

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第32卷 第1期 Vol.32 No.1 **2012**

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 32 卷 第 1 期

2012 年 1 月 (半月刊)

目 次

局域种群的 Allee 效应和集合种群的同步性	刘志广, 赵 雪, 张丰盘, 等 (1)
叶片毛尖对齿肋赤藓结皮凝结水形成及蒸发的影响	陶 冶, 张元明 (7)
长江口锋面附近咸淡水混合对浮游植物生长影响的现场培养	王 奎, 陈建芳, 李宏亮, 等 (17)
河流流量对流域下垫面特性的响应	田 迪, 李叙勇, Donald E. Weller (27)
中国中东部平原亚热带湿润区湖泊营养物生态分区	柯新利, 刘 曼, 邓祥征 (38)
基于氮磷比解析太湖苕溪水体营养现状及应对策略	聂泽宇, 梁新强, 邢 波, 等 (48)
滇池外海蓝藻水华爆发反演及规律探讨	盛 虎, 郭怀成, 刘 慧, 等 (56)
采伐干扰对华北落叶松细根生物量空间异质性的影响	杨秀云, 韩有志, 张芸香, 等 (64)
松嫩草原榆树疏林对不同干扰的响应	刘 利, 王 赫, 林长存, 等 (74)
天山北坡不同海拔梯度山地草原生态系统地上净初级生产力对气候变化及放牧的响应	周德成, 罗格平, 韩其飞, 等 (81)
草原化荒漠草本植物对人工施加磷素的响应	苏洁琼, 李新荣, 冯 丽, 等 (93)
自然和人工管理驱动下盐城海滨湿地景观格局演变特征与空间差异	张华兵, 刘红玉, 郝敬锋, 等 (101)
晋、陕、宁、蒙柠条锦鸡儿群落物种多样性对放牧干扰和气象因子的响应	周 伶, 上官铁梁, 郭东罡, 等 (111)
华南地区 6 种阔叶幼苗叶片形态特征的季节变化	薛 立, 张 柔, 奚如春, 等 (123)
河西走廊不同红砂天然群体种子活性相关性	苏世平, 李 毅, 种培芳 (135)
江西中南部红壤丘陵区主要造林树种碳固定估算	吴 丹, 邵全琴, 李 佳, 等 (142)
酸雨和采食模拟胁迫下克隆整合对空心莲子草生长的影响	郭 伟, 李钧敏, 胡正华 (151)
棉铃虫在 4 个辣椒品种上的寄主适合度	贾月丽, 程晓东, 蔡永萍, 等 (159)
烟草叶面积指数的高光谱估算模型	张正杨, 马新明, 贾方方, 等 (168)
不同作物田烟粉虱发生的时空动态	崔洪莹, 戈 峰 (176)
长期施肥对稻田土壤固碳功能菌群落结构和数量的影响	袁红朝, 秦红灵, 刘守龙, 等 (183)
新银合欢篱对紫色土坡地土壤有机碳固持的作用	郭 甜, 何丙辉, 蒋先军, 等 (190)
一株产漆酶土壤真菌 F-5 的分离及土壤修复潜力	茆 婷, 潘 澄, 徐婷婷, 等 (198)
木论喀斯特自然保护区土壤微生物生物量的空间格局	刘 璐, 宋同清, 彭晚霞, 等 (207)
岷江干旱河谷 25 种植物一年生植株根系功能性状及相互关系	徐 琨, 李芳兰, 苟水燕, 等 (215)
黄土高原草地植被碳密度的空间分布特征	程积民, 程 杰, 杨晓梅, 等 (226)
棉铃发育期棉花源库活性对棉铃对位叶氮浓度的响应	高相彬, 王友华, 陈兵林, 等 (238)
耕作方式对紫色水稻土有机碳和微生物生物量碳的影响	李 辉, 张军科, 江长胜, 等 (247)
外源钙对黑藻抗镉胁迫能力的影响	闵海丽, 蔡三娟, 徐勤松, 等 (256)
强筋与弱筋小麦籽粒蛋白质组分与加工品质对灌浆期弱光的响应	李文阳, 闫素辉, 王振林 (265)
专论与综述	
蛋白质组学研究揭示的植物根盐胁迫响应机制	赵 琪, 戴绍军 (274)
流域生态风险评估研究进展	许 妍, 高俊峰, 赵家虎, 等 (284)
土壤和沉积物中黑碳的环境行为及效应研究进展	汪 青 (293)
研究简报	
青藏高原紫穗槐主要形态特征变异分析	梁坤伦, 姜文清, 周志宇, 等 (311)
菊属与蒿属植物苗期抗蚜虫性鉴定	孙 娅, 管志勇, 陈素梅, 等 (319)
滨海泥质盐碱地衬膜造林技术	景 峰, 朱金兆, 张学培, 等 (326)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 332 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 36 * 2012-01



封面图说: 白鹭展翅为梳妆, 玉树临风巧打扮——这是大白鹭繁殖期时的美丽体态。大白鹭体羽全白, 身长 94—104cm, 寿命 20 多年。是白鹭中体型最大的。繁殖期的大白鹭常常在湿地附近的大树上筑巢, 翩翩飞舞吸引异性, 其繁殖期背部披有蓑羽, 脸颊皮肤从黄色变成兰绿色, 嘴由黄色变成绿黑色。大白鹭是一个全世界都有它踪迹的广布种, 一般单独或成小群, 在湿地觅食, 以小鱼、虾、软体动物、甲壳动物、水生昆虫为主, 也食蛙、蝌蚪等。

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

DOI: 10.5846/stxb201011261680

盛虎, 郭怀成, 刘慧, 杨永辉. 滇池外海蓝藻水华爆发反演及规律探讨. 生态学报, 2012, 32(1): 0056-0063.

Sheng H, Guo H C, Liu H, Yang Y H. Reversion and analysis on cyanobacteria bloom in Waihai of Lake Dianchi. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(1): 0056-0063.

