

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第33卷 第14期 Vol.33 No.14 **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 14 期 2013 年 7 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

石鸡属鸟类研究现状..... 宋 森,刘迺发 (4215)

个体与基础生态

不同降水及氮添加对浙江古田山 4 种树木幼苗光合生理生态特征与生物量的影响.....
..... 闫 慧,吴 茜,丁 佳,等 (4226)

低温胁迫时间对 4 种幼苗生理生化及光合特性的影响..... 邵怡若,许建新,薛 立,等 (4237)

不同施氮处理玉米根茬在土壤中矿化分解特性..... 蔡 苗,董燕婕,李佰军,等 (4248)

不同生育期花生渗透调节物质含量和抗氧化酶活性对土壤水分的响应.....
..... 张智猛,宋文武,丁 红,等 (4257)

天山中部天山云杉林土壤种子库年际变化..... 李华东,潘存德,王 兵,等 (4266)

不同作物两苗同穴互作育苗的生理生态效应..... 李伶俐,郭红霞,黄耿华,等 (4278)

镁、锰、活性炭和石灰及其交互作用对小麦镉吸收的影响..... 周相玉,冯文强,秦鱼生,等 (4289)

CO₂ 浓度升高对毛竹器官矿质离子吸收、运输和分配的影响 庄明浩,陈双林,李迎春,等 (4297)

pH 值和 Fe、Cd 处理对水稻根际及根表 Fe、Cd 吸附行为的影响 刘丹青,陈 雪,杨亚洲,等 (4306)

弱光胁迫对不同耐荫型玉米果穗发育及内源激素含量的影响..... 周卫霞,李潮海,刘天学,等 (4315)

玉米花生间作对玉米光合特性及产量形成的影响..... 焦念元,宁堂原,杨萌珂,等 (4324)

不同林龄胡杨克隆繁殖根系分布特征及其构型..... 黄晶晶,井家林,曹德昌,等 (4331)

植被年际变化对蒸散发影响的模拟研究..... 陈 浩,曾晓东 (4343)

蝇蛹金小蜂的交配行为及雄蜂交配次数对雌蜂繁殖的影响..... 孙 芳,陈中正,段毕升,等 (4354)

西藏飞蝗虫粪粗提物的成分分析及其活性测定..... 王海建,李彝利,李 庆,等 (4361)

不同水稻品种对稻纵卷叶螟生长发育、存活、生殖及飞行能力的影响..... 李 霞,徐秀秀,韩兰芝,等 (4370)

种群、群落和生态系统

基于 *mtCOII* 基因对山东省越冬代亚洲玉米螟不同种群的遗传结构分析
..... 李丽莉,于 毅,国 栋,等 (4377)

太湖湿地昆虫群落结构及多样性..... 韩争伟,马 玲,曹传旺,等 (4387)

西江下游浮游植物群落周年变化模式..... 王 超,赖子尼,李新辉,等 (4398)

环境和扩散对草地群落构建的影响..... 王 丹,王孝安,郭 华,等 (4409)

黄土高原不同侵蚀类型区生物结皮中蓝藻的多样性..... 杨丽娜,赵允格,明 姣,等 (4416)

景观、区域和全球生态

基于景观安全格局的建设用地管制分区..... 王思易,欧名豪 (4425)

黑河中游湿地景观破碎化过程及其驱动力分析..... 赵锐锋,姜朋辉,赵海莉,等 (4436)

2000—2010 年青海湖流域草地退化状况时空分析 骆成凤,许长军,游浩妍,等 (4450)

基于“源”“汇”景观指数的定西关川河流域土壤水蚀研究 李海防,卫 伟,陈 瑾,等 (4460)

农业景观格局与麦蚜密度对其初寄生蜂与重寄生蜂种群及寄生率的影响 ... 关晓庆,刘军和,赵紫华 (4468)

CO₂ 浓度和降水协同作用对短花针茅生长的影响..... 石耀辉,周广胜,蒋延玲,等 (4478)

资源与产业生态

城市土地利用的生态服务功效评价方法——以常州市为例..... 阳文锐,李 锋,王如松,等 (4486)

城市居民食物磷素消费变化及其环境负荷——以厦门市为例..... 王慧娜,赵小锋,唐立娜,等 (4495)

研究简报

间套作种植提升农田生态系统服务功能..... 苏本营,陈圣宾,李永庚,等 (4505)

矿区生态产业评价指标体系 王广成,王欢欢,谭玲玲 (4515)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 308 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 32 * 2013-07



封面图说: 古田山常绿阔叶林景观——亚热带常绿阔叶林是我国独特的植被类型,生物多样性仅次于热带雨林。古田山地处中亚热带东部,浙、赣、皖三省交界处,由于其特殊复杂的地理环境位置,分布着典型的中亚热带常绿阔叶林,是生物繁衍栖息的理想场所,生物多样性十分突出。中国科学院在这里建立了古田山森林生物多样性与气候变化研究站,主要定位于研究和探索中国亚热带森林植物群落物种共存机制,阐释生物多样性对森林生态系统功能的影响,以及监测气候变化对于亚热带森林及其碳库和碳通量的影响。

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/stxb201204120513

杨丽娜, 赵允格, 明姣, 王爱国. 黄土高原不同侵蚀类型区生物结皮中蓝藻的多样性. 生态学报, 2013, 33(14): 4416-4424.

Yang L N, Zhao Y G, Ming J, Wang A G. Cyanobacteria diversity in biological soil crusts from different erosion regions on the Loess Plateau: a preliminary result. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(14): 4416-4424.

黄土高原不同侵蚀类型区生物结皮中蓝藻的多样性

杨丽娜^{1,2}, 赵允格^{1,2,*}, 明 姣^{1,2}, 王爱国^{2,3}

(1. 中国科学院水利部水土保持研究所黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 杨凌 712100;

2. 西北农林科技大学水土保持研究所黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 杨凌 712100;

3. 西北农林科技大学林学院, 杨凌 712100)

