

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
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 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 姜森颖, 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(NO₃)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/stxb201306251777

王博雯, 汤祥明, 高光, 余多慰, 李琳琳, 赛·巴雅尔图. 博斯腾湖细菌丰度时空分布及其与环境因子的关系. 生态学报, 2014, 34(7): 1812-1821.
Wang B W, Tang X M, Gao G, Yu D W, Li L N, Sai Bayartu. Spatiotemporal dynamics of bacterial abundance and related environmental parameters in Lake Bosten. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(7): 1812-1821.

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^{1,2}, 汤祥明^{2,*}, 高光², 余多慰¹, 李琳琳^{2,3}, 赛·巴雅尔图⁴

(1. 南京师范大学生命科学学院, 南京 210046; 2. 中国科学院南京地理与湖泊研究所湖泊与环境国家重点实验室, 南京 210008;
3. 安徽农业大学生命科学学院, 合肥 230036; 4. 新疆巴音郭楞蒙古自治州博斯腾湖科学研究所, 库尔勒 841000)

摘要:于 2010 年 6 月—2011 年 6 月在新疆博斯腾湖共进行了 9 次采样, 获得了 140 份样品, 采用表面荧光显微镜直接计数法及广义可加模型 (Generalized Additive Models, GAM) 研究了表层水体中细菌丰度的时空分布规律及其与环境因子的关系。结果表明博斯腾湖细菌丰度平均值为 $(1.48 \pm 0.95) \times 10^6$ 个/mL; 细菌丰度季节差异显著, 夏季最高 (2.05×10^6 个/mL), 冬季最低 (3.81×10^5 个/mL)。在大湖区, 春季和冬季细菌丰度最大值均位于湖区中部, 冬季细菌丰度由湖区中部向东南、西南逐渐减少。夏季和秋季细菌丰度分布与春季大致相反, 湖区中部较低, 西北部较高。GAM 分析结果表明, 温度、溶解性有机碳 (DOC)、叶绿素 a、电导率、浊度等 5 个环境因子对细菌丰度总偏差解释率为 81.2%, 其中温度贡献最大, 贡献率为 63.3%, DOC、叶绿素 a 和电导率, 贡献率分别为 12.5%、2.7% 和 1.7%; 浊度对偏差的解释率仅为 1.0%。在温度超过 22℃ 时, 影响博斯腾湖细菌丰度空间分布的主要因子是 DOC。

关键词:博斯腾湖; 广义可加模型; 细菌丰度; 溶解性有机碳

Spatiotemporal dynamics of bacterial abundance and related environmental parameters in Lake Bosten

WANG Bowen^{1,2}, TANG Xiangming^{2,*}, GAO Guang², YU Duowei¹, LI Linlin^{2,3}, Sai · Bayartu⁴

1 College of Life Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210046, China

2 State Key Laboratory of Lake Science and Environment, Nanjing Institute of Geography and Limnology, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China

3 College of Life Science, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China

4 The Institute of Bosten Lake, Environmental Protection Bureau of Bayingolin Mongolia Autonomous Prefecture, Korle, 841000, China

Abstract: In aquatic systems, bacteria are often closely linked to environmental conditions, which influence the intrasystem bacterial distribution and abundance. To investigate the response of bacterial abundance to environmental factors in lakes located in arid regions, we investigated Lake Bosten in Xinjiang Uygur Autonomous Region, China, which is the largest and most typical inland lake in this region. The inflow of the lake is supplied by melting ice, precipitation and groundwater from the mountainous regions of Tianshan, which formed a salinity gradient from freshwater to oligosaline, making it an ideal model to study the response of bacterial abundance to environmental factors in lakes. Surface water samples from 17 sites of the large-lake area (surface area $\approx 950 \text{ km}^2$, mean depth $\approx 7 \text{ m}$) and six sites of the small-lake area (surface area $\approx 300 \text{ km}^2$, depth $\approx 1\text{—}4 \text{ m}$) in Lake Bosten were collected from June 2010 to June 2011. Environmental variables of each sampling site were measured using standard methods. Additionally, the DAPI-combined epifluorescence direct counting method (DAPI-FDC) was used to investigate the bacterial abundance and their spatial and temporal distribution in the lake.

基金项目: 环保公益性行业科研专项 (201309041); 国家自然科学基金 (41171388, 31270505, 21247008) 联合资助

收稿日期: 2013-06-25; 修订日期: 2013-11-14

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xmtang@niglas.ac.cn

The relationship between bacterial abundance and environmental parameters was then explored by the Generalized Additive Model (GAM), which is a flexible and effective technique for modelling nonlinear time-series in studies of effects of environmental factors on organisms. The average abundance of bacteria in Lake Bosten was $(1.48 \pm 0.95) \times 10^6$ cells/mL. Generally, bacterial abundance varies from 10^5 — 10^7 cells/L from oligotrophic to hyper eutrophic lakes. Bacterial abundance in mesotrophic Bosten Lake was two times higher than the abundance in oligotrophic lakes during the same season such as Seven Rila Lake in Bulgaria, and in Shield Lake in Canada, while it was slightly lower than that in mesotrophic Lake Schöhsee. In addition, the bacterial abundance in Bosten Lake was an order of magnitude lower than that of Taihu Lake and Wuliangshai Lake, which are eutrophic. The bacterial abundance also varied significantly with season, with the highest value being recorded in summer (2.05×10^6 cells/mL) and the lowest in winter (3.81×10^5 cells/mL). In the large-lake area, the maximum bacterial abundance appeared in the center during spring and winter and decreased from the center to southeast and southwest during winter; however, the opposite spatial tendency was observed during summer and autumn. The result of GAMs showed that temperature, dissolved organic carbon (DOC), chlorophyll *a* (Chl-*a*), conductivity and turbidity, explained about 81.2% of the total variation in bacterial abundance in Lake Bosten. Temperature provided the largest contribution to this variation (63.3%), followed by DOC (12.5%), Chl-*a* (2.7%) and conductivity (1.7%). Our data also showed that, when water temperature was $\geq 22^\circ\text{C}$, DOC was the most important variable affecting the spatial dynamics of bacterial abundance.