滇池外海蓝藻水华爆发反演及规律探讨

盛 虎, 郭怀成*, 刘 慧, 杨永辉

(北京大学环境科学与工程学院, 北京 100871)

摘要: 气象条件和营养盐浓度一直被认为是导致蓝藻水华爆发的两个重要因素。通过滇池外海 Chla 浓度时空分异性分析, 得出晖湾中测点最易爆发蓝藻水华且爆发时间集中在每年 6—9 月。同时, 采用基于缺失数据多重插补的 EMB 算法将气象条件和蓝藻水华爆发的不完全数据集进行反演, 建立了滇池外海 2004—2008 年 4—10 月完整的气象、营养盐及蓝藻爆发的基础数据集, 解决了表观蓝藻水华爆发研究中观测数据缺失的问题。据此, 探讨了滇池外海晖湾中测点 Chla、TN 和 TP 与蓝藻水华爆发关系, 进而提出了控制滇池外海蓝藻水华的一种新思路。

关键词: 滇池外海; 蓝藻水华; 多重插补

Reversion and analysis on cyanobacteria bloom in Waihai of Lake Dianchi

SHENG Hu, GUO Huaicheng*, LIU Hui, YANG Yonghui

College of Environmental Sciences and Engineering, Peking University, Beijing 100871, China

Abstract: Eutrophication in lakes or reservoirs can lead to blue-green algae (BGA) bloom that is detrimental to the aquatic ecosystems and often pose a potentially serious health threat to people having access to the impaired waters. Since 1990s, Lake Dianchi has been experiencing BGA bloom almost on an annual basis, raising ever increasing levels of concerns from the public and governments. To control the eutrophication and reduce the outbreak frequency of BGA bloom in Lake Dianchi, it is necessary to identify the responsive relationship between the BGA bloom and the influencing factors including nutrient loadings, weather conditions, among others. However, to fulfill this task is very difficult in practice since there exist no, and it is impossible to obtain, a complete dataset that simultaneously covers the occurrence of BGA bloom and the influencing factors due to the transient and heterogeneous nature of the Lake Dianchi system. Even though the remote sensing technology offers a cost-effective way to acquire data about the occurrence of BGA bloom, it still far from sufficient to provide a complete dataset due to the data gap from lack of observations or interruption by clouds.

To overcome the data limitation in deriving reliable relationship between BGA blooms and the main influencing factors, this study applied a robust EMB algorithm to reconstruct a complete dataset from the available dataset with missing data, hence forming a basis for quantitatively relating the BGA bloom to its contributing factors. The analysis starts with discovering the general trend of BGA bloom in Lake Dianchi through using boxplots of chlorophyll-a data in the lake, which shows that the area represented by monitoring station Huiwanzhong appears to be the most likely place for BGA bloom. As for temporal trend, it was found that the chlorophyll-a concentration doesn't have as much variability inter-annually as intra-annually. In general, chlorophyll-a concentrations increase from February to August, and then decrease thereafter until the next February. Subsequently, a multiple imputation based EMB algorithm was employed to re-construct the entire basic

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项 (2008ZX07102-001)

收稿日期: 2010-11-26; 修订日期: 2011-06-27

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: heguo@pku.edu.cn

datasets from month April to October from 2004 through 2008 for the Waihai of Lake Dianchi based on the available incomplete datasets of weather condition and BGA bloom. With the complete datasets, the relationship between chlorophyll-a and outbreak probability of BGA bloom was established using conditional probability curves for two time ranges, i. e., from April to October and June to September, respectively. The analysis suggests that there is a threshold concentration of chlorophyll-a determining whether a BGA bloom would occur. However, the same method was found to be invalid for analyzing the relationship between outbreak frequency and nutrient concentrations. The scatter plots of TN vs. TP along with labels of BGA bloom occurrence indicate that 1) there might not be a threshold exists for TN or TP to control BGA; 2) it seems more efficient to reduce concentration of TN than TP; 3) it is necessary to control concentration of TN and TP at a reasonable and realistic range, while pursuing a higher water quality standard in short term might not be necessary.

The results of this study suggest that it is critical to reduce TN and TP under water quality standard level V by all means, while at the same time, supplemental measures such as water volume control, water quality and hydrodynamic condition adjustment and aquatic ecosystem restoration should be taken to direct the lake ecological system to evolve from the phytoplankton dominant regime to the macrophyte dominant regime.

Key Words: Waihai of Lake Dianchi; blue-green algae bloom; multiple imputation

自 20 世纪 90 年代滇池爆发周年性蓝藻水华以来,滇池的富营养化问题越来越受到广泛的关注,如何控制滇池蓝藻水华的周年性爆发成为摆在专家学者面前的一道难题。相关文献一致认为,滇池蓝藻水华的爆发主要有两个方面的影响因素^[1-2]:营养盐浓度和气象条件,并且通常认为滇池的营养盐浓度已经超过蓝藻水华爆发的阈值,只要气象条件适宜即可爆发蓝藻水华^[2]。本文试图针对滇池外海蓝藻水华爆发气象及水质数据,采用统计学的方法寻找蓝藻水华爆发与 Chla、TN 和 TP 的相应关系,揭示滇池外海蓝藻水华的爆发规律,从而提出控制滇池外海蓝藻水华爆发的思路。由于蓝藻水华爆发的数据采用遥感解译数据,其存在大量的缺失,这给直接的分析带来了极大的不便,因而在分析蓝藻水华爆发规律前,本文也尝试依据气象条件与蓝藻水华爆发间的相互关系对蓝藻水华的爆发数据进行反演。

1 滇池外海 Chla 时空分异特征分析

1.1 滇池外海 Chla 空间分异

针对滇池外海 8 个常规监测点位 1999—2009 年 12 个月份的 Chla 的监测数据(监测点位如图 1 所示),将各个监测点的 Chla 的数据进行比较分析,作出滇池外海 Chla 的空间分异箱线图(图 2)。

