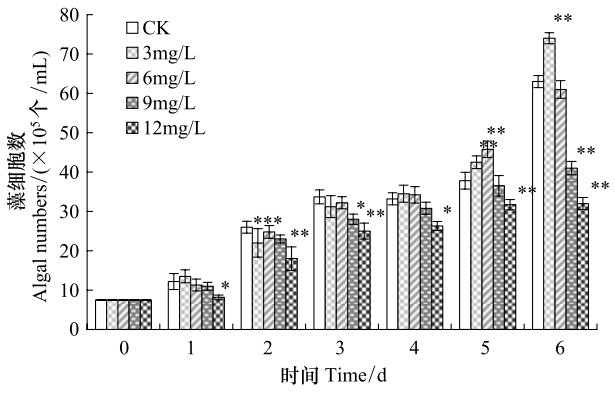

图 1 Pb^{2+}对铜绿微囊藻生长的影响

Fig.1 The effects of Pb^{2+} on the growth of *M.aeruginosa*

* 与同期对照组比较,$P<0.05$; ** 与同期对照组比较,$P<0.01$

图 2 显示,不同浓度(3—12 mg/L)的 Pb^{2+}对斜生栅藻均有非常明显地抑制作用。从第 1 天开始,各处理组的藻细胞数目就明显低于同期对照组($P<0.01$),说明 Pb^{2+}对斜生栅藻有较强的抑制作用。同时还表明,在 Pb^{2+}浓度为 3—12 mg/L 范围内,其对斜生栅藻的抑制作用要明显大于对铜绿微囊藻,说明了斜生栅藻对 Pb^{2+}的毒性敏感程度较铜绿微囊藻强烈。

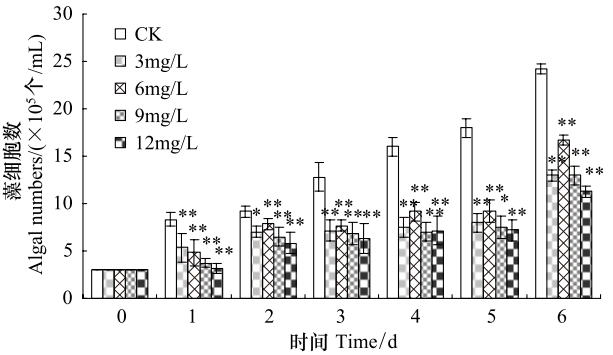

图 2 Pb^{2+}对斜生栅藻生长的影响

Fig.2 The effects of Pb^{2+} on the growth of *S. obliquus*

** 与同期对照组比较,$P<0.01$

2.2 铅对两种藻膜通透性的影响

如表 1 所示,随着 Pb^{2+}浓度的升高以及作用时间的延长,铜绿微囊藻藻液电导率的变化没有呈现出明显的变化规律,虽然在第 2 天,铜绿微囊藻 3—9 mg/L 处理组藻液电导率随 Pb^{2+}浓度的升高而逐渐上升,与同期对照组相比 6, 9 mg/L 处理组差异显著($P<0.05$),但在第 6 天,除最高浓度组(12 mg/L)与同期对照组相比差异显著($P<0.05$)外,其余各组却差异不显著。提示在 Pb^{2+}胁迫下,铜绿微囊藻细胞膜的通透性可有部分改变,但 Pb^{2+}对铜绿微囊藻的抑制作用可能还有更为复杂的作用机制。

表 2 显示,在第 2、4 天时,各处理组与同期对照组相比差异显著,均高于对照组,表明由于环境胁迫,斜生栅藻细胞膜首先受到影响,使一些小分子物质外渗,造成藻液电导率上升;但与 Pb^{2+}作用于铜绿微囊藻的结果相似,到第 6 天时,斜生栅藻各处理组电导率与同期对照组相比差异也无显著性,不能简单通过细胞膜通透性改变来解释 Pb^{2+}对此两种藻类的抑制作用机制。

2.3 铅对两种藻 $O_2^{\cdot-}$ 的影响

如表 3—表 4 所示,各处理组 $O_2^{\cdot-}$ 含量随着 Pb^{2+}浓度的上升而逐渐升高,且与同期对照组相比差异显著($P<0.05$)或极显著($P<0.01$),提示铜绿微囊藻和斜生栅藻受到 Pb^{2+}的胁迫后可能导致了脂质过氧化的链锁反应,使得各处理组 $O_2^{\cdot-}$ 含量显著增加。