Key Words: Lake Bosten; Generalized Additive Models; bacterial abundance; DOC

在湖泊生态系统中,细菌是最为敏感并极易受环境影响的微生物类群之一,细菌丰度是反映水质状况和富营养状况的一项重要指标。细菌不仅是有机物的分解者,也是微食物网中最重要核心组分之一^[1-4],对促进水体中物质循环及保持水环境的生态平衡具有重要意义。

博斯腾湖是我国干旱半干旱地区最大的也是最具代表性的内陆湖泊之一。近年来,由于博斯腾湖流域内气候的变化及人口数量的急剧增长,加之水资源的过度开发利用,使得博斯腾湖水位下降,矿化度升高,局部水体已呈现富营养化状态^[5-6]。赛·巴雅尔图等人^[7]研究了博斯腾湖细菌丰度的空间分布及其与水体咸化和富营养化的关系,而对博斯腾湖不同季节不同水域中细菌丰度及其与环境因子关系的研究尚未见报道。

天然水环境中的微生物仅有 0.001%—3% 可以被分离培养^[8],利用传统的平板菌落计数方法不能获取水体中比较真实的细菌丰度信息^[9]。利用荧光染料 DAPI (4, 6-diamidino-2-phenylindole) 与表面荧光显微镜结合、直接计数环境中细菌的方法 (epifluorescence direct counting method, FDC) 是目前常用的计数水体细菌丰度的方法之一^[10-11]。本文中利用 FDC 法研究了博斯腾湖细菌丰度的时空分布规

律,并用广义可加模型 (generalize addictive model, GAM) 模型阐释了博斯腾湖细菌丰度与环境因子的关系,以期为博斯腾湖环境保护和生态修复提供基础资料。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

博斯腾湖 ($E86^\circ 19'$ — $87^\circ 26'$, $N41^\circ 32'$ — $42^\circ 14'$) 地处新疆天山南坡,焉耆盆地的最低点,是我国干旱地区最大的也是最具代表性的内陆湖泊。该湖主要水源 (80% 以上) 来自天山山脉中部的萨尔明山的开都河,属冰雪融水和降水补给为主的内陆湖泊。开都河在宝浪苏木分水枢纽处分两支,分别注入大小两个湖区 (图 1)。大湖区东西长 55 km,南北平均宽约 20 km,在海拔高程为 1048.75 m 时,水面面积为 1002.4 km²,容积为 8.8×10^9 m³,平均水深为 7.38 m,最深处达到 16 m^[12]。小湖区总面积约 300 km²,是个芦苇密布的湿地,分布着大小不等的 16 个小型湖泊。大湖区的出流主要靠西南角的扬水站将湖水泵出,并与小湖区流出的水汇合流进入孔雀河,故大湖区的水体交换能力较弱,换水周期长达 969 d^[13]。

由于博斯腾湖四周高山环抱,海洋气候微弱,湖区春季 (3—5 月) 升温慢,常有寒潮入侵;夏季 (6—8

月)日照充足,降水集中,丰水期主要分布在8月中旬;秋季(9—11月)降温快,11月下旬封冻,进入冰封期;冬季(12—2月)最冷的时间出现在1—2月。博斯腾湖区降水稀少,多年平均降水量为64.3 mm,而多年平均总蒸发量为1881.2 mm,为降水量的29倍^[14];近年来,受气候影响,入湖水量也在不断减少,水位下降加速,湖水面积不断缩减。加之流域内大规模农业开发、工业建设以及人口的不断增加,环湖周边地区工业排污量不断增大、大量盐分随农田排水直接进入湖体等诸多原因,导致博斯腾湖部分区域面临着水资源短缺、水体咸化及局部富营养化等生态和环境问题。

1.2 采样位点和样品采集

采样点的设置见图1。采样时间为2010年6月—2011年6月,进行了9次采样,共采集样品140份(冰封期只在2011年1月进行了一次采样)。用采水器采集表层水样(水下50 cm左右)5 L,置预先洗净的塑料桶中,运回巴音郭楞蒙古自治州环境监测站进行营养盐含量分析。另取15 mL水样装入预先灭过菌的离心管中,加入预先用0.22 μm孔径的滤膜过滤过的甲醛溶液,使甲醛终体积分数为2%。样品置于冰盒中,带回实验室用于测定细菌的丰度。

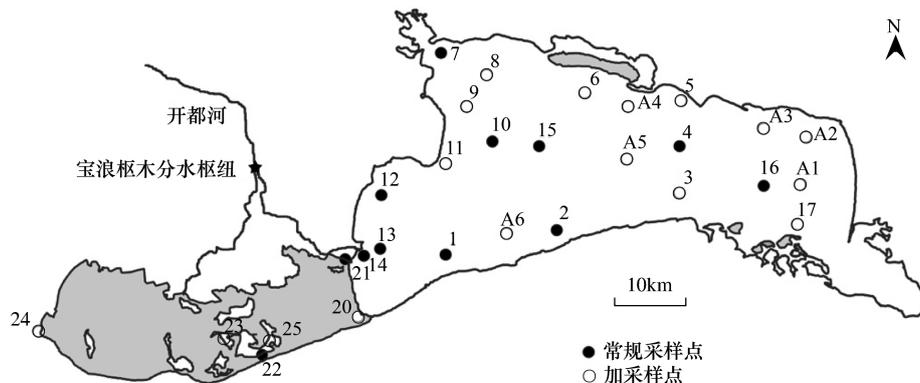


图1 博斯腾湖采样点分布图

Fig.1 Lake Bosten and the distribution of sampling stations

灰色代表小湖区的芦苇湿地;采样时间分别为2010年6月—11月,2011年1月,2011年5月和2011年6月,共9次;2010年6月23个样点:1—17及20—25;2010年8月29个样点:1—17、20—25及A1—A6;2010年10月16个样点;图中黑色的12个点及样点20,23—25;其余月份采样点均为图中黑色的12个采样点

1.3 样品理化参数的测定

采样点水体的透明度(SD)用透明度盘现场测定;水深(WD)、水温(Temp)、溶解氧(DO)、pH、电导率(Cond)、矿化度(TDS)、盐度(Sal)、浊度(Turb)及叶绿素a(Chl-a)的含量用多参数水质测定仪(YSI 6600V2)现场测定。总氮(TN)、氨氮(NH₄⁺)、硝态氮(NO₃⁻)、总磷(TP)、高锰酸盐指数(COD_{Mn})、氯化物(Cl⁻)、硫酸盐(SO₄²⁻)和溶解有机碳(DOC)的分析参照《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)进行。