摘要: 蓝藻是生物土壤结皮的重要组成部分, 具有许多重要的生态功能。迄今为止, 黄土高原地区生物结皮中藻类的种类组成及分布鲜有报道。通过野外调查、采样和室内观察、培养、鉴定, 对黄土高原水蚀区、水蚀风蚀交错区、风蚀区的生物结皮中蓝藻的多样性及优势种进行了研究。结果表明, 黄土高原 3 个侵蚀类型区生物结皮中蓝藻门植物共发现 4 科 10 属 54 种, 其中丝状种类约占 87%, 占绝对优势; Shannon-Weiner 多样性指数水蚀风蚀交错区最高, 水蚀区次之, 风蚀区最低, 依次为 2.22, 2.20 和 2.14。水蚀风蚀交错区和水蚀区蓝藻多样性指数差异不显著, 但均与风蚀区差异显著。3 个侵蚀类型区的生物结皮中蓝藻的种类组成及优势种均有所差异, 但均以颤藻科 (*Oscillatoriaceae*) 为优势科。水蚀风蚀交错区蓝藻种类最多 (39 种), 以阿氏鞘丝藻 (*Lyngbya allorgei*) 为第一优势种; 水蚀区次之 (26 种), 以含钙席藻 (*Phormidium calciola*) 为第一优势种; 风蚀区最少 (20 种), 以颗粒颤藻 (*Oscillatoria granulata*) 为第一优势种。黄土高原不同侵蚀类型区生物结皮中蓝藻的多样性差异可能与土壤质地、土壤 pH 值、气候环境等有关。

关键词: 生物结皮; 蓝藻多样性; 侵蚀类型区; 黄土高原

Cyanobacteria diversity in biological soil crusts from different erosion regions on the Loess Plateau: a preliminary result

YANG Lina^{1,2}, ZHAO Yunge^{1,2,*}, MING Jiao^{1,2}, WANG Aiguo^{2,3}

1 State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of water resources, Yangling, Shaanxi 712100, China

2 State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling, Shaanxi 712100, China

3 College of Forest, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling, Shaanxi 712100, China

Abstract: Cyanobacteria were the major components in biological soil crusts (biocrusts). So far, studies on species composition and distribution of cyanobacteria in the biocrusts in the Loess Plateau region were fresh. Biocrusts from the revegetated grasslands in different erosion regions (wind erosion, water erosion, and the wind-water crisscross regions) of the Loess Plateau region were collected, cultured, observed and identified. Results showed that cyanobacteria were the dominant component of the biocrusts. We found 54 species belonging to 10 genera and 4 families, with filamentous cyanobacteria dominant. The Shannon-Wiener index was used to evaluate diversity of the regions. No significant difference was found between the species diversity of water-wind erosion crisscross region and water erosion regions, while diversity in the wind erosion region was significantly lower than the water erosion region or the wind-water crisscross erosion region.

基金项目: 国家自然科学基金项目 (40971174, 41271298); 中国科学院“西部之光”人才培养计划项目

收稿日期: 2012-04-12; **修订日期:** 2012-09-18

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zyunge@ms.iswc.ac.cn

Species composition and dominant species of the three erosion regions were different. *Oscillatoriaceae* was the dominant family from all the three regions. Cyanobacteria species diversity was greatest (39) in the water-wind erosion crisscross region, followed by the water erosion region (26) and the wind erosion region (20). However, the dominant species were different in the three erosion regions. The dominant cyanobacteria species in water-wind erosion crisscross region, water erosion and wind erosion region were *Lyngbya allorgei*, *Phormidium calciola* and *Oscillatoria granulata*, respectively. Differences in cyanobacteria composition in the three different erosion regions were likely associated with differences in soil texture, soil pH and climatic regimes.

Key Words: biological soil crusts; diversity of cyanobacteria; different erosion regions; the Loess Plateau region

生物土壤结皮(简称生物结皮),是指由藻类、苔藓、地衣、真菌及细菌等与土壤相互作用形成的有机复合体^[1],是干旱半干旱地区普遍存在的地被物。土生藻类是指分布在土壤生境的藻类^[2],是生物结皮的重要组成部分^[3]。由于土生藻类能够在条件恶劣的环境下生长、繁殖,如干旱、营养贫瘠、高温、大风和强紫外线辐射等极端环境,通过自身的活动影响并改变着环境,因此,是重要的拓荒植物,具有许多重要的生态功能。土生藻类不仅可以通过自身的固氮作用和光合固碳作用,为土壤提供必要的营养物质,还可以通过藻丝体和分泌的多糖物质捆绑、黏结土壤颗粒,形成致密的抗蚀层,从而稳定和保护土壤表面免受水蚀风蚀影响^[4]。蓝藻作为干旱半干旱地区土生藻类的优势类群,是主要的固氮类群,在生物结皮组成及生态功能中占据重要地位,尤其是占优势的丝状种类,不仅是重要的碳源、氮源,还能分泌胞外聚合物,黏结土壤颗粒,对土壤颗粒起到束缚作用;此外,蓝藻的藻丝体交织形成密集的网状结构在降雨出现时会迅速吸水、膨胀,能降低土壤的渗透性和地表的径流速度,显著提高了土壤抗侵蚀性能^[5]。可见,蓝藻在干旱半干旱地区的生态环境的维持和改良过程中发挥着重要的作用^[4,6-7]。

我国的黄土高原地区,生物结皮是以退耕还林、封山禁牧为主的生态恢复工程的实施后广泛发育的地被物,盖度可以达到 60%—70%^[8]。近年来,有关该区的生物结皮及其生态功能已经展开了不少研究。如肖波、赵允格等^[9-11]研究了生物结皮对土壤理化性质、导水入渗的影响,以及人工培育条件下生物结皮的养分积累与水土保持效应,研究发现生物结皮不仅对土壤养分有明显的累积作用,还可以降低土壤导水能力,减小水分入渗,并极显著地降低土壤侵蚀。此外,赵允格^[12]研究了生物结皮光合作用对光温水的响应,发现在水分、光照充足的条件下,苔藓结皮的光合固碳能力显著高于藻结皮,认为不同类型的生物结皮光合固碳潜力主要取决于其生物组成。但是迄今有关该区生物结皮的生物组成的研究仍比较薄弱,生物结皮中藻类组成、分布及多样性鲜见报道。尤其是作为优势类群的蓝藻,它的种类组成、优势种方面的研究至今未有报道,蓝藻在不同侵蚀类型区生物结皮中的区系组成和分布情况如何,有无变化尚不清楚。一定程度上妨碍了人们对该区生物结皮生态功能的进一步认识。

为此,本文以黄土高原不同侵蚀类型区退耕撂荒地上自然发育的生物结皮为研究对象,通过野外调查、采样和室内培养、镜检相结合,初步分析了黄土高原不同侵蚀类型区生物结皮中蓝藻种类组成及优势种,旨在进一步理解黄土高原不同侵蚀类型区藻类在该区生态恢复中的重要作用,为生物结皮在水土流失和荒漠化防治中的应用奠定理论基础。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

