

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

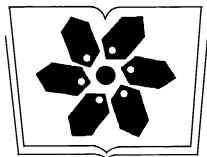
Acta Ecologica Sinica



第34卷 第2期 Vol.34 No.2 **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 2 期 2014 年 1 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 连续免耕对不同质地稻田土壤理化性质的影响 龚冬琴, 吕 军 (239)
- 下辽河平原景观格局脆弱性及空间关联格局 孙才志, 闫晓露, 钟敬秋 (247)
- 完全水淹环境中光照和溶氧对喜旱莲子草表型可塑性的影响 许建平, 张小萍, 曾 波, 等 (258)
- 赤潮过程中“藻-菌”关系研究进展 周 进, 陈国福, 朱小山, 等 (269)
- 盐湖微微型浮游植物多样性研究进展 王家利, 王 芳 (282)
- 臭氧胁迫对植物主要生理功能的影响 列淦文, 叶龙华, 薛 立 (294)
- 啮齿动物分子系统地理学研究进展 刘 铸, 徐艳春, 戎 可, 等 (307)
- 生态系统服务制图研究进展 张立伟, 傅伯杰 (316)

个体与基础生态

- NaCl 胁迫下沙枣幼苗生长和阳离子吸收、运输与分配特性 刘正祥, 张华新, 杨秀艳, 等 (326)
- 不同生境吉首蒲儿根叶片形态和叶绿素荧光特征的比较 向 芬, 周 强, 田向荣, 等 (337)
- 小麦 LAI-2000 观测值对辐亮度变化的响应 王 龔, 田庆久, 孙绍杰, 等 (345)
- K^+ 、 Cr^{6+} 对网纹藤壶幼虫发育和存活的影响 胡煜峰, 严 涛, 曹文浩, 等 (353)
- 马铃薯甲虫成虫田间扩散规律 李 超, 彭 赫, 程登发, 等 (359)

种群、群落和生态系统

- 莱州湾及黄河口水域鱼类群落结构的季节变化 孙鹏飞, 单秀娟, 吴 强, 等 (367)
- 黄海中南部不同断面鱼类群落结构及其多样性 单秀娟, 陈云龙, 戴芳群, 等 (377)
- 苏南地区湖泊群的富营养化状态比较及指标阈值判定分析 陈小华, 李小平, 王菲菲, 等 (390)
- 盐城淤泥质潮滩湿地潮沟发育及其对米草扩张的影响 侯明行, 刘红玉, 张华兵 (400)
- 江苏省农作物最大光能利用率时空特征及影响因子 康婷婷, 高 苹, 居为民, 等 (410)
- 1961—2010 年潜在干旱对我国夏玉米产量影响的模拟分析 曹 阳, 杨 婕, 熊 伟, 等 (421)
- 黑龙江省 20 世纪森林变化及对氧气释放量的影响 张丽娟, 姜春艳, 马 骏, 等 (430)
- 松嫩草原不同演替阶段大型土壤动物功能类群特征 李晓强, 殷秀琴, 孙立娜 (442)
- 小兴安岭 6 种森林类型土壤微生物量的季节变化特征 刘 纯, 刘延坤, 金光泽 (451)

景观、区域和全球生态

- 黄淮海地区干旱变化特征及其对气候变化的响应 徐建文, 居 辉, 刘 勤, 等 (460)

我国西南地区风速变化及其影响因素 张志斌,杨 莹,张小平,等 (471)

青海湖流域矮嵩草草甸土壤有机碳密度分布特征 曹生奎,陈克龙,曹广超,等 (482)

基于生命周期评价的上海市水稻生产的碳足迹 曹黎明,李茂柏,王新其,等 (491)

研究简报

荒漠草原区柠条固沙人工林地表草本植被季节变化特征 刘任涛,柴永青,徐 坤,等 (500)

跨地带土壤置换实验研究 靳英华,许嘉巍,秦丽杰 (509)

SWAT 模型对景观格局变化的敏感性分析——以丹江口库区老灌河流域为例
..... 魏 冲,宋 轩,陈 杰 (517)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 288 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 29 * 2014-01



封面图说：高原盐湖——中国是世界上盐湖分布比较稠密的国家,主要分布在高寒的青藏高原以及干旱半干旱地区的新疆、内蒙古一带。尽管盐湖生态环境极端恶劣,但它们依然是陆地特别是高原生态系统中十分重要的组成部分。微微型浮游植物通常是指粒径在 0.2—3 μm 之间的光合自养型浮游生物。微微型浮游植物不仅是海洋生态系统中生物量和生产力的最重要贡献者,也是盐湖生态系统最重要的组成部分。研究显示,水体矿化度是影响微微型浮游植物平面分布及群落结构组成的重要因子,光照、营养成分和温度等也会影响盐湖水体中微微型浮游植物平面分布及群落结构组成(详见 P282)。

彩图提供：陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201211281695

陈小华, 李小平, 王菲菲, 陈无歧, 刘晓臣. 苏南地区湖泊群的富营养化状态比较及指标阈值判定分析. 生态学报, 2014, 34(2): 390-399.
Chen X H, Li X P, Wang F F, Chen W Q, Liu X C. Research on the difference in eutrophication state and indicator threshold value determination among lakes in the Southern Jiangsu Province, China. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(2): 390-399.

苏南地区湖泊群的富营养化状态比较及 指标阈值判定分析

陈小华^{1,2}, 李小平^{1,*}, 王菲菲¹, 陈无歧¹, 刘晓臣¹

(1. 华东师范大学河口海岸学国家重点实验室, 上海 200062; 2. 上海市环境科学研究院, 上海 200233)

摘要:借助综合营养状态指数法、箱须图法以及拐点探测分析法, 分析了苏南地区 11 个主要湖泊的富营养化特征以及各湖之间的差异性, 并探讨湖泊由轻度富营养化向中度富营养化状态转换的相关指标阈值。结果显示苏南地区各湖泊的营养物水平存在明显的阶梯状特征, 不同湖泊所处的富营养化阶段有所不同。典型封闭型湖泊水源地尚湖与傀儡湖水质最好, 总体为Ⅱ—Ⅲ类, 评价为中营养状态。典型过水性湖泊淀山湖与澄湖水质最差, TN 和 TP 均劣于 V 类, 评价为中度富营养状态, 其他湖泊属于轻度富营养化状态。基于拐点分析, 提出苏南地区湖泊群富营养化状态由轻度向中度转变的指标阈值: COD_{Mn} 为 4.7mg/L, NH₃-N 为 1.0mg/L, TN 为 2.3mg/L, TP 为 0.125mg/L, Chl-a 为 25μg/L, 透明度为 50cm; 尚湖和傀儡湖处于富营养化最轻的下游区, 元荡和阳澄湖目前处于敏感的拐点区域, 而淀山湖、澄湖、长荡湖等其他湖泊处于富营养化程度较重的上游区。苏南湖泊群的富营养化状态差异性主要是由不同人为干扰强度和水资源管理模式引起的, 实现管理目标由资源利用向资源保护合理转变是解决富营养化问题的关键。

