

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第31卷 第21期 Vol.31 No.21 **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 21 期

2011 年 11 月 (半月刊)

目 次

基于景观格局理论和理想风水模式的藏族乡土聚落景观空间解析——以甘肃省迭部县扎尕那村落为例·····	史利莎,严力蛟,黄璐,等 (6305)
武夷山风景名胜区景观生态安全度时空分异规律·····	游巍斌,何东进,巫丽芸,等 (6317)
旅游地道路生态持续性评价——以云南省玉龙县为例·····	蒋依依 (6328)
城市空间形态紧凑度模型构建方法研究·····	赵景柱,宋瑜,石龙宇,等 (6338)
丹顶鹤多尺度生境选择机制——以黄河三角洲自然保护区为例·····	曹铭昌,刘高焕,徐海根 (6344)
西南喀斯特区域水土流失敏感性评价及其空间分异特征·····	凡非得,王克林,熊鹰,等 (6353)
流域尺度海量生态环境数据建库关键技术——以塔里木河流域为例·····	高凡,闫正龙,黄强 (6363)
雌雄异株植物鼠李的生殖分配·····	王娟,张春雨,赵秀海,等 (6371)
长白山北坡不同年龄红松年表及其对气候的响应·····	王晓明,赵秀海,高露双,等 (6378)
不同高寒退化草地阿尔泰针茅种群的小尺度点格局·····	赵成章,任珩,盛亚萍,等 (6388)
残存银杏群落的结构及种群更新特征·····	杨永川,穆建平, TANG Cindy Q, 等 (6396)
濒危植物安徽羽叶报春两种花型的繁育特性及其适应进化·····	邵剑文,张文娟,张小平 (6410)
神农架海拔梯度上 4 种典型森林的乔木叶片功能性状特征·····	罗璐,申国珍,谢宗强,等 (6420)
不同植被恢复模式下煤矸石山复垦土壤性质及煤矸石风化物的变化特征·····	王丽艳,韩有志,张成梁,等 (6429)
火烧对黔中喀斯特山地马尾松林分的影响·····	张喜,崔迎春,朱军,等 (6442)
内蒙古高原锦鸡儿属植物的形态和生理生态适应性·····	马成仓,高玉葆,李清芳,等 (6451)
古尔班通古特沙漠西部梭梭种群退化原因的对比分析·····	司朗明,刘彤,刘斌,等 (6460)
白石砬子国家级自然保护区天然林的自然稀疏·····	周永斌,殷有,殷鸣放,等 (6469)
黑龙江省东完达山地区东北虎猎物种群现状及动态趋势·····	张常智,张明海 (6481)
基于 GIS 的马铃薯甲虫扩散与河流关系研究——以新疆沙湾县为例·····	李超,张智,郭文超,等 (6488)
2010 年广西兴安地区稻纵卷叶螟发生动态及迁飞轨迹分析·····	蒋春先,齐会会,孙明阳,等 (6495)
B 型烟粉虱对寄主转换的适应性·····	周福才,李传明,顾爱祥,等 (6505)
利用 PCR-DGGE 方法分析不同鸡群的盲肠微生物菌群结构变化·····	李永洙, Yongquan Cui (6513)
鸡粪改良铜尾矿对 3 种豆科植物生长及基质微生物量和酶活性的影响·····	张宏,沈章军,阳贵德,等 (6522)
铜绿微囊藻对紫外辐射的生理代谢响应·····	汪燕,李珊珊,李建宏,等 (6532)
10 种常见甲藻细胞体积与细胞碳、氮含量的关系·····	王燕,李瑞香,董双林,等 (6540)
冬季太湖表层底泥产毒蓝藻群落结构和种群丰度·····	李大命,孔繁翔,于洋,等 (6551)
城市机动车道颗粒物扩散对绿化隔离带空间结构的响应·····	蔺银鼎,武小刚,郝兴宇,等 (6561)
新疆城镇化与土地资源产出效益的空间分异及其协调性·····	杨宇,刘毅,董雯,等 (6568)
山东潍坊地下水硝酸盐污染现状及 $\delta^{15}\text{N}$ 溯源·····	徐春英,李玉中,李巧珍,等 (6579)
增温对宁夏引黄灌区春小麦生产的影响·····	肖国举,张强,张峰举,等 (6588)
一种估测小麦冠层氮含量的新高光谱指数·····	梁亮,杨敏华,邓凯东,等 (6594)
黄河上游灌区稻田 N_2O 排放特征·····	张惠,杨正礼,罗良国,等 (6606)
专论与综述	
植物源挥发性有机物对氮沉降响应研究展望·····	黄娟,莫江明,孔国辉,等 (6616)
植物种群更新限制——从种子生产到幼树建成·····	李宁,白冰,鲁长虎 (6624)
研究简报	
遮荫对两个基因型玉米叶片解剖结构及光合特性的影响·····	杜成凤,李潮海,刘天学,等 (6633)
学术信息与动态	
科学、系统与可持续性——第六届工业生态学国际大会述评·····	石海佳,梁赛,王震,等 (6641)
期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 340 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 37 * 2011-11	



封面图说: 鹤立——丹顶鹤是世界 15 种鹤数量极小的一种,主要栖息在沼泽、浅滩、芦苇塘等湿地,以捕食小鱼虾、昆虫、蛙蚺、软体动物为主,也吃植物的根茎、种子、嫩芽。善于奔驰飞翔,喜欢结群生活。丹顶鹤属迁徙鸟类,主要在我国的黑龙江、吉林、俄罗斯西伯利亚东部、朝鲜北部以及日本等地繁殖。在长江下游一带越冬。在中国文化中有“仙鹤”之说。被列为中国国家一级重点保护野生动物名录,濒危野生动植物种国际贸易公约绝对保护的 CITES 附录一物种名录。

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

汪燕, 李珊珊, 李建宏, 邓洁, 潘澄, 李朋富. 铜绿微囊藻对紫外辐射的生理代谢响应. 生态学报, 2011, 31 (21) : 6532-6539.

Wang Y, Li S S, Li J H, Deng J, Pan C, Li P F. Physiological response of *Microcystis* to solar UV radiation. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31 (21) : 6532-6539.

