

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第3期

Vol.33 No.3

2012

中国科学院生态环境研究中心 主办

科学出版社 出版



目次

典型排放源黑碳的稳定碳同位素组成研究	陈颖军,蔡伟伟,黄国培,李军,张干(673)
天山典型冰川区雪冰中碳质气溶胶浓度特征研究	王圣杰,张明军,王飞腾,李忠勤(679)
兰州市夏秋季颗粒物谱分布特征研究	赵素平,余晔,陈晋北,刘娜,何建军(687)
不同交通状况下道路边大气颗粒物数浓度粒径分布特征	杨柳,吴焯,宋少洁,郝吉明(694)
南京市夏季大气气溶胶新粒子生成事件分析	王红磊,朱彬,沈利娟,康汉青,刁一伟(701)
西北干旱区降水中 $\delta^{18}\text{O}$ 变化特征及其水汽输送	李小飞,张明军,李亚举,王圣杰,黄小燕,马潜,马雪宁(711)
海南东部河口和近岸海域总溶解态无机砷的分布及季节变化	曹秀红,任景玲,张桂玲,张金娥,杜金洲,朱德弟(720)
大辽河口痕量元素砷的河口混合行为	简慧敏,姚庆祯,于立霞,田琳(727)
渤海湾表层沉积物各形态重金属的分布特征与生态风险评价	徐亚岩,宋金明,李学刚,袁华茂,李宁(732)
青岛近岸表层海水中 PAHs 的分布特征及物源初步解析	李先国,邓伟,周晓,唐旭利,魏新运,王岩(741)
广西乐业大石围天坑群多环芳烃的干湿沉降	孔祥胜,祁士华,黄保健,张原,李杰(746)
上海宝山区城市土壤铅污染来源的同位素判别	董辰寅,张卫国,王冠,马鸿磊,刘圆,刘莹,叶雷平,俞立中(754)
溶质迁移模型在地下水有机污染源识别中的应用	王树芳,王丽亚,王晓红,林沛,刘久荣,辛宝东,贺国平(760)
地下水污染风险评价中特征污染物量化方法探讨	王俊杰,何江涛,陆燕,刘丽雅,张小亮(771)
用于地下水回灌的再生水预处理工艺研究	高清端,张薛,赵璇,赵刚(777)
菲律宾蛤仔养殖对胶州湾沉积物-水界面生源要素迁移的影响	邓可,刘素美,张桂玲,陆小兰,张经(782)
南京市九乡河流域景观格局空间分异对河流水质的影响	胡和兵,刘红玉,郝敬峰,安静(794)
上海都市农业村域地表水非点源氮素的时空分异特征	王楠,毛亮,黄海波,张进忠,周培(802)
不同粒径地表街尘中重金属在径流冲刷中的迁移转化	何小艳,赵洪涛,李叙勇,连宾,王小梅(810)
新型人工湿地对工业区降雨径流的净化研究	何丽君,马邕文,王金泉,李东亚,王艳(817)
改性膨润土应急截留液态有机物的性能及机制	李宇,刘贤君,张兴旺,雷乐成(825)
卵圆卡盾藻香港株过氧化氢产生的影响因素研究	江涛,吴霓,钟艳,江天久(832)
芽孢杆菌 B1 胞外活性物质对球形棕囊藻的溶藻特性研究	李蕾,赵玲,尹平河(838)
底泥对洋河水库微囊藻和鱼腥藻生长影响的研究	储昭升,张玉宝,金相灿,徐颖,杨红君(844)
新型无极准分子光源深度处理水相中含 N-杂环化合物	叶招莲,汪斌,路娟娟,李峰,张仁熙(849)
La/Ce 掺杂钛基二氧化铅电极的制备及电催化性能研究	郑辉,戴启洲,王家德,陈建孟(857)
DTT 对三苯基甲染料脱色的研究	潘涛,刘大伟,任随周,郭俊,孙国萍(866)
pH 及络合剂对亚铁活化 $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$ 氧化去除活性艳蓝的影响研究	张成,王金泉,马邕文,王艳,黄明智,兰明(871)
臭氧降解高浓度腐殖酸动力学	郑可,周少奇,杨梅梅(879)
采用体积信息熵表征颗粒污泥系统稳定性及其稳定机制	李志华,姬晓琴,李胜,谢磊,赵海龙,王晓昌(885)
活性污泥的理化性质与絮凝调理投药量的关系	李婷,王毅力,冯晶,徐萌(889)
不同颗粒龄的好氧颗粒污泥性能的研究	周曼,杨昌柱,濮文虹,罗应东,龚建宇(896)
颗粒粒径与数量对硝化与反硝化过程的影响	李志华,曾金锋,李胜,姬晓琴,王晓昌(903)
氧化沟不同曝气模式对氮磷去除性能的优化与比较	郭昌梓,彭党聪,陈雪梅,王丹(910)
生物沥浸的酸化效应对城市污泥脱水性能的影响	朱海风,周立祥,王电站(916)
2 种不同生物接触氧化工艺性能差异的微生物生态研究	钱殷,全向春,裴元生,马景赞,陶锟(922)
微生物群落对土壤微生物呼吸速率及其温度敏感性的影响	范分良,黄平容,唐勇军,李兆君,梁永超(932)
干旱沙区人工固沙植被演变过程中土壤有机碳氮储量及其分布特征	贾晓红,李新荣,周玉燕,李元寿(938)
密云水库上游流域土壤有机碳和全氮密度影响因素研究	王淑芳,王效科,欧阳志云(946)
外加营养源作用下微生物黏结剂对土壤团聚体的影响	莫艳华,汤佳,张仁铎,李方舟(952)
低分子量腐殖酸改性蒙脱土对黄曲霉素的吸附作用	姚佳佳,康福星,高彦征(958)
液固比对土壤洗涤去除多环芳烃效果的影响	吴威,姜林,陈家军,彭胜(965)
基于 PPI 的土地利用优化研究	武晓峰,李婷(971)
若尔盖高原湿地藻类多样性研究	陈曦,刘如钢,王艳芬,张洪勋(979)
3 种杀真菌剂对 AM 真菌侵染和黄芩生长的影响	贺学礼,王平,马丽,孟静静(987)
崇明东滩夏季沉积物厌氧氨氧化菌群落结构与空间分布特征	郑艳玲,侯立军,陆敏,谢冰,刘敏,李勇,赵慧(992)
厌氧条件下 2,2',4,4'-四溴联苯醚的微生物降解	卢晓霞,陈超琪,张姝,欧阳,尹力,吴蔚(1000)
重金属对白腐菌降解十溴联苯醚的影响	熊士昌,尹华,彭辉,何宝燕,龙焰,叶锦韶,张娜,彭素芬(1008)
有机农药滴滴涕和毒死蜱生物降解机制的分子模拟研究	林玉珍,曾光明,张斌,陈明,蒋敏,张嘉超,鲁伦慧,刘利锋(1015)
高效木薯渣分解复合菌群 RXS 的构建及其发酵特性研究	何江,毛忠贵,张庆华,张建华,唐蕾,张宏建(1020)
四环素类抗生素污染畜禽粪便的厌氧消化特征	童子林,刘元璐,胡真虎,袁守军(1028)
上推流厌氧反应器连续干发酵猪粪产沼气试验研究	陈闯,邓良伟,信欣,郑丹,刘刈,孔垂雪(1033)
《环境科学》征稿简则(878) 《环境科学》征订启事(1007) 信息(759, 770, 870, 1027)	