表 1　Pb^{2+}对铜绿微囊藻藻液电导率的影响/×10^3

Table 1　Effect of Pb^{2+} on conductivity of *M.aeruginosa* /×10^3

Pb^{2+}浓度 Pb^{2+} contens/(mg/L)	铜绿微囊藻藻液电导率 conductivity of *M.aeruginosa*/(μs/cm)			
	第 0 天	第 2 天	第 4 天	第 6 天
CK	2.20±0.00	2.16±0.01	2.21±0.01	2.22±0.03
3	2.20±0.00	2.19±0.03	2.16±0.05 *	2.22±0.02
6	2.20±0.00	2.20±0.04 *	2.20±0.01	2.20±0.03
9	2.20±0.00	2.22±0.01 *	2.18±0.02 *	2.20±0.01
12	2.20±0.00	2.17±0.02	2.17±0.01 *	2.15±0.00 *

表中数据为平均值±SE(n=3)，* 与同期对照组比较,P<0.05；** 与同期对照组比较,P<0.01

表 2　Pb^{2+}对斜生栅藻藻液电导率的影响/×10^3

Table 2　Effect of Pb^{2+} on conductivity of *S. obliquus* /×10^3

Pb^{2+}浓度 Pb^{2+} contens/(mg/L)	斜生栅藻藻液电导率 conductivity of *S. obliquus*/(μs/cm)			
	第 0 天	第 2 天	第 4 天	第 6 天
CK	0.75±0.00	0.62±0.02	0.59±0.00	0.60±0.15
3	0.75±0.00	0.65±0.01 *	0.62±0.02 *	0.61±0.01
6	0.75±0.00	0.65±0.01 *	0.62±0.01 *	0.61±0.01
9	0.75±0.00	0.66±0.01 *	0.62±0.01 *	0.61±0.02
12	0.75±0.00	0.66±0.00 *	0.62±0.03 *	0.61±0.01

表中数据为平均值±SE(n=3)；* 与同期对照组比较,P<0.05；** 与同期对照组比较,P<0.01

表 3　Pb^{2+}对铜绿微囊藻 $O_2^{\cdot-}$ 含量的影响

Table 3　Effect of Pb^{2+} on $O_2^{\cdot-}$ contents of *M.aeruginosa*

Pb^{2+}浓度 Pb^{2+} contens/(mg/L)	铜绿微囊藻 $O_2^{\cdot-}$ 含量 $O_2^{\cdot-}$ contents of *M.aeruginosa*/(μmol/L)			
	第 0 天	第 2 天	第 4 天	第 6 天
CK	0.85±0.00	0.45±0.20	0.55±0.09	0.80±0.05
3	0.85±0.00	0.75±0.05 **	0.65±0.20 *	0.90±0.05
6	0.85±0.00	0.80±0.00 **	0.70±0.03 *	1.00±0.24 *
9	0.85±0.00	0.65±0.08 **	0.75±0.09 **	1.15±0.15 **
12	0.85±0.00	0.70±0.14 *	0.80±0.50 **	1.15±0.60 **

表中数据为平均值±SE(n=3)；* 与同期对照组比较,P<0.05；** 与同期对照组比较,P<0.01

表 4　Pb^{2+}对斜生栅藻 $O_2^{\cdot-}$ 含量的影响

Table 4　Effect of Pb^{2+} on $O_2^{\cdot-}$ contents of *S. obliquus*

Pb^{2+}浓度 Pb^{2+} contens/(mg/L)	斜生栅藻 $O_2^{\cdot-}$ 含量 $O_2^{\cdot-}$ contents of *S. obliquus*/(μmol/L)			
	第 0 天	第 2 天	第 4 天	第 6 天
CK	0.20±0.00	0.20±0.22	0.20±0.06	0.25±0.10
3	0.20±0.00	0.30±0.03 **	0.25±0.03 *	0.45±0.10 **
6	0.20±0.00	0.30±0.35 **	0.30±0.10 **	0.45±0.17 **
9	0.20±0.00	0.35±0.03 **	0.45±0.26 **	0.50±0.29 **
12	0.20±0.00	0.55±0.08 **	0.50±0.28 **	0.55±0.29 **