铜绿微囊藻对紫外辐射的生理代谢响应

汪 燕¹, 李珊珊¹, 李建宏^{1,*}, 邓 洁¹, 潘 澄¹, 李朋富²

(1. 南京师范大学生命科学学院, 江苏省生物技术和生物多样性重点实验室, 南京 210046; 2. 南京大学生命科学学院, 南京 210093)

摘要: 采用紫外(UV)滤膜过滤日光 UV 以及紫外灯添加 UV 的方法, 研究了 UV 辐射对铜绿微囊藻 *Microcystis aeruginosa* 单细胞藻株 PCC7806 和群体藻 XW01 生长及生理代谢的影响。结果显示, 在室内条件下低剂量 UV 辐射可促进群体微囊藻 XW01 生长; 室外条件下与滤除了 UV 的光照相比, 含有 UV 的完全日光更有利于微囊藻生长; 而相同的 UV 辐射强度均导致单细胞株死亡, 群体株显示了较强的 UV 抗性; 日光中的 UV 可促进 XW01 合成抗氧化相关的超氧化物歧化酶(SOD)和过氧化氢酶(CAT)、促进胞外多糖的产生并形成较大的群体、促进 UV 屏障物质类菌胞素氨基酸(MAAs)和伪枝藻素(Scy)积累。这些生理代谢的改变, 消除了阳光辐射中 UV 对微囊藻的伤害。研究的结果提示, 自然条件下阳光中的 UV 有助于群体微囊藻生长。

关键词: 紫外辐射; 微囊藻; 群体; 多糖; 抗紫外

Physiological response of *Microcystis* to solar UV radiation

WANG Yan¹, LI Shanshan¹, LI Jianhong^{1,*}, DENG Jie¹, PAN Cheng¹, LI Pengfu²

¹ Jiangsu Key Laboratory of Biodiversity and Biotechnology, Life Sciences College, Nanjing Normal University, Nanjing 210046, China

² School of Life Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093, China

Abstract: Toxic cyanobacteria *Microcystis* blooms often occur in eutrophic lakes around the world. During bloom-occurring, *Microcystis* population aggregates at the surface of water and is often exposed to strong UV radiation of sunlight. To evaluate the ecological function of solar UV on *Microcystis* bloom, we studied effects of UV radiation on two *M. aeruginosa* strains, the unicellular strain PCC7806 and the colonial strain XW01, by using a transparent UV protection film filtering out the solar UV from sunlight (cut off more than 90% UV radiation, “without UV”) in outdoor-culture, and using a 30 W UV lamp (1.25 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ at the surface of culture medium) adding artificial UV radiation in lab-culture. Results showed that the growth of XW01 in the whole solar light (the highest intensity of UV-297 and UV-254 was about 120 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ at noon, “with UV”) was better than in the light without UV in the outdoor-culture condition; the cell density (OD_{650nm}) of 6-day culture with UV was 35.8% higher than that without UV. In the lab condition, the low-intensity artificial UV at 18.75 J/m² daily radiation (repeat 5-second UV light with 20-second intervals, 30 cycles) improved the growth of XW01, the cell density of 6-day culture was 14.5% higher than the control (without UV). However, the same UV intensities killed the strain PCC7806 both of in the lab and outdoor experiments. These data show that a suitable UV radiation increase the growth of colonial XW01, and the colonial strain has a stronger resistance to UV than the unicellular strain.

To discover the mechanism of XW01 against UV, we investigated the changes of antioxidant protective enzymes superoxide dismutase (SOD) and catalase (CAT) in XW01 cultured with or without solar UV. The activities of SOD and CAT of XW01 cultured with solar UV were 86% and 34% above that without solar UV respectively. However, the same solar UV decreased the activities of SOD and CAT of PCC7806 by 42% and 39% respectively and caused the cell death.

基金项目: 国家重点基础研究发展计划 973 项目 (2008CB418004)

收稿日期: 2010-08-31; **修订日期:** 2011-05-23

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lijianhong@njnu.edu.cn

The data indicate that XW01 has stronger antioxidant ability than PCC7806.

Solar UV could induced accumulation of UV-protection compounds mycosporine-like amino acids (MAAs) and scytonemin (Scy) in XW01, the relative contents of MAA and Scy of the cells with solar UV were 27.3% and 23.4% higher than that of the cells without UV. These physiological reaction could be helpful for XW01 protecting from the damages caused by the solar UV.

Solar UV also increased the production of extracellular polysaccharides. In the 4-day culture of XW01, extracellular soluble polysaccharides and extracellular wall polysaccharides increased 12.5% and 22% respectively. The UV obviously improved the formation of larger colonies. The percentage of smallest colonies decreased from 20% to less than 3%, and larger colonies increased from 35% to 47%, average colonial size increased about 68%. The colonial size increasing was consistent with the production of extracellular polysaccharides. More extracellular polysaccharides should be benefit for bigger colony formation.

Above all, the results suggest that the solar UV should be helpful for colonial *Microcystis* growth. *Microcystis* bloom could effectively protect themselves from UV damages, and solar UV be helpful for *Microcystis* bloom forming in natural water body.

Key Words: UV radiation; microcystis; colony; polysaccharide; UV-protection.

我国滇池、巢湖和太湖等大型湖泊因微囊藻水华的爆发,对人们的生存环境质量构成了潜在的威胁^[1-2]。虽然众多的研究已确认氮磷等物质流入导致的富营养化、适当的温度、水流等是微囊藻水华形成的必要条件,但对水华形成的详细机理仍有许多待解的谜团。

强烈阳光中的 UV 成分,一般对生物都会产生不利影响,近年来已有很多关于 UV 作用于蓝藻的报道^[3-8],这些工作主要集中于对蓝藻伤害机理的研究,但对于自然阳光中 UV 对微囊藻水华的实际影响并无报道。微囊藻水华通常漂浮于水面,暴露于强烈阳光 UV 辐射下,却依然能良好生长,形成绝对的种群优势,其中必有一套能适应和抵抗 UV 的机制。关于太阳 UV 对微囊藻水华的影响机理,目前尚未见研究报道。

本研究用一株可稳定培养的群体铜绿微囊藻 XW01 为主要材料,比较分析了 UV 对群体和单细胞铜绿微囊藻生长的影响,探讨了 XW01 对 UV 的适应性机制,以期为进一步揭示微囊藻水华爆发机制提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 藻种及培养

铜绿微囊藻 *Microcystis. aeruginosa* PCC7806: 单细胞状态,由张承才教授惠赠;铜绿微囊藻 *M. aeruginosa* XW01: 群体状态,为本实验室分离培养。所有藻种均用 BG-11^[9] 进行培养;培养温度为 $(28 \pm 2)^\circ\text{C}$,光照强度为培养期间 $60 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$,24 h 连续光照,培养期间振荡摇匀。