图 2 中箱线图的含义为:箱子中间的黑线为样本的中位数,其左边部分为 25% 的分位数(下四分位数),右边部分为 75% 的分位数(上四分位数)。由虚线引出的短线段为箱线图末端,表征上下四分位数分别加减内四分位距的倍数(一般情况取 1.5 倍),超过这个范围的数据点被视作离群点,直接用散点表示出来。箱子中的凹槽表征中位数 95% 的置信区间,若两组数据的凹槽



图 1 滇池监测点位分布图

Fig. 1 Distribution of monitoring sites in Lake Dianchi

互不交叠,那么说明这两组数据的中位数存在显著差异(P 值小于 0.05)。

图 2 在一定程度上表达了滇池蓝藻水华爆发的空间分布特征。根据图 2 可以发现:在滇池外海,Chla 在空间上的分异并不十分明显,但有两个点位的值存在显著的差异,其中晖湾中这点的 Chla 的中位数显著高于其他各点(图中浅色箱线图),而滇池南则显著低于其他各点(图中深色箱线图)。事实上,滇池蓝藻水华爆发多集中在晖湾中这个监测点附近,一方面是由于该点的 N、P 营养物浓度比较高,有利于藻类的生长和增殖;另一方面是由于气象因素的作用,如滇池流域常年盛行西南风,从而导致了蓝藻水华在滇池北岸晖湾中测点附近聚集。

1.2 滇池外海 Chla 时间分异

基于前述分析结论,再针对晖湾中测点的 Chla 常年监测数据,分别以年和月为时间尺度,作出 Chla 时间分异箱线图,并分析其差异性(图 3)。

从图 3 中可以看出:①以年为时间尺度时,晖湾中测点的 Chla 的中位数呈现一定的下降趋势,但这种趋势并不十分显著,仅仅表现在 2005 年相对于 2001、2003、2004 这 3a 的显著差异上(图中灰色区域内的箱线图为本文研究的相关年份 2004—2008);②以月为时间尺度时,Chla 的中位数从 2 月份开始逐月上升,到 8 月份达到最高,然后又逐月降低,直到翌年的 2 月份;从箱线图的凹槽交叠情况亦可看出,这种趋势仍较显著。图中灰色区域内的箱线图为本研究的相关月份(4—10 月),其中深灰色的箱线图(6—9 月)中位数非常接近,表明其差异极不显著,据此可以认为,在这 4 个月间,各种因素(特别是气象因素)对蓝藻水华爆发的影响不敏感。

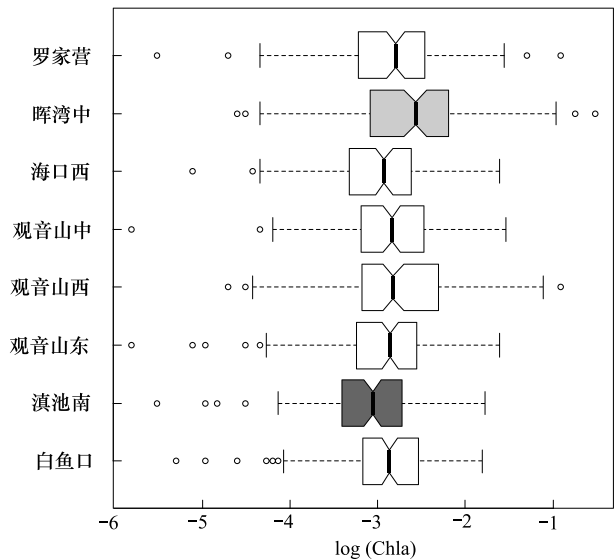


图 2 滇池外海 Chla 空间分异箱线图

Fig. 2 Boxplot of spatial differences on chlorophyll-a in Waihai of Lake Dianchi

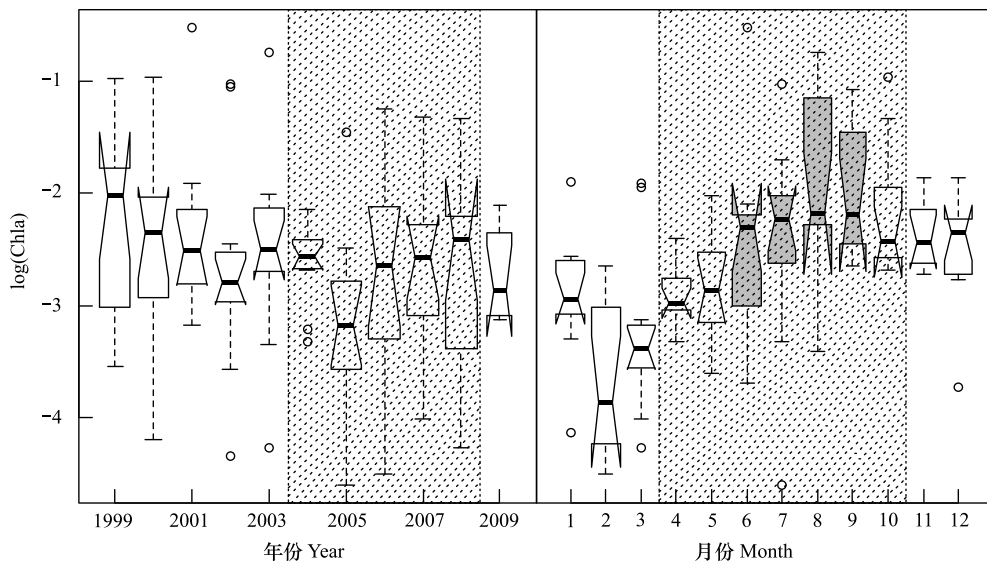


图 3 滇池外海晖湾中测点的 Chla 时间分异箱线图

Fig. 3 Boxplot of temporal differences on chlorophyll-a in Huiwanzhong, Waihai of Lake Dianchi