表中数据为平均值±SE(n=3)；* 与同期对照组比较,P<0.05；** 与同期对照组比较,P<0.01

2.4　铅对两种藻 POD、CAT 活性的影响

由图 3 可知,随着 Pb^{2+}浓度的增加,铜绿微囊藻和斜生栅藻藻细胞内的 POD 活性均呈先上升后下降的趋势,活性达到最大时,分别是对照组的 166.16%(铜绿微囊藻实验组)和 209.17%(斜生栅藻实验组),之后逐渐降低,但即便是当 POD 的活性达到最低时,也分别是对照组的 133.04% 和 124.40%。

由图 3 所示,铜绿微囊藻和斜生栅藻藻细胞内的 CAT 活性随 Pb^{2+}浓度的上升而增加,活性达到最大时,分别是对照组的 255.40%和 222.01%,与同期对照组相比差异极显著(P<0.01)。

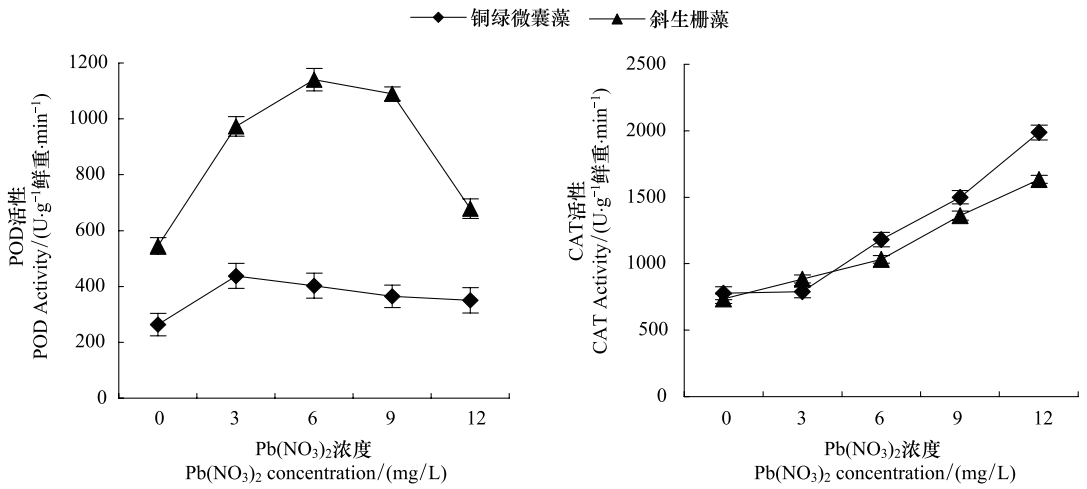

图 3 不同浓度的 Pb^{2+} 处理对铜绿微囊藻和斜生栅藻 POD 和 CAT 活性的影响

Fig.3 Effects of different concentrations of Pb^{2+} exposure on POD and CAT activities of *M.aeruginosa* and *S. obliquus*

2.5 两种藻对铅的吸收作用

如图 4 所示,随着藻液中 Pb^{2+} 浓度的上升,铜绿微囊藻和斜生栅藻藻细胞中 Pb^{2+} 含量均呈先上升后下降的趋势,在 Pb^{2+} 浓度为 9 mg/L 时达最高,藻细胞内最高 Pb^{2+} 含量分别为:22.73 mg/g、36.59 mg/g,表明在 3—9 mg/L 时,两种藻对 Pb^{2+} 的吸收能力随 Pb^{2+} 浓度的上升而增强,在 9 mg/L 以上浓度时两种藻吸收 Pb^{2+} 的吸收能力开始下降,这可能由于高浓度时,Pb^{2+} 对两种藻的生长有较强抑制性,藻细胞功能受阻,以致对 Pb^{2+} 的吸收能力开始下降。但单位量藻细胞内,斜生栅藻对 Pb^{2+} 的吸收能力明显好于铜绿微囊藻