1.2 太阳 UV 辐射处理

日光 UV 照射实验于 2009 年 10 月中旬天气持续晴朗期间开展(气温 $23\text{—}28^\circ\text{C}$)。500 mL 烧杯中加入 300 mL 藻液,初始浓度相同。UV 光照组将培养烧杯置于阳光直接照射下;7:00 置于阳光下,18:00 移入室内置于黑暗处。无 UV 组采用双层无色透明 UV 滤膜(紫外阻挡率 $>90\%$,南京金士威环保科技有限公司)滤除 UV,所有处理均设置 3 个重复。

实验期间测得实验地点一天中太阳辐射光强及 UV-254、UV-297 的强度(UV-B 型紫外辐射强度仪,北京师范大学)(图 1)。

1.3 室内 UV 处理

以 30 W 石英紫外灯(中心波长 254 nm)为 UV 光源(XHW-B 型,天津紫晶特种光源有限公司)。40 mL 藻置于 100 mL 锥形瓶中培养。UV 辐射处理时将藻液倒入直径 9 cm 高 1.8 cm 的培养皿中,培养皿距 UV 光

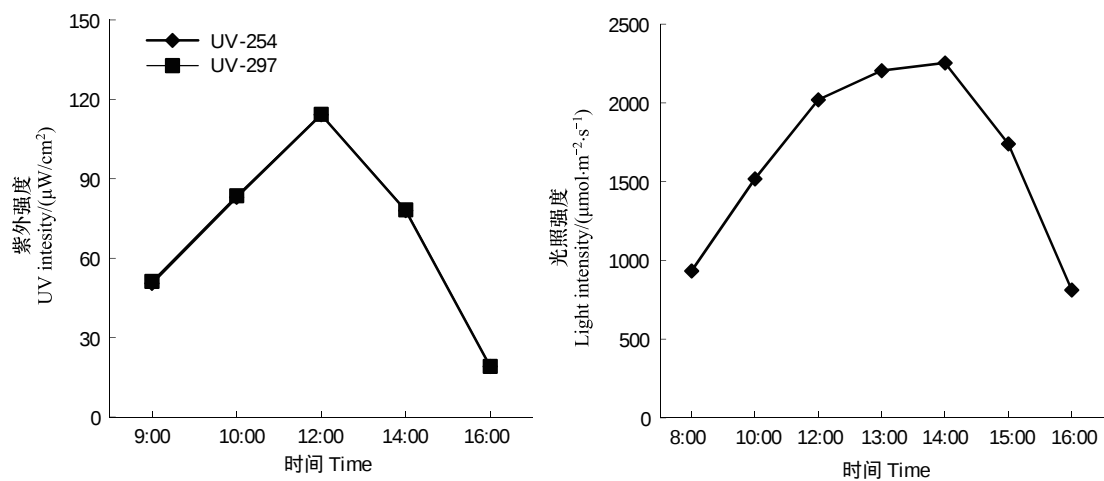


图1 实验期间的太阳光照辐射强度日变化

Fig. 1 Daily variation of solar irradiation during the experiment

源 40 cm (光强 $1.25 \mu\text{W}/\text{cm}^2$), 通过控制照射时间调整辐射剂量。照射时间分别为 0、5、8、10、15、20 s, 每天照射 30 次, 间隔 20 s, 各实验组每天的总 UV 照射剂量列于表 1。UV 照射后将藻液倒回培养瓶, 置于正常条件下继续培养。每组 5 个平行。

表 1 不同照射时间下的每天的总 UV 辐照剂量

Table 1 Daily UV irradiation amount of different exposure time

辐照时间 Exposure time/s	0	5	8	10	15	20
日辐照量 Daily amount/(J/m ²)	0	18.75	30.0	37.5	56.25	75.0

1.4 生长曲线的测定

群体株细胞在测定前先经涡旋振荡处理 3 min, 尽量使群体分散。用分光光度计测定 650 nm 的光吸收 (OD_{650}) 以确定藻的生长情况。

1.5 光合色素及 UV 屏障物质含量的测定

类菌孢素氨基酸 (mycosporine-like amino acids, MAAs) 含量测定采用甲醇提取法。取 8 mL 藻液离心去上清, 加体积分数为 30% 的甲醇 3 mL, 震荡使沉淀悬浮, 50 °C 水浴 30 min, 7 000 g 离心 5 min, 上清液即为水溶性色素提取液, 用紫外分光光度计 (54032PC, 岛津公司) 测定 UV 吸光光谱, 扫描波长范围 270—380 nm。以 MAAs 在 334 nm 的吸收峰值表示其相对含量^[10,11]。

伪枝藻素 (scytonemin, Scy) 含量测定采用丙酮提取法。取 3 mL 藻液, 9 000 g 离心 5 min, 沉淀加入 3 mL 丙酮, 于 4 °C 下暗处静置, 提取脂溶性色素 24 h, 然后 9 000 g 离心 5 min, 取上清液, 测定 384 nm 处的光吸收值^[10-11]。

叶绿素含量测定采用分光光度法^[12]; MAAs 和 Scy 的相对含量均以单位叶绿素的相对含量表示。

1.6 微囊藻群体大小的测定

用显微镜观察微囊藻, 随机观察 20 个视野, 通过显微测微尺测定所观察到群体的大小。用载玻片裁成“厚盖玻片”, 由于在盖玻片和载玻片之间, 微囊藻群体均被压成近似厚度的片状, 故采用长轴与短轴的乘积作为近似面积来估算群体的大小。

1.7 胞外多糖 (EPS) 和释放到培养基中的多糖 (RPS) 的测定

(1) EPS 含量测定 藻液冻融, 7 000 g 离心, 沉淀用蒸馏水洗涤、重悬浮; 沸水浴 4 h, 7 000 g 离心 15 min, 取上清用硫酸-苯酚比色法测定胞外多糖的质量浓度^[13]。