黄土高原位于北纬 32°—41°,东经 107°—114°之间。东起太行山,西到青海日月山,南界秦岭,北抵鄂尔多斯高原的区域,跨山西省、陕西省、甘肃省、青海省、宁夏回族自治区及河南省等省区,总面积 64.87 万 km²,海拔 1500—2000 m^[13]。20 世纪 70 年代,唐克丽等前辈在野外考察的基础上,初步将黄土高原按照主要的侵蚀营力划分为水蚀区、水蚀风蚀交错区及风蚀区^[14]。其中,水蚀风蚀交错区位于北纬 35° 20′—40° 10′、东经 103° 33′—113° 53′之间,其范围大致自水蚀地区北部的神池、灵武、兴县、绥德、吴旗、庆阳、固原、定西、东乡—

线以北到长城沿线以南一带,面积约 17.8 万 km²,占黄土高原地区考察面积 62.4 万 km² 的 28.56%。该区属半干旱草原地带,气候变化剧烈,植被稀疏,地形和产沙地层复杂,风沙地貌和流水侵蚀地貌交错分布,成为黄土高原土壤侵蚀最为强烈的地区。该区以北为风蚀区,其面积占总面积的 25.08%;以南为水蚀区,其面积占总面积的 46.36%^[14-15]。

1.2 调查及采样

样品采集于 2011 年 8 月进行,在黄土高原垂直等降雨量梯度线递减的方向从东南到西北分别选取水蚀、水蚀风蚀交错及风蚀侵蚀区的典型县(相对应的分别为陕西安塞县、吴起县、宁夏回族自治区盐池县),于各典型县选取封禁良好的小流域或退耕地作为采样点采集生物结皮样品(采样点概况见表 1)。每个侵蚀类型区选取 5 个样地,样地间距大于 1000 m。由于当地破碎的地形,一般面积大于 300 m² 的退耕地即可作为一个单独样地。每个样地布设 4 个 5 m×5 m 的大调查样方,调查高等植被群落组成、盖度。植被调查结束后,采用 25 点样方法调查样地生物结皮组成及盖度,每个大调查样方随机设 10 个小样方。之后每样地随机采集生物结皮样 10 个,每区采集生物结皮样品 50 个,三区共计 150 个样品。采集时用无菌铲尽可能地选择完好原状的结皮采集于直径 9 cm 无菌培养皿中,每次采样后用 70% 酒精擦拭采样工具,以防交叉污染。样品于采集地风干,快速运回实验室。

表 1 采样区概况

Table 1 General situation of the sampling sites

侵蚀类型区 Erosion type regions	样区 Sampling sites	气候 Climate	海拔/m Elevation	年均气温/℃ Annual mean temperature	年均降雨量/mm Annual mean precipitation	土壤类型 Soil type	土壤质地 Soil texture
水蚀区 Water erosion region	安塞县	暖温带半干旱季风气候	1200	8.8	505	黄绵土	粉壤
水蚀风蚀交错区 Water-wind erosion crisscross region	吴起县	温带大陆性季风气候	1251	7.8	483	黄绵土	粉壤
风蚀区 Wind erosion region	盐池县	温带大陆性气候	1600	7.1	290	灰钙土	砂土

1.3 研究方法

1.3.1 蓝藻多样性

蓝藻多样性采用 Shannon-Weiner 指数表达:

$$H = - \sum_{i=1}^S P_i \ln P_i$$

式中, S 为物种数目, P_i 为种 i 的个体在全体个体中的比例, H 为物种的多样性指数^[16]。

1.3.2 蓝藻种类组成

采用显微镜直接观察和室内培养箱培养观察相结合的方法。直接观察是取适量生物结皮样品,一部分放入试管内,用玻璃棒将其捣碎并轻微研磨,然后用无菌蒸馏水稀释,制成均一的土壤悬浊液,取一滴制作成临时装片在数码显微镜下观察并拍照,另一部分在适当水温条件下培养箱内培养 2—3 d,取样研磨加水制成临时水装片,在显微镜下观察拍照,二者结果相结合得出最终镜检结果。培养观察采用 BG-11₀ 蓝藻固体培养基和 Bristol/BBM 两种液体培养基。约 10 g 的样品,研磨过筛,一部分用无菌水稀释成不同浓度梯度的土壤悬液,接种于已灭菌的固体培养基;另一部分加入已灭菌的液体培养基,充分振荡,将接种后的固体培养基和液体培养基置于人工气候箱内进行培养,经过 2—3 周后进行观察并鉴定^[17]。根据有关参考书^[18-20] 对蓝藻进行种类鉴定。

1.3.3 蓝藻优势种的确定

采用直接观察法。每个样品经研磨后,称取 1 g 土,加 10 mL 无菌蒸馏水,摇匀,取 1 滴均匀的土壤水溶

液制成临时水装片,每个样品取 3 个临时装片,每个装片观察 10 个视野,对蓝藻进行拍照,统计不同种类并计数,最后根据出现频率的大小确定优势种^[21]。

2 研究结果

2.1 黄土高原不同侵蚀类型区生物结皮中蓝藻的种类组成

经初步观察统计,黄土高原 3 个侵蚀类型区共发现蓝藻门植物 4 科 10 属 54 种,隶属于色球藻科(*Chroococcaceae*)、颤藻科(*Oscillatoriaceae*)、念珠藻科(*Nostocaceae*)、伪枝藻科(*Scytonemataceae*),色球藻属(*Chroococcus*)、集胞藻属(*Synechocystis*)、单歧藻属(*Tolypothrix*)、伪枝藻属(*Scytonema*)、鞘丝藻属(*Lyngbya*)、颤藻属(*Oscillatoria*)、席藻属(*Phormidium*)、微鞘藻属(*Microcolus*)、念珠藻属(*Nostoc*)、鱼腥藻属(*Anabaena*) (表 2)。研究区蓝藻存在明显的科属现象,优势科为颤藻科,优势属为颤藻属。然而,色球藻科、念珠藻科和伪枝藻科三者之间并无明显差异。其中,以丝状蓝藻为主,占总数的 87%。可见,蓝藻在黄土高原生物结皮中大都以群体形式存在,且丝状种类占绝对优势。

表 2 黄土高原地区蓝藻科、属、种及其比例

Table 2 The statistics of the number and proportion of Family, Genus, Species of cyanobacteria on the Loess Plateau region				
科 Family	属数 Genus	占总属数比例/% Proportion of total Genus	种数 Species	占总种数比例/% Proportion of total species
色球藻科 <i>Chroococcaceae</i>	2	20.0	2	3.7
颤藻科 <i>Oscillatoriaceae</i>	4	40.0	44	81.5
念珠藻科 <i>Nostocaceae</i>	2	20.0	5	9.3
伪枝藻科 <i>Scytonemataceae</i>	2	20.0	3	5.6
合计 Total	10	100.0	54	100.0