若尔盖高原湿地藻类多样性研究

陈曦, 刘如钢*, 王艳芬, 张洪勋

(中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要: 分别于夏、冬两季采集若尔盖高原湿地水样, 利用传统培养及显微镜检的方法和现代分子生物学方法对其藻类多样性进行了研究。结果表明, 夏季水样至少培养出 4 种绿藻, 分别为普通小球藻 (*Chlorella vulgaris* Beij.)、浮球藻 (*Planktosphaeria gelatinosa* G. M. Smith)、繁茂栅列藻 (*Scenedesmus abundans* Kirchner) 和柱状栅列藻 (*Scenedesmus bijuga* Turp.), 均属于绿球藻 (*Chlorococcales*), 其中普通小球藻为优势藻种, 并被分离纯化。显微镜检结果表明冬季水样中主要的藻类种群为硅藻, 此结果符合在低温季节天然水体中常以硅藻为主的常理。蓝藻 16S rRNA 基因克隆文库中的主要类群为硅藻 (*Bacillariophyta*, 35.3%), 其次为蓝藻, 包括色球藻 (*Chroococcales*, 5.9%)、念珠藻 (*Nostocales*, 11.8%)、颤藻 (*Oscillatoriales*, 11.8%) 和一些未知种属的蓝藻类群 (Unclassified Cyanobacteria, 35.3%), 还发现一些与低温环境微生物相关的类群, 如颤藻目细纤维菌属 (*Leptolyngbya*)。

关键词: 若尔盖高原湿地; 藻类多样性; 显微镜检; 克隆文库; 低温

中图分类号: X171 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)03-0979-08

Research on Algal Diversity in Zoige Alpine Wetland

CHEN Xi, LIU Ru-yin, WANG Yan-fen, ZHANG Hong-xun

(Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Water samples were collected in summer and winter in Zoige Alpine Wetland. Both the traditional cultivable and microscopic method and modern molecular approach were used to reveal the algal diversity in the wetland. For the samples collected in summer, single-cell *Chlorophyta* was cultured, isolated and identified. The results showed that there were at least four kinds of *Chlorophyta*, which were *Chlorella vulgaris* Beij., *Planktosphaeria gelatinosa* G. M. Smith, *Scenedesmus abundans* Kirchner and *Scenedesmus bijuga* Turp. They all belonged to *Chlorococcales*. The dominant species was *Chlorella vulgaris* Beij., which had been purified. For the samples collected in winter, the microscopic results showed that the dominant populations were diatoms, which is in accordance with the principle that the dominant populations of algae are diatoms in low-temperature seasons. Cyanobacterial 16S rRNA gene clone library showed that the dominant group was *Bacillariophyta* (35.3%). And Cyanobacteria contained the orders of *Chroococcales* (5.9%), *Nostocales* (11.8%), *Oscillatoriales* (11.8%) and Unclassified Cyanobacteria (35.3%). There were some clones related to those from frigid habitats, such as *Leptolyngbya*-related clones.

Key words: Zoige Alpine Wetland; algal diversity; microscopic observation; clone library; low-temperature

藻类是水环境中微型浮游生物的重要组成部分, 在改善和调节水环境生态系统的物质循环和能量流动方面发挥着重要的作用, 同时也具有调节大气环境质量的功能。在湿地生态系统中, 藻类具有极为重要的生态作用, 它扮演着初级生产者和氧气生产者的角色, 能够给其他水生生物提供食物和氧气。

若尔盖高原湿地位于青藏高原东北部边缘, 大部分位于四川省阿坝藏族羌族自治州境内, 面积 3 578 km², 平均海拔 3 400 m 以上, 是我国乃至世界最大的高原泥炭沼泽分布区。由于若尔盖高原湿地属于青藏高原寒冷气候区与大陆季风气候区的交汇地带, 造成其与其他湿地显著不同的气候特点——“低温”, 多年平均气温仅为 0.6 ~ 1.2℃, 年均降水量为 640 mm, 形成了独特的高原寒冷湿地生态系统。若尔盖高原湿地的地理位置和气候条件都十分

特殊, 低纬度、高海拔、低气温、长日照和强辐射赋予了该地区独特的藻类资源, 此地区可能存在着以前不曾发现和培养的新藻种。

在长期低温地区, 如北极、南极, 以及我国境内的青藏高原等, 对藻类多样性的情况知之甚少。迄今为止, 尚未见有关若尔盖地区藻类研究的报道, 青藏高原和北极地区藻类研究也非常少, 南极藻类研究相比之下较多。有研究利用 18S rRNA 基因克隆和序列分析技术检测青藏高原马兰冰芯, 结果显示衣藻是该地区冰芯微生物的优势菌群^[1]。1999 年春季

收稿日期: 2011-04-22; 修订日期: 2011-08-13

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向性项目 (KZCX2-YW-418-01); 中国科学院战略性先导科技专项 (XDA05030500); 中国科学院研究生院院长基金 B (Y15102FN00)

作者简介: 陈曦 (1982 ~), 女, 博士研究生, 主要研究方向为环境微生物技术应用, E-mail: chenxi20080808@gmail.com

* 通讯联系人, E-mail: Lry1981@126.com

采集于北极拉普捷夫海东南部的冰藻,藻种以硅藻占绝对优势^[2]. 1998~2001 年夏季南极普里兹湾及其邻近海域的浮游植物调查显示硅藻在种类和丰度上占绝对优势^[3~5]. 1982~2008 年对中国南极长城站和中山站地区主要湖泊、溪流、雪地等淡水藻类进行了调查研究,结果表明,淡水藻类优势种类为硅藻,其次为蓝藻和绿藻^[6].

本研究将传统培养及显微镜检的方法和现代分子生物学方法相结合,对若尔盖高原湿地中的藻类种群多样性进行了分析,这对于研究青藏高原生态环境的变化具有重要意义,以期为进一步保护、开发和利用这一地区特有的藻类资源奠定基础.

1 材料与方法

1.1 水样采集和水质指标测定

表 1 若尔盖高原湿地夏季水样采集点的地理参数和环境特征

Table 1 Geographical and environmental characteristics of the water sampling points in Zoige Alpine Wetland in summer

参数	坐标	高程/m	水深/cm	气温/℃	水温/℃
数值	约 33°55'N, 102°49'E	约 3 430	0~15	约 23	约 20

1.2 培养和显微镜检

2007 年 8 月所采水样用水生 4 号培养基^[7]进行培养,通过显微镜观察和对照标准藻种库,初步鉴定培养后的单藻落. 2010 年 11 月所采水样用卢戈氏液预浓缩后,取 1 mL 滴入浮游植物计数器中,用德国 Zeiss 公司的 Axioskop2 mot plus 显微镜进行藻类细胞的观察. 显微照片在明视野 (BF) 模式或微分干涉对比 (DIC) 模式下进行拍摄. 鉴定分类的主要依据是文献^[8].