(2) RPS 含量测定 取培养 4 d 藻液离心沉淀, 上清液用两倍体积乙醇沉淀, 丙酮洗涤后, 用少量蒸馏水

悬浮。沸水浴 2 h 后,测定多糖浓度。

1.8 超氧化物歧化酶(SOD)和过氧化氢酶(CAT)活力测定

SOD 活性测定参考 Bewley 的方法^[14];CAT 活性测定采用钼酸盐法^[15]。

1.9 数据处理

数据结果表示为(平均值±标准差),用 *t*-test 检验试验组和对照组的差异显著性,显著水平为 0.05。

2 结果与分析

2.1 太阳 UV 辐射对微囊藻生长的影响

两株不同形态的微囊藻在全阳光和过滤消除了 UV 的条件下的生长情况如图 2 所示。单细胞株 PCC7806 在滤除了 UV 的光照下能良好地生长,但在有 UV 的太阳辐射条件下,细胞逐渐死亡,说明 PCC7806 对 UV 敏感。而群体株 XW01 在有 UV 的条件下,生长速度反而高于无 UV 的条件,培养第 6 天的藻浓度提高了 35.8%。这一结果显示,群体微囊藻不但可有效地消除太阳 UV 的伤害,并能更有效地利用强烈的太阳辐射。

为验证不同剂量 UV 对微囊藻生长的作用,在室内采用紫外灯添加 UV 进行实验。结果如图 3 所示,低剂量 UV 照射 5 s 对 XW01 生长显示出促进作用,培养 6 d 的藻浓度比对照高 14.5%。但同样条件下 PCC7806 却被 UV 杀死。高剂量的 UV 也显著抑制 XW01 的生长。这一结果验证了适量的 UV 辐射有益于群体微囊藻的生长。

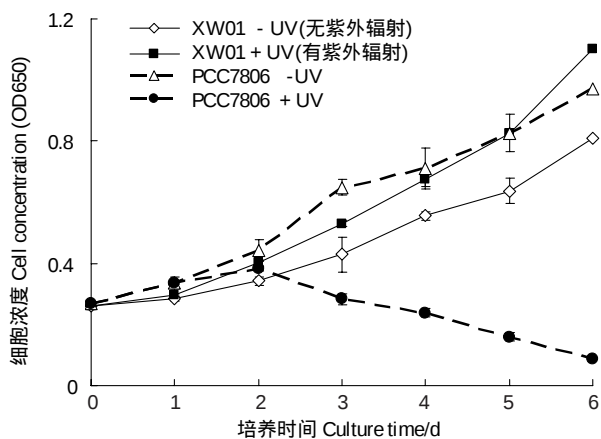


图2 阳光 UV 对微囊藻 PCC7806 和 XW01 生长的影响

Fig. 2 Effects of solar UV radiation on the growth of *M. aeruginosa* XW01 and PCC7806

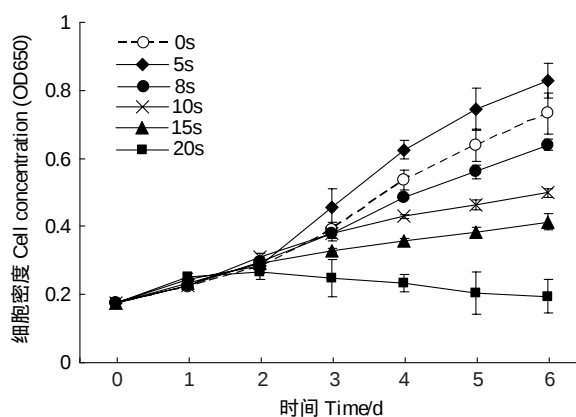


图3 不同剂量 UV 照射对微囊藻 XW01 生长的影响

Fig. 3 Effects of different UV intensities on the growth of *M. aeruginosa* XW01

2.2 太阳 UV 辐射对微囊藻 SOD 和 CAT 活性的影响

SOD 和 CAT 是细胞内的抗氧化酶体系中的重要组成,它们能有效清除细胞内的由于 UV 辐射等产生的活性氧自由基,是衡量植物抗逆性的重要指标^[16]。阳光下培养 4 d 的 2 株微囊藻中 SOD 和 CAT 活性变化如图 4 所示。在有 UV 的条件下 XW01 细胞内 SOD 和 CAT 的活性显著高于无 UV 条件下的水平,两种酶的活性分别提高了 86% 和 34%;而对 PCC7806 而言,由于强烈 UV 辐射对微囊藻的伤害,导致藻细胞开始死亡,SOD 和 CAT 的活性比无 UV 条件下显著下降,其下降率分别为 42% 和 39%。结果说明 XW01 有更强的修复 UV 损伤的能力。

2.3 太阳 UV 辐射对群体微囊藻细胞群体大小的影响

微囊藻群体的大小与其获得生态优势有关^[17]。由图 5 中的结果可见,在有 UV 辐射的条件下 XW01 的群体显著大于无 UV 的条件下的群体;在无 UV 的条件下,大于 $5 \times 10^3 \mu\text{m}^2$ 的群体占 35%,平均群体大小为 $(4.30 \pm 3.74) \mu\text{m}^2$;而在有 UV 辐射的条件下,增加到 47%,平均群体大小为 $(7.23 \pm 7.43) \mu\text{m}^2$,平均体积增大

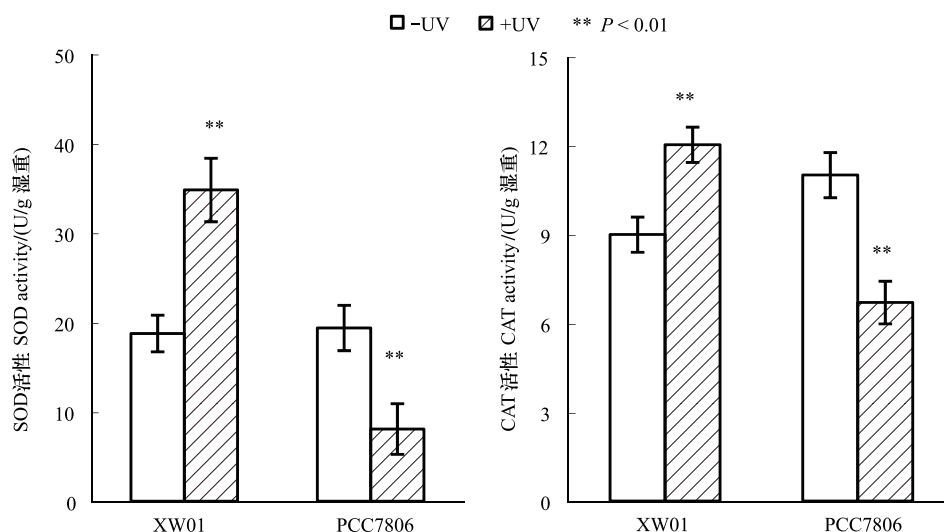


图4 太阳 UV 辐射对微囊藻 XW01 和 PCC7806 SOD 和 CAT 活性的影响

Fig. 4 Effects of solar UV on the SOD and CAT activities of *M. aeruginosa* XW01 and PCC7806 under radiation