2 滇池外海蓝藻水华爆发反演

目前,对蓝藻水华爆发的判定主要是通过水体中的藻类生物量、Chla 或者遥感影像^[3]的解译来实现的。

从某种程度上说,Chla 和遥感影像的解译都是利用水体的光学性质来表征的,两者具有一定意义上的对应性。而通过遥感影像判断蓝藻水华爆发与否,更多的表现在对表层蓝藻水华(即可以用肉眼观看到)的识别上。本研究是基于滇池外海遥感影像解译的蓝藻水华爆发数据(2004—2008 年 4—10 月份)完成的。

在对蓝藻水华的遥感影像解译数据进行分析时,存在的最大困难在于数据的缺失。出现这种状况的主要原因有两个:①缺乏观测;②天气条件(如多云)造成蓝藻水华是否爆发无法辨识。以往对蓝藻水华爆发的遥感解译数据的分析,或者只考虑对已有数据中能够辨识爆发的数据进行趋势分析,或者只考虑无云条件下的蓝藻水华爆发的频率分析^[4]。该分析方法在判定蓝藻水华爆发趋势上是十分便利的,然而对于如何建立蓝藻水华爆发与 Chla 及 TN、TP 的关系上则显得尤为不便。这种状况在对滇池外海蓝藻水华爆发的分析上表现得极为突出,由于可供分析的水质数据(Chla、TN、TP)样本量不多,而与之对应的蓝藻水华爆发数据则更少,因而难以支撑一般性的分析。为了解决此难题,本文采用基于多重插补的 EMB 算法来对蓝藻水华数据进行反演。

通常对于缺失数据的处理方法主要有^[5]:①剔除法:包括个案剔除法和成对剔除法;②填补法:包括均值填补法、最佳估计值填补法、回归填补法;③多重插补法:包括 IP 算法、EM 算法、EMs 算法、EMis 算法和 EMB 算法。据文献报道,多重插补的稳健性和无偏性要明显高于其他算法,而多重插补算法中的 EMB 算法则表现出更高的计算效率和更好的稳健性,也更接近于完全样本的分布^[6]。

EMB 算法的初衷是在对含有缺失样本的数据表填补时不人为的引入新的信息,为此,EMB 算法主要基于两点假设:①数据集要服从多元正态分布,即 $D \sim N_k(\mu, \Sigma)$,其中数据集 $D = \{D^{\text{obs}}, D^{\text{mis}}\}$, D^{obs} 为观测数据集, D^{mis} 为缺失数据集;②缺失数据机制为随机缺失(MAR, missing at random),即缺失数据模式 M 仅仅取决于观测数据 D^{obs} ,而与缺失数据 D^{mis} 本身无关,则 $p(M|D) = p(M|D^{\text{obs}})$ 。

EMB 算法的步骤为:(1)采用 Bootstrap 重采样的方法对含有缺失数据的样本集进行抽样,形成 m 个新的 Bootstrap 样本集。(2)针对每个 Bootstrap 样本集采用 EM 算法进行缺失值的插补,具体来说可以分为 2 步:①求条件期望值,给定参数 $\theta = (\mu, \Sigma)$ 的先验分布,根据 $\tilde{D}^{\text{mis}} = p(D^{\text{mis}} | D^{\text{obs}}, \tilde{\mu}, \tilde{\Sigma})$,得到缺失值 D^{mis} 的期望值填入原始数据表中;②求似然函数的最大值,根据插补后完全数据求出参数 θ 的最大似然估计 $\theta = (\mu, \Sigma) = p(\mu, \Sigma | D^{\text{obs}}, D^{\text{mis}})$,作为下一步迭代的参数先验分布,直到满足收敛条件为止。

通过 EMB 算法最终可以得到 m 个插补完全的数据样本,通过这 m 个样本,可以求出所关心的统计量的估计值和方差,分别为:

$$\bar{q} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m q_j \quad (1)$$

$$SE(q)^2 = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m SE(q_j)^2 + S_q^2(1 + 1/m) \quad (2)$$

针对滇池外海 2004—2008 年 4—10 月份遥感影像解译数据以及 2004—2008 年所有的气象数据(21 个变量,其中有少量数据也存在缺失),采用 EMB 算法进行多重插补,并对插补后的数据集和取均值后的数据集分别计算出 2004—2008 年逐月的爆发频率,得到 2004—2008 年逐月蓝藻水华爆发频率变化图(图 4)。这里需要说明的是:①选择气象条件进行反演是因其与蓝藻水华爆发具有一定关系,且其逐日数据比较完整;②滇池外海蓝藻水华爆发与水质存在着直接的关系,而在反演过程中却未涉及,但这并不影响反演的准确性,因为反演的依据是数据服从多元正态分布的假设,而当整个数据集服从多元正态分布时其部分变量对应的数据集也服从多元正态分布,因此,在插补时不必考虑所有的因素(变量),然而尽可能多的将相关因素考虑进去能更加准确的反映完整样本的信息;③滇池蓝藻水华爆发与否的数据为 0—1 变量,不服从多元正态分布,但通过变换后仍然能用 EMB 算法进行插补,并且有文献报道^[7]对于非正态变量的 EMB 插补的效率和准确度也很高;④另据文献报道^[5],在数据缺失量不大的条件下,多重插补法进行 5 次或 10 次插补的效率,同进行无穷次