1.3 总 DNA 的提取和 PCR 扩增

2010 年 11 月所采水样 0.5 L 经孔径为 0.45 μm 的聚碳酸酯滤膜 (英国 Whatman) 过滤,然后用无菌水 2 mL 将滤膜上的生物质洗下. 利用 Fast DNA SPIN Kit for Soil 试剂盒进行总 DNA 提取,具体方法见说明书. 采用蓝藻 16S rRNA 基因通用引物 CYA359F 和 CYA781R^[9] 进行 PCR 扩增. 采用巢氏 PCR 对绿藻 18S rRNA 基因进行扩增,第一轮使用真核生物通用引物 Euk328f 和 Euk329r,第二轮使用 Euk328f 和绿藻特异性引物 CHL002r^[10]. 反应体系为 50 μL , 包括 10 $\times$ PCR buffer (含 1.5 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ MgCl_2) 5 μL , dNTP (2.5 $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$) 4 μL , 上下游引物 (10 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$) 各 1 μL , Taq DNA 酶 (2.5 $\text{U}\cdot\mu\text{L}^{-1}$) 0.5 μL , 模板 DNA 1 μL , 无菌超纯水 37.5 μL . 反应条件: 94℃ 预变性 5 min; 94℃ 30 s, 55℃ 30 s, 72℃ 1.5 min, 共 35 个循环; 最后 72℃

2007 年 8 月,在若尔盖高原湿地花湖边共设 10 个采样点,采集水样,样品分别编号 1~10 号. 用 GPS 全球定位系统和 HI9828 多参数防水型水质测定仪测定了采样点的地理参数和环境特征 (如表 1). 所采样品立即放入冰盒,运至实验室,放入 -20℃ 冰箱保存. 检测 TN、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 、TP 和 TOC 的水样需要酸化,在采样现场用浓硫酸调 pH < 1,再放入带胶塞的玻璃瓶中,密封. 用 WTW 公司的水质快速测定仪测定了水样的 COD、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 和 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 这 4 项指标. 将水样送到成都市环境监测中心站检测了 TN、TP 和 TOC 这 3 项指标.

2010 年 11 月,在若尔盖高原湿地破冰采集水样,样品采集后于 4℃ 冰箱中保存. 用 pH 计、TOC 分析仪 (日本岛津)、连续流动分析仪 (荷兰 Skalar)、电导率仪对水样的理化特征进行了分析.

延伸 7 min. 扩增产物经 1.0% 琼脂糖凝胶电泳检测,最后用 Fermentas DNA 快速纯化/回收试剂盒进行纯化.

1.4 克隆文库构建和系统发育分析

将纯化后的 PCR 产物在 16℃ 条件下与载体 pMD18-T Vector 过夜连接,并转化至 JM109 感受态细胞 (日本 Takara) 中,接种到含有 X-gal、IPTG 和氨苄青霉素的 LB 平板培养基上, 37℃ 过夜培养,挑取具有氨苄青霉素抗性的白色转化子,构建克隆文库. 使用载体质粒引物 M13 检测插入片段的长度,确定阳性克隆子,将菌悬液送至北京奥科生物公司进行测序.

DNA 序列首先由 BioEdit 软件进行手工校正,然后用 RDP-II 的 Classifier 工具确定序列的分类情况,并和 GenBank 数据库进行 BLAST 比对^[11~13],保留最相似的序列,用 Clustal-X 将克隆序列和参照序列一起进行排列^[14],然后用 MEGA 4.0 软件采用邻接法构建系统进化树^[15],可能的 Chimera 序列用 RDP-II 中的 CHIMERA_CHECK 和 Bellerophon 软件进行检查^[16]. 所得克隆序列在 GenBank 中的登录号为 JF772827~JF772861.

2 结果与分析

2.1 水质指标

夏季 (2007 年 8 月) 和冬季 (2010 年 11 月) 所

采水样的水质指标检测结果如表 2 所示,除此以外,冬季(2010 年 11 月)所采水样 pH 7.89,电导率 850 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. 总体来说,若尔盖高原湿地水样的水质指标夏、冬两季差别不大,80% 以上的检测项目处于地面水国家 II 类到 V 类标准之间(GB 3838-2002).

COD 和 TOC 值较高,其原因一是放牧等人为因素所致;二是湖泊中生物生长茂盛,死亡后在低温高湿条件下分解作用缓慢,以有机残体的形式累积,成为有机物的重要来源;三是湖泊排水不畅,有机物排除困难.

表 2 若尔盖高原湿地水样水质指标¹⁾/mg·L⁻¹

Table 2 Characteristics of water qualities in Zoige Alpine Wetland/mg·L ⁻¹							
季节	COD	NH ₄ ⁺ -N	NO ₃ ⁻ -N	NO ₂ ⁻ -N	TN	TP	TOC
夏季	32 ~ 82	<5	<1	<0.02	0.88 ~ 2.88	0.04 ~ 0.09	8.83 ~ 29.70
冬季	—	0.33	1.40	—	—	0.01	35.00

1) “—”为未检测

2.2 显微镜检及鉴定

2.2.1 夏季藻类种群

每年 7、8 月正值若尔盖高原湿地的夏季,是全年温度最高的时期. 夏季(2007 年 8 月)所采水样经培养、分离和显微镜观察并对照标准藻种库,结果显示至少培养出 4 种单细胞绿藻(如图 1

和表 3),分别为普通小球藻(*Chlorella vulgaris* Beij.)、浮球藻(*Planktosphaeria gelatinosa* G. M. Smith)、繁茂栅列藻(*Scenedesmus abundans* Kirchner)和柱状栅列藻(*Scenedesmus bijuga* Turp.),其中普通小球藻为优势藻种,并被分离纯化.

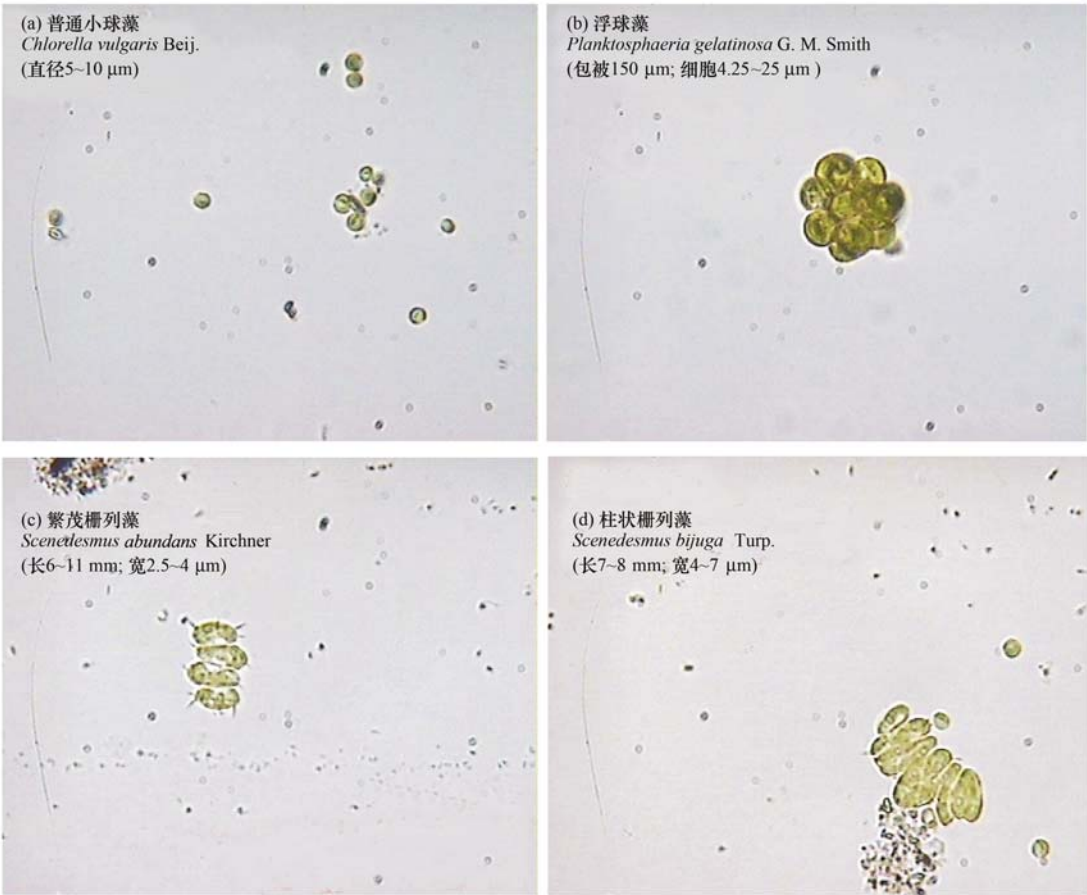


图 1 若尔盖高原湿地夏季水样绿藻显微照片(放大倍数:×400)
Fig. 1 Microscopic images of the algae in Zoige Alpine Wetland in summer