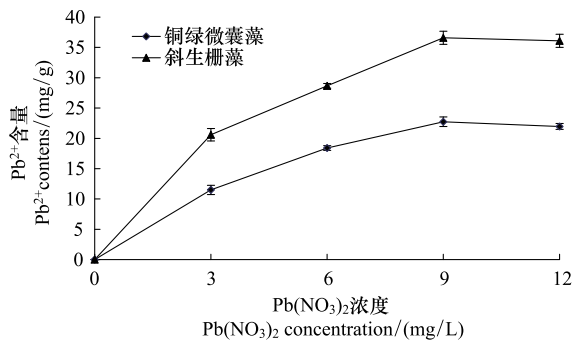

图 4 不同 Pb^{2+} 浓度下铜绿微囊藻和斜生栅藻细胞内 Pb^{2+} 含量

Fig.4 The intra-celluar Pb^{2+} content of *M. aeruginosa* and *S. obliquus* under different concentrations of Pb^{2+} treatment after 6 days

2.6 不同铅浓度下两种藻的表面结构

图 5 左侧图显示的是不同浓度下铜绿微囊藻藻细胞的表面结构,在不含 Pb^{2+} 的条件下,藻细胞个体分明,细胞表面光滑;在低浓度(3—6 mg/L)时,藻细胞仍是个体分明,但细胞表面开始有絮状物,且絮状物随 Pb^{2+} 浓度的上升而增加;在高浓度(9—12 mg/L)时,藻细胞表面和周围分布着大量的絮状物,细胞个体不分明,常见多个细胞及其细胞碎片粘合在一起。

图 5 右侧图显示的是不同浓度下斜生栅藻藻细胞的表面结构。同样,在不含 Pb^{2+} 的条件下,藻细胞个体分明,细胞表面光滑;在浓度为 3 mg/L 的处理组中,藻细胞个体仍然分明,但细胞表面开始有絮状物;随着 Pb^{2+} 浓度的上升,藻细胞表面和周围絮状物明显增多,细胞个体不分明,细胞形态改变,出现破裂现象,常见多个细胞及其细胞碎片粘合在一起。

由两组图比较可以看出,斜生栅藻对 Pb^{2+} 较敏感,Pb^{2+} 对斜生栅藻的作用要强于对铜绿微囊藻,这与前面 Pb^{2+} 对两组藻细胞生长趋势的影响一致。

3 结论与讨论

3.1 Pb^{2+} 对斜生栅藻和铜绿微囊藻均具有明显的毒性作用,但对铜绿微囊藻的毒性要小于对斜生栅藻,且对铜绿微囊藻的生长具有双重影响,低浓度 Pb^{2+} 能促进生长,这一结论与何学佳的研究结果一致[17],而高浓度的 Pb^{2+} 才抑制其生长,即低促高抑。这可能的原因较为复杂,一方面可能与该两藻细胞的表面结构不同有关;另外,是否铜绿微囊藻能通过释放微囊藻毒素对胞外的重金属离子进行络合,从而妨碍了重金属离子的跨膜转运,使铜绿微囊藻对