插补的估计值的相对效率十分接近,故本次插补仅选用了 5 重插补。

由图 4 不难得出以下几点认识:①对蓝藻水华爆发数据的插补结果的稳健性较好,所插补的 5a 月数据变化趋势和绝对数值的波动性均相对较小(图 4a—e);②蓝藻水华爆发频率在 5a 间变化亦较小,尤以 4—10 月份的表现最为突出,这一点从平均化后的爆发频率变化图(f)即可看出;③从各年逐月变化趋势上看,蓝藻水华爆发频率总体上呈现出 2 至 8 月逐月上升,9 月至翌年 1 月逐月下降的特征。这种特点与文献报道的趋势是一致的^[8-9],并且与图 3 中晖湾中 12 个月份 Chla 的变化趋势是一致的(Chla 的数据并没有在反演的过程中使用),特别是 6—9 月份蓝藻水华爆发频率几乎保持不变这点。由此可以推测,通过 EMB 算法反演的数据是比较符合实际情况的。由于样本数据的时间范围是 4—10 月,而反演的数据是 1—12 月,所以对 1—3 月和 11—12 月数据的稳定性和可信度还有待探讨。鉴于此,下面在分析蓝藻水华爆发与 Chla 和 TN、TP 的关系时,仅选取了 2004—2008 年 4—10 月份的反演数据。

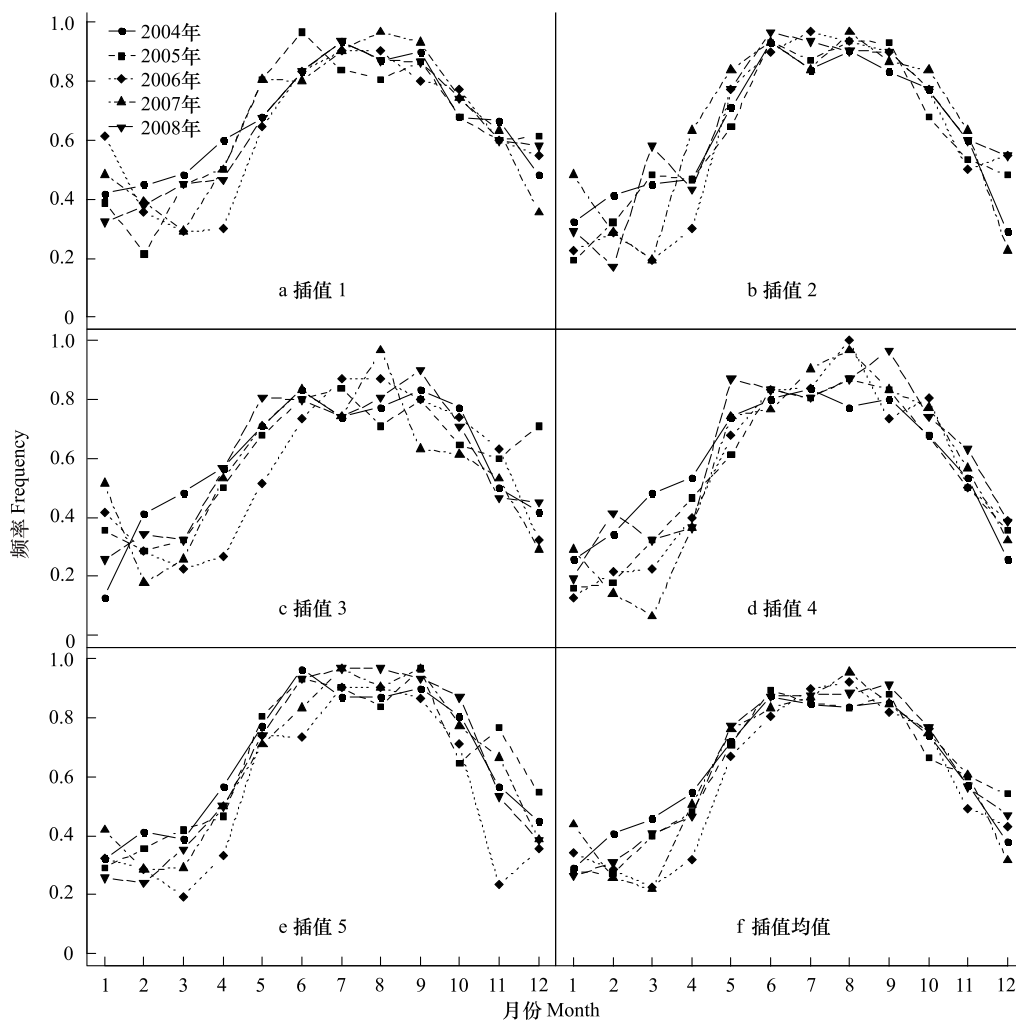


图 4 基于 EMB 算法的蓝藻水华爆发数据反演

Fig. 4 Reversion of the data about outbreak of BGA bloom by EMB algorithm

3 滇池外海蓝藻水华爆发规律

3.1 Chla 与蓝藻水华爆发的关系

前文已叙及,Chla 与蓝藻水华爆发数据之间存在一定的对应关系。这种关系可能表现在当 Chla 浓度超过一个阈值后,即可在遥感影像上显示出爆发了蓝藻水华。Chla 利用晖湾中 2004—2008 年 4—10 月份 Chla 浓度数据与对应的反演蓝藻水华爆发数据,采用条件密度的估计方法试图建立两者的关系(图 5)。在进行条

件密度函数估计时,由于受到气象条件和样本量对估值结果的影响,故将数据样本分为 4—10 月份和 6—9 月份两组。前者样本量大但易受到气象条件的影响,后者样本量较小但可部分地排除气象因素的影响。因此,可以结合二者的优势进行综合分析,则图 5 中实线可能具有较高的准确度,虚线可能反映二者真正的关系。

从图 5 可以看出,两组 Chla 条件概率曲线均反映了蓝藻水华爆发均存在一个阈值,当 Chla 超过该值后即表现为蓝藻水华的爆发。从图中两组曲线可以判断爆发蓝藻水华的 Chla 浓度阈值区间大概为 Chla 0.15—0.20 mg/L。当然,由于不是真实样本得出的这个结论,所以这个区间的准确性还有待深入探讨,但阈值性的特点还比较明显。