1.4 细菌丰度的测定

DAPI染色法:将甲醛固定的样品,用无菌 Milli-Q 水稀释10倍,取5 mL水样,加适量的DAPI(Sigma公司)工作液至终浓度为2 μg/mL,染色10 min^[15]。用手持式真空泵在压力<10 mm Hg下过滤到黑色滤膜上(孔径0.22 μm, GE water & Process Technoiogies),

滴加无荧光的浸镜油(Cargille type A, Cargille Laboratories, Inc. USA)后,用表面荧光显微镜(Zeiss Axiovert 135 M, Germany)在16×100放大倍数下,随机计数20个视野,然后将视野内的细菌个数换算成每毫升水样中的实际细菌细胞数(个/mL),即为细菌丰度。

1.5 数据处理和模型建立

数据分析使用软件 SPSS18.0 Statistics 分析,数据先进行正态分布、方差齐性等检验,并选择合适的转换方法进行必要的转换,使之符合统计分析的要求,并采用单因素方差分析(One way ANOVA)比较各参数季节变化的显著性,细菌丰度与环境因子的相关分析采用皮尔森(Pearson)相关系数法。

由于细菌丰度和环境的相互关系错综复杂,单纯的线性分析有时并不足以解释二者之间的相互关

系。所以本文选用广义可加模型(GAM)探讨细菌丰度与环境因子的相互关系。GAM为广义线性模型的非参数化扩展,其优点是无需预定的参数模型,能直接处理响应变量与多个解释变量之间的非线性关系,对变量的数据类型和统计分布特征适应性更广,是目前较为先进的研究物种与环境之间关系的方法^[16-17]。国内运用GAM模型主要用于海洋渔业、植被预测以及物种和地理空间关系等方面的研究^[18-19],在微生物与环境的关系的研究中还很少见。本文以细菌丰度为因变量,所监测环境因子作为解释变量采用逐步法建立GAM模型,GAM模型中各自变量之间的关系彼此独立,可以得出各个因子与细菌丰度的关系。GAM模型的方程一般形式为:

$$G\{E(Y)\} = a + f_1(X_1) + f_2(X_2) + \dots + f_p(X_p)$$

式中, G 为联结函数, $E(Y)$ 为应变量期望值, a 为回归方程常数项; $f_1 \dots f_p$ 是 p 个环境变量 X 的平滑函数, $f_p(X_p)$ 用来描述 $G\{E(Y)\}$ 与第 p 个解释变量关系的非参数函数。可通过局部加权回归平滑或者样条平滑得到。本研究采用样条平滑法。

利用AIC(Akaike Information Criterion)准则检验模型的拟合程度,其值越小,模型的拟合效果越

好^[20]。利用F检验评估各环境因子的显著性^[21]。本文中GAM的建立由统计软件R中的mgcv包(version 3.0.0)完成。

2 结果与分析

2.1 博斯腾湖主要理化因子状况

采样点的年平均水深5.2 m,平均透明度为2.3 m,最深的为16#点,水深14.1 m,该点6月份的透明度也最高,达到5.5 m(表1)。采样点的平均温度为18.25 °C。TDS平均值为1200 mg/L,略超过微咸水湖(1000 mg/L)的标准。水体中TP含量较低,很多样品TP含量低于检测限(检测下限为0.005 μg/L)。NO₃⁻、NH₄⁺均以小湖区21#点最高,该点比较特殊,污染较重,DO的含量低于检测限(0.01 mg/L),完全是厌氧状态。另外,DOC年平均值也以21#点最高(12.53 mg/L),是平均值的1.3倍。同样特殊的采样点是大湖区7#点,该点接纳了博斯腾湖北四县大量的工农业污水及生活污水。该点所处的西北部湖区的TDS、氮盐含量等均高于21#以外的其他采样点。

表1 博斯腾湖各环境因子年平均值($n=140$)

Table 1 Annual average of environmental variables in Lake Bosten ($n=140$)

理化因子 Environmental variables	均值 ± 标准差 Mean ± Standard deviation	极大值 Maximum value	极小值 Minimum value
SD/m	2.3 ± 1.1	5.5	0.3
WD/m	5.2 ± 3.8	14.1	0.3
Temp/°C	18.25 ± 8.25	27.36	0.03
Cond/(μS/cm)	1839 ± 717	3180	312
TDS/(mg/L)	1200 ± 467	2068	219
Sal/‰	0.94 ± 0.37	1.63	0.16
pH	8.79 ± 0.39	9.40	7.42
Turb	2.3 ± 6.4	61.9	—
Chl-a/(μg/L)	2.6 ± 2.2	10.6	—
DO/(mg/L)	8.11 ± 2.88	16.56	—
NH ₄ ⁺ /(mg/L)	0.21 ± 0.18	1.27	0.03
TN/(mg/L)	0.98 ± 0.31	2.59	0.31
NO ₃ ⁻ /(mg/L)	0.33 ± 0.15	1.00	0.07
TP/(μg/L)	28 ± 24	140	—
COD _{Mn} /(mg/L)	5.6 ± 1.4	9.2	1.3
Cl ⁻ /(mg/L)	271 ± 150	554	8
SO ₄ ²⁻ /(mg/L)	433.2 ± 231.8	919.0	27.4
DOC/(mg/L)	9.27 ± 5.15	24.00	0.90

—: 低于检测下限;SD: 透明度;WD: 水深;Temp: 水温;Cond: 电导率;TDS: 矿化度;Sal: 盐度;Turb: 浊度;Chla: 叶绿素 a;DO: 溶氧;TN: 总氮;TP: 总磷;COD_{Mn}: 高锰酸钾指数;Cl⁻: 氯离子;DOC: 溶解性有机碳

主要环境因子季节之间 ANOVA 分析结果见图 2。温度变化幅度较大,最低温度出现在冬季(1月),最高温度出现在夏季(8月)。DO 季节变化则与温度呈负相关。Chl-a 含量夏季最高,春季最低,春季与秋冬季节差异不显著。浊度以春季最大,与