2.2 不同侵蚀类型区蓝藻多样性、种类组成及优势种差异

2.2.1 蓝藻多样性特征

研究区蓝藻的 Shannon-Weiner 多样性指数表明,在黄土高原不同的侵蚀类型区生物结皮中,蓝藻的多样性水蚀风蚀交错区最高,水蚀区次之,风蚀区最低,多样性指数依次为 2.22,2.20 和 2.14。图 1 是不同侵蚀区蓝藻多样性指数,由图 1 可见,水蚀风蚀交错区和水蚀区的蓝藻多样性指数之间差异不显著($P>0.05$),但与风蚀区之间均达到显著性差异($P<0.05$)。

黄土高原 3 个侵蚀类型区蓝藻的丰富度与多样性指数略有差异。图 2 是不同侵蚀类型区蓝藻的丰富度,由图 2 可见,3 个侵蚀类型区的蓝藻丰富度差异显著($P<0.05$),其中,水蚀风蚀交错区蓝藻丰富度最高,有 39 种,占黄土高原蓝藻总丰度的 72.2%;水蚀区 26 种次之,风蚀区 20 种最少(图 2)。

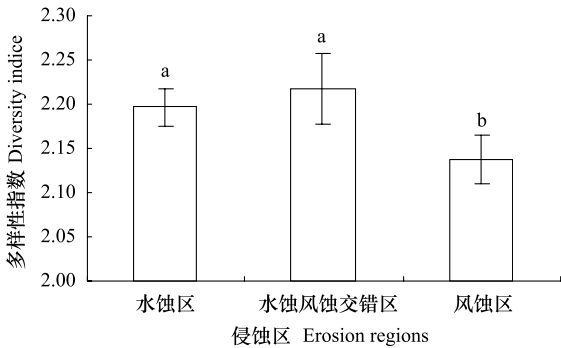


图 1 不同侵蚀区蓝藻多样性指数

Fig. 1 Diversity index in different erosion regions

图中的不同字母表示处理间差异达到 5% 显著水平

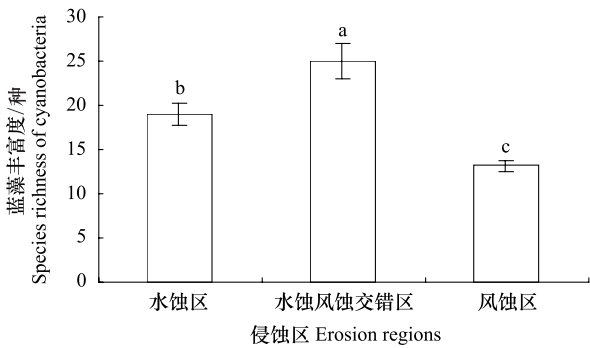


图 2 不同侵蚀区蓝藻丰富度

Fig. 2 Species richness of cyanobacteria in different erosion regions

图中的不同字母表示处理间差异达到 5% 显著水平

2.2.2 不同侵蚀类型区蓝藻优势种差异

3 个侵蚀类型区之间不仅蓝藻多样性及丰富度有差异,优势种及种类组成也存在差异(表 3)。水蚀风蚀交错区蓝藻优势种为阿氏鞘丝藻(*Lyngbya allorgei*),亚优势种为狭细席藻(*Phormidium angustissimum*);水蚀区为含钙席藻(*Phormidium calciola*),亚优势种为小席藻(*Phormidium tenue*);风蚀区为颗粒颤藻(*Oscillatoria granulata*),亚优势种为具鞘微鞘藻(*Microcolus vaginatus*)和沼地微鞘藻(*Microcolus paludosus*)。

3 个区的优势种虽均属颤藻科,但却分属于不同的属,水蚀风蚀交错区的阿氏鞘丝藻属于鞘丝藻属,水蚀区的含钙席藻属于席藻属,风蚀区的颗粒颤藻属于颤藻属。可见,颤藻科蓝藻在黄土高原地区生物结皮发育的区域普遍存在,且种类繁多。

表 3 不同侵蚀类型区生物结皮中蓝藻的种类组成

Table 3 Species composition of cyanobacteria in different erosion type region in the Loess Plateau region

种类 Species	水蚀区 Water erosion region	水蚀风蚀交错区 Water-wind erosion crisscross region	风蚀区 Wind erosion region
蓝藻 Cyanophyta (54)	26	39	20
惠氏色球藻 <i>Chroococcus westii</i>	—	+	+
大型集胞藻 <i>Synechocystis crassa</i>	+	+	—
阿氏鞘丝藻 <i>Lyngbya allorgei</i>	++	+++	—
南岳鞘丝藻 <i>Lyngbya nanyohensis</i>	+	+	—
马氏鞘丝藻 <i>Lyngbya martensiana</i>	+	+	+
渐细鞘丝藻 <i>Lyngbya attenuate</i>	+	+	—
希罗鞘丝藻 <i>Lyngbya hieronymusii</i>	—	+	+
栖鞘丝藻 <i>Lyngbya mucicola</i>	—	+	—
隐鞘丝藻 <i>Lyngbya cryptovaginata</i>	—	+	—
候氏鞘丝藻 <i>Lyngbya holdenii</i>	+	—	+
纤细鞘丝藻 <i>Lyngbya gracilis</i>	—	+	+
加德纳鞘丝藻 <i>Lyngbya gardneri</i>	+	—	—
鞘丝藻 <i>Lyngbya</i> sp1.	—	+	—
鞘丝藻 <i>Lyngbya</i> sp2.	+	—	—
极小颤藻 <i>Oscillatoria minima</i>	—	+	+
狭小颤藻 <i>Oscillatoria angusta</i>	—	—	+
美丽颤藻 <i>Oscillatoria formosa</i>	—	+	+
尖细颤藻 <i>Oscillatoria acuminata</i>	+	+	—
柔细颤藻 <i>Oscillatoria subtilissima</i>	—	+	—
沼泽颤藻 <i>Oscillatoria limnetica</i>	—	+	+
珠点颤藻 <i>Oscillatoria margaritifera</i>	—	+	—
亮绿颤藻 <i>Oscillatoria laetevirens</i>	—	—	+
钝头颤藻 <i>Oscillatoria obtusa</i>	—	+	+
爬行颤藻 <i>Oscillatoria animalis</i>	—	+	—
镰头颤藻 <i>Oscillatoria brevis</i>	—	+	+
颗粒颤藻 <i>Oscillatoria granulata</i>	+	+	+++
钻头颤藻 <i>Oscillatoria terebriformis</i>	+	—	—
湖泊颤藻 <i>Oscillatoria lacustris</i>	+	—	—
阿氏颤藻 <i>Oscillatoria agardhii</i>	—	—	+
包氏颤藻 <i>Oscillatoria boryana</i>	+	—	—
盐生颤藻 <i>Oscillatoria subamoena</i>	+	+	+
悦目颤藻 <i>Oscillatoria amoena</i>	—	+	—
两栖颤藻 <i>Oscillatoria amphibia</i>	—	+	—