2.2.2 冬季藻类种群

基于形态学的显微镜检结果显示冬季(2010 年

11 月)所采水样中的藻类种群以硅藻为主,同时存在念珠藻、颤藻和色球藻等蓝藻类群(如图 2).

表 3 若尔盖高原湿地夏季水样绿藻分类及特征^[7,8,17,18]

Table 3 Classification and characteristics of the algae in Zoige Alpine Wetland in summer

名称	系统分类	形态特征	存在环境
普通小球藻 (<i>Chlorella vulgaris</i> Beij.)	绿藻门绿球藻目小球藻科小球藻属 (<i>Chlorella</i>)	小球藻属个体外形一般呈球形,少数种类呈椭圆形. 个体较小,随着种类及发育阶段,个体直径差异较大,在 2~10 μm 左右. 一般个体单独存在,但有时也会集结成黏质层而沉到水底或附着在器物上. 普通小球藻细胞球形,幼时常为椭圆形或长椭圆形,细胞直径 5~10 μm	多数种类都生活在自然的淡水或海水中. 在温带水域,大都在春、秋两季大量出现,而在春夏之交繁殖最旺盛. 普通小球藻单细胞,有时数个细胞聚集在一起,属世界性普生种类,已被广泛用作培养材料和实验材料
浮球藻 (<i>Planktosphaeria gelatinosa</i> G. M. Smith)	绿藻门绿球藻目卵囊藻科浮球藻属 (<i>Planktosphaeria</i>)	浮球藻属群体细胞由 2、4、8 个或更多个细胞不规则、紧密地排列在一个共同的透明的胶被内,细胞球形,直径 10~23 μm,胶被厚度可达 35 μm	分布于世界各地池塘和湖泊中
繁茂栅列藻 (<i>Scenedesmus abundans</i> Kirchner) 和柱状栅列藻 (<i>Scenedesmus bijuga</i> Turp.)	绿藻门绿球藻目栅藻科栅藻属 (<i>Scenedesmus</i>)	栅藻属常由 4 个,少数是 8 个或 16 个个体构成定形群体,各个体在长轴上并列在一个平面上,群体扁平板形,很少呈弯曲板状. 个体在群体内,排成 1~2 列;成 2 列时,上下列个体交互排列. 个体外形椭圆、长椭圆或纺锤形. 繁茂栅列藻通常以 4 个细胞形成的集结体出现,外缘细胞有长刺,在细胞中央还有许多小刺. 柱状栅列藻的细胞呈椭圆形,在两端成宽圆形,是栅藻属的标准种之一	主要分布在温暖地区的淡水水域中

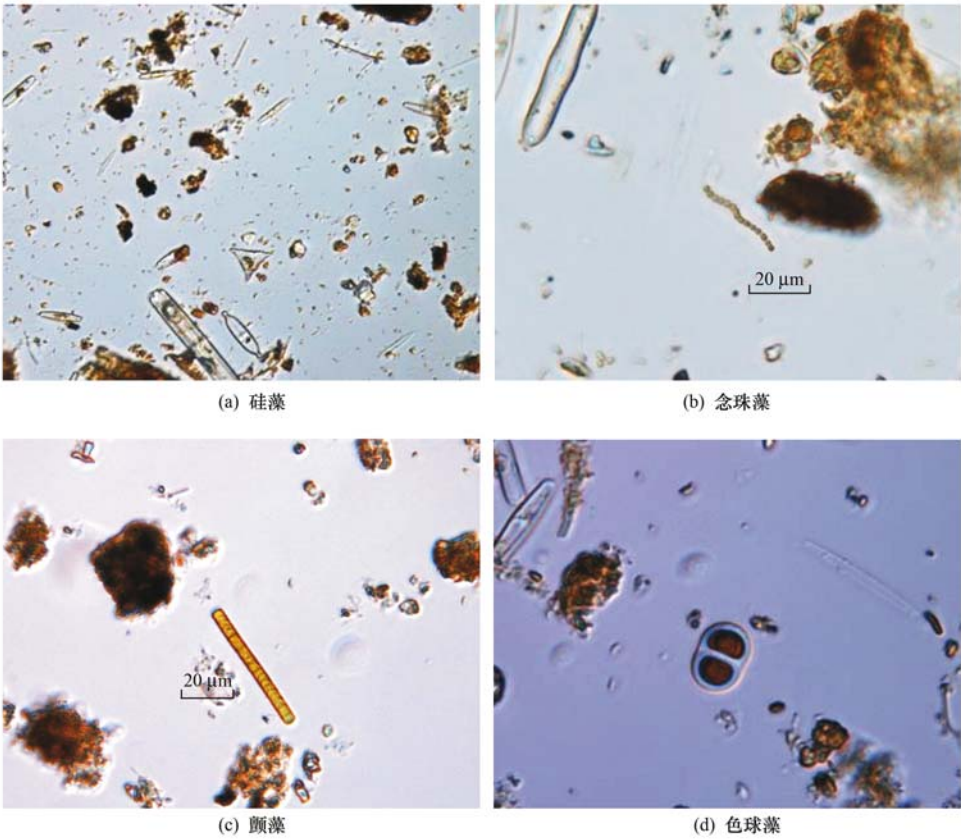


图 2 若尔盖高原湿地冬季水样藻类显微照片 (标尺:20 μm)

Fig. 2 Microscopic images of the algae in Zoige Alpine Wetland in winter

2.3 蓝藻克隆文库

使用蓝藻 16S rRNA 基因特异性引物 (CYA359F 和 CYA781R) 对若尔盖高原湿地冬季

(2010 年 11 月)所采水样总 DNA 进行 PCR 扩增,得到 470 bp 左右的片段. 克隆文库共获得 36 个阳性克隆子,有一个嵌合体序列不再进行分析. 将克隆序

列与 GenBank 数据库中的序列进行比对,获得最相似序列,结果发现其中 17 个克隆序列与蓝藻具有较高的同源性,如表 4 所示. 本研究对其余 18 个非蓝藻相关的克隆没有进行详细的系统发育分析.

基于蓝藻 16S rRNA 基因克隆序列构建的系统发育树如图 3 所示. 主要类群为硅藻 (*Bacillariophyta*, 35.3%),其次为蓝藻,包括色球藻 (*Chroococcales*, 5.9%)、念珠藻 (*Nostocales*, 11.8%)、颤藻 (*Oscillatoriales*, 11.8%) 和一些未知种属的蓝藻类群 (Unclassified *Cyanobacteria*, 35.3%).