关键词: 差异性; 阈值; 富营养化; 湖泊; 苏南地区

Research on the difference in eutrophication state and indicator threshold value determination among lakes in the Southern Jiangsu Province, China

CHEN Xiaohua^{1,2}, LI Xiaoping^{2,*}, WANG Feifei², CHEN Wuqi², LIU Xiaochen²

1 State Key Laboratory of Estuarine and Coastal Research, East China Normal University, Shanghai 200062, China

2 Shanghai Academy of Environmental Sciences, Shanghai 200233, China

Abstract: Cultural eutrophication is the Earth's most widespread water quality problem, causing harmful algal blooms, fish deaths, underwater plant deaths, decreasing biodiversity, reduction of water clarity, and many other related problems. Southern Jiangsu Province (SJP), which is by far the most densely populated and most developed area of the east of the People's Republic of China, has in total 11 shallow lakes with a surface area ranging from 10km² to 2,428 km² and an average water depth of less than 2.5m. Unfortunately, accompanying the fast economic development in SJP is the serious deterioration and eutrophication of the water environment, with high levels of algal biomass, frequent algal blooms and low water clarity, which are threatening both the water supply to these regions and their economic development. In this article, in order to investigate the eutrophication features and differences in state of 11 lakes within the same geographic area, we obtained 1090 field monitoring data sets of potassium permanganate index (COD_{Mn}), ammonia nitrogen (NH₃-N), total phosphorus (TP), total nitrogen (TN), algal Chlorophyll-a (Chl-a) and Secchi depth (SD) of lakes from the environmental monitoring agencies attached to the EPA of Southern Jiangsu Province. All water samples were collected

基金项目: 国家“十一五”水专项资助项目 (2009ZX07106-001-001)

收稿日期: 2012-11-28; 修订日期: 2013-06-20

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lixp_2008@hotmail.com

monthly or quarterly from 62 field sites across the 11 lakes and measured in the laboratory during the period from 1993 to 2012. We applied the method of trophic level indices (TLI_c) to assess the trophic level of all lakes, using Box-Whisker plots to compare the levels with current standards and provide spatial discrimination of eutrophication indicators (e.g., COD_{Mn} , NH_3-N , TP, TN, Chl-a, SD) among all lakes. Furthermore, change-point analysis was performed to determine the threshold values of indicators showing transition among different eutrophication levels in SJP. It was revealed that different eutrophication levels among all 11 lakes can be divided into mesotrophic, lightly-eutrophicated and moderately-eutrophicated states. Both Lake Shanghu and Lake Kuilei, which are under strict management as semi-enclosed drinking water resource areas, had the best water quality, achieving category II to III standards according to the state standards for surface water quality (GB 18918—2002) and belong to mesotrophic lakes category based on TLI_c . As the typical water-carrying lakes, Lake Dianshan and Lake Chenghu had the heaviest eutrophication level, with TN and TP concentrations recorded as an inferior Category V, classified as moderately-eutrophicated lakes. The other 7 lakes, including Lake Taihu were classified as lightly-eutrophicated. Based on change-point analysis, the threshold values for all indicators as transitional marks, from lightly-eutrophicated to moderately-eutrophicated states, were recommended as: 4.7mg/L of COD_{Mn} , 1.0mg/L of NH_3-N , 2.3mg/L of TN, 0.125mg/L of TP, 25 μ g/L of Chl-a, 0.5m of SD. It is notable that Lake Yangchenghu and Lake Yuandang were lingering near the turning point between the lightly-eutrophicated state and moderately-eutrophicated state; thereby, more efforts should be made to prevent these two lakes sliding into more heavily eutrophicated states. According to the main results, there is further discussion to be carried out on the advantages and disadvantages of lake-group analytical methods, as well as the reasons that caused differences in eutrophication level among all lakes within one geographic area (e.g. SJP), such as the natural characteristics of lakes, intensity of human disturbance and water resource management strategies. It can be suggested that setting the primary management goal as water-resource-protection rather than water-resource-utilization is the key to control lake eutrophication in SJP.

Key Words: difference; threshold; eutrophication; lakes; Southern Jiangsu Province

湖泊富营养化是世界范围最严重的水质问题,直接引起有毒藻华、鱼类死亡、生物多样性下降以及其他相关的生态问题;尤其在人口密集、经济发达的地区,由于人类活动的影响大大增加入湖污染负荷,更容易发生湖泊富营养化问题^[1-2]。自改革开放以来,我国社会经济高速发展,人口、资源、环境与经济发展之间的矛盾也进一步加剧,直接导致湖泊生态环境急剧恶化,特别是富营养化问题日趋严重,反过来严重制约了社会经济的可持续发展^[3-5]。不同区域湖泊的富营养化成因、类型、演变过程以及物理、化学、生物学特性等方面存在显著差异,致使中国湖泊的营养物水平和富营养化效应具有显著的区域差异性^[6]。我国中东部平原地区由于社会经济的高速发展,不合理的环湖开发、渔业养殖、过量排污等因素,导致中东部平原地区的湖泊富营养化问题最为突出^[7]。在过去的十几年中,围绕湖泊富营养化治理,各级政府投入了大量的人力、物力和财力,仍收效甚微^[8]。

湖泊富营养化仍是一个非常复杂过程,很多关键问题都有待研究^[9]。湖泊的富营养化特征演化既受自然环境因素及变化的影响,还受人类活动的扰动。分布在同一地区的湖泊群受到自然环境因素的影响基本接近,但人类对各湖的开发强度、保护目标的不同,可能直接导致各湖的富营养化演变趋势不一致,富营养化水平差别较大。以一个地区的湖泊群作为单元研究湖泊富营养化的自然与人文因素的影响的方向与作用的强度,服务于科学制定湖泊富营养化的管理和污染防治策略,对于保护饮用水安全与湖泊生态环境健康具有重要意义^[10]。比较同一地区各湖的富营养化特征及过程,确定在人为因素影响下湖泊富营养化水平的拐点,能够为制定一个地区的湖泊环境整治和生态修复目标提供科学依据^[11],富营养化程度较轻的湖泊可作为富营养化程度较重的湖泊的生态修复目标。本文运用比较湖沼学的相关方法,对苏南地区主要湖泊的富营养化特征进行差异性分析,探讨各湖泊所处的不同富营养

化阶段及原因,对于科学应对我国中东部平原湖泊富营养化问题具有积极意义。

1 材料与方法

1.1 研究区域

苏南地区在行政区划上的江苏省长江以南地区,是江苏经济最发达的区域,也是中国经济发展最快最发达的区域之一,在“2011 年全国百强县(市)”前 10 名中占了 7 席。该地区河道纵横,拥有众多湖泊,列入《江苏省湖泊保护名录》的湖泊共有 137 个,