续表			
种类 Species	水蚀区 Water erosion region	水蚀风蚀交错区 Water-wind erosion crisscross region	风蚀区 Wind erosion region
颤藻 <i>Oscillatoria</i> sp.	-	+	-
狭细席藻 <i>Phormidium angustissimum</i>	+	++	-
含钙席藻 <i>Phormidium calcicola</i>	+++	+	+
寒冷席藻 <i>Phomidium frigidum</i>	-	+	-
皮状席藻 <i>Phomidium corium</i>	-	+	-
分层席藻 <i>Phomidium laminosum</i>	-	+	-
土生席藻 <i>Phomidium mucicola</i>	-	+	-
小席藻 <i>Phomidium tenue</i>	++	+	-
间歇泉席藻 <i>Phomidium gersericola</i>	+	-	-
卷席席藻 <i>Phomidium cincinnatum</i>	+	-	-
席藻 <i>Phormidium</i> sp.	-	-	-
具鞘微鞘藻 <i>Microcolus vaginatus</i>	+	+	+
沼地微鞘藻 <i>Microcolus paludosus</i>	+	++	+
变形单歧藻 <i>Tolypothrix metamorpha</i>	-	+	-
单歧藻 <i>Tolypothrix</i> sp.	+	-	-
地木耳 <i>Nostoc commune</i>	+	+	-
点形念珠藻 <i>Nostoc punctiforme</i>	-	-	+
念珠藻 <i>Nostoc</i> sp.	+	+	-
固氮鱼腥藻 <i>Anabaena azotica</i>	-	+	-
鱼腥藻 <i>Anabaena</i> sp.	+	-	-
伪枝藻 <i>Scytonema</i> sp.	+	+	+

+++ 优势种,++ 亚优势种,+ 存在,- 不存在

2.3 蓝藻在黄土高原不同侵蚀类型区的选择性分布

从黄土高原 3 个侵蚀类型区的蓝藻分布看,有些种类的蓝藻对不同区域不具选择性,主要是颤藻科的种
类,属于该地区的常见种。同时,还存在一些对区域具一定选择性的蓝藻,属该区特有种。不同侵蚀类型区蓝
藻的特有种与常见种详见表 4。

表 4 蓝藻在黄土高原不同侵蚀类型区的分布		
Table 4 Distribution of cyanobacteria in different erosion region in the Loess Plateau region		
侵蚀类型区 Erosion type regions	特有种类 Special species	常见种类 Common species
水蚀区 Water erosion region	加德纳鞘丝藻 (<i>Lyngbya gardneri</i>), 钻头颤藻 (<i>Oscillatoria terebriformis</i>), 间歇泉席藻 (<i>Phomidium gersericola</i>), 湖泊颤藻 (<i>Oscillatoria lacustris</i>), 包氏颤藻 (<i>Oscillatoria boryana</i>), 小席藻 (<i>Phomidium tenue</i>), 卷席席藻 (<i>Phomidium cincinnatum</i>), 单歧藻 (<i>Tolypothrix</i> sp.), 鱼腥藻 (<i>Anabaena</i> sp.)	马氏鞘丝藻 (<i>Lyngbya martensiana</i>), 颗粒颤藻, 盐生颤藻 (<i>Oscillatoria subamoena</i>), 含钙席藻 (<i>Phormidium calciola</i>), 具鞘微鞘藻 (<i>Microcolus vaginatus</i>), 沼地微鞘藻 (<i>Microcolus paludosus</i>), 伪枝藻 (<i>Scytonema</i> sp.)
水蚀风蚀交错区 Water-wind erosion crisscross region	栖蚌鞘丝藻 (<i>Lyngbya mucicola</i>), 隐鞘鞘丝藻 (<i>Lyngbya cryptovaginatus</i>), 鞘丝藻 (<i>Lyngbya</i> sp1.), 柔细颤藻 (<i>Oscillatoria subtilissima</i>), 珠点颤藻 (<i>Oscillatoria margaritifera</i>), 爬行颤藻 (<i>Oscillatoria animalis</i>), 悦目颤藻 (<i>Oscillatoria amoena</i>), 两栖颤藻 (<i>Oscillatoria amphibia</i>), 颤藻 (<i>Oscillatoria</i> sp.), 寒冷席藻 (<i>Phomidium frigidum</i>), 皮状席藻 (<i>Phomidium corium</i>), 分层席藻 (<i>Phomidium laminosum</i>), 土生席藻 (<i>Phomidium mucicola</i>), 变形单歧藻 (<i>Tolypothrix metamorpha</i>), 固氮鱼腥藻 (<i>Anabaena azotica</i>)	
风蚀区 Wind erosion region	狭小颤藻 (<i>Oscillatoria angusta</i>), 阿氏颤藻 (<i>Oscillatoria agardhii</i>), 亮绿颤藻 (<i>Oscillatoria laetevirens</i>), 点形念珠藻 (<i>Nostoc punctiforme</i>)	

3 分析与讨论

3.1 蓝藻在土壤生境中的适应性

蓝藻作为干旱半干旱地区土壤生境先锋植物中的主要类群,具有独特的形态结构、生理特性和生态适应性。在形态结构方面,蓝藻不仅细胞壁厚,细胞外被还有较厚的粘胶层或具色泽的胶鞘,这些结构都使蓝藻具有很强的保护性生理反应及生态适应性。当处于高温、干旱、强光辐射等不利环境时,能避免自身受到伤害^[22],这可能是蓝藻在黄土高原地区分布广泛,种类繁多的原因。此外,一些丝状蓝藻(如颤藻科的很多种类)可以游动,使得它们可以避开强光干燥的环境以便处于更有利的环境^[23],这可能是丝状蓝藻在黄土高原地区占绝对优势的原因。蓝藻的生态分布与土壤 pH 值、质地、温度、水分等多种因子相关,中性和碱性土壤有助于蓝藻的分布,质地较粘,颗粒较细的土壤上分布的蓝藻种类也较多^[3]。在黄土高原地区,土壤 pH 值通常偏碱性(pH 值一般为 8.7 左右),土壤颗粒较细,为蓝藻的广泛分布提供了良好的土壤生境,这可能是蓝藻在黄土高原地区普遍存在,且种类繁多的原因之一。