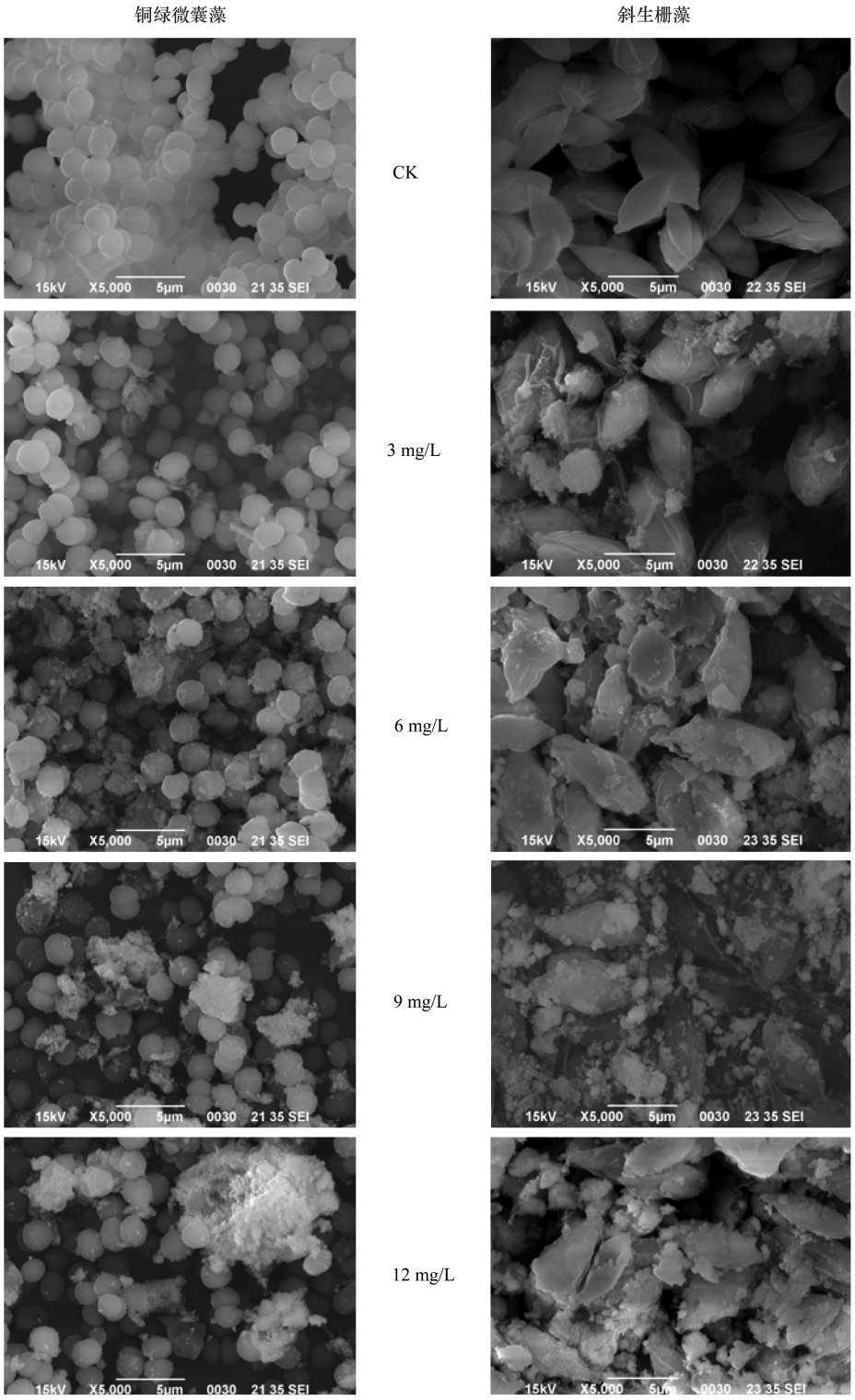

图 5　不同 Pb^{2+} 浓度下铜绿微囊藻和斜生栅藻细胞的表面结构

Fig.5　Superficial structure of *M.aeruginosa* and *S. obliquus* under different concentrations Pb^{2+} treatment after 6 days

重金属表现出一定的耐受性呢? 有关藻毒素对重金属离子的生物有效性本课题组正在进行深入研究。从本研究 Pb^{2+} 对两藻的毒性机制还可看出,高浓度的 Pb^{2+} 不仅破坏了细胞膜的通透性,大量无机盐和有机物质外渗,而且通过两藻的细胞表面结构图可以看出两种藻细胞表面有大量絮状物,甚至出现粘连现象,这可能是由于细胞破裂后细胞碎片等与细胞粘结在一起所致。再者,Pb^{2+} 迫使细胞内 O_2^- 含量

增加,细胞膜脂质过氧化增强,当细胞内氧自由基浓度超过一定范围时,细胞内抗氧化酶系统不能将其及时清除,从而出现抗氧化酶活性开始升高以后降低的现象,抗氧化酶含量减少,又进一步加大了 Pb^{2+} 对两种藻的毒害。

3.2 铜绿微囊藻和斜生栅藻对铅均有良好吸收作用。国内外大量研究都表明藻类对重金属具有较强的富集能力[18-21]。如孔石莼对 Pb^{2+} 的单层饱和结合量为 0.715 mg/g[20],海带对 Pb^{2+} 的吸附量为 1.33 mmol/g[21]。然而像这些用海藻处理重金属的研究比较广泛,对于用淡水藻来处理重金属的研究却相对较少。本试验结果显示常见淡水藻铜绿微囊藻和斜生栅藻对 Pb^{2+} 均有良好吸收作用。在一定范围(3—9 mg/L)内,两种藻对 Pb^{2+} 的吸收能力随 Pb^{2+} 浓度的上升而增强,在 9 mg/L 以上浓度时两种藻吸收 Pb^{2+} 的吸收能力才开始下降;单位量藻细胞内,斜生栅藻对 Pb^{2+} 的吸收能力要高于铜绿微囊藻。