其中苏南地区就占据了 128 个^[12]。苏南地区湖泊多呈浅碟形,岸边平缓,属外流淡水和浅水型湖泊,水位变化具有缓涨缓落的特性^[13]。本文研究苏南地区的湖泊群包括太湖、滆湖、长荡湖、昆承湖、淀山湖、澄湖、阳澄湖、傀儡湖、元荡、漕湖和尚湖,其中太湖面积最大(2425 km²),尚湖面积最小(8km²)^[14],淀山湖属于苏南地区与上海市省界湖泊。各湖泊的使用功能大多集饮用水源、洪涝调节、渔业生产、农业灌溉、航运、休闲旅游等多功能于一体。

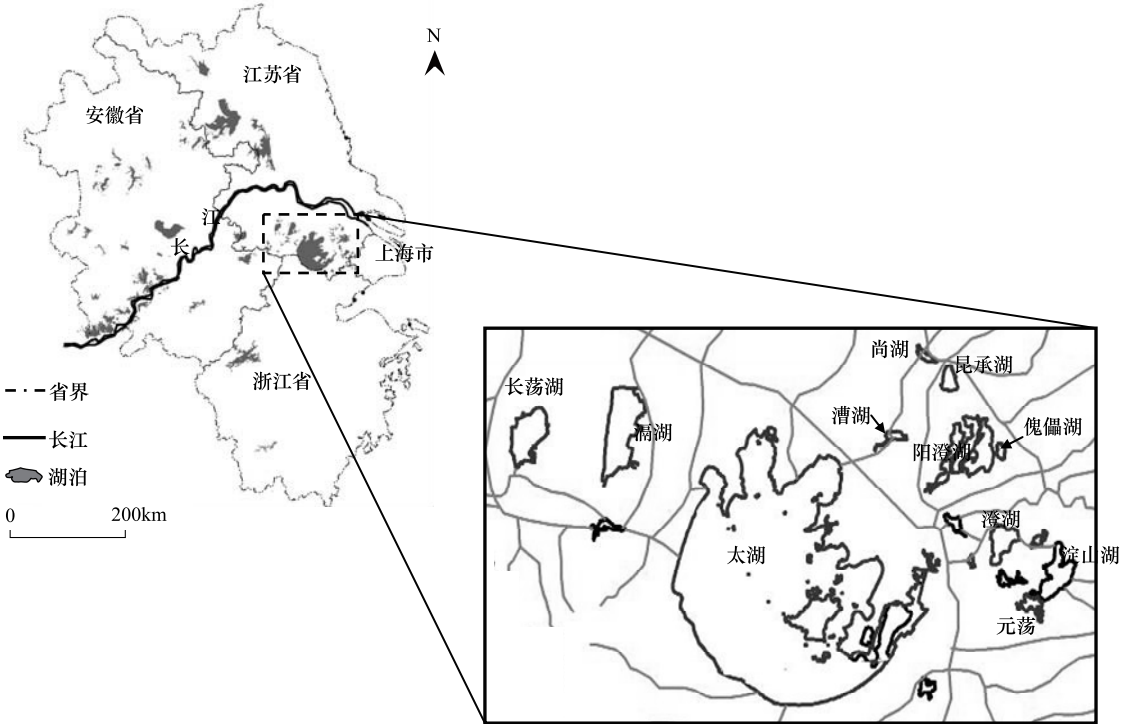


图 1 苏南湖泊群的各湖泊区位图
Fig.1 The location map of lakes in the Southern Jiangsu Province

1.2 数据来源与水质测定

从江苏省和上海市各地方环境监测站收集各湖泊 2006—2010 年的常规水质监测月平均或季度平均数据,分析的富营养化相关指标包括 4 个原因变量:高锰酸盐指数(COD_{Mn})、氨氮(NH₃-N)、总氮(TN)、总磷(TP),以及 2 个响应变量(Chl-a)和透明度(Secchi depth, SD)。面积越大的湖泊一般布置采样点个数越多:太湖 20 个、淀山湖 13 个、昆澄湖 7 个、阳澄湖 6 个、尚湖 6 个、滆湖 4 个、长荡湖 4 个、澄湖 4 个、傀儡湖 3 个、漕湖 1 个(湖中心)、元荡 1 个(湖中心)。2011 年 1 月—2012 年 1 月,笔者对湖泊进行了每季度 1 次现场采样,共获取 5 次补充数据,

采样点全部在湖中心水域,太湖和淀山湖各 3 个点,其他每个湖泊 1—2 个点。高锰酸盐指数、总氮和总磷参照《水和废水监测分析方法》进行测定^[15],透明度采用塞氏盘现场测定,叶绿素 a 浓度采用丙酮萃取分光光度计法测定。

1.3 统计分析方法

(1)综合营养状态指数法评价

综合营养状态指数计算公式为: $TLI(\sum) = \sum W_j \times TLI(j)$ 。式中 $TLI(\sum)$ 为综合营养状态指数; W_j 为第 j 种参数的营养状态指数的相关权重,依据第 j 种参数与基准参数叶绿素 a 的相关系数来

计算。 $TLI(j)$ 为代表第 j 种参数的营养状态指数。富营养化程度分级标准: $TLI(\sum) < 30$ 贫营养; $30 \leq TLI(\sum) \leq 50$ 中营养; $TLI(\sum) > 50$ 富营养^[16]。

(2)箱须图法

箱须图法(Box and Whisker plot),是利用数据中的 5 个统计量:最小值、第 25 百分位数(P25)、中位数、第 75 百分位数(P75)与最大值来描述数据的一种方法,可反映一组或多组连续型定量数据的集中和离散趋势,能以简单的组合图形直观的表现数据批的形状和分布结构(图 2)。箱须图能客观地反映湖泊水质指标变化情况和分布结构,并进行多批数据的比较分析。利用统计软件 Origin 8.0 对各湖泊 2006—2011 年的水质数据进行箱须图分析。

(3)拐点探测分析法

借助空间换时间的方法,将所有湖泊的富营养化指标进行一定排序后便相当于同一湖泊在不同时间点的状态。基于各湖泊 2010—2011 年的实测水质数据,利用 Taylor Enterprises 公司的拐点分析软件 Change-point analyzer 2.3 进行富营养化参数的拐点探测分析。