3.2 TN、TP 与蓝藻水华爆发的关系

按照 Chla 与蓝藻水华爆发的分析方法,本文试图寻找 TN、TP 与蓝藻水华爆发的阈值关系,但这种尝试的结果却并不理想。究其原因,可能是由于 Chla 是一种指示性指标,与其他条件(如气象条件和水质、水动力等)的相关性比较差,而 TN、TP 是滇池蓝藻水华爆发的一个因素,因而其与蓝藻水华爆发的关系是十分复杂的。为此,这里采用与 4.1 同样的数据集通过直观的作图来分析 TN 和 TP 与蓝藻水华爆发的关系(图 6)。

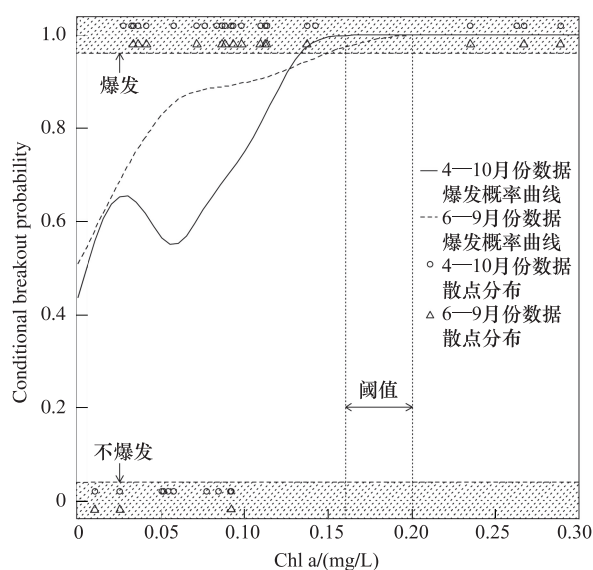


图 5 蓝藻水华爆发与 Chla 的指示关系

Fig. 5 The relationship between outbreak of BGA bloom and chlorophyll-a

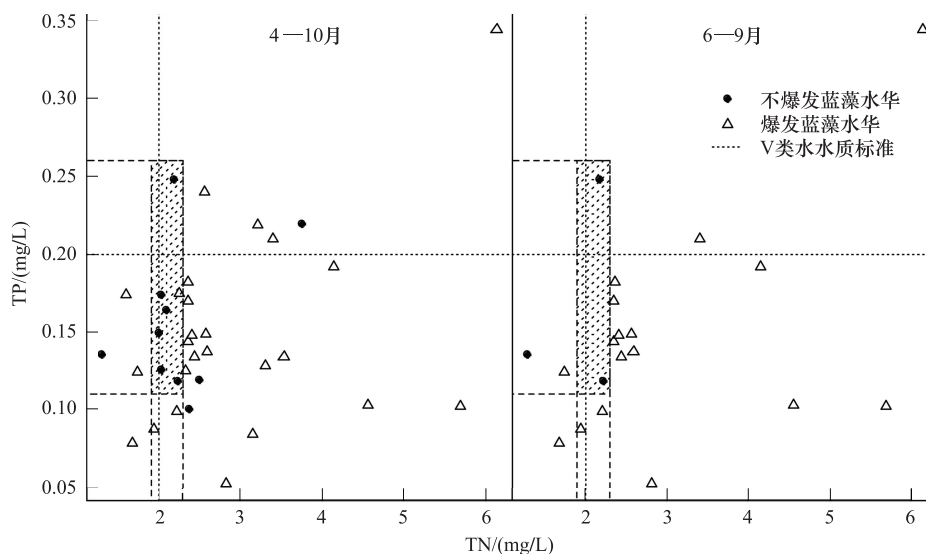


图 6 TN 和 TP 与蓝藻水华爆发的关系

Fig. 6 The relationship between outbreak of BGA bloom and TN/TP

图 6 也是将数据集分成了 4—10 月和 6—9 月两个类别(分别对应图 6(a)和图 6(b)),当然图 6 能排除气象条件的影响因而更能反映实际的关系,但是样本量太少不足以支撑分析,所以以下的分析过程仍以图 6 为主。从图 6 中可以发现以下特点:①在 TN 浓度为 2 mg/L、TP 浓度为 0.2 mg/L(TN、TP 的 V 类水水质标准)附近,存在一个小的区间是不爆发蓝藻水华的区域(图中灰色方框,简称为“窗口”),在这个区域内较高的 TP 浓度并不影响蓝藻水华的爆发,可见,在滇池外海 TN 对于蓝藻水华的爆发作用更直接、更敏感;②在“窗

口”的右上部分,爆发蓝藻水华的样本很多,这说明在滇池外海控制 TN、TP 在一定的范围内是很有必要的,要想显著控制蓝藻水华,至少应该将 TN 控制在 V 类水水质标准附近;③在“窗口”的左下部分,仍然存在一些爆发蓝藻水华的样本,这说明在滇池外海即使是更低的 TN 和 TP 的浓度,也可能爆发蓝藻水华(限于低于 V 类水水质标准的样本很少,从图 6 中难以得出定论,但“爆发”与“不爆发”交替出现的趋势还是比较明显),由此可以推测对于 TN、TP 而言,在一定范围内可能并不存在一个引起蓝藻水华爆发的阈值,却有可能在不同的 TN 和 TP 浓度上存在一个个“窗口”,这种“窗口”会随着水质变好而逐渐扩大;④由于样本量的限制,直接从图 6(b)中很难得到图 6(a)中的这些规律,而由图 6(a)得出的规律却完全适用于图 6(b),并且这种规律性表现得比图 6(a)更强,这说明以上分析得出的各种规律很有可能是真实存在的。

4 结论与展望

本文通过对滇池外海蓝藻水华爆发反演及规律的分析,可以得到如下结论:

(1) 滇池外海晖湾中这个测点的 Chla 浓度显著高于其他点位,且在该点处 Chla 浓度在年的尺度上分异性不显著,而在月的尺度上分异性显著。

(2) 基于 EMB 算法的滇池外海蓝藻水华爆发数据反演能够比较有效和稳健的插补出缺失数据,得到的爆发频率的趋势与 Chla 的变化趋势相一致。

(3) 在滇池外海,Chla 对于表观上的蓝藻水华爆发存在一定的阈值性,而 TN 和 TP 则在高于 V 类水水质标准浓度值附近的区域时表现出一定的阈值性,低于这个区域的一定范围内则可能不存在阈值性,在这个区域内控制 TN 比控制 TP 更为有效。

根据以上结论,本文提出一种观点:对滇池这种富营养化水体而言,一味地追求将外海 TN、TP 浓度控制在更高的水质标准(Ⅲ类),其并不一定能有效地控制蓝藻水华的爆发。首先,控制滇池外海 TN 和 TP 在 V 类水水质标准以内是必要的,这样能显著地控制蓝藻水华爆发的频率;其次,进一步控制 TN 和 TP 在 V 类水水质标准之上并不一定能确保降蓝藻水华爆发频率的降低,因为在这个范围内可能并不存在蓝藻水华爆发的 TN、TP 阈值;再者,如果滇池外海存在一个个不爆发蓝藻水华的“窗口”,那么只需要通过控制一定的条件(比如水质、水量和水动力条件),使其在这个“窗口”范围内,就可能有效地控制蓝藻水华的爆发。因此,对滇池外海蓝藻水华爆发的控制,并非一定要将 TN 和 TP 控制到一个较高的标准上(这在短期内从经济上是难以实现的),相反即使 TN 和 TP 在 V 类水质标准附近,通过控制一定的条件,恢复滇池水生态系统,改善水体透明度,促进滇池外海从目前的“浊水藻型”向“清水草型”的方向演替,即可有效地控制蓝藻水华的爆发。这也许是控制滇池外海蓝藻水华爆发的一种行之有效的思路和途径。

References:

- [1] Fang H Y. Brief talk on reasons of Blue Algae Bloom in Dianchi Lake. *Environmental Science Survey*, 2010, 29(S1): 74-75.
- [2] Xie G Q, Li M, Lu W K, Zhou W M, Yu L X, Li F R, Yang S P. Spectral features, remote sensing identification and breaking-out meteorological conditions of algal bloom in Lake Dianchi. *Journal of Lake Sciences*, 2010, 22(3): 327-336.
- [3] Lu W K, Xie G Q, Yu L X, Yang S P. Distribution of Bluealga Bloom over Dianchi Lake onitored with MODIS Remote Sensing Images. *Meteorological Science and Technology*, 2009, 37(5): 618-620.
- [4] Wu S L, Liu C, Shun J, Li S M, Li Y J, Kong Q. Remote sensing and analysis on factors of blue algal bloom in Lake Tai. *Meteorological Monthly*, 2009, 35(1): 18-23.
- [5] King G, Honaker J, Joseph A, Scheve K. Analyzing incomplete political science data: an alternative algorithm for multiple imputation. *American Political Science Review*, 2001, 95(1): 49-69.
- [6] Honaker J, King G. What to do about missing values in time-series cross-section data. *American Journal of Political Science*, 2010, 54(2): 561-581.
- [7] Schafer J L, Olsen M K. Multiple imputation for multivariate missing-data problems: a data analyst's perspective. *Multivariate Behavioral Research*, 1998, 33(4): 545-571.

- [8] Ma R H, Kong F X, Duan H T, Zhang S X, Kong W J, Hao J Y. Spatio-temporal distribution of cyanobacteria blooms based on satellite imageries in Lake Taihu, China. *Journal of Lake Sciences*, 2008, 20(6): 687-694.
- [9] Kong F X, Gao G. Hypothesis on cyanobacteria bloom-forming mechanism in large shallow eutrophic lakes. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(3): 589-595.

参考文献:

- [1] 方红云. 浅析滇池蓝藻暴发原因. *环境科学导刊*, 2010, 29(S1): 74-75.
- [2] 谢国清, 李蒙, 鲁韦坤, 周伟民, 余凌翔, 李发荣, 杨树平. 滇池蓝藻水华光谱特征、遥感识别及暴发气象条件. *湖泊科学*, 2010, 22(3): 327-336.
- [3] 鲁韦坤, 谢国清, 余凌翔, 杨树平. MODIS 遥感监测滇池蓝藻水华分布. *气象科技*, 2009, 37(5): 618-620.
- [4] 武胜利, 刘诚, 孙军, 李三妹, 李亚军, 孔期. 卫星遥感太湖蓝藻水华分布及其气象影响要素分析. *气象*, 2009, 35(1): 18-23.
- [8] 马荣华, 孔繁翔, 段洪涛, 张寿选, 孔维娟, 郝景燕. 基于卫星遥感的太湖蓝藻水华时空分布规律认识. *湖泊科学*, 2008, 20(6): 687-694.
- [9] 孔繁翔, 高光. 大型浅水富营养化湖泊中蓝藻水华形成机理的思考. *生态学报*, 2005, 25(3): 589-595.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.32 ,No.1 January ,2012(Semimonthly)