其他三季差异显著,这主要受春季冰雪融水,开都河来水量增大的影响。TDS 季节变化没有显著差异。TP、 NH_4^+ 、 COD_{Mn} 、DOC 最低值出现在冬季,而 NO_3^- 在冬季时最高。

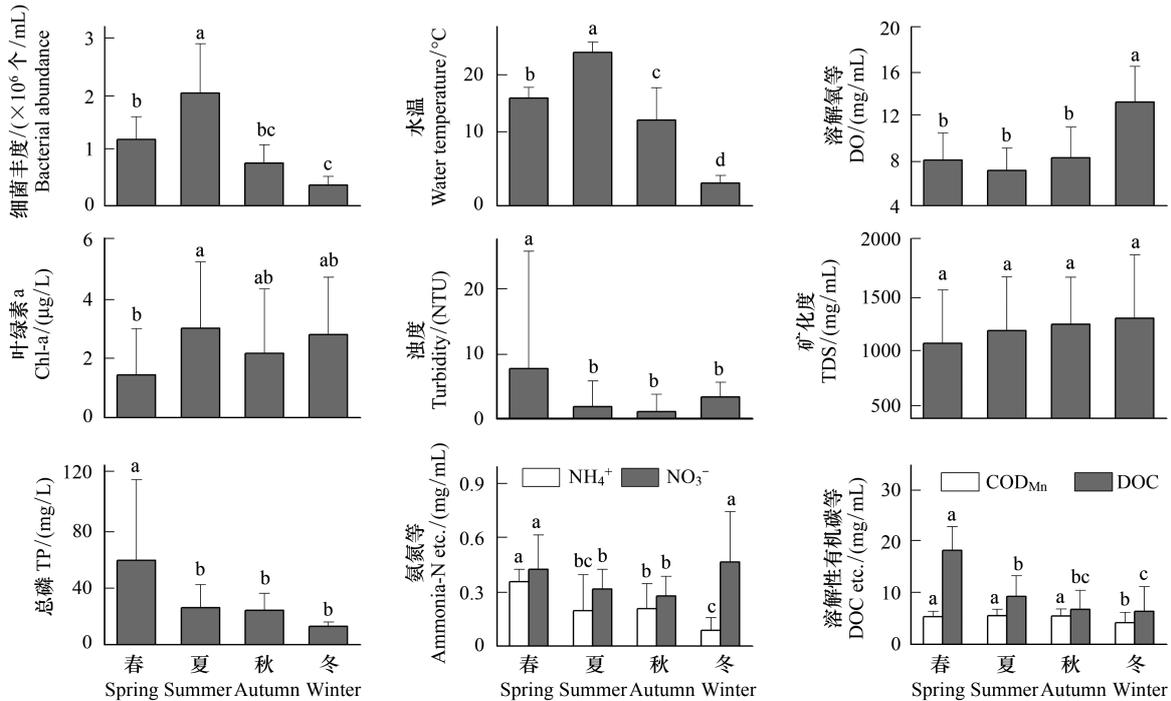


图 2 博斯腾湖不同季节理化因子均值比较

Fig. 2 Comparison of environmental parameters among different seasons in Lake Bosten

数值均为平均值 \pm 标准差;柱状图上标有相同字母表示差异不显著($P>0.05$),相邻字母表示差异显著($P<0.05$),相隔字母表示差异极显著($P<0.01$)

2.2 细菌丰度的时空分布

博斯腾湖表层水体细菌丰度的实测值的变化范围为 1.76×10^5 — 4.60×10^6 个/mL,总平均值为 $(1.48 \pm 0.95) \times 10^6$ 个/mL。细菌丰度季节差异显著(图 2),冬季细菌丰度最低;夏季最高(均值为 2.05×10^6 个/mL),是冬季的 5 倍左右。

各个月份细菌丰度的变化如图 3 所示:2010 年 6 月细菌的丰度最高,均值达到了 $(2.89 \pm 0.85) \times 10^6$ 个/mL。然后细菌丰度逐月降低,在 1 月份达到最低,均值为 $(0.38 \pm 0.16) \times 10^6$ 个/mL。

博斯腾湖细菌丰度时空分布如图 4 所示。在大湖区,春季、冬季细菌丰度最大值均位于湖区中部(15#点附近),冬季细菌丰度由湖区中部向东南(13#、14#点附近)、西南(17#点附近)逐渐减少。夏、秋季细菌丰度分布与春季大致相反,湖区中部较低,西北部(7#点附近)较高。与大湖区相比,小湖区细菌