2 结果与分析

2.1 各湖泊的富营养化状态比较

用相关加权综合营养状态指数(TLI_c)评价了苏南地区各湖泊的营养水平(图 3)。综合营养状态指

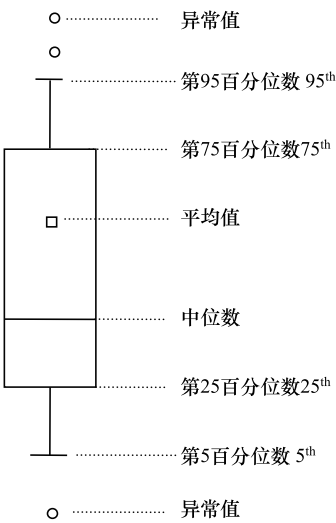


图 2 箱须图(Box-whisker Plot)示意图
Fig.2 Sketch map of Box-whisker Plot

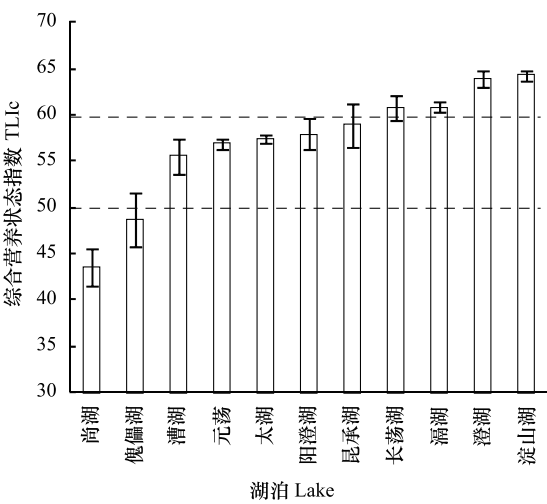


图 3 苏南地区各湖泊的综合营养状态指数
Fig.3 Trophic Level Index (TLI_c) of lakes

数变化范围为 43.5—64.2,其中尚湖的 TLI_c 值最低,富营养化程度最低,淀山湖的 TLI_c 值最高,富营养化程度也相应最高。尚湖与傀儡湖的综合营养状态指数介于 30 和 50 之间,处于中营养状态。淀山湖与澄湖的综合营养状态指数介于 60 和 70 之间,属中度富营养。其余 7 个湖泊的综合营养状态指数(TLI_c)值介于 50 和 60 之间,属轻度富营养化。

2.2 各湖泊之间富营养化相关指标的比较

采用箱须图方法统计 2006—2010 年的水质数据,比较分析 COD_{Mn} 、 NH_3-N 、 TN 、 TP 、 $Chl-a$ 和 SD 等富营养化相关指标在苏南地区各湖泊之间的差异性,各湖泊之间的指标数值阶梯状变化非常明显(图 4)。从 COD_{Mn} 、 NH_3-N 、 TN 、 TP 这四项富营养化原因变量来看,淀山湖和澄湖的水质最差, TN 和 TP 均劣于 V 类,淀山湖的 NH_3-N 达到 V 类。与其他湖泊比较,淀山湖和澄湖的 NH_3-N 、 TN 、 TP 数据离散程度均很大,与这两个湖泊属于典型的过水性湖泊有关,换水周期短,湖内水质受上游来水的波动影响更大。而作为封闭型水源地的尚湖与傀儡湖水质最好,各项指标处于 II—III 类,数据离散度低,说明湖泊状态相对比较稳定。其他 7 个湖泊的水质状况介于这 4 个湖泊之间, NH_3-N 大多达到 II 类, COD_{Mn} 大多达到 III 类, TN 和 TP 均为 III—V 类不等,太湖的 TN 较高,劣于 V 类。溧湖和长荡湖的 TN 浓度在苏南湖泊群中属较低水平, TP 浓度也处于中等偏下水平,但藻类叶绿素 a 的平均浓度和数值离散程度均最大,透明度偏低,说明这两个湖泊的富营养化趋势正在

加重。

从 Chl-a 和透明度(SD)这两项响应指标来看, Chl-a 浓度较低的尚湖和元荡,透明度较高;而 Chl-a 浓度较高的长荡湖和溧湖则透明度较低。淀山湖、元荡、太湖、尚湖以及傀儡湖的 Chl-a 浓度平均值或中位数位于 15ug/L 以下,长荡湖和溧湖的 Chl-a 浓度平均值超过 40ug/L。阳澄湖 Chl-a 平均浓度介于前两组之间。湖面面积较大的太湖、长荡湖、溧湖、

阳澄湖,Chl-a 浓度的离散程度明显大于其他面积较小的湖泊,这可能与大湖泊的多生境条件导致浮游藻类生物量空间差异性较大。太湖透明度较低与大湖面受风浪掀沙作用有关。尚湖的透明度离散程度大主要是因为受长江的泥沙影响,引水时泥砂含量高,降低透明度,经过数日沉淀之后,透明度显著提高。