在本研究中,蓝藻克隆文库中的 6 个克隆 (ZC5、ZC14、ZC29、ZC39、ZC41 和 ZC47) 与单细胞真核生物硅藻细胞内叶绿体中的 16S rRNA 基因呈现出一定的同源性,依据 RDP 的归类定义被划分为硅藻属 (*Bacillariophyta*). 其中 ZC5、ZC39、ZC41 和 ZC47 与来自植物根际泥炭土壤的蓝藻克隆 E2006TS1.06 (GU983308) 具有较高的相似性 (97%~98%); ZC14 与河口 (水温 16.8℃, pH 8.0, DOC 0.4 mg·L⁻¹) 中的蓝藻克隆 PI_4e4h (AY580403) 的相似度为 96%; ZC29 与一个源自北美伊利湖湿地 (水温 11℃) 的克隆 BAC_2_G03 (FJ967930) 序列极为相似 (99%)^[19].

按照文献[8]中的分类体系划分,文库中有 5

个克隆 (ZC11、ZC18、ZC20、ZC32 和 ZC50) 归属于蓝藻纲 (*Cyanophyceae*) 的色球藻目 (*Chroococcales*)、念珠藻目 (*Nostocales*) 和颤藻目 (*Oscillatoriales*). ZC11 与一个未培养的色球藻克隆 *Cyanothece* CrV-P8 (DQ072917) 相似度为 94%. 有 2 个克隆 (ZC18 和 ZC20) 属于念珠藻 (*Nostocales*), ZC18 与 *Aphanizomenon issatschenkoi* 具有很高的相关性 (98%), ZC20 与 *Nostoc commune* 有一定的相关性,在 南极 和 北极 的环境样品中均检测到该种蓝藻的存在^[20, 21]. ZC32 和 ZC50 属于颤藻,呈现出与细纤维菌属 (*Leptolyngbya*) 序列很高的同源性, ZC32 与来自南极的 *Leptolyngbya frigida* ANT. LH70.1 (AY493574) 的相似度为 99%^[22], ZC50 与来自玻利维亚一个高原湖泊中的 *Leptolyngbya* sp. AECC1315 (EU729073) 的相似度为 100%.

值得注意的是,蓝藻克隆文库中还存在 35.3% 的未知种属蓝藻克隆 (ZC9、ZC22、ZC27、ZC30、ZC38 和 ZC48). BLAST 比对发现这些克隆与来自盐池生物膜中的未培养蓝藻克隆 cyano1004424U18 (DQ225026), 以及一个沿海沼泽中的克隆序列 (EU267313) 具有一定的同源性,相似度为 94%~96%. 这些克隆所代表的蓝藻种类的分类地位以及其在高原低温湿地中所扮演的生态角色需要进一步研究.

表 4 若尔盖高原湿地冬季水样蓝藻 16S rRNA 基因序列相似性比对

Table 4 Homology comparison of cyanobacterial 16S rRNA gene sequences of the water samples collected in Zoige Alpine Wetland in winter			
名称	GenBank 最相似序列	GenBank 登录号	相似度/%
<i>Cyanobacteria</i>			
<i>Bacillariophyta</i>			
ZC5	Uncultured cyanobacterium clone E2006TS1.06	GU983308	98
ZC14	Uncultured cyanobacterium clone PI_4e4h	AY580403	96
ZC29	Uncultured cyanobacterium clone BAC_2_G03	FJ967930	99
ZC39	Uncultured cyanobacterium clone E2006TS1.06	GU983308	97
ZC41	Uncultured cyanobacterium clone E2006TS1.06	GU983308	98
ZC47	Uncultured cyanobacterium clone E2006TS1.06	GU983308	98
<i>Chroococcales</i>			
ZC11	Uncultured <i>Cyanothece</i> sp. clone CrV-P8	DQ072917	94
<i>Nostocales</i>			
ZC18	<i>Aphanizomenon issatschenkoi</i>	FJ424563	98
ZC20	<i>Nostoc commune</i>	EU586722	94
<i>Oscillatoriales</i>			
ZC32	<i>Leptolyngbya frigida</i> ANT. LH70.1	AY493574	99
ZC50	<i>Leptolyngbya</i> sp. AECC1315	EU729073	100
Unclassified <i>Cyanobacteria</i>			
ZC9	Uncultured cyanobacterium clone cyano1004424U18	DQ225026	96
ZC22	Uncultured cyanobacterium clone cyano1004424U18	DQ225026	96
ZC27	Uncultured cyanobacterium clone cyano1004424U18	DQ225026	95
ZC30	Uncultured cyanobacterium clone cyano1004424U18	DQ225026	95
ZC38	Uncultured cyanobacterium clone cyano1004424U18	DQ225026	94
ZC48	Uncultured cyanobacterium clone cyano1004424U18	DQ225026	96

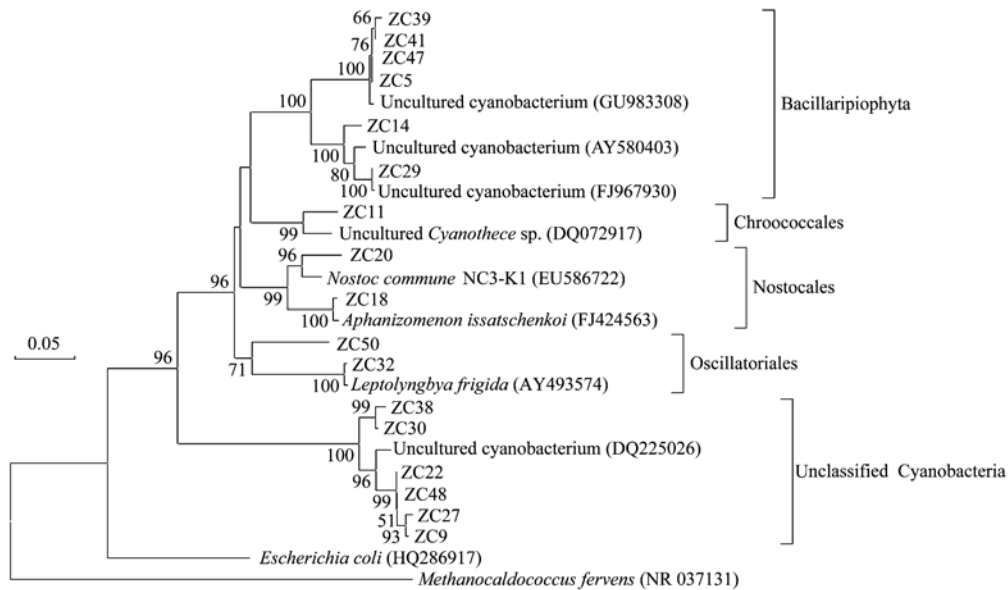


图3 若尔盖高原湿地冬季水样蓝藻 16S rRNA 基因克隆文库系统发育树

Fig. 3 Phylogenetic tree of cyanobacterial 16S rRNA gene clone library of the water samples collected in Zoige Alpine Wetland in winter

3 讨论

3.1 夏季藻类种群

夏季所采水样经培养、分离和显微镜观察并对照标准藻种库,结果显示其主要的藻类种群为绿藻,包括普通小球藻 (*Chlorella vulgaris* Beij.)、浮球藻 (*Planktosphaeria gelatinosa* G. M. Smith)、繁茂栅列藻 (*Scenedesmus abundans* Kirchner) 和柱状栅列藻 (*Scenedesmus bijuga* Turp.),其中普通小球藻为优势藻种. 这个结果一方面是由于若尔盖高原湿地夏季时期水中的藻类种群以绿藻居多,另一方面则可能与实验过程中所采用的培养基等培养条件密切相关,因为水生4号培养基比较适合绿藻的生长.