3.2 黄土高原不同侵蚀类型区与荒漠地区蓝藻多样性异同

在黄土高原地区,生物结皮中蓝藻存在明显的优势科属现象,优势科为颤藻科,优势属为颤藻属、鞘丝藻属、席藻属,其中又以丝状种类占优势,这与荒漠地区研究结果相一致^[17, 24]。胡春香研究发现兰州北山生物结皮中的蓝藻亦有较明显的优势科属现象,优势科是颤藻科和色球藻科,优势属都是颤藻属、席藻属和鞘丝藻属,都以丝状蓝藻占优势^[25],与本文结果接近。张丙昌研究发现新疆古尔班通古特沙漠生物结皮中蓝藻也存在明显的优势科属现象,优势科是颤藻科和色球藻科,优势属是颤藻属、鞘丝藻属和色球藻属,色球科的球形种类相对较多^[17],与黄土高原地区略有差异。这可能与蓝藻中球形种类具有更强的抗逆和固土性能有关^[2, 26],古尔班通古特沙漠地区太阳辐射强烈,风力威胁大,条件恶劣,与之相适应,只有这些抗逆性强的球形种类存活下来,成为了古沙漠的优势类群。而在黄土高原地区由于水分、温度、养分等条件较古沙漠优越,为丝状种类的生长、繁殖提供了适宜的条件,因此,球状种类较少,色球藻科不占优势。丝状种类占绝对优势这一特点与蓝藻的游动习性有关^[23],为了与复杂的侵蚀环境相适应,具有强大缠绕、捆绑作用的丝状蓝藻最终适应了黄土高原三大侵蚀类型区脆弱的生态环境。此外蓝藻分泌的胞外多糖可以黏结、固定土粒,最终不仅产生了减少水蚀、风蚀的生态效应^[17],同时为自身的生存改善了环境,进一步确定了蓝藻在黄土高原侵蚀类型区具有的重要水土保持效应。

3.3 不同侵蚀类型区生物结皮中蓝藻分布的差异

迄今为止,黄土高原地区生物结皮中蓝藻的研究少见报道。本文的结果初步表明,黄土高原地区三大侵蚀类型区生物结皮中均有多种蓝藻出现,且蓝藻多样性、种类组成与分布存在明显差异。水蚀风蚀交错区的蓝藻多样性、丰富度及球形种类和特有种都最多,水蚀区次之,风蚀区最少。这可能与研究区土壤 pH 值、质地、土壤理化性质等生境条件有关。张丙昌^[27]在古尔班通古特沙漠的典型沙垄上研究发现藻类的种类组成受不同的地貌部位生境条件的差异、降水、气温和光照强度变化的影响,而物种多样性会进一步随之变化。黄土高原地区从水蚀区到水蚀风蚀交错区再到风蚀区,随着降雨量、温度的降低,植被逐渐稀疏,土壤质地由壤质到砂质,土壤 pH 值逐渐升高,3 个侵蚀类型区自然条件之间的这些差异,这可能是影响蓝藻在 3 个侵蚀类型区分布差异的主要原因。此外,水蚀风蚀交错区蓝藻的特有种相对较多,一定程度上说明交错区生态环境特别是微生境相对多样化,与该区受水蚀、风蚀双重侵蚀作用,生态环境脆弱有着一定的关系。

综上所述,本文初步明确了黄土高原不同侵蚀类型区蓝藻种类组成和分布,要进一步明确该区生物结皮中蓝藻多样性特征仍需要从不同地貌、不同土层深度以及季节动态等方面对蓝藻种类组成及分布特征进行全面深入研究。

致谢:中国科学院安塞水土保持综合试验站对本研究给予支持,Jayne Belnap 润色英文摘要,特此致谢。

References:

- [1] Belnap J, Lange O L. *Biological Soil Crusts: Structure, Function, and Management*. Berlin: Springer-Verlag, 2003.