丰度也是夏季最高,冬季最低。

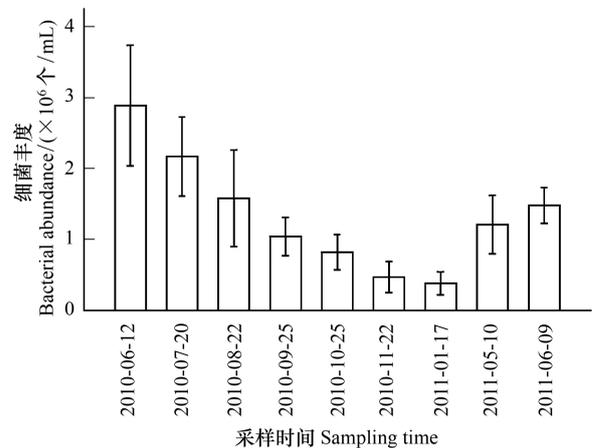


图 3 博斯腾湖各个月份细菌丰度

Fig. 3 Monthly variation of bacterial abundance in Lake Bosten

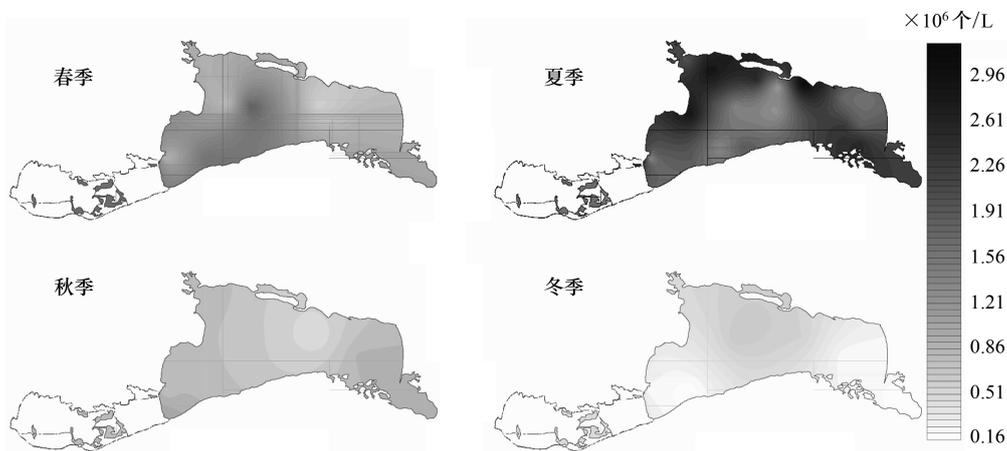


图 4 博斯腾湖四季细菌丰度空间分布

Fig.4 The spatial and seasonal distribution of bacterial abundance in Lake Bosten

2.3 细菌丰度与理化因子的相关分析

Pearson 相关分析结果见表 2。细菌丰度与温度、Chl-a、DOC、COD_{Mn} 呈极显著正相关 ($P < 0.01$)。温度与 DO、TN 成负相关 ($P < 0.01$)。反映水体中阴

阳离子指标的 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、TDS、Cond 之间的相关性极显著 ($P < 0.01$)。COD_{Mn} 和 DOC 显著相关 ($P < 0.01$)。

表 2 博斯腾湖细菌丰度(B)及主要环境因子的 Pearson 相关系数($n = 140$)

Table 2 Pearson correlation coefficient of bacterial abundance and key environmental parameters in Lake Bosten ($n = 140$)

	水温 Temp	pH	浊度 Turb	叶绿素 a Chl-a	溶解氧 DO	总氮 TN	总磷 TP	矿化度 TDS	电导率 Cond	高锰酸钾指数 COD _{Mn}	溶解性有机碳 DOC
pH	0.29**										
Turb	-0.08	-0.10									
Chl-a	0.11	-0.37**	0.30**								
DO	-0.47**	0.44**	-0.02	-0.42**							
TN	-0.23**	0.004	-0.07	-0.13	0.02						
TP	0.04	-0.31*	0.01	0.03	-0.35**	0.09					
TDS	-0.05	0.37**	-0.29**	-0.30**	0.15	0.48**	-0.21				
Cond	-0.024	0.38**	-0.29**	-0.30**	0.15	0.48**	-0.20	0.99**			
COD _{Mn}	0.25**	-0.01	-0.13	0.03	-0.39**	0.23**	0.001	0.35**	0.35**		
DOC	0.18*	-0.10	0.19*	-0.05	-0.18*	0.12	0.32*	0.19*	0.20*	0.31**	
logB [†]	0.80**	0.07	-0.06	0.22**	-0.47**	-0.11	0.11	0.03	0.05	0.28**	0.40**

* 表示显著相关 ($P < 0.05$ 双尾检验); ** 表示极显著相关 ($P < 0.01$, 双尾检验); [†]logB: 细菌丰度(B)的 lg 转换值; SD: 透明度; WD: 水深; Temp: 水温; Cond: 电导率; TDS: 矿化度; Sal: 盐度; Turb: 浊度; Chl-a: 叶绿素 a; DO: 溶氧; TN: 总氮; TP: 总磷; COD_{Mn}: 高锰酸钾指数; Cl^- : 氯离子; DOC: 溶解性有机碳

2.4 环境因子与细菌丰度的 GAM 模型结果

GAM 模型的构建过程中逐步加入各个环境因子, 根据 F 检验和 AIC 值来选择最优模型。最终有 5 个环境因子进入 GAM 模型 (表 3), 模型表达式如下:

$$\lg(\text{Bacteria}) = s(\text{Temp}) + s(\text{Chl-a}) + s(\text{DOC}) + s(\text{Cond}) + s(\lg(\text{Turb}+1))$$

式中, s 为自然样条平滑; 由于部分样品浊度为 0, 故浊度采用了 $\lg(\text{Turb}+1)$ 形式。模型的误差分布估计为高斯分布。该模型对细菌丰度总偏差解释率为 81.2%, 其中贡献最大的是温度, 贡献率为 63.3%, 其次为溶解有机碳和叶绿素 a, 贡献率分别为 12.5% 和 2.7%; 影响程度最低的为浊度, 对模型的偏差解释率仅为 1.0% (表 3)。F 检验表明, 除浊度外, 其他环境

因子均与细菌丰度显著相关 ($P < 0.05$), 但加入浊度后, 模型的 AIC 值继续变小, 表明模型的拟合程度有所提高, 因此模型最终还是保留了浊度因子。

表 3 细菌丰度与环境因子 GAM 模型检验

Table 3 Test of GAM for modeling bacterial abundance and environmental parameters

模型因子 Environmental parameters	r_{adj}^2	累计解释偏差/% Cumulative explained deviation	AIC	F
T	0.63	63.3	175.0239	0.000
DOC	0.736	75.8	131.4540	0.000
Chl-a	0.76	78.5	121.5269	0.006
Cond	0.773	80.2	116.2516	0.027
Turb	0.784	81.2	111.4044	0.075