小球藻喜欢生活在水流不太急的水域中,但要求通气良好. 绿球藻目的多数种类都有显著的腐生生活倾向,所以小球藻属的种类在富含有机质的水体中均生活得很好. 若尔盖高原湿地花湖水流非常微小, COD 和 TOC 值又较高,这些条件都非常适合小球藻生长. 小球藻属虽然主要分布在温暖地区,但是适应温度的能力很强. 1958 ~ 1959 年,我国四川及沈阳曾发现耐低温 (−2℃) 的小球藻品种. 若尔盖地区年均气温仅有 1℃ 左右,本研究分离得到的普通小球藻即是适应了该地区的特殊环境,成为当地夏季时期的优势藻种.

栅藻属的种类和小球藻等单细胞绿藻有很多相

似之处,主要生活在水流不太急的水域中,在停滞的水塘中,生长得更好,要求通气良好;在有机质较多的地方生活得更好;对温度适应性很强,在温带,不论冬、夏季都会出现在水域中. 中国科学院 1958 ~ 1961 年调查北京郊区十三陵水库浮游植物的季节性变化时发现,在冬季水温很低时 (0 ~ 9℃),栅藻及小球藻仍能生存,并在冰下大量出现,可见二者都是全年性高产的种类^[23].

绿球藻目的很多种类都喜欢生活在水流不太急和富含有机质的水域中,适应温度的能力很强. 很多单细胞绿藻都可以适应若尔盖高原湿地常年低温的条件而生长繁殖,加之此地区日照强烈、时间长,有利于叶绿素的合成,藻类生长比较旺盛.

3.2 冬季藻类种群

相对于蓝藻,目前与利用分子生物学手段进行环境中绿藻多样性研究相关的报道还很少. Viprey 等^[10]用 *Chloroplastida* 特异性引物成功地获得了地中海微型浮游绿藻多样性的数据. 本研究采用相同的引物 (绿藻的 18S rRNA 基因特异性引物 CHLO02r) 和方法,却没有得到相应的 PCR 产物,这可能是由于若尔盖高原湿地冬季水样中的绿藻数量较少的缘故.

“内共生学说”认为真核细胞内的叶绿体来源于原核的蓝藻细胞,这些叶绿体 16S rRNA 基因序列对确定真核细胞的归属有一定的分类学意义. 自

从 Nübel 等^[9]设计了蓝藻 16S rRNA 基因特异性引物(CYA359F 和 CYA781R),该引物被广泛地用于环境中蓝藻多样性的研究.需要指出的是,尽管在本研究中使用上述引物成功地得到了蓝藻 16S rRNA 基因的 PCR 扩增产物,但是基于该引物构建的文库中超过半数的克隆序列与蓝藻无关.因此,在使用该引物进行蓝藻多样性分析时,建议使用克隆测序的方法,并与其他分析方法如末端限制性片段长度多态性(T-RFLP)相结合,从而避免因引物特异性程度不高而夸大环境中蓝藻多样性的问题,另外不宜使用该引物进行蓝藻的定量分析(如 Real Time-PCR).

基于传统的显微镜检分析和分子生物学手段对若尔盖高原湿地冬季藻类多样性的分析取得了相类似的结果.在该高原低温湿地中,硅藻为主要的藻类种群,这跟其他的报道相吻合——在低温季节天然水体中常以硅藻为主^[2~6, 24].湿地中存在的蓝藻为色球藻(*Chroococcales*)、念珠藻(*Nostocales*)和颤藻(*Oscillatoriales*).Jungblut 等^[21]发现在加拿大北极圈的湖水、溪水和冰中存在的主要蓝藻类群为色球藻、念珠藻和颤藻,尤其像 *Leptolyngbya* 和 *Nostoc* 在这些低温环境中普遍存在.Taton 等^[22]在分别研究南极洲湖水和融水池塘中的蓝藻生态时也发现类似的现象.在本研究构建的若尔盖高原湿地蓝藻克隆文库中也发现与低温环境中微生物相关的克隆,如颤藻目细纤维菌属(*Leptolyngbya*)的 2 个克隆(ZC32 和 ZC50)分别与来自南极湖泊和高原湖泊中的微生物的 16S rRNA 基因高度相似.据报道,丝状且产黏液的颤藻目微生物具有很好的环境适应性,在 0℃ 的低温条件下也能够缓慢生长^[25].这些结果表明这 3 个蓝藻目中的一些蓝藻种群能够很好地适应低温环境.

总之,若尔盖高原湿地低气温、长日照、强辐射等环境特点势必会造就一些具有特殊性质的藻类资源,这些藻类资源有待进一步开发利用.

4 结论

(1)若尔盖高原湿地水样的水质指标夏、冬两季差别不大,80% 以上的检测项目处于地面水国家 II 类到 V 类标准之间(GB 3838-2002).

(2)夏季(2007 年 8 月)所采水样经培养、分离和显微镜观察并对照标准藻种库,结果显示至少培养出 4 种单细胞绿藻,分别为普通小球藻(*Chlorella vulgaris* Beij.)、浮球藻(*Planktosphaeria gelatinosa* G.

M. Smith)、繁茂栅列藻(*Scenedesmus abundans* Kirchner)和柱状栅列藻(*Scenedesmus bijuga* Turp.),其中普通小球藻为优势藻种,并被分离纯化.若尔盖高原湿地水域水流不太急、富含有机质,加之此地区日照强烈、时间长,很多温度适应能力强的单细胞绿藻即是适应了该地区的特殊环境,成为当地夏季时期的优势藻类种群.

(3)冬季(2010 年 11 月)所采水样显微镜检结果表明其藻类种群以硅藻为主,同时存在色球藻、念珠藻和颤藻等蓝藻类群.冬季所采水样蓝藻 16S rRNA 基因克隆文库中主要类群为硅藻(*Bacillariophyta*, 35.3%),其次为蓝藻,包括色球藻(*Chroococcales*, 5.9%)、念珠藻(*Nostocales*, 11.8%)、颤藻(*Oscillatoriales*, 11.8%)和一些未知种属的蓝藻类群(Unclassified Cyanobacteria, 35.3%).此结果符合在低温季节天然水体中常以硅藻为主的常理.此外,一些蓝藻种群,如颤藻目细纤维菌属也能够很好地适应此地区的低温环境.