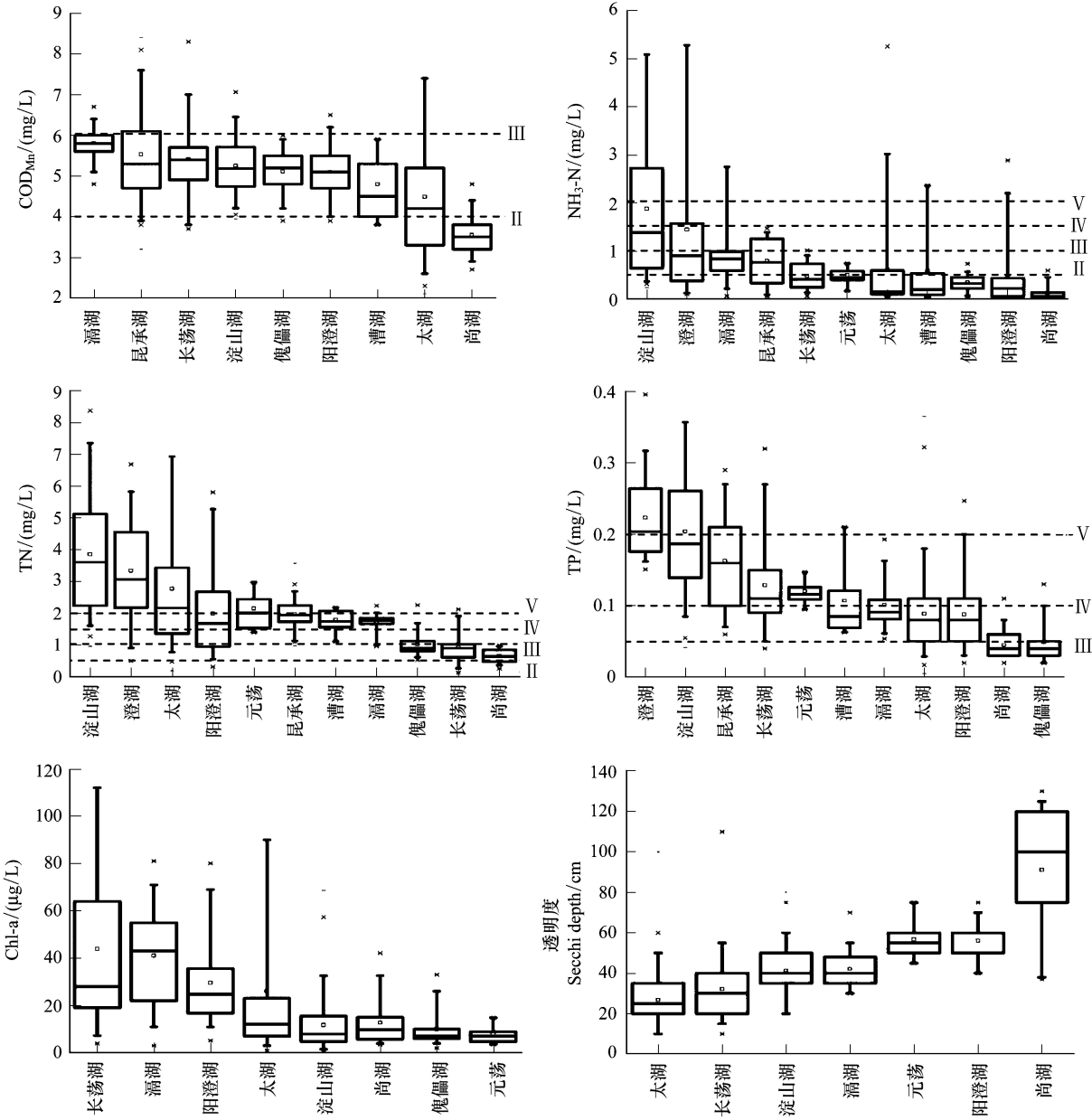


图4 苏南湖泊群近5年富营养化指标的空间差异性(2006—2010)

Fig.4 Spatial discrimination of eutrophication indicators among different lakes in the Southern Jiangsu Province

2.3 基于拐点分析的富营养化指标阈值判定
将各湖泊 2010—2011 年同步监测的 6 个富营

养化指标的平均值分别按从小到大排列,利用 change-point analyzer 2.3 对各指标进行拐点探测分

析,结果如图 5 所示,发现苏南地区各湖泊的营养物水平存在跃迁现象,不同湖泊所处的富营养化阶段有所不同。图中的上下两条虚线之间为控制区,代表当前富营养化状态下,湖泊数值可能最大变化范围,控制区以外的湖泊表示指标值异常好或异常差的湖泊。明显处于两片深色阴影之间的区域中心点可视为拐点或变化的敏感点,为湖泊不同富营养化

状态间转换的指标阈值:透明度为 50cm, TN 为 2.3mg/L, TP 为 0.125mg/L, Chl-a 为 25ug/L, NH₃-N 为 1.0mg/L, COD_{Mn}为 4.7mg/L。总体来看,尚湖和傀儡湖目前处于富营养化程度最轻的下游区,元荡和阳澄湖处于敏感的拐点附近,淀山湖、澄湖、长荡湖等其他湖泊明显进入富营养化程度较重的上游区。

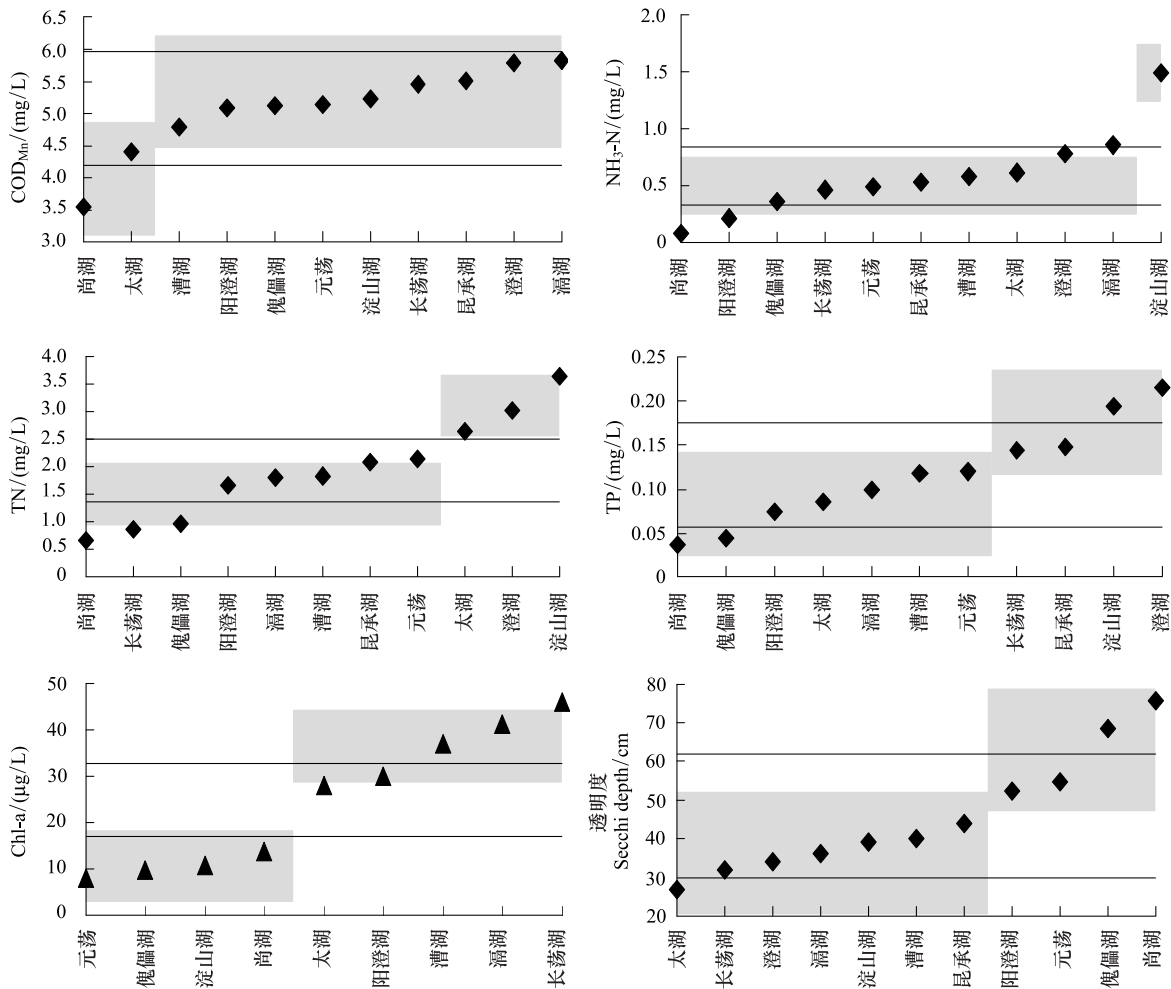


图 5 基于拐点分析的苏南湖泊群富营养化指标阈值判定 (2010—2011)
Fig.5 The analysis of abrupt change of ecosystem parameters