综合以上结果,由于斜生栅藻对 Pb^{2+} 更为敏感,因此,可以考虑如何能利用斜生栅藻来作为对重金属铅的敏感指示生物来监测水体 Pb^{2+} 污染程度;同时,相比一些大型海藻如石莼,斜生栅藻对 Pb^{2+} 具有较好的吸收作用,最高单位吸收量可达 36.59 mg/g,而且斜生栅藻是不产生毒素的绿藻类,对环境污染较小,因此斜生栅藻具有开发成为处理水体铅污染良好生物材料的潜能。

References:

[1] Mountouris A, Voutsas E, Tassios D. Bioconcentration of heavy metals in aquatic environments: the importance of bioavailability. Marine Pollution Bulletin, 2002, 44(10): 1136-1141.

[2] MüllerY M R, Kobus K, Schatz J C, Ammar D, Nazari E M. Prenatal lead acetate exposure induces apoptosis and changes GFAP expression during spinal cord development. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2012, 75: 223-229.

[3] Whiton B A. Toxicity of Heavy Metals to Freshwater Algae: A Review. Phykos, 1970, 9: 116-125.

[4] Garcia M E, Demichelis S O, Ferrari L, Salibian A. Methodological procedure for toxicity assessment of water quality: algal assays. Toxicology Letters, 1998, 95(S1): 240-240.

[5] Wong S L, Wainwright J F, Pimenta J. Quantification of total and metal toxicity in wastewater using algal bioassays. Aquatic Toxicology, 1995, 31(1): 57-75.

[6] Levkov Z, Krstic S. Use of algae for monitoring of heavy metals in the River Vardar, Macedonia. Mediterranean Marine Science, 2002, 3(1): 99-112.

[7] Abdallah M A M, Abdallah A M A. Biomonitoring study of heavy metals in biota and sediments in the south eastern coast of Mediterranean sea, Egypt. Environmental Monitoring and Assessment, 2008, 146(1/3): 139-145.

[8] Chakraborty N, Banerjee A, Pal R. Biomonitoring of lead, cadmium and chromium in environmental water from Kolkata, North and South 24-Parganas using algae as bioreagent. Journal of Algal Biomass Utilization, 2011, 2(3): 27-41.

[9] Feng T J, Song C, Chen J Z. Environmental indication function of aquatic algae. Agricultural Science and Technology, 2011, 13(5): 1060-1066.

[10] Debelius B, Forja J M, Delvalls Á, Lubián L M. Toxicity and bioaccumulation of copper and lead in five marine microalgae. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2009, 72(5): 1503-1513.

[11] Zhi T T, Cheng L H, Xu X H, Zhang L, Chen H L. Advances on heavy metals removal from aqueous solution by algae. Progress in Chemistry, 2011, 23(8): 1782-1794.

[12] Rippka R, Deruelles J, Waterbury J B, Herdman M, Stanier R Y. Generic assignments, strain histories and properties of pure cultures of cyanobacteria. Journal of General Microbiology, 1979, 111(1): 1-61.

[13] Zheng C Y, Zhang T T. Growth inhibition of ellagic acid on *Microcystis aeruginosa* and *Scenedesmus obliquus*. Journal of Anhui Normal University: Natural Science, 2008, 31(3): 469-472.

[14] Xiao H S, He W J, Fu W Q, Cao H Y, Fan Z N. A spectrophotometer method testing oxygen radicals. Progress in Biochemistry and Biophysics, 1999, 26(2): 180-182.

[15] Patra H, Kar M, Mishra D. Catalase activity in leaves and cotyledons during plant development and senescence. Biochemie und Physiologie der Pflanzen, 1978, 172(4): 385-390.

[16] Cakmak I, Marschner H. Magnesium deficiency and high light intensity enhance activities of superoxide dismutase, ascorbate peroxidase, and glutathione reductase in bean leaves. Plant Physiology, 1992, 98(4): 1222-1227.

[17] He X J, Peng X Y. The influence of lead on marine microalgae by a flow cytometry. Marine Environmental Science, 2003, 22(1): 1-5.

[18] Chen S J, Zheng W J, Yang F. Study advances on heavy metals bio-absorbed by cyanobacteria. Marine Environmental Science, 2006, 25(4): 103-106.