参考文献:

- [1] 张晓君. 青藏高原微生物多样性及其与环境的关系[D]. 兰州: 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 2002.
- [2] 何剑锋, 王桂忠, 李少菁, 等. 北极拉普捷夫海春季冰藻和浮游植物群落结构及生物量分析[J]. 极地研究, 2005, 17(1): 1-10.
- [3] 孙军, 刘东艳, 宁修仁, 等. 2001/2002 年夏季南极普里兹湾及其邻近海域的浮游植物[J]. 海洋与湖沼, 2003, 34(5): 519-532.
- [4] 朱根海, 宁修仁, 刘子琳, 等. 2000 年夏季南极普里兹湾及邻近海域浮游植物研究[J]. 海洋学报, 2006, 28(1): 118-126.
- [5] Zhu G H, Ning X R, Cai Y M, et al. Phytoplankton in Prydz Bay and its adjacent sea area of Antarctica during the austral summer (1998/1999) [J]. Acta Botanica Sinica, 2003, 45(4): 390-398.
- [6] 朱根海, 大谷修司, 扈传昱, 等. 全球气候变化对南极淡水藻类的影响[J]. 中国环境科学, 2010, 30(3): 400-404.
- [7] 华汝成. 单细胞藻类的培养与利用[M]. 北京: 农业出版社, 1980.
- [8] 胡鸿钧, 魏印心. 中国淡水藻类——系统、分类及生态[M]. 北京: 科学出版社, 2006.
- [9] Nübel U, Garcia-Pichel F, Muyzer G. PCR primers to amplify 16S rRNA genes from cyanobacteria [J]. Applied and Environmental Microbiology, 1997, 63(8): 3327-3332.
- [10] Viprey M, Guillou L, Ferréol M, et al. Wide genetic diversity of picoplanktonic green algae (*Chloroplastida*) in the Mediterranean Sea uncovered by a phylum-biased PCR approach [J]. Environmental Microbiology, 2008, 10(7): 1804-1822.
- [11] Altschul S F, Madden T L, Schaffer A A, et al. Gapped BLAST and PSI-BLAST: a new generation of protein database search

- programs[J]. *Nucleic Acids Research*, 1997, **25**(17): 3389-3402.
- [12] Cole J R, Chai B, Farris R J, *et al.* The ribosomal database project (RDP-II): introducing myRDP space and quality controlled public data[J]. *Nucleic Acids Research*, 2006, **35** (Suppl. 1): 169-172.
- [13] Hall T A. BioEdit: a user-friendly biological sequence alignment editor and analysis program for Windows 95/98/NT[J]. *Nucleic Acids Symposium Series*, 1999, **41**(41): 95-98.
- [14] Thompson J D, Gibson T J, Plewniak F, *et al.* The CLUSTAL_X windows interface: flexible strategies for multiple sequence alignment aided by quality analysis tools[J]. *Nucleic Acids Research*, 1997, **25**(24): 4876-4882.
- [15] Tamura K, Dudley J, Nei M, *et al.* MEGA4: molecular evolutionary genetics analysis (MEGA) software version 4.0[J]. *Molecular Biology and Evolution*, 2007, **24**(8): 1596-1599.
- [16] Huber T, Faulkner G, Hugenholtz P. Bellerophon: a program to detect chimeric sequences in multiple sequence alignments[J]. *Bioinformatics*, 2004, **20**(14): 2317-2319.
- [17] 毕列爵, 胡征宇. 中国淡水藻志[M]. (第八卷). 北京: 科学出版社, 2004.
- [18] 福笛 B. 藻类学[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1980.
- [19] Chaudhary A, Haack S K, Duris J W, *et al.* Bacterial and archaeal phylogenetic diversity of a cold sulfur-rich spring on the Shoreline of Lake Erie, Michigan [J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 2009, **75**(15): 5025-5036.
- [20] Novis P M, Smitten R D. Two genetic and ecological groups of *Nostoc* commune in Victoria Land, Antarctica, revealed by AFLP analysis[J]. *Antarctic Science*, 2006, **18**(4): 573-581.
- [21] Junghlut A D, Lovejoy C, Vincent W F. Global distribution of cyanobacterial ecotypes in the cold biosphere [J]. *The ISME Journal*, 2010, **4**(2): 191-202.
- [22] Taton A, Grubisic S, Ertz D, *et al.* Polyphasic study of Antarctic cyanobacterial strains[J]. *Journal of Phycology*, 2006, **42**(6): 1257-1270.
- [23] 陈国孝. 十三陵水库浮游植物的季节变化[J]. *生物学通报*, 1963, (3): 12-15, 16.
- [24] 李宗来. 北方典型水库水源藻类种群动态和有害代谢物产生规律[D]. 北京: 中国科学院生态环境研究中心, 2009.
- [25] Tang E P Y, Tremblay R, Vincent W F. Cyanobacterial dominance of polar freshwater ecosystems: are high-latitude mat-formers adapted to low temperature? [J]. *Journal of Phycology*, 1997, **33**(2): 171-181.