3 讨论

3.1 各湖富营养化状态的差异性及原因探讨

苏南湖泊群位于同一个地理区域,具备的气候条件、自然环境特征和湖泊形态基本相似,均属于浅水湖泊,在改革开放之前水质普遍良好,水草生长旺盛,生物种类丰富,透明度总体较高^[17]。然而,各湖泊 2006—2010 年的常规水质监测数据比较分析结果显示,苏南湖泊群的营养物水平和富营养化状态

表现出很强的空间差异性。这种空间差异性既可能受湖泊本身的湖泊形态、水动力条件、水生植被、换水周期等自然因素影响,也可能受各湖的沿岸带开发强度、污染源输入规模、水资源管理模式以及功能定位等人为因素影响^[18]。在社会经济高速发展和人口高密度聚集的现实背景下,人为因素和自然因素往往共同作用,从而影响湖泊富营养化进程。淀山湖和澄湖同属于典型的过水性湖泊,系统开放度大,水力停留时间短至 20 余天,入湖污染物在湖内

得不到充分消纳,湖内水质对上游来水水质非常敏感,生态系统很容易受到外源污染的冲击而崩溃,因此当整个流域的大量排污引起地表水水质恶化时,过水性湖泊的水质会比其他湖泊做出更快速的响应,分析结果显示淀山湖和澄湖的 TN、TP 浓度在整个苏南地区内最高,富营养化状态综合指数也达到最大。太湖的沿湖开发强度一直很大,入湖污染河流众多,藻华仍时有发生^[19],自 2007 年藻华污染事件以来,加强了沿湖污染源管理,大幅削减入湖污染负荷,而且太湖最大的湖面积和最长水力停留时间有助于提高自净能力,对外来污染的消纳能力要强于同地区的其它中小型湖泊,近 5 年太湖富营养化水平稳定在苏南湖泊群中的中游水平。综合营养状态指数较高的长荡湖、溇湖、漕湖、阳澄湖、澄湖、元荡等湖泊,属于渔业生产型湖泊,大多以水产养殖及相关休闲旅游为主要功能,多年的围网养殖活动已造成底泥中氮、磷的大量积累^[20],内源污染严重,水质持续恶化,规模过大的养殖活动和不合理的养殖结构对湖内水草、底栖动物的多样性和生物量破坏严重^[21],湖内水质恶化程度与围网养殖面积有着相同的变化趋势^[22]。尚湖和傀儡湖是苏南湖泊群中富营养化程度最低的湖泊,综合营养状态指数均小于 50,属于中营养状态,这主要得益于这两个湖泊实行的合理功能定位和水资源管理模式,尚湖和傀儡湖分别被确定为常熟市和昆山市的封闭型湖泊水源地,湖泊管理模式已完成了从单纯的资源利用到资源保护和利用高度统一的转变,水资源保护甚至引进企业化运作机制,入湖量和出湖量采取严格的人工控制,外源污染输入控制到最小,内源污染得到清除,富营养化程度逐年改善,透明度提升。从以上比较分析结果来看,苏南湖泊群和东部平原地区的其它湖泊类似^[17],各湖之间的水质指标空间梯度变化主要是由人为因素的长期作用造成的,包括沿湖开发强度、入湖污染负荷、功能定位、管理模式等^[10,18],自然因素对富营养化的影响较小。从整个地区来看,湖泊的富营养化进程也是湖泊资源利用进程和管理组织制度的演化过程^[23]。人类生产活动的干扰强度和人为组织管理模式的转变成为影响苏南湖泊群富营养化演变进程的决定性因素。在整个地区水质出现整体下降的背景下,单个湖泊进行科学管理,削减外源输入,能实现稳定湖泊水质,控

制富营养化趋势的目标。因此,实现湖泊水资源管理目标的合理转变是解决苏南地区湖泊群富营养化问题的关键,管理模式需要由资源利用管理向资源保护管理进行转变。

3.2 湖泊群分析对单个湖泊富营养化控制的现实意义

水污染的影响早已超越局部和“点源”的范围,区域性的富营养化污染问题越来越受到关注^[6-7],分布在苏南地区的湖泊群具有相似的气象条件、自然环境特征和湖泊形态,因此以同地区的湖泊群作为一个单元研究富营养化的自然与人文因素的影响方向与作用强度,比较各湖的富营养化特征及进程,判定在人为活动干扰下的湖泊群富营养化状态的拐点,对于科学制定湖泊营养物管理和富营养化控制策略具有重要意义^[10]。湖泊群的研究不仅着眼于比较分析同一地区的湖泊富营养化趋势,划定该地区的湖泊由较轻富营养化状态向更严重状态转化的警戒线,而且最终为该地区的单个湖泊富营养化控制策略提供方向。以淀山湖为例,综合营养状态指数法判定出淀山湖的 *TLI* 值在整个苏南地区的最高,2006—2010 多年平均值高达 64.2,标准差 1.57,说明该湖一直稳居在中度富营养化状态(图 3)。箱须图显示了淀山湖的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TN、TP 等分项指标的平均值、中位数和数据离散度均明显高于其它湖泊,只有叶绿素 a 浓度水平处于较低水平(图 4);近 20 年淀山湖的 TN 和 TP 浓度一直持续上升的, TN 和 TP 的年平均数据是在 1995 年之后开始分别超过苏南地区湖泊群的拐点阈值 2.3mg/L 和 0.125mg/L,两项指标的绝大部分监测数据在 2000 年之后都超过了阈值(图 6)。透明度也是在 2000 年之后全面低于 50cm 的阈值,近 10 年仍呈下降趋势,平均值目前维持在 40cm 左右。后 10a(2001—2010)的叶绿素 a 浓度明显高于前 10a(1991—2000),在 2001—2005 期间年平均叶绿素 a 浓度值明显超过阈值 25 $\mu\text{g/L}$,虽然在 2006—2010 期间又迅速回归到阈值以内,但这不能归因于淀山湖的富营养化程度出现好转,因为藻类生物量可能受气象条件、水动力等其他因素影响很大。综合来看,淀山湖是在 1995 年前后开始由轻度富营养化状态向中度富营养化转移,在 2000 年前后全面进入中度富营养化状态。对于淀山湖的富营养化控制策略应首先控制上游来水的污染物输

入,尽快实现 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 TN 、 TP 等指标低于阈值,才有可能逐渐减缓湖体富营养化程度,最终目标要使湖