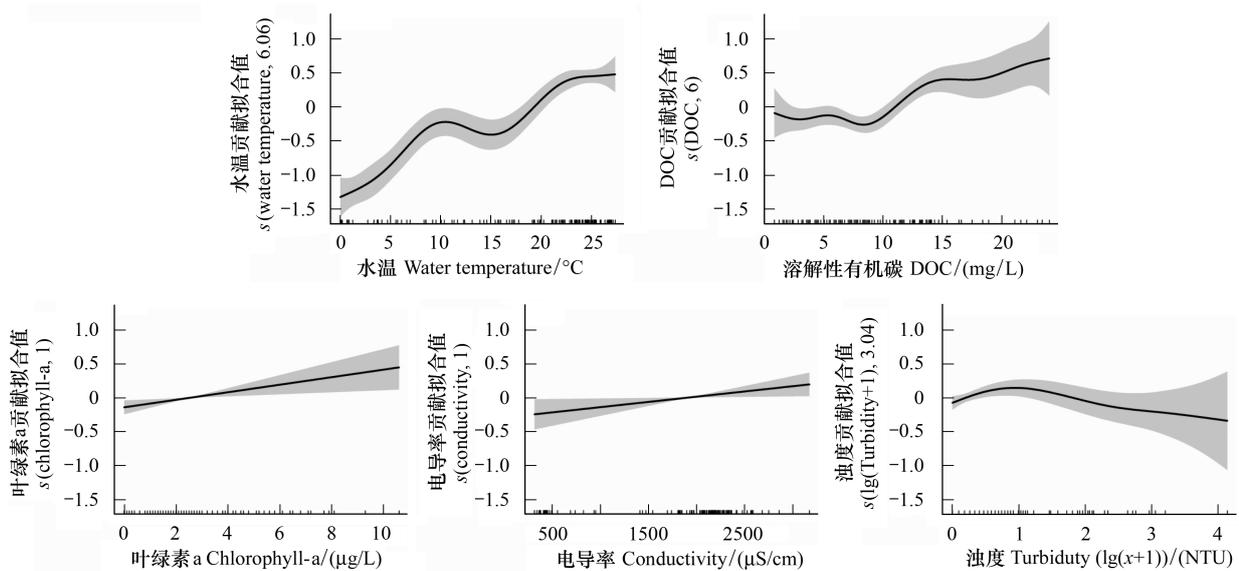


图 5 环境因子与细菌丰度 GAM 模型结果

Fig.5 The fitted smooth functions for environmental parameters from the final additive model for the bacterial abundance

GAM 模型结果表明(图 5): 温度因子对博斯腾湖细菌丰度的影响最大, 细菌丰度随着温度的升高而增大, 但在接近 22°C 时, 增大速率减慢, 曲线开始变得平缓。DOC 浓度较高时 (>10 mg/L), 其对细菌丰度的影响相对较为明显, 在 0—10 mg/L 范围内, 对细菌丰度的影响不大。Chl-a、电导率与细菌丰度呈线性关系。浊度的样品量主要集中在 0—2 附近, 在此范围内细菌丰度呈现先上升后下降的微小波动。

3 讨论

3.1 博斯腾湖细菌丰度与环境因子的关系

本研究表明, 博斯腾湖细菌丰度的季节差异主要受温度的影响。温度可以通过影响细菌新陈代谢

相关酶活性直接影响细菌丰度和生产力, 该结果也在培养实验室中得到验证, 细菌生长速率与生产力会随着温度的降低而减少^[22]。本研究也显示水温是影响博斯腾湖细菌丰度季节差异的主导因子, 随着温度的升高, 细菌丰度总体上也呈现上升的趋势。但当水温超过 22 °C 时, 温度的影响开始变小(图 5)。Shiah 等^[23]在 Chesapeake 湾的研究也表明, 在温度低于 20 °C, 温度为浮游细菌的主要控制因子; 当温度高于 20 °C, 营养物质控制成了主导。

DOC 是对博斯腾湖细菌丰度影响较大的因子, 细菌丰度的空间分布与 DOC 显著正相关 ($r = 0.40$, $P < 0.01$), 结合 GAM 结果, 表明 DOC 作为异养细菌的主要生长能源^[24], 是影响博斯腾湖细菌丰度空间异质性的主要因子。

叶绿素 a 和电导率也是影响博斯腾湖细菌丰度的重要环境因子。叶绿素 a 是浮游植物现存量中的一个良好指标,浮游植物与细菌的生长繁殖有着密切关系^[25-27]。浮游植物光合产物溶解性有机物(DOM)能为细菌提供二次生长所需的碳源,促进细菌的自身生长和增殖^[28]。与此同时,细菌也能通过自身代谢为浮游植物的生长提供必要的有机营养和生长因子,并调节浮游植物生长的微环境。但在博斯腾湖细菌的丰度虽然与 Chl-a 显著正相关,但相关系数并不高,其原因可能与冬季 Chl-a 含量偏大有关。冬季采集的水样是在冰下 50 cm 左右,而冬季水柱中的藻类可能为了获得光能而更多地集中在冰下小范围水柱内。博斯腾湖水体中电导率主要反映了总离子含量,它与盐度显著正相关($r = 0.99$, $P < 0.01$)。不同的盐度能为细菌提供不同的生态位,影响着细菌的数量和群落结构^[29];也可通过改变水体中的理化因子水平,间接影响水生生态系统中的细菌丰度和组成。

3.2 博斯腾湖细菌丰度时空分布特征及原因分析

博斯腾湖细菌丰度季节变化主要受温度的影响,而细菌丰度的空间分布则主要受营养盐浓度(如 DOC)和电导率的影响。由于夏季温度适宜细菌生长繁殖,此时营养盐浓度成为影响细菌丰度的主要因素;受当地气候的影响,该地区的工农业生产具有明显的季节性特点,每年的 5—9 月是工农业生产排污较为严重的时段。流域内产生的各种污染物主要通过博斯腾湖西北部的黄水沟水域的排渠进入湖体的, TN、TP、COD 和盐量分别占入湖总负荷量的

21%、21%、24%和 48%,农业面源污染加重了博斯腾湖西北水域的咸化与富营养化^[30]。因此,造成了夏季博斯腾湖西北黄水沟水域细菌丰度明显高于其它水域的空间分布格局(图 4)。细菌丰度的空间分布格局是其对博斯腾湖不同水域富营养化和咸化的一种响应。

GAM 模型结果表明浊度也是影响博斯腾湖细菌丰度的一个重要因子。开都河进入博斯腾湖的水量占总入湖水量的 80%以上,其对博斯腾湖细菌丰度的时空分布格局势必会造成重要的影响。春季由于上游冰雪来融水的影响,开都河入大湖河口处水量大增,水体浊度增加,并且细菌的丰度明显低于其它水域,表明外源输入对细菌的丰度有一定的影响。开都河细菌的丰度较低,大量的河水的输入在河口附近稀释了湖体中细菌的丰度。除了开都河的影响,由扬水站向外扬水及风力条件等产生的湖流也可能通过影响水体中营养物的再分配,从而影响博斯腾湖细菌的空间格局。