CONTENTS

Stable Carbon Isotope of Black Carbon from Typical Emission Sources in China	CHEN Ying-jun, CAI Wei-wei, HUANG Guo-pei, <i>et al.</i> (673)
Characteristics of Carbonaceous Aerosol Concentration in Snow and Ice of Glaciers in Tianshan Mountains	WANG Sheng-jie, ZHANG Ming-jun, WANG Fei-teng, <i>et al.</i> (679)
Size Distribution Properties of Atmospheric Aerosol Particles During Summer and Autumn in Lanzhou	ZHAO Su-ping, YU Ye, CHEN Jin-bei, <i>et al.</i> (687)
Particle Number Size Distribution near a Major Road with Different Traffic Conditions	YANG Liu, WU Ye, SONG Shao-jie, <i>et al.</i> (694)
Atmospheric Particle Formation Events in Nanjing During Summer 2010	WANG Hong-lei, ZHU Bin, SHEN Li-juan, <i>et al.</i> (701)
Characteristics of $\delta^{18}\text{O}$ in Precipitation and Moisture Transports over the Arid Region in Northwest China	LI Xiao-fei, ZHANG Ming-jun, LI Ya-ju, <i>et al.</i> (711)
Distributions and Seasonal Variations of Total Dissolved Inorganic Arsenic in the Estuaries and Coastal Area of Eastern Hainan	CAO Xiu-hong, REN Jing-ling, ZHANG Gui-ling, <i>et al.</i> (720)
Mixing Behavior of Arsenic in the Daliaohe Estuary	JIAN Hui-min, YAO Qing-zheng, YU Li-xia, <i>et al.</i> (727)
Variation Characteristics and Potential Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in the Surface Sediments of Bohai Bay	XU Ya-yan, SONG Jin-ming, LI Xue-gang, <i>et al.</i> (732)
Distribution of PAHs in Surface Seawater of Qingdao Coast Area and Their Preliminary Apportionment	LI Xian-guo, DENG Wei, ZHOU Xiao, <i>et al.</i> (741)
Atmospheric Deposition of PAHs in Dashiwei Karst Tiankeng Group in Leye, Guangxi	KONG Xiang-sheng, QI Shi-hua, HUANG Bao-jian, <i>et al.</i> (746)
Lead Isotope Signatures and Source Identification in Urban Soil of Baoshan District, Shanghai	DONG Chen-yin, ZHANG Wei-guo, WANG Guan, <i>et al.</i> (754)
Solute Transport Modeling Application in Groundwater Organic Contaminant Source Identification	WANG Shu-fang, WANG Li-ya, WANG Xiao-hong, <i>et al.</i> (760)
Quantitative Method of Representative Contaminants in Groundwater Pollution Risk Assessment	WANG Jun-jie, HE Jiang-tao, LU Yan, <i>et al.</i> (771)
Study on the Advanced Pre-treatments of Reclaimed Water Used for Groundwater Recharge	GAO Yu-tuan, ZHANG Xue, ZHAO Xuan, <i>et al.</i> (777)
Influence of <i>Ruditapes philippinarum</i> Aquaculture on Benthic Fluxes of Biogenic Elements in Jiaozhou Bay	DENG Ke, LIU Su-mei, ZHANG Gui-ling, <i>et al.</i> (782)
Influence of Spatial Difference on Water Quality in Jiuxiang River Watershed, Nanjing	HU He-bing, LIU Hong-yu, HAO Jing-feng, <i>et al.</i> (794)
Temporal and Spatial Variation of Non-Point Source Nitrogen in Surface Water in Urban Agricultural Region of Shanghai	WANG Nan, MAO Liang, HUANG Hai-bo, <i>et al.</i> (802)
Migration and Transformation of Heavy Metals in Street Dusts with Different Particle Sizes During Urban Runoff	HE Xiao-yan, ZHAO Hong-tao, LI Xu-yong, <i>et al.</i> (810)
Treatment Studies of Industrial Rainoff With a New Type of Constructed Wetland	HE Li-jun, MA Yong-wen, WAN Jin-quan, <i>et al.</i> (817)
Emergent Retention of Organic Liquid by Modified Bentonites: Property and Mechanism	LI Yu, LIU Xian-jun, ZHANG Xing-wang, <i>et al.</i> (825)
Production of Peroxide Hydrogen in <i>Chattonella ovata</i> Hong Kong Strain	JIANG Tao, WU Ni, ZHONG Yan, <i>et al.</i> (832)
Characteristics Study of Extracellular Active Substance of <i>Bacillus</i> sp. B1 on <i>Phaeocystis globosa</i>	LI Qiang, ZHAO Ling, YIN Ping-he (838)
Effects of Sediment on the Growth of <i>Microcystis</i> and <i>Anabaena</i> in Yanghe Reservoir	CHU Zhao-sheng, ZHANG Yu-bao, JIN Xiang-can, <i>et al.</i> (844)
New-Type Electroless Excilamp for Advanced Treatment on Nitrogen-Heterocyclic Compounds (NHCs) in Aqueous Solution	YE Zhao-lian, WANG Bin, LU Juan-juan, <i>et al.</i> (849)
Preparation and Electro-catalytic Characterization on La/Ce Doped Ti-base Lead Dioxide Electrodes	ZHENG Hui, DAI Qi-zhou, WANG Jia-de, <i>et al.</i> (857)
Study on Decolorization of Triphenylmethane Dyes by DTT	PAN Tao, LIU Da-wei, REN Sui-zhou, <i>et al.</i> (866)
Influences of pH and Complexing Agents on Degradation of Reactive Brilliant Blue KN-R by Ferrous Activated Persulfate	ZHANG Cheng, WAN Jin-quan, MA Yong-wen, <i>et al.</i> (871)
Degradation Kinetics of Ozone Oxidation on High Concentration of Humic Substances	ZHENG Ke, ZHOU Shao-qi, YANG Mei-mei (879)
Index of Stability and Its Mechanisms of Aerobic Granular System Using Volume-based Information Entropy	LI Zhi-hua, JI Xiao-qin, LI Sheng, <i>et al.</i> (885)
Relationship Between Physicochemical Characteristics of Activated Sludge and Polymer Conditioning Dosage	LI Ting, WANG Yi-li, FENG Jing, <i>et al.</i> (889)
Research of Aerobic Granule Characteristics with Different Granule Age	ZHOU Man, YANG Chang-zhu, PU Wen-hong, <i>et al.</i> (896)
Effect of Size and Number of Aerobic Granules on Nitrification and Denitrification	LI Zhi-hua, ZENG Jin-feng, LI Sheng, <i>et al.</i> (903)
Optimization and Comparison of Nitrogen and Phosphorus Removal by Different Aeration Modes in Oxidation Ditch	GUO Chang-zi, PENG Dang-cong, CHENG Xue-mei, <i>et al.</i> (910)
Effect of Acidification on the Dewaterability of Sewage Sludge in Bioleaching	ZHU Hai-feng, ZHOU Li-xiang, WANG Dian-zhan (916)
Microbial Ecology Analysis of the Biofilm from Two Biological Contact Oxidation Processes with Different Performance	QIAN Yin, QUAN Xiang-chun, PEI Yuan-sheng, <i>et al.</i> (922)
Altered Microbial Communities Change Soil Respiration Rates and Their Temperature Sensitivity	FAN Fen-liang, HUANG Ping-rong, TANG Yong-jun, <i>et al.</i> (932)
Storages and Distributed Patterns of Soil Organic Carbon and Total Nitrogen During the Succession of Artificial Sand-Binding Vegetation in Arid Desert Ecosystem	JIA Xiao-hong, LI Xin-rong, ZHOU Yu-yan, <i>et al.</i> (938)
Factors Controlling Soil Organic Carbon and Total Nitrogen Densities in the Upstream Watershed of Miyun Reservoir, North China	WANG Shu-fang, WANG Xiao-ke, OUYANG Zhi-yun (946)
Impact of Microbial Aggregating Agents on Soil Aggregate Stability Under Addition of Exogenous Nutrients	MO Yan-hua, TANG Jia, ZHANG Ren-duo, <i>et al.</i> (952)
Adsorption of Aflatoxin on Montmorillonite Modified by Low-Molecular-Weight Humic Acids	YAO Jia-jia, KANG Fu-xing, GAO Yan-zheng (958)
Influence of Operating Parameters on Surfactant-enhanced Washing to Remedy PAHs Contaminated Soil	WU Wei, JIANG Lin, CHEN Jia-jun, <i>et al.</i> (965)
Study on the Land Use Optimization Based on PPI	WU Xiao-feng, LI Ting (971)
Research on Algal Diversity in Zoige Alpine Wetland	CHEN Xi, LIU Ru-yin, WANG Yan-fen, <i>et al.</i> (979)
Effects of Three Fungicides on Arbuscular Mycorrhizal Fungal Infection and Growth of <i>Scutellaria baicalensis</i> Georgi	HE Xue-li, WANG Ping, MA Li, <i>et al.</i> (987)
Community Structure and Spatial Distribution of Anaerobic Ammonium Oxidation Bacteria in the Sediments of Chongming Eastern Tidal Flat in Summer	ZHENG Yan-ling, HOU Li-jun, LU Min, <i>et al.</i> (992)
Microbial Degradation of 2,2',4,4'-Tetrabrominated Diphenyl Ether Under Anaerobic Condition	LU Xiao-xia, CHEN Chao-qi, ZHANG Shu, <i>et al.</i> (1000)
Effect of Heavy Metals on Degradation of BDE-209 by White-rot Fungus	XIONG Shi-chang, YIN Hua, PENG Hui, <i>et al.</i> (1008)
Biodegradation Mechanism of DDT and Chlorpyrifos Using Molecular Simulation	LIN Yu-zhen, ZENG Guang-ming, ZHANG Yu, <i>et al.</i> (1015)
Construction of a Microbial Consortium RXS with High Degradation Ability for Cassava Residues and Studies on Its Fermentative Characteristics	HE Jiang, MAO Zhong-gui, ZHANG Qing-hua, <i>et al.</i> (1020)
Anaerobic Digestion of Animal Manure Contaminated by Tetracyclines	TONG Zi-lin, LIU Yuan-lu, HU Zhen-hu, <i>et al.</i> (1028)
Continuous Dry Fermentation of Pig Manure Using Up Plug-Flow Type Anaerobic Reactor	CHEN Chuang, DENG Liang-wei, XIN Xin, <i>et al.</i> (1033)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军
朱永官 刘志培 汤鸿霄 陈吉宁 孟 伟 周宗灿 林金明
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2012年3月15日 33卷 第3期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 3 Mar. 15, 2012

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	欧阳自远	Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市2871信箱(海淀区双清路 18号, 邮政编码:100085) 电话:010-62941102, 010-62849343 传真:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science (HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel:010-62941102, 010-62849343; Fax:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷 装 订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科 学 出 版 社 电话:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京399信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 70.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行人