体透明度重新提高至 50cm 以上。

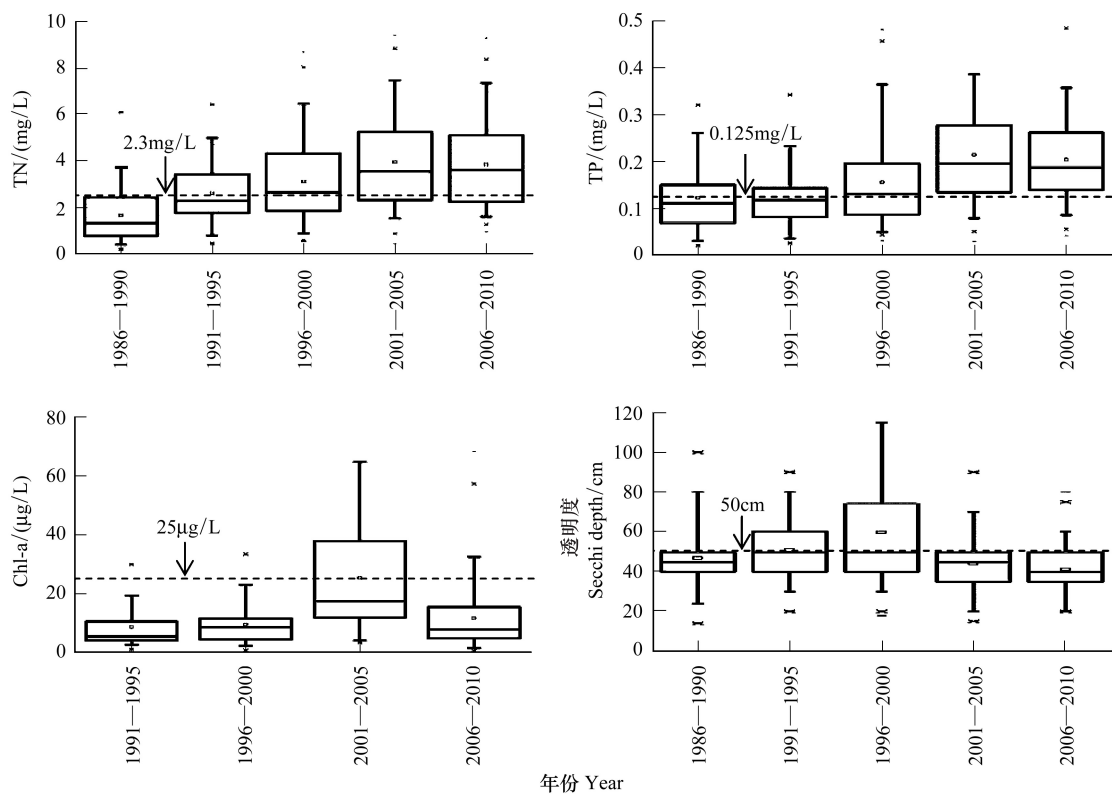


图 6 淀山湖富营养化指标的长时间尺度的演变
Fig.6 20-years variation of eutrophication indicators of Dian Shan Lake

3.3 湖泊群不同分析方法的比较

本研究采用综合营养状态指数法、箱须图法和拐点探测分析法对苏南湖泊群的富营养化状态进行比较分析,探讨湖泊由轻度富营养化向中度富营养化状态转换的相关指标阈值,3 种方法的计算原理、表达方式、优势和局限性都有所不同。综合营养状态指数法用于评价各湖泊的富营养化程度,计算方法成熟,判定标准统一,对不同湖泊有较好的区分度,层级分明,结果显示尚湖与傀儡湖的综合营养状态指数最低,处于中营养状态,淀山湖与澄湖的综合营养状态指数最高,属中度富营养化状态,其余 7 个湖泊介于两者之间,属轻度富营养化。但综合营养状态指数法的计算结果是一种综合值,隐藏了分项指标的数值,不利于提出具体的污染指标控制目标。箱须图法和拐点探测分析法是对单项指标进行逐一细致分析,与综合营养状态指数法相比,对不同湖泊的富营养化状况区分度较低,但这两个方法对制定富营养化控制策略更具有操作性,因为污染减排和

富营养化控制措施最终要落实到对各项单一指标的考核。箱须图可同时表达平均值、中位数、最小值、最大值以及不同分位上的数值,能全面、精确反映不同湖泊的水质指标在某段时间范围内的数据变化范围、分布结构和离散趋势,有利于判断湖泊群的富营养化相关指标的所有监测值在阈值上下的分布比例。淀山湖 TN 和 TP 平均浓度和数值离散程度均在苏南湖泊群中最大,而藻类叶绿素 a 和透明度的数值离散程度偏小,说明淀山湖受上游来水水质影响很大。尚湖和傀儡湖的 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、 TN 、 TP 平均浓度和数据离散度均最低,这两个湖泊目前稳定在中营养水平。溇湖和长荡湖的 TN 、 TP 平均浓度和数据离散度处于中等偏低水平,但藻类叶绿素 a 的平均浓度和数值离散程度均最大,透明度也相应较低,说明这两个湖泊的富营养化趋势正在加重。箱须图法的局限性在于比较湖泊富营养化状态的过程较复杂,尤其是当每个湖泊的各项指标之间的数据结构、平均水平、离散程度差异很大时,箱须图很难分辨各湖

的富营养化程度。拐点探测分析方法是基于“各态遍历”假说(ergodic hypothesis)——同一区域在不同时段的发展状态(“时间序列谱”)可以从同一时间不同区域的发展状态(“空间局域谱”)中获得识别^[24],判定出苏南地区湖泊群由轻度富营养化向中度富营养化状态转化的指标风险阈值,这些阈值可视为苏南地区各湖泊跨入中度富营养化状态的警戒线,为管理部门减缓湖泊富营养化趋势的提供目标值,在实际管理中有较大可操作性。拐点分析法的局限性在于只是对当前某一时间段各湖泊的指标平均值进行比较分析,当各湖之间的富营养化状态差异性很小时,不容易得到拐点阈值。总之,苏南湖泊群的3种比较分析方法的优势和局限性有所不同,但彼此关联,相互补充,能同时用于比较分析同一地区的湖泊富营养化趋势,提出苏南湖泊群由较轻富营养化状态向更严重状态转化的指标阈值。

4 结论

本文借助综合营养状态指数法、箱须图法以及拐点探测分析法,分析了苏南地区11个主要湖泊的富营养化特征以及各湖之间的差异性,典型封闭性水源地尚湖与傀儡湖水质最好,总体为Ⅱ—Ⅲ类,评价为中营养状态。典型过水性湖泊淀山湖与澄湖水质最差,TN和TP均劣于V类,评价为中度富营养状态,其他湖泊属于轻度富营养化状态。3种分析方法的优势和目标有所不同,但相互补充,能同时用于湖泊群的富营养化趋势的比较分析,明确富营养化控制目标。拐点探测分析提出了苏南湖泊群由轻度富营养化向中度富营养化转变的指标阈值:COD_{Mn}为4.7mg/L,NH₃-N为1.0mg/L,TN为2.3mg/L,TP为0.125mg/L,Chl-a为25ug/L,透明度为50cm。尚湖和傀儡湖位于富营养化程度最轻的下游,太湖、淀山湖、溇湖、澄湖、长荡湖、昆承湖、漕湖位于富营养化程度最高的上游,而元荡和阳澄湖目前处于前两者之间的拐点区域。湖泊群的比较分析对提出一个地区或一个流域的湖泊富营养化控制策略具有理论价值和实际意义。

References:

[1] Schindler D W. The dilemma of controlling cultural eutrophication of lakes. *Proceedings of the Royal Society B*, 2012, 279: 4322-4333.