营养盐也是影响细菌丰度的主要环境因子。研究表明,细菌会以提高丰度对富营养化过程做出响应^[31-32]。在超寡营养湖泊至超富营养湖泊中,细菌的丰度一般在 10^5 — 10^7 个/mL 的范围内波动。博斯腾湖作为中营养湖泊^[33],其水体中同季度细菌丰度比一些寡营养湖泊(保加利亚的 Seven Rila Lakes、加拿大的 shield lake)细菌丰度高 2 倍左右,与同为中营养的湖泊(Lake Schöhsee)相比略低;而比一些富营养化湖泊如太湖、乌梁素海等要低一个数量级左右(表 4)。

表 4 不同营养状态湖泊中细菌丰度的比较

Table 4 Comparison of bacterial abundance among different lakes

营养水平 Trophic status 湖泊	寡营养 Oligotrophic		中营养 Mesotrophic		富营养 Eutrophic	
	Seven Rila Lakes ^[34]	Canadian shield Lake ^[35]	博斯腾湖	Lake Schöhsee ^[36]	太湖	乌梁素海 ^[37]
细菌丰度/($\times 10^5$ 个/mL)	3.31—26.39 (夏季)	0.5—24	1.7—45	10—25	20—469	658

综上所述,温度是影响博斯腾湖细菌季节差异的主要因子,而 DOC、Chl-a、电导率和浊度是影响博斯腾湖细菌空间分布的主要因子。博斯腾湖细菌丰度的时空分布格局,体现了其作为一个敏感指标对自然及人类活动双重影响下博斯腾湖生态环境变化的响应。

致谢:感谢新疆巴州环境监测站在野外采样及水样化学分析中给予的帮助。感谢邓建明博士在 GAM 分析中的帮助。

References:

[1] Azam F, Fenchel T, Field J, Gray J, Meyer-Reil L, Thingstad F.

- The ecological role of water-column microbes in the sea. *Marine Ecology Progress Series*, 1983, 10(3): 257-263.
- [2] Azam F, Worden A Z. Microbes, molecules, and marine ecosystems. *Science*, 2004, 303(5664): 1622-1624.
- [3] Reynolds C S. A changing paradigm of pelagic food webs. *International Review of Hydrobiology*, 2008, 93(4/5): 517-531.
- [4] Sherr B, Sherr E, del Giorgio P. Enumeration of total and highly active bacteria. *Methods in Microbiology*, 2001, 30: 129-159.
- [5] Zhang J P, Hu S X. Salinity analysis of Bosten Lake. *Arid Environmental Monitoring*, 2008, 22(1): 19-23.
- [6] Du X X, Xu Y Y. Bosten Lake Basin pollution control and ecological response of the environmental protection. *Arid Environmental Monitoring*, 2009, 23(2): 113-116.
- [7] Sai · Bayartu, Huang J, Xie G J, Feng L, Hu S X, Tang X M. Response of planktonic bacterial abundance to eutrophication and salinization in Lake Bosten, Xinjiang. *Journal of Lake Sciences*, 2011, 23(6): 934-941.
- [8] Amann R I, Ludwig W, Schleifer K H. Phylogenetic identification and in situ detection of individual microbial cells without cultivation. *Microbiological Reviews*, 1995, 59(1): 143-169.
- [9] Hahn M W. The microbial diversity of inland waters. *Current Opinion in Biotechnology*, 2006, 17(3): 256-261.
- [10] Gao G. Surface fluorescence direct counting of bacteria in water // Xiao L, ed. *Environmental Microbiology Experimental Techniques*. Beijing: China Environmental Science Press, 2004: 103-107.
- [11] Porter K, Feig Y. The use of DAPI for identifying and counting aquatic microflora. *Limnology and Oceanography*, 1980, 25(5): 943-948.
- [12] Cheng Q C. Mineralization of water quality and utilization of water resources of Bosten Lake. *Arid Land Geography*, 1993, 16(4): 31-37.
- [13] Jin X C, Tu Q Y. *The Standard Methods for Observation and Analysis of Lake Eutrophication*. Beijing: China Environmental Science Press, 1990.
- [14] Guo Y, Zhang R M, Cai L G, Tian Y S, Lai Y. *Fishery Resources and Fisheries of Bosten Lake*. Urumqi: Xinjiang Science and Technology Press, 2005.
- [15] Kepner R Jr, Pratt J R. Use of fluorochromes for direct enumeration of total bacteria in environmental samples: past and present. *Microbiological Reviews*, 1994, 58(4): 603-615.
- [16] Hastie T, Tibshirani R. *Generalized Additive Models*. New York: Chapman & Hall/CRC, 1990.
- [17] Kawakita M, Minami M, Eguchi S, Lennert-Cody C. An introduction to the predictive technique AdaBoost with a comparison to generalized additive models. *Fisheries Research*, 2005, 76(3): 328-343.
- [18] Xiang H, Yue M. Quantitative classification and environmental interpretation on forest communities in Loess Plateau of the North of Shaanxi Province. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2001, 21(4): 726-731.
- [19] Li B, Zhang J T. Analysis of relationships between vegetation and climate variables in Loess Plateau. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(1): 82-89.
- [20] Burnham K P, Anderson D R. *Model Selection and Multi-Model Inference: A Practical Information-Theoretic Approach*. New York: Springer-Verlag, 2002.
- [21] Niu M X, Li X S, Xu Y C. Effects of spatiotemporal and environmental factors on the fishing ground of *Trachurus murphyi* in Southeast Pacific Ocean based on generalized additive model. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21(4): 1049-1055.
- [22] Kirchman D L, Rich J H, Barber R T. Biomass and biomass production of heterotrophic bacteria along 140°W in the equatorial Pacific: Effect of temperature on the microbial loop. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 1995, 42(2/3): 603-619.
- [23] Shiah F K, Ducklow H W. Temperature and substrate regulation of bacterial abundance, production and specific growth rate in Chesapeake Bay, USA. *Marine Ecology-Progress Series*, 1994, 103: 297-297.
- [24] Bai J, Shi Y, Song L, Li Z Y. Distribution character of bacterioplankton biomass and their relationship with environmental factors in the Northwest of the Yellow Sea. *Periodical of Ocean University of China*, 2009, 39(4): 592-596.
- [25] Yuan X C, He L, Yin K D, Pan G, Harrison P J. Bacterial distribution and nutrient limitation in relation to different water masses in the coastal and northwestern South China Sea in late summer. *Continental Shelf Research*, 2011, 31(11): 1214-1223.
- [26] Zhou W H, Long A, Jiang T, Chen S Y, Huang L M, Huang H, Cai C H, Yan Y. Bacterioplankton dynamics along the gradient from highly eutrophic Pearl River Estuary to oligotrophic northern South China Sea in wet season: implication for anthropogenic inputs. *Marine Pollution Bulletin*, 2011, 62(4): 726-733.
- [27] Liu H B, Dagg M, Campbell L, Urban-Rich J. Picophytoplankton and bacterioplankton in the Mississippi River plume and its adjacent waters. *Estuaries*, 2004, 27(1): 147-156.
- [28] Ni J B, Zhang Z X, Ke C H, Chen N, Xu X W, Liao H Y. Horizontal distribution characteristics and influencing factors of heterotrophic bacterial abundance in Beibu Gulf in summer and winter. *Journal of Xiamen University: Natural Science*, 2012, 51(3): 434-440.
- [29] Tang X M, Xie G J, Shao K Q, Bayartu S, Chen Y G, Gao G. Influence of salinity on the bacterial community composition in Lake Bosten, a Large Oligosaline Lake in arid Northwestern China. *Applied and Environmental Microbiology*, 2012, 78(13): 4748-4751.
- [30] Bayaertu S, Chen M P, Feng L. Agricultural non-point source pollution of Bosten Lake Basin. *Water Resources Protection*, 2012, 28(2): 25-29.