- [2] Hu C X, Liu Y D, Song L R. New development of soil algae research. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2002, 26(5): 521-528.
- [3] Chen L Z, Liu Y D, Li D H, Shen Y W, Xie Z M. The research process of desert algae and crust. *Science Foundation of China*, 2003, (2): 90-93.
- [4] Zhang B C, Zhang Y M, Zhao J C. Composition and ecological distribution of the algae living in the Gurbantunggut Desert of Xinjiang. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2005, 25(10): 2048-2055.
- [5] Verrecchia E, Yair A, Kidron G J, Verrecchia K. Physical properties of the psammophile cryptogamic crust and their consequences to the water regime of sandy soils, north-western Negev Desert, Israel. *Journal of Arid Environments*, 1995, 29(4): 427-437.
- [6] Hu C X, Zhang D L, Liu Y D. The newly progress of algae study of microbiotic crust in arid area. *Progress in Natural Science*, 2003, 13(8): 791-795.
- [7] Belnap J. Surface disturbances; their role in accelerating desertification. *Environmental Monitoring and Assessment*, 1995, 37(1/3): 39-57.
- [8] Zhao Y G, Xu M X, Wang Q J, Shao M A. Impact of biological soil crust on soil physical and chemical properties of rehabilitated grassland in hilly Loess Plateau, China. *Journal of Natural Resources*, 2006, 21(3): 441-448.
- [9] Xiao B, Zhao Y G, Shao M A. Artificial cultivation of biological soil crust and its effects on soil and water conservation in water-wind erosion crisscross region of Loess Plateau, China. *Acta Agrestia Sinica*, 2008, 16(1): 28-33.
- [10] Zhao Y G, Xu M X, Wang Q J, Shao M A. Physical and chemical properties of soil bio-crust on rehabilitated grassland in hilly Loess Plateau of China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2006, 17(8): 1429-1434.
- [11] Xiao B, Zhao Y G, Shao M A. Effects of biological soil crust on saturated hydraulic conductivity in water-wind erosion crisscross region, North of Shaanxi Province, China. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2007, 23(12): 35-40.
- [12] Zhao Y G, Xu M X, Belnap J. Response of biocrusts' photosynthesis to environmental factors: a possible explanation of the spatial distribution of biocrusts in the Hilly Loess Plateau region of China. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(17): 4668-4675.
- [13] The National Development and Reform Commission, Ministry of Water Resources, Ministry of Agriculture. The National Forestry Bureau. Planning brief about comprehensive treatments on the Loess Plateau. *Macroeconomic Management*, 2011, (2): 76-76.
- [14] Tang K L. Importance and urgency of harnessing the interlocked area with both water and wind erosion in the Loess Plateau. *Soil and Water Conservation in China*, 2000, (11): 11-12, 17-17.
- [15] Tang K L, Hou Q C, Wang B K, Zhang P C. The environment background and administration way of wind-water erosion crisscross region and shenmu experimental area on the Loess Plateau. *Memoir of Northwestern Institute of Soil and Water Conservation, Academia Sinica and Ministry of Water Resources*, 1993, (18): 2-15.
- [16] Sun R Y, Li Q F, Niu C J. *Basic Ecology*, Beijing: Higher Education Press, 2002: 143-144.
- [17] Zhang B C, Zhang Y M, Zhao J C, Zhang R C. Study on cyanobacteria of biological soil crusts in Gurbantunggut Desert, Zhungar Basin, Sinkiang. *Geography and Geo-Information Science*, 2005, 21(5): 107-109.
- [18] Zhu H R. *Flora Algarum Sinicarum Aquae Dulcis (Tomus II, Chroococcophyceae)*. Beijing: Science Press, 1991: 1-147.
- [19] Zhu H R. *Flora Algarum Sinicarum Aquae Dulcis (Tomus IX, Cyanophyta)*. Beijing: Science Press, 2007: 1-312.
- [20] Hu H J, Wei Y X. *The Freshwater Algae of China—Systematics, Taxonomy and Ecology*. Beijing: Science Press, 2006: 1-950.
- [21] Zhang B C, Zhao J C, Zhang Y M, Li M, Zhang J. Vertical distribution of algae in different locations of sand dunes in the gurbantunggut desert, Xinjiang, China. *Journal of Plant Ecology*, 2008, 32(2): 456-464.
- [22] Hu C X, Liu Y D. Primary succession of algal community structure in desert soil. *Acta Botanica Sinica*, 2003, 45(8): 917-924.
- [23] Belnap J, Harper K T, Warren S D. Surface disturbance of cryptobiotic soil crusts; nitrogenase activity, chlorophyll content, and chlorophyll degradation. *Arid Soil Research and Rehabilitation*, 1994, 8(1): 1-8.
- [24] Hu C X, Liu Y D, Song L R. Species composition and distribution of algae in shapotou area, Ningxia Hui autonomous region, China. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1999, 23(5): 443-448.
- [25] Hu C X, Zhang B C, Ma H Y, Liu Y D, Zhang D L. Species composition and community structure of terrestrial algae in the biological crusts of Lanzhou Northern Hill. *Journal of Northwest Normal University: Natural Science Edition*, 2003, 39(1): 59-63.
- [26] Hu C X, Liu Y D, Song L R, Zhang D L. Effect of desert soil algae on the stabilization of fine sands. *Journal of Applied Phycology*, 2002, 14(4): 281-292.
- [27] Zhang B C, Zhang Y M, Wang J Z. Spatio-temporal distribution of algae relating to biological soil crusts in the Gurbantunggut Desert, Xinjiang, China. *Journal of Desert Research*, 2011, 31(4): 919-926.

参考文献:

- [2] 胡春香, 刘永定, 宋立荣. 土壤藻研究新进展. *水生生物学报*, 2002, 26(5): 521-528.

- [3] 陈兰周, 刘永定, 李敦海, 沈银武, 谢作明. 荒漠藻类及其结皮的研究. 中国科学基金, 2003, 2: 90-93.
- [4] 张丙昌, 张元明, 赵建成. 古尔班通古特沙漠生物结皮藻类的组成和生态分布研究. 西北植物学报, 2005, 25(10): 2048-2055.
- [6] 胡春香, 张德禄, 刘永定. 干旱区微小生物结皮中藻类研究的新进展. 自然科学进展, 2003, 13(8): 791-795.
- [8] 赵允格, 许明祥, 王全九, 邵明安. 黄土丘陵区退耕地生物结皮对土壤理化性状的影响. 自然资源学报, 2006, 21(3): 441-448.
- [9] 肖波, 赵允格, 邵明安. 黄土高原侵蚀区生物结皮的人工培育及其水土保持效应. 草地学报, 2008, 16(1): 28-33.
- [10] 赵允格, 许明祥, 王全九, 邵明安. 黄土丘陵区退耕地生物结皮理化性状初报. 应用生态学报, 2006, 17(8): 1429-1434.
- [11] 肖波, 赵允格, 邵明安. 陕北水蚀风蚀交错区两种生物结皮对土壤饱和导水率的影响. 农业工程学报, 2007, 23(12): 35-40.
- [12] 赵允格, 许明祥, Belnap J. 生物结皮光合作用对光温水的响应及其对结皮空间分布格局的解译——以黄土丘陵区为例. 生态学报, 2010, 30(17): 4668-4675.
- [13] 国家发展改革委, 水利部, 农业部, 国家林业局. 国家发展改革委等部门印发《黄土高原地区综合治理规划大纲(2010—2030 年)》. 宏观经济管理, 2011, (2): 76-76.
- [14] 唐克丽. 黄土高原水蚀风蚀交错区治理的重要性与紧迫性. 中国水土保持, 2000, (11): 11-12, 17-17.
- [15] 唐克丽, 侯庆春, 王斌科, 张平仓. 黄土高原水蚀风蚀交错带和神木试区的环境背景及整治方向. 中国科学院水利部西北水土保持研究所集刊(神木水蚀风蚀交错带生态环境整治技术及试验示范研究论文集), 1993, (18): 2-15.
- [16] 孙儒泳, 李庆芬, 牛翠娟. 基础生态学. 北京: 高等教育出版社, 2002: 143-144.
- [17] 张丙昌, 张元明, 赵建成, 张茹春. 准噶尔盆地古尔班通古特沙漠生物结皮蓝藻研究. 地理与地理信息科学, 2005, 21(5): 107-109.
- [18] 朱浩然. 中国淡水藻志. 第二卷, 色球藻纲. 北京: 科学出版社, 1991: 1-147.
- [19] 朱浩然. 中国淡水藻志. 第九卷, 蓝藻门, 藻殖段纲. 北京: 科学出版社, 2007: 1-312.
- [20] 胡鸿钧, 魏印心. 中国淡水藻类——分类、区系与生态. 北京: 科学出版社, 2006: 1-950.
- [21] 张丙昌, 赵建成, 张元明, 李敏, 张静. 新疆古尔班通古特沙漠南部沙垄不同部位藻类的垂直分布特征. 植物生态学报, 2008, 32(2): 456-464.
- [24] 胡春香, 刘永定, 宋立荣. 宁夏沙坡头地区藻类及其分布. 水生生物学报, 1999, 23(5): 443-448.
- [25] 胡春香, 张斌才, 马红樱, 刘永定, 张德禄. 兰州北山生物结皮中陆生藻种类组成与群落结构. 西北师范大学学报; 自然科学版, 2003, 39(1): 59-63.
- [27] 张丙昌, 张元明, 王敬竹. 古尔班通古特沙漠南缘典型沙垄藻类的时空分布. 中国沙漠, 2011, 31(4): 919-926.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 14 Jul. ,2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