[19] Wang K, Colica G, Liu Y D, Li D H. Studies on biosorption of copper and chromium by cyanobacterial bloom biomass. Acta Hydrobiologica Sinica, 2011, 35(6): 1056-1059.

[20] Wei H F, Liu C F, Zhang J X, Liu H M. The uptake of Pb^{2+}, Cu^{2+}, Cd^{2+} by *Ulva pertusa*. Environmental Science and Management, 2008, 33(8): 51-53.

[21] Yin P H, Zhao L, Yu Q M, Matheickal J T. Biosorption of lead,

copper and cadmium by marine macro algae. Marine Environmental Science, 2009, 19(3): 11-15.

参考文献:

[9] 冯天翼, 宋超, 陈家长. 水生藻类的环境指示作用. 中国农学通报, 2011, 27(32): 257-265.

[11] 支田田, 程丽华, 徐新华, 张林, 陈欢林. 藻类去除水体中重金属的机理及应用. 化学进展, 2011, 23(8): 1782-1794.

[13] 郑春艳, 张庭廷. 鞣花酸对铜绿微囊藻和斜生栅藻的生长抑制作用. 安徽师范大学学报: 自然科学版, 2008, 31(3): 469-472.

[14] 萧华山, 何文锦, 傅文庆, 曹红云, 范子南. 一种用分光光度计检测氧自由基的新方法. 生物化学与生物物理进展, 1999, 26(2): 180-182.

[17] 何学佳, 彭兴跃. 应用流式细胞仪研究 Pb 对海洋微藻生长的影响. 海洋环境科学, 2003, 22(1): 1-5.

[18] 陈思嘉, 郑文杰, 杨芳. 蓝藻对重金属的生物吸附研究进展. 海洋环境科学, 2006, 25(4): 103-106.

[19] 王坎, Colica G, 刘永定, 李敦海. 水华蓝藻生物质对 Cu 和 Cr 金属离子的生物吸附. 水生生物学报, 2011, 35(6): 1056-1059.

[20] 魏海峰, 刘长发, 张俊新, 刘恒明. 孔石莼(*Ulva pertusa*)对铅、铜、镉的吸收. 环境科学与管理, 2008, 33(8): 51-53.

[21] 尹平河, 赵玲, Yu Q M, Matheickal J T. 海藻生物吸附废水中铅、铜和镉的研究. 海洋环境科学, 2009, 19(3): 11-15.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34, No.7 Apr., 2014 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

The 5000-year climate change of northeastern Qinghai-Tibetan Plateau and historical ecology of Zoige wetlands ..... HE Yixin, WU Ning, ZHU Qiu'an, et al (1615)

Altitudinal distribution rule of *Picea schrenkiana* forest's soil organic carbon and its influencing factors ..... Aminem ELI, CHANG Shunli, ZHANG Yutao, et al (1626)

Autecology & Fundamentals

Daily stem radial variation of *Pinus koraiensis* and its response to meteorological parameters in Xiaoxing'an mountain ..... LI Xinghuan, LIU Ruipeng, MAO Zijun, et al (1635)

Effects of logging residues on surface soil biochemical properties and enzymatic activity ..... WU Bobo, GUO Jianfen, WU Junjun, et al (1645)

Characteristics of soil macroaggregates under typical forests in Pangquangou Nature Reserve ..... BAI Xiumei, HAN Youzhi, GUO Hanqing (1654)

Modeling tree crown structure of Simao pine (*Pinus kesiya* var. *langbianensis*) natural forest ..... OU Guanglong, XIAO Yifa, WANG Junfeng, et al (1663)

Influence of magnesium deficiency and excess on chlorophyll fluorescence characteristics of Newhall navel orange leaves ..... LING Lili, HUANG Yi, PENG Liangzhi, et al (1672)

Seed foraging and dispersal of Chinese yew (*Taxus chinensis* var. *mairei*) by frugivorous birds within patchy habitats ..... LI Ning, WANG Zheng, LU Changhu, et alg (1681)

Interactions between heavy metal lead and two freshwater algae ..... LIU Lu, YAN Hao, LI Cheng, et al (1690)

Annual variations of the primary productivity and its size-fractioned structure in culture ponds of *Apostichopus japonicus* Selenka ..... JIANG Senhao, ZHOU Yibing, TANG Boping, et al (1698)