- [31] Morris D P, Lewis W Jr. Nutrient limitation of bacterioplankton growth in Lake Dillon, Colorado. *Limnology and Oceanography*, 1992, 37(6): 1179-1192.
- [32] Vrede K. Nutrient and temperature limitation of bacterioplankton growth in temperate lakes. *Microbial Ecology*, 2005, 49(2): 245-256.
- [33] Xie G J, Zhang J P J, Tang X M, Cai Y J, Gao G. Spatio-temporal heterogeneity of water quality (2010—2011) and succession patterns in Lake Bosten during the past 50 years. *Journal of Lake Sciences*, 2011, 23(6): 837-846.
- [34] Boteva S, Traykov I, Kenarova A, Bogoev V. Abundance and spatial dynamics of bacterioplankton in the Seven Rila Lakes, Bulgaria. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 2010, 28(3): 451-458.
- [35] Chrzanowski T, Kyle M, Elser J, Sterner R. Element ratios and growth dynamics of bacteria in an oligotrophic Canadian shield lake. *Aquatic Microbial Ecology*, 1996, 11(2): 119-125.
- [36] Pernthaler J, Zöllner E, Warnecke F, Jürgens K. Bloom of filamentous bacteria in a mesotrophic lake: identity and potential controlling mechanism. *Applied and Environmental Microbiology*, 2004, 70(10): 6272-6281.
- [37] Sun X X, Liu H R, Feng F Y, Meng J Y, Li H, Malina. Diversity and phylogenetic analysis of planktonic bacteria in eutrophic zone of Lake Wuliangsu. *Biodiversity Science*, 2009, 17(5): 490-498.
- 参考文献:
- [5] 张建平, 胡随喜. 博斯腾湖矿化度现状分析. *干旱环境监测*, 2008, 22(1): 19-23.
- [6] 杜新宪, 许月英. 博斯腾湖流域污染治理与生态环境保护对策浅析. *干旱环境监测*, 2009, 23(2): 113-116.
- [7] 赛·巴雅尔图, 黄瑾, 谢贵娟, 冯丽, 胡随喜, 汤祥明. 新疆博斯腾湖浮游细菌丰度对富营养化及咸化的响应. *湖泊科学*, 2011, 23(6): 934-941.
- [10] 高光. 表面荧光法直接计数水体中的细菌 // 肖林. 环境微生物实验技术. 北京: 中国环境科学出版社, 2004: 103-107.
- [12] 程其畴. 博斯腾湖水矿化度与水资源利用. *干旱区地理*, 1993, 16(4): 31-37.
- [13] 金相灿, 屠清瑛. 湖泊富营养化调查规范. 北京: 中国环境科学出版社, 1990.
- [14] 郭焱, 张人铭, 蔡林刚, 田永胜, 吐尔逊·提立瓦尔地, 赖英. 博斯腾湖鱼类资源及渔业. 乌鲁木齐: 新疆科学技术出版社, 2005.
- [18] 相辉, 岳明. 陕北黄土高原森林植被数量分类及环境解释. *西北植物学报*, 2001, 21(4): 726-731.
- [19] 李斌, 张金屯. 黄土高原地区植被与气候的关系. *生态学报*, 2003, 23(1): 82-89.
- [21] 牛明香, 李显森, 徐玉成. 基于广义可加模型的时空和环境因子对东南太平洋智利竹筴鱼渔场的影响. *应用生态学报*, 2010, 21(4): 1049-1055.
- [23] 白洁, 时瑶, 宋亮, 李正炎. 黄海西北部浮游细菌生物量分布特征及其与环境因子的关系. *中国海洋大学学报: 自然科学版*, 2009, 39(4): 592-596.
- [28] 倪健斌, 张朝霞, 柯才焕, 陈楠, 徐小伟, 廖怀苑. 北部湾夏、冬两季异养细菌的水平分布特征及其影响因子. *厦门大学学报: 自然科学版*, 2012, 51(3): 434-440.
- [30] 赛·巴雅尔图, 陈敏鹏, 冯丽. 博斯腾湖流域农业面源污染现状分析. *水资源保护*, 2012, 28(2): 25-29.
- [33] 谢贵娟, 张建平, 汤祥明, 蔡永萍, 高光. 博斯腾湖水质现状(2010-2011)及近50年来演变趋势. *湖泊科学*, 2011, 23(6): 837-846.
- [37] 孙鑫鑫, 刘惠荣, 冯福应, 孟建宇, 李蘅, 玛丽娜. 乌梁素海富营养化湖区浮游细菌多样性及系统发育分析. *生物多样性*, 2009, 17(5): 490-498.

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 al (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 al (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 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 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,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	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