了约 68%。特别是在有 UV 辐射的条件下,小于 $1 \times 10^3 \mu\text{m}^2$ 的小群体由 20% 减少到 3%。UV 辐射显著地促进了微囊藻形成较大的群体 ($P < 0.05$)。

2.4 太阳 UV 辐射对胞外微囊藻多糖产生的影响

蓝藻胞外多糖包括细胞壁多糖 (extracellular polysaccharides, EPS) 和释放到环境中的多糖 (extracellular soluble polysaccharides, RPS)。太阳 UV 辐射可促进 XW01 胞外多糖的产生 (图 6)。在有 UV 的条件下, XW01 的 RPS 含量相对增加了 12.5%, EPS 含量增加了 22%。多糖的增加有助于群体的形成^[17],这一结果与群体大小的变化一致。

2.5 太阳 UV 辐射下群体微囊藻 UV 屏障物质含量的变化

蓝藻生长于强烈阳光照射环境下可产生 MAAs 及 Scy 防御强光的伤害。由于这些物质对 UV 有强烈的吸收作用,可使 UV 在进入细胞之前就被过滤削弱,从而保护藻类细胞免受伤害^[18]。

MAAs 包括一系列无色、低分子量、具有单一吸收峰的水溶性物质,最大吸收峰介于 310—360 nm。*M. aeruginosa* 产生的 MAAs 主要是吸收峰位于 334 nm 的成分 (shinorine and porphyrin-334)^[3]。培养 4 d 的 XW01 藻细胞甲醇提取液扫描结果如图 7A,在太阳 UV 的作用下,310—360 nm 区域内的光吸收显著提高,其中 334 nm 的吸收峰为微囊藻 MAAs 的典型吸收峰,其相对含量比无 UV 组增加了 27.3%。

Scy 是存在于蓝藻胶质鞘上的屏蔽色素,对微囊藻 XW01 的 Scy 含量的分析结果显示 (图 7 B),UV 使 Scy 增加了 23% ($P < 0.01$)。

3 讨论

UV 辐射可产生氧自由基,破坏光合作用色素、DNA、蛋白质等细胞成分,对生物产生多种伤害。过去对于 UV 作用于蓝藻的研究多着重于其胁迫伤害作用^[8,19-22],而本研究的结果显示,室内低剂量的 UV 辐射和正常日光所含的 UV 辐射对群体微囊藻的群体生长有促进作用,这显然有利于漂浮于水面的微囊藻在自然环境下获得更多光照优势。这一结果与冯朝发现的低剂量的 UV 辐射对赤潮微藻的生长有一定的刺激作

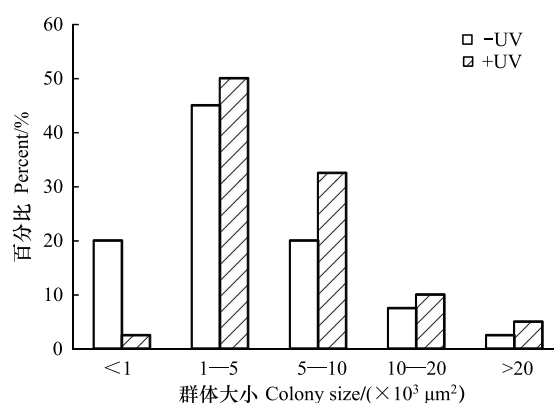


图5 太阳 UV 辐射对 XW01 群体大小的影响

Fig. 5 Effects of solar UV on colony sizes of *M. aeruginosa* XW01

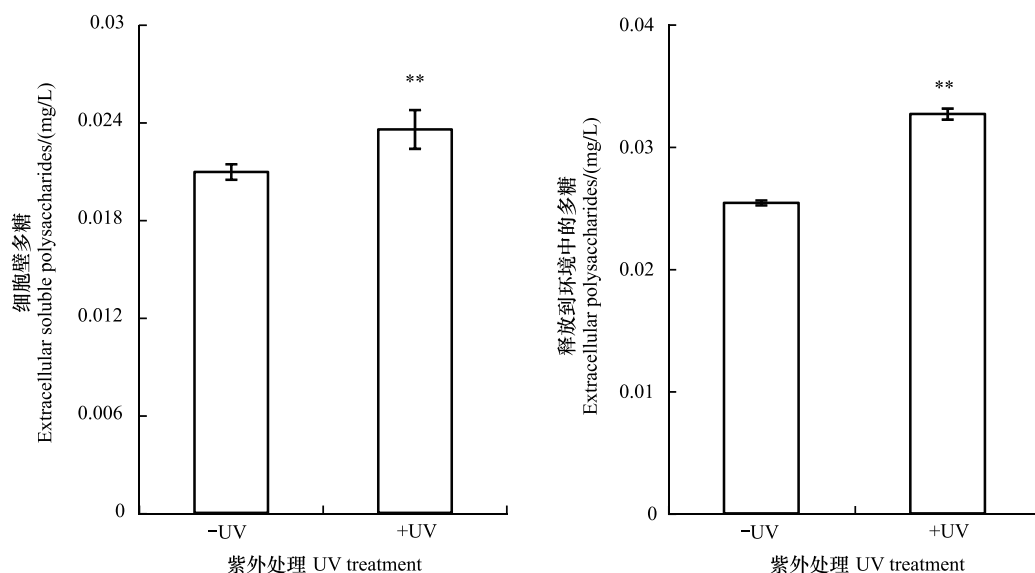


图 6 不同 UV 辐射强度对微囊藻 XW01 胞外多糖含量的影响

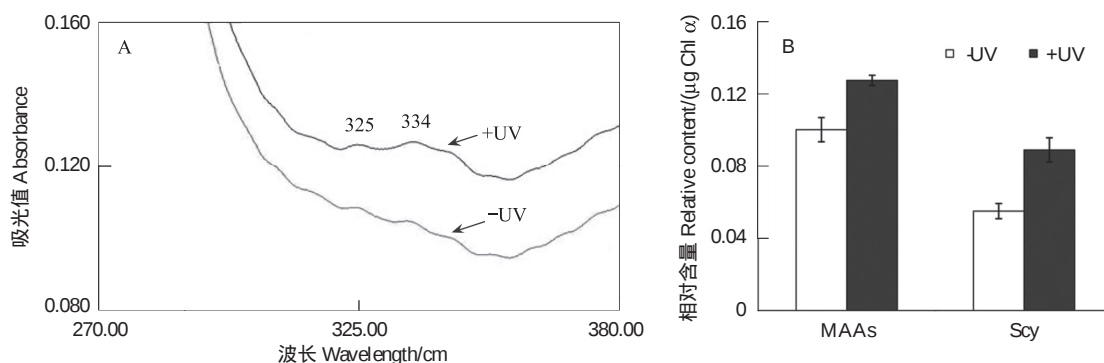
Fig. 6 EPS and RPS content of *M. aeruginosa* XW01 under solar UV radiation