CONTENTS

Allee effects of local populations and the synchrony of metapopulation	LIU Zhiguang, ZHAO Xue, ZHANG Fengpan, et al (1)
Effects of leaf hair points on dew deposition and rainfall evaporation rates in moss crusts dominated by <i>Syntrichia caninervis</i> , Gurbantunggut Desert, northwestern China	TAO Ye, ZHANG Yuanming (7)
The influence of freshwater-saline water mixing on phytoplankton growth in Changjiang Estuary	WANG Kui, CHEN Jianfang, LI Hongliang, et al (17)
The responses of hydrological indicators to watershed characteristics	TIAN Di, LI Xuyong, Donald E. Weller (27)
Lake nutrient ecosystems in the east-central moist subtropical plain of China	KE Xinli, LIU Man, DENG Xiangzheng (38)
The current water trophic status in Tiaoxi River of Taihu Lake watershed and corresponding coping strategy based on N/P ratio analysis	NIE Zeyu, LIANG Xinqiang, XING Bo, et al (48)
Reversion and analysis on cyanobacteria bloom in Waihai of Lake Dianchi	SHENG Hu, GUO Huaicheng, LIU Hui, et al (56)
Effects of cutting disturbance on spatial heterogeneity of fine root biomass of <i>Larix principis-rupprechtii</i>	YANG Xiuyun, HAN Youzhi, ZHANG Yunxiang, et al (64)
Responses of elm (<i>Ulmus pumila</i>) woodland to different disturbances in northeastern China	LIU Li, WANG He, LIN Changcun, et al (74)
Impacts of grazing and climate change on the aboveground net primary productivity of mountainous grassland ecosystems along altitudinal gradients over the Northern Tianshan Mountains, China	ZHOU Decheng, LUO Geping, HAN Qifei, et al (81)
Response of herbaceous vegetation to phosphorus fertilizer in steppe desert	SU Jieqiong, LI Xinrong, FENG Li, et al (93)
Spatiotemporal characteristics of landscape change in the coastal wetlands of Yancheng caused by natural processes and human activities	ZHANG Huabing, LIU Hongyu, HAO Jingfeng, et al (101)
Response of species diversity in <i>Caragana Korshinskii</i> communities to climate factors and grazing disturbance in Shanxi, Shaanxi, Ningxia and Inner Mongolia	ZHOU Ling, SHANGGUAN Tieliang, GUO Donggang, et al (111)
Seasonal change of leaf morphological traits of six broadleaf seedlings in South China	XUE Li, ZHANG Rou, XI Ruchun, GUO Shuhong, et al (123)
Correlation analysis on <i>Reaumuria soongorica</i> seed traits of different natural populations in Gansu Corridor	SU Shiping, LI Yi, CHONG Peifang (135)
Carbon fixation estimation for the main plantation forest species in the red soil hilly region of southern-central Jiangxi Province, China	WU Dan, SHAO Quanqin, LI Jia, et al (142)
Effects of clonal integration on growth of <i>Alternanthera philoxeroides</i> under simulated acid rain and herbivory	GUO Wei, LI Junmin, HU Zhenghua (151)
Difference of the fitness of <i>Helicoverpa armigera</i> (Hübner) fed with different pepper varieties	JIA Yueli, CHENG Xiaodong, CAI Yongping, et al (159)
Hyperspectral estimating models of tobacco leaf area index	ZHANG Zhengyang, MA Xinming, JIA Fangfang, et al (168)
Temporal and spatial distribution of <i>Bemisia tabaci</i> on different host plants	CUI Hongying, GE Feng (176)
Abundance and composition of CO ₂ fixating bacteria in relation to long-term fertilization of paddy soils	YUAN Hongzhao, QIN Hongling, LIU Shoulong, et al (183)
Effect of <i>Leucaena leucocephala</i> on soil organic carbon conservation on slope in the purple soil area	GUO Tian, HE Binghui, JIANG Xianjun, et al (190)
Isolation and the remediation potential of a Laccase-producing Soil Fungus F-5	MAO Ting, PAN Cheng, XU Tingting, et al (198)
Spatial heterogeneity of soil microbial biomass in Mulun National Nature Reserve in Karst area	LIU Lu, SONG Tongqing, PENG Wanxia, et al (207)
Root functional traits and trade-offs in one-year-old plants of 25 species from the arid valley of Minjiang River	XU Kun, LI Fanglan, GOU Shuiyan, et al (215)
Spatial distribution of carbon density in grassland vegetation of the Loess Plateau of China	CHENG Jimin, CHENG Jie, YANG Xiaomei, et al (226)
Effect of nitrogen concentration in the subtending leaves of cotton bolls on the strength of source and sink during boll development	GAO Xiangbin, WANG Youhua, CHEN Binglin, et al (238)
Long-term tillage effects on soil organic carbon and microbial biomass carbon in a purple paddy soil	LI Hui, ZHANG Junke, JIANG Changsheng, et al (247)
Effects of exogenous calcium on resistance of <i>Hydrilla verticillata</i> (L. f.) Royle to cadmium stress	MIN Haili, CAI Sanjuan, XU Qinsong, et al (256)
Comparison of grain protein components and processing quality in responses to dim light during grain filling between strong and weak gluten wheat cultivars	LI Wenyang, YAN Suhui, WANG Zhenlin (265)
Review and Monograph	
Salt-responsive mechanisms in the plant root revealed by proteomic analyses	ZHAO Qi, DAI Shaojun (274)
The research progress and prospect of watershed ecological risk assessment	XU Yan, GAO Junfeng, ZHAO Jiahu, et al (284)
A review of the environmental behavior and effects of black carbon in soils and sediments	WANG Qing (293)
Scientific Note	
Variation in main morphological characteristics of <i>Amorpha fruticosa</i> plants in the Qinghai-Tibet Plateau	LIANG Kunlun, JIANG Wenqing, ZHOU Zhiyu, et al (311)
Identification of aphid resistance in eleven species from <i>Dendranthema</i> and <i>Artemisia</i> at seedling stage	SUN Ya, GUAN Zhiyong, CHEN Sumei, et al (319)
Research of padded film for afforestation in coastal argillaceous saline-alkali land	JING Feng, ZHU Jinzhao, ZHANG Xuepei, et al (326)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究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;新书评介和学术、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 70 元/册,全年定价 1680 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

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 32 卷 第 1 期 (2012 年 1 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 32 No. 1 2012

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 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 70.00 元