Growth and photosynthetic activity of *Microcystis* colonies after gut passage through silver carp and bighead carp ..... WANG Yinping, GU Xiaohong, ZENG Qingfei, et al (1707)

Contents of two coumarins in *Ipomoea cairica* and their effects on *Pomacea canaliculata*, *Orzya sativa*, and *Echinochloa crusgalli* ..... YOU Changyan, YANG Yu, HU Fei, et al (1716)

Population, Community and Ecosystem

Population and habitat status of Asian elephants (*Elephas maximus*) in Mengla Sub-reserve of Xishuangbanna National Nature Reserve, Yunnan of China ..... LIN Liu, JIN Yanfei, CHEN Dekun, et ali (1725)

Seasonal changes of functional guilds of fish community in Laizhou Bay, East China ..... LI Fan, XU Bingqing, MA Yuanqing, et al (1736)

Effect of long-term fertilization pattern on weed community diversity in wheat field ..... JIANG Min, SHEN Mingxing, SHEN Xinping, et al (1746)

Ecological process of water transformation in furrow and ridge mulching system in oat field under extreme drought scenario ..... ZHOU Hong, ZHANG Hengjia, MO Fei, et al (1757)

Landscape, Regional and Global Ecology

Simulations and analysis on the effects of landscape pattern change on flood and low flow based on SWAT model ..... LIN Bingqing, CHEN Xingwei, CHEN Ying, et al (1772)

Phenological variation of alpine grasses (Gramineae) in the northeastern Qinghai-Tibetan Plateau, China during the last 20 years ..... XU Weixin, XIN Yuanchun, ZHANG Juan, et al (1781)

Landscape aesthetics in different areas of Lijiang City ..... GUO Xianhua, ZHAO Qianjun, CUI Shenghui, et al (1794)

Temporal and spatial pattern of *Scenedesmus* in the river web of the Pearl River Delta, China ..... WANG Chao, LI Xinhui, LAI Zini, et al (1800)

Spatiotemporal dynamics of bacterial abundance and related environmental parameters in Lake Bosten ····· WANG Bowen, TANG Xiangming, GAO Guang, et al (1812)

Scale domain recognition for land use spatial fractal feature based on genetic algorithm ····· WU Hao, LI Yan, SHI Wenzhong, et al (1822)

Relationships of stable carbon isotope of *Abies faxoniana* tree-rings to climate in sub-alpine forest in Western Sichuan ····· JIN Xiang, XU Qing, LIU Shirong, et al (1831)

An exploratory spatial data analysis-based investigation of the hot spots and variability of *Ommastrephes bartramii* fishery resources in the northwestern Pacific Ocean ····· FENG Yongjiu, CHEN Xinjun, YANG Mingxia, et al (1841)

Urban, Rural and Social Ecology

Spatial differentiation research of non-use value WTP based on the residents' ecological cognition: taking the sanjiang plain as a case ····· GAO Qin, AO Changlin, CHEN Hongguang, et al (1851)

Contamination characteristics in surface water and coastal groundwater of Hunhe River ····· CUI Jian, DU Jizhong, WANG Xiaoguang (1860)

Social ecological system and vulnerability driving mechanism analysis ····· YU Zhongyuan, LI Bo, ZHANG Xinshi (1870)

Research Notes

Effects of iso-osmotic $Ca(NO_3)_2$ and NaCl stress on growth and physiological characteristics of cucumber seedlings ····· ZHOU Heng, GUO Shirong, SHAO Huijuan, et al (1880)

View Point

The discussion about the designation and content of ecological conservation and construction ····· SHEN Guofang (1891)

《生态学报》2014 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研工作者,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研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,280 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　魏辅文　　**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 34 卷　第 7 期　(2014 年 4 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 34　No. 7 (April, 2014)

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
主　　编	王如松
主　　管	中国科学技术协会
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
出　　版	科学出版社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717
印　　刷	北京北林印刷厂
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
订　　购	全国各地邮局
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
广告经营许可证	京海工商广字第 8013 号

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
Editor-in-chief	WANG Rusong
Supervised by	China Association for Science and Technology
Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@ cspg.net
Domestic **Foreign**	All Local Post Offices in China China International Book Trading Corporation Add:P.O.Box 399 Beijing 100044, China

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