图 7 太阳 UV 辐射对微囊藻 XW01 UV 屏障物质 MAAs 和 Scy 的影响

Fig. 7 Effects of solar UV radiation on the contents of UV-protection substances MAAs (B) and Scy in *M. aeruginosa* XW01

用^[23],以及李国才等报道的小剂量 UV 辐射对蓝藻有刺激效应相吻合^[24]。

从比较单细胞和群体两种不同形态的微囊藻来看,相同 UV 辐射强度下群体株所受到的影响要远远小于单细胞株(在本文的实验中 UV 照射均导致 PCC7806 死亡),细胞的团聚作用可能在减轻 UV 伤害方面起着重要的作用。周亚莉的研究表明,藻体相互靠近并集聚在一起是最直接和有效的抵御强光和 UV 的机制^[25],本文的结果也显示,日光 UV 可导致群体显著增大。自然水华中观察到的群体也常常具有较大的体积,其原因之一可能与抵御强烈的太阳辐射有关。

大多数藻类含有或经诱导后能合成 UV 屏障物质来抵抗 UV 的伤害^[18],藻类的屏障物质主要有伪枝藻素(Scy),类菌胞素氨基酸(MAAs)等^[26-28]。Scy 是一种脂溶性 UV 吸收物质,UV 辐射可诱导其合成^[29];富含 MAAs 的细胞对 UV 辐射具有较强的耐性,MAAs 既可吸收 UV 还可淬灭由于光氧化所产生的自由基,减少 UV 损伤^[30]。刘正文等报道铜绿微囊藻和太湖微囊藻有较高含量的 MAAs^[31]。本项研究结果证实,在太阳 UV 的诱导下铜绿微囊藻合成了较高含量的 UV 屏障物质,用于消除 UV 的损伤,适应水体表面高辐照度,这些代谢过程无疑对其维持在水面生存是有贡献的。

UV 辐射下,群体株的胞外多糖和释放到培养基中的多糖含量显著增加。胞外多糖的合成可提高微囊藻在 UV 照射下的存活能力^[32]。Wright 等对念珠藻的研究发现,胞外多糖能产生保护机制以抵抗 UV 辐射^[33]。

多糖可与 UV 吸收物质结合,形成有效的 UV 防护屏障^[11,34]。因此,太阳 UV 诱导的微囊藻胞外多糖增加,可协同防御 UV 的伤害。

综上所述,微囊藻可通过多种代谢机制消除 UV 辐射产生的危害,强烈阳光中的 UV 辐射并不会对漂浮在水面的微囊藻产生伤害作用,反而有利于其生长。这一机制可能有助于微囊藻水华的形成。

References:

- [1] Cai Q M. The Ecological Environment of Taihu. Beijing: China Meteorological Press, 1998.
- [2] Lian M, Chen C W, Yu S Z, Liu Y. The distribution of microcystin and its influence factors in Dianshan Lake in summer. China Environmental Science, 2000, 20(4): 323-327.
- [3] Sinha R P, Richter P, Faddoul J, Braun M, Häder D P. Effects of UV and visible light on cyanobacteria at the cellular level. Photochemical and Photobiological Sciences, 2002, 1(8): 553-559.
- [4] Liu P, Miao J L, Kan G F, Zhang B T, Li G Y. Effect of UV-B on the morphology and ultrastructure of a strain of antarctic cyanophyceae. Marine Sciences, 2004, 28(5): 21-25.
- [5] Sakai H, Ogawa K, Katayama H, Ohgaki S. Low-or medium-pressure UV lamp inactivation of *Microcystis aeruginosa*. Journal of Water and Environment Technology, 2005, 3(1): 55-61.
- [6] Lesser M P. Effects of ultraviolet radiation on productivity and nitrogen fixation in the Cyanobacterium, *Anabaena* sp. (Newton's strain). Hydrobiologia, 2008, 598(1): 1-9.
- [7] Gouvêa S P, Boyer G L, Twiss M R. Influence of ultraviolet radiation, copper, and zinc on microcystin content in *Microcystis aeruginosa* (Cyanobacteria). Harmful Algae, 2008, 7(2): 194-205.
- [8] Yuan K, Mao X Z, Tao Y, Zhang X H. Dynamic experiment on controlling of *Microcystis aeruginosa* by UV-C irradiation. Environmental Science, 2010, 31(2): 310-317.
- [9] Hua R C. The Cultivation and Use of Single-cell Algae. Beijing: China Agriculture Press, 1986.
- [10] Ye K X, Liu K, Zhang L. The inductive effect of ultraviolet radiation on mycosporine-like amino acids (MAAs) in *Microcystis aeruginosa*. Amino Acids and Biotic Resources, 2008, 30(1): 25-28.
- [11] Ehling-Schulz M, Bilger W, Scherer S. UV-B-induced synthesis of photoprotective pigments and extracellular polysaccharides in the terrestrial cyanobacterium *Nostoc commune*. Journal of Bacteriology, 1997, 179(6): 1940-1945.
- [12] Zou Q. Plant Physiology Experimental Guidance. Beijing: China Agriculture Press, 2000.
- [13] Su J Y, Jia S R, Chen X F, Yu H F. Morphology, cell growth, and polysaccharide production of *Nostoc flagelliforme* in liquid suspension culture at different agitation rates. Journal of Applied Phycology, 2008, 20(3): 213-217.
- [14] Bewley J D. Physiological aspects of desiccation tolerance. Annual Review of Plant Physiology, 1979, 30: 195-238.
- [15] Aebi H. Catalase *in vitro*. Methods in Enzymology, 1984, 105: 121-126.
- [16] Pierpoint W S. Salicylic acid and its derivatives in plants: medicines, metabolites and messenger molecules. Advances in Botanical Research, 1994, 20: 163-235.
- [17] Reynolds C S. Variability in the provision and function of mucilage in phytoplankton: facultative responses to the environment. Hydrobiologia, 2007, 578(1): 37-45.
- [18] Rozema J. The role of UV-B radiation in aquatic and terrestrial ecosystems-an experimental and functional analysis of the evolution of UV-absorbing compounds. Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology, 2002, 66(1): 2-12.
- [19] Tian J Y, Tang X X, Yu J, Xiao H, Feng L. The physiological and biochemical responses of marine microalgae to UV-B radiation. Marine Sciences, 2006, 30(4): 54-58, 63.
- [20] Gour R K, Pandey P K, Bisen P S. Differential response in damage and repair of wild-type *Anacystis nidulans* and its UV-B plus heat shock tolerant (UV-HS^I) strain under UV-B and heat shock stress. Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology, 1997, 40(1): 61-67.
- [21] Aráoz R, Lebert M, Häder D P. Translation activity under ultraviolet radiation and temperature stress in the cyanobacterium *Nostoc* sp. Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology, 1998, 47(2/3): 115-120.
- [22] babu G S, Joshi P C, Viswanathan P N. UVB-induced reduction in biomass and overall productivity of cyanobacteria. Biochemical and Biophysical Research Communications, 1998, 244(1): 138-142.
- [23] Feng Z, Tang X X, Qu L, Dong D, Wang Q X. Interaction of UV-B radiation enhancement and atracene on the growth of three species of red tide microalgae. Marine Environmental Science, 2008, 27(1): 51-53.
- [24] Li G C, Song L R. Effects of ultraviolet radiation on Cyanobacterial cells activity. Journal of Microbiology, 2002, 22(4): 31-33.