A review of the researches on *Alectoris* partridge SONG Sen, LIU Naifa (4215)

Autecology & Fundamentals

Effects of precipitation and nitrogen addition on photosynthetically eco-physiological characteristics and biomass of four tree seedlings in Gutian Mountain, Zhejiang Province, China YAN Hui, WU Qian, DING Jia, et al (4226)

Effects of low temperature stress on physiological-biochemical indexes and photosynthetic characteristics of seedlings of four plant species SHAO Yiruo, XU Jianxin, XUE Li, et al (4237)

Decomposition characteristics of maize roots derived from different nitrogen fertilization fields under laboratory soil incubation conditions CAI Miao, DONG Yanjie, LI Baijun, et al (4248)

The responses of leaf osmoregulation substance and protective enzyme activity of different peanut cultivars to non-sufficient irrigation ZHANG Zhimeng, SONG Wenwu, DING Hong, et al (4257)

Interannual variation of soil seed bank in *Picea schrenkiana* forest in the central part of the Tianshan Mountains LI Huadong, PAN Cunde, WANG Bing, et al (4266)

Physiological & ecological effects of companion-planted grow seedlings of two crops in the same hole LI Lingli, GUO Hongxia, HUANG Genghua, et al (4278)

Effects of magnesium, manganese, activated carbon and lime and their interactions on cadmium uptake by wheat ZHOU Xiangyu, FENG Wenqiang, QIN Yusheng, et al (4289)

Effects of increased concentrations of gas CO₂ on mineral ion uptake, transportation and distribution in *Phyllostachys edulis* ZHUANG Minghao, CHEN Shuanglin, LI Yingchun, et al (4297)

Effects of pH, Fe and Cd concentrations on the Fe and Cd adsorption in the rhizosphere and on the root surfaces of rice LIU Danqing, CHEN Xue, YANG Yazhou, et al (4306)

Effects of low-light stress on maize ear development and endogenous hormones content of two maize hybrids (*Zea mays* L.) with different shade-tolerance ZHOU Weixia, LI Chaohai, LIU Tianxue, et al (4315)

Effects of maize || peanut intercropping on photosynthetic characters and yield forming of intercropped maize JIAO Nianyuan, NING Tangyuan, YANG Mengke, et al (4324)

Cloning root system distribution and architecture of different forest age *Populus euphratica* in Ejina Oasis HUANG Jingjing, JING Jialin, CAO Dechang, et al (4331)

Impact of vegetation interannual variability on evapotranspiration CHEN Hao, ZENG Xiaodong (4343)

Mating behavior of *Pachycrepoides vindemmiae* and the effects of male mating times on the production of females SUN Fang, CHEN Zhongzheng, DUAN Bisheng, et al (4354)

Component analysis and bioactivity determination of fecal extract of *Locusta migratoria tibetensis* (Chen) WANG Haijian, LI Yili, LI Qing, et al (4361)

Effects of different rice varieties on larval development, survival, adult reproduction, and flight capacity of *Cnaphalocrocis medinalis* (Guenée) LI Xia, XU Xiuxiu, HAN Lanzhi, et al (4370)

Population, Community and Ecosystem

Genetic structure of the overwintering Asian corn borer, *Ostrinia furnacalis* (Guenée) collections in Shandong of China based on *mtCOII* gene sequences LI Lili, YU Yi, GUO Dong, TAO Yunli, et al (4377)

The structure and diversity of insect community in Taihu Wetland HAN Zhengwei, MA Ling, CAO Chuanwang, et al (4387)

Annual variation pattern of phytoplankton community at the downstream of Xijiang River WANG Chao, LAI Zini, LI Xinhui, et al (4398)

Effect of species dispersal and environmental factors on species assemblages in grassland communities WANG Dan, WANG Xiao'an, GUO Hua, et al (4409)

- Cyanobacteria diversity in biological soil crusts from different erosion regions on the Loess Plateau: a preliminary result YANG Lina, ZHAO Yunge, MING Jiao, et al (4416)
- Landscape, Regional and Global Ecology**
- Zoning for regulating of construction land based on landscape security pattern WANG Siyi, OU Minghao (4425)
- Fragmentation process of wetlands landscape in the middle reaches of the Heihe River and its driving forces analysis ZHAO Ruifeng, JIANG Penghui, ZHAO Haili, et al (4436)
- Analysis on grassland degradation in Qinghai Lake Basin during 2000—2010 LUO Chengfeng, XU Changjun, YOU Haoyan, et al (4450)
- Research on soil erosion based on Location-weighted landscape index (LWLI) in Guanchuanhe River basin, Dingxi, Gansu Province LI Haifang, WEI Wei, CHEN Jin, et al (4460)
- Effects of host density on parasitoids and hyper-parasitoids of cereal aphids in different agricultural landscapes GUAN Xiaoqing, LIU Junhe, ZHAO Zihua (4468)
- Effects of interactive CO₂ concentration and precipitation on growth characteristics of *Stipa breviflora* SHI Yaohui, ZHOU Guangsheng, JIANG Yanling, et al (4478)
- Resource and Industrial Ecology**
- Eco-service efficiency assessment method of urban land use: a case study of Changzhou City, China YANG Wenrui, LI Feng, WANG Rusong, et al (4486)
- Changes in phosphorus consumption and its environmental loads from food by residents in Xiamen City WANG Huina, ZHAO Xiaofeng, TANG Lina, et al (4495)
- Research Notes**
- Intercropping enhances the farmland ecosystem services SU Benying, CHEN Shengbin, LI Yonggeng, et al (4505)
- Assessment indicator system of eco-industry in mining area WANG Guangcheng, WANG Huanhuan, TAN Lingling (4515)

《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 骆世明

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 14 期 (2013 年 7 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 14 (July, 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