- [25] Zhou Y L. Effect of High Temperature and Solar UV Radiation on Growth and Physiology of *Spirulina* and *Arthrospira platensis*. Qingdao: Ocean University of China, 2007.
- [26] Sinha R P, Klisch M, Gröniger A, Häder D P. Mycosporine-like amino acids in the marine red alga *Gracilaria cornea*-effects of UV and heat. *Environmental and Experimental Botany*, 2000, 43(1): 33-43.
- [27] Zudaire L, Roy S. Photoprotection and long-term acclimation to UV radiation in the marine diatom *Thalassiosira weissflogii*. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 2001, 62(1/2): 26-34.
- [28] Sinha R P, Klisch M, Gröniger A, Häder D P. Ultraviolet-absorbing/screening substances in cyanobacteria, phytoplankton and macroalgae. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 1998, 47(2/3): 83-94.
- [29] Garcia-Pichel F, Sherry N D, Castenholz R W. Evidence for an ultraviolet sunscreen role of the extracellular pigment scytonemin in the terrestrial cyanobacterium *Chlorogloeopsis* sp. *Photochemistry and Photobiology*, 1992, 56(1): 17-23.
- [30] Conde F R, Churio M S, Previtali C M. The photoprotector mechanism of mycosporine-like amino acids. Excited-state properties and photostability of porphyrin-334 in aqueous solution. *Journal of Photochemistry and Photobiology B (Biology)*, 2000, 56(2/3): 139-144.
- [31] Liu Z W, Zhong P, Han B P. UV protective compounds mycosporine-like amino acids (MAAs) and bloom forming mechanism in *Microcystis aeruginosa*. *Journal of Lake Sciences*, 2003, 15(4): 359-363.
- [32] Pattanaik B, Schumann R, Karsten U. Effects of ultraviolet radiation on cyanobacteria and their protective mechanisms. *Algae and Cyanobacteria in Extreme Environments*, 2007, 11(2): 29-45.
- [33] Wright D J, Smith S C, Joardar V, Scherer S, Jervis J, Warren A, Helm R F, Potts M. UV irradiation and desiccation modulate the three-dimensional extracellular matrix of *Nostoc commune* (cyanobacteria). *The Journal Biological Chemistry*, 2005, 280(48): 71-81.
- [34] Ehling-Schulz M, Schulz S, Wait R, Görg A, Scherer S. The UV-B stimulon of the terrestrial cyanobacterium *Nostoc commune* comprises early shock proteins and late acclimation proteins. *Molecular Microbiology*, 2002, 46(3): 827-843.

References:

- [1] 蔡启明. 太湖环境生态研究. 北京: 气象出版社, 1998.
- [2] 连民, 陈传伟, 俞顺章, 刘颖. 淀山湖夏季微囊藻毒素分布状况及其影响因素. *中国环境科学*, 2000, 20(4): 323-327.
- [4] 刘鹏, 缪锦来, 阚光锋, 张波涛, 李光友. UV-B 增强对南极蓝藻形态和超微结构影响的研究. *海洋科学*, 2004, 28(5): 21-25.
- [8] 袁侃, 毛献忠, 陶益, 张锡辉. UV-C 辐照抑制铜绿微囊藻生长的动态实验研究. *环境科学*, 2010, 31(2): 310-317.
- [9] 华汝成. 单细胞藻类的培养与利用. 北京: 中国农业出版社, 1986.
- [10] 叶凯雄, 刘康, 詹领. 紫外辐射对铜绿微囊藻中类菌胞素氨基酸 (MAAs) 的诱导效应. *氨基酸和生物资源*, 2008, 30(1): 25-28.
- [12] 邹琦. 植物生理学实验指导. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [19] 田继远, 唐学玺, 于娟, 肖惠, 冯蕾. 海洋微藻对 UV-B 辐射的生理生化响应. *海洋科学*, 2006, 30(4): 54-58, 63-63.
- [23] 冯朝, 唐学玺, 曲良, 董栋, 王其翔. UV-B 辐射增强和意对 3 种赤潮微藻生长的相互作用. *海洋环境科学*, 2008, 27(1): 51-53.
- [24] 李国才, 宋立荣. 紫外线辐射对蓝藻细胞活性的影响. *微生物学杂志*, 2002, 22(4): 31-33.
- [25] 周亚莉. 高温和太阳紫外辐射对螺旋藻和节旋藻生长和生理影响的研究. 青岛: 中国海洋大学, 2007.
- [31] 刘正文, 钟萍, 韩博平. 铜绿微囊藻中的紫外保护物质类菌胞素氨基酸 (MAAs) 与水华形成机制探讨. *湖泊科学*, 2003, 15(4): 359-363.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 21 November, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Landscape spatial analysis of a traditional tibetan settlement based on landscape pattern theory and feng-shui theory; the case of Zhagana, Diebu, Gansu Province	SHI Lisha, YAN Lijiao, HUANG Lu, et al (6305)
Temporal-spatial differentiation and its change in the landscape ecological security of Wuyishan Scenery District	YOU Weibin, HE Dongjin, WU Liyun, et al (6317)
Evaluation of eco-sustainability of roads in a tourism area; a case study within Yulong County	JIANG Yiyi (6328)
Study on the compactness assessment model of urban spatial form	ZHAO Jingzhu, SONG Yu, SHI Longyu, et al (6338)
A multi-scale analysis of red-crowned crane's habitat selection at the Yellow River Delta Nature Reserve, Shandong, China	CAO Mingchang, LIU Gaohuan, XU Haigen (6344)
Assessment and spatial distribution of water and soil loss in karst regions, southwest China	FAN Feide, WANG Kelin, XIONG Ying, et al (6353)
Construction of an eco-environmental database for watershed-scale data; an example from the Tarim River Basin	GAO Fan, YAN Zhenglong, HUANG Qiang (6363)
Reproductive allocation in dioecious shrub, <i>Rhamnus davurica</i>	WANG Juan, ZHANG Chunyu, ZHAO Xiuhai, et al (6371)
Age-dependent growth responses of <i>Pinus koraiensis</i> to climate in the north slope of Changbai Mountain, North-Eastern China	WANG Xiaoming, ZHAO Xiuhai, GAO Lushuang, et al (6378)
Fine-scale spatial point patterns of <i>Stipa krylovii</i> population in different alpine degraded grasslands	ZHAO Chengzhang, REN Heng, SHENG Yaping, et al (6388)
Community structure and population regeneration in remnant <i>Ginkgo biloba</i> stands	YANG Yongchuan, MU Jianping, TANG Cindy Q., et al (6396)
Reproductive characteristics and adaptive evolution of pin and thrum flowers in endangered species, <i>Primula merrilliana</i>	SHAO Jianwen, ZHANG Wenjuan, ZHANG Xiaoping (6410)
Leaf functional traits of four typical forests along the altitudinal gradients in Mt. Shennongjia	LUO Lu, SHEN Guozhen, XIE Zongqiang, et al (6420)
Reclaimed soil properties and weathered gangue change characteristics under various vegetation types on gangue pile	WANG Liyan, HAN Youzhi, ZHANG Chengliang, et al (6429)
Influence of fire on stands of <i>Pinus massoniana</i> in a karst mountain area of central Guizhou province	ZHANG Xi, CHUI Yingchun, ZHU Jun, et al (6442)
Morphological and physiological adaptation of <i>Caragana</i> species in the Inner Mongolia Plateau	MA Chengcang, GAO Yubao, LI Qingfang, et al (6451)
A comparative study on reasons of degenerated of <i>Haloxylon ammodendron</i> population in the western part of Gurbantunggut desert	SI Langming, LIU Tong, LIU Bin, et al (6460)
Self-thinning of natural broadleaved forests in Baishilazi Nature Reserve ...	ZHOU Yongbin, YIN You, YIN Mingfang, et al (6469)
Population status and dynamic trends of Amur tiger's prey in Eastern Wandashan Mountain, Heilongjiang Province	ZHANG Changzhi, ZHANG Minghai (6481)
The relationship between the occurrence of Colorado Potato Beetle, <i>Leptinotarsa decemlineata</i> , and rivers based on GIS: a case study of Shawan Country	LI Chao, ZHANG Zhi, GUO Wenchao, et al (6488)
Occurrence dynamics and trajectory analysis of <i>Cnaphalocrocis medinalis</i> Guenée in Xing'an Guangxi Municipality in 2010	JIANG Chunxian, QI Huihui, SUN Mingyang, et al (6495)
Adaptability of B-biotype <i>Bemisia tabaci</i> (Gennadius) to Host Shift	ZHOU Fucui, LI Chuanming, GU Aixiang, et al (6505)
Structural change analysis of cecal bacterial flora in different poultry breeds using PCR-DGGE ...	LI Yongzhu, Yongquan Cui (6513)
Effect of chicken manure-amended copper mine tailings on growth of three leguminous species, soil microbial biomass and enzyme activities	ZHANG Hong, SHEN Zhangjun, YANG Guide, et al (6522)
Physiological response of <i>Microcystis</i> to solar UV radiation	WANG Yan, LI Shanshan, LI Jianhong, et al (6532)
Relationship between cell volume and cell carbon and cell nitrogen for ten common dinoflagellates	WANG Yan, LI Ruixiang, DONG Shuanglin, et al (6540)
The community structure and abundance of microcystin-producing cyanobacteria in surface sediment of Lake Taihu in winter	LI Daming, KONG Fanxiang, YU Yang, et al (6551)
Influence of green belt structure on the dispersion of particle pollutants in street canyons	LIN Yinding, WU Xiaogang, HAO Xingyu, et al (6561)
Spatio-temporal variation analysis of urbanization and land use benefit of oasis urban areas in Xinjiang	YANG Yu, LIU Yi, DONG Wen, et al (6568)
Nitrate contamination and source tracing from NO_3^- - $\delta^{15}\text{N}$ in groundwater in Weifang, Shandong Province	XU Chunying, LI Yuzhong, LI Qiaozhen, et al (6579)
The impact of rising temperature on spring wheat production in the Yellow River irrigation region of Ningxia	XIAO Guoju, ZHANG Qiang, ZHANG Fengju, et al (6588)
A new hyperspectral index for the estimation of nitrogen contents of wheat canopy	LIANG Liang, YANG Minhua, DENG Kaidong, et al (6594)
The feature of N_2O emission from a paddy field in irrigation area of the Yellow River	ZHANG Hui, YANG Zhengli, LUO Liangguo, et al (6606)
Review and Monograph	
Research perspective for the effects of nitrogen deposition on biogenic volatile organic compounds	HUANG Juan, MO Jiangming, KONG Guohui, et al (6616)
Recruitment limitation of plant population: from seed production to sapling establishment	LI Ning, BAI Bing, LU Changhu (6624)
Scientific Note	
Response of anatomical structure and photosynthetic characteristics to low light stress in leaves of different maize genotypes	DU Chengfeng, LI Chaohai, LIU Tianxue, et al (6633)

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 21 期 (2011 年 11 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 21 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