[2] Schindler D W, Vallentyne J R. *The algal bowl: overfertilization of the world's freshwaters and estuaries*. Edmonton, Canada: University of Alberta Press, 2008.

[3] Cao J L, Xi B D, Xu Q G, Li X P, Yang L Y, Jiang L W, Wei Z M, Wu X H. Regional differences in physiographical, climatological and morphological effects on lake trophic status in China. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2012, 32(6): 1512-1519.

[4] Mao X W, Xu F, Xu B, Gao Y. Changes of water quality and eutrophication in Taihu Lake. *Water Resources Protection*, 2009, 25(1): 48-51.

[5] Qing B Q, Gao G, Hu W P, Wu Q L, Hu C H, Liu Z W, Gu X H, Zhu G W, Chen F Z. Reflections on the theory and practice of shallow lake ecosystem restoration. *Limnology Sciences*, 2005, 17(1): 9-16.

[6] Cao J L, Xu Q G, Xi B D, Li X P, Yang L Y, Jiang L W, Wei Z M, Wu X H. Regional heterogeneity of lake eutrophication effects in China. *Environmental Science*, 2012, 33(6): 1777-1783.

[7] Ke X L, Liu M, Deng X Z. Lake nutrient ecosystems in the east-central moist subtropical plain of China *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(1): 0038-0047.

[8] Qin B Q. Principles and approach for lake ecological restoration. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(11): 4848-4858.

[9] Jin X C. The key scientific problems in lake eutrophication studies. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2008, 28(1): 21-23

[10] Wu F, Zhan J Y, Deng X Z, Ling Y Z. Influencing factors of lake eutrophication in China——A case study in 22 lakes in China. *Ecology and Environmental Sciences*, 2012, 21(1): 94-100.

[11] Ni Z K, Wang S R, Jin X C, Jiao L X, Li Y J. Study on the evolution and characteristics of eutrophication in the typical lakes on Yunnan-Guizhou Plateau. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2011, 31(12): 2681-2689.

[12] People's Government of Jiangsu Province. List of Protected lakes in Jiangsu Province. [EB/OL]. [2005-2-26]. http://www.jiangsu.gov.cn/shouye/wjgz/szfw/szbw/200710/t20071015_69944.html.

[13] Wang F Y, Wang P Y, Liu X M, Sun R R. Consideration on Rational Exploitation and Protection of Lakes in Southern Jiangsu. *Journal of Hebei Agricultural Sciences*, 2011, 15(3): 114-116.

[14] Wang S M, Dou H S. *A directory of lakes in China*. Beijing: Science Press, 1998: 1-300

[15] State Environmental Protection Administration of China. *Monitoring and analytic methods of water and wastewater*. 4th ed. Beijing: Environmental Science Press of China, 2002.

[16] Jin X C, Liu S K, Zhang Z S, Tu Q Y, Xu N N. *Lake in China—Research of Their Environment*, Vol. 1. Beijing: China Ocean Presses, 1995: 234-302

[17] Zhang Y L, Qing B Q. *Evolution and Zone Analysis on Lake Eutrophication in East Plain Region*. Shanghai Environmental

Science, 2002, 21(9): 549-553

[18] Cheng X Y, Li S J. Evolution process and characteristic analysis of Lake Eutrophication in the Yangtze River Delta. Bulltin of Science, 2006, 51(7): 848-855.

[19] Qin B Q, Zhu G W, Gao G, Zhang Y L, Li W, Paerl H W, Carmichael W W. A Drinking Water Crisis in Lake Taihu, China; Linkageto Climatic Variability and Lake Management. Environmental Management, 2010, 45: 105-112.

[20] Song X H, Bing X W, Sun L P. The Spatial and temporal changes of nutrients of net-pen aquaculture area in Yangcheng Lake and its water quality evaluation. Journal of Hydroecology, 2010, 3(6): 23-29.

[21] Peng Z R, Chen L J, Wang W. Pollution Actua lity and Countermea sures of Aquiculture in Sha llow Lakes in The M iddle and Lower Reaches of Yangtze River Area. Journal of Anhui Agri Sci, 2010, 38(12): 6467-6468, 6621.

[22] Ban X, Yu C, Wei K. Analysis of influence of enclosure aquaculture on water quality of Honghu Lake. Environmental Science & Technology, 2010, 33(9): 125-129.

[23] Zhong T Y, Huang X J. The Comparative study between the organization system evolution of the lake management and the driving factors —— Taking the Gucheng Lake and the Changdang Lake for example. Water Conservancy Economy, 2006, (6): 6-10.

[24] Borovkov A A. Ergodicity and Stability of Stochastic Processes, Wiley, 1998.

参考文献:

[3] 曹金玲,席北斗,许其功,李小平,杨柳燕,江立文,魏自民,吴献花.地理气候及湖盆形态对我国湖泊营养状态的影响. 环境科学学报, 2012, 32(6): 1512-1519.

[4] 毛新伟,徐枫,徐彬,高怡.太湖水质及富营养化变化趋势分析.水资源保护, 2009, 25(1): 48-51.

[5] 秦伯强,高光,胡维平,吴庆龙,胡春华,刘正文,谷孝鸿,朱广伟,陈非洲..浅水湖泊生态系统恢复的理论与实践思考. 湖泊科学, 2005, 17(1): 9-16.

[6] 曹金玲,许其功,席北斗,李小平,杨柳燕,江立文,魏自民,吴献花.我国湖泊富营养化效应区域差异性分析. 环境科学, 2012, 33(6): 1777-1783.

[7] 柯新利,刘曼,邓祥征. 中国中东部平原亚热带湿润区湖泊营养物生态分区.生态学报, 2012, 32(1): 38-47.

[8] 秦伯强.湖泊生态恢复的基本原理与实现. 生态学报, 2007, 27(11): 4848-4858.

[9] 金相灿.湖泊富营养化研究中的主要科学问题——代“湖泊富营养化研究”专栏序言.环境科学学报, 2008, 28(1): 21-23.

[10] 吴锋,战金艳,邓祥征,林英志.中国湖泊富营养化影响因素研究——基于中国 22 个湖泊实证分析. 生态环境学报 2012, 21(1): 94-100.

[11] 倪兆奎,王圣瑞,金相灿,焦立新,李跃进.云贵高原典型湖泊富营养化演变过程及特征研究.环境科学学报, 2011, 31(12): 2681-2689.

[12] 江苏省人民政府. 江苏省湖泊保护名录. [EB/OL]. [2005-2-26]. http://www.jiangsu.gov.cn/shouye/wjgz/szfwj/szbw/200710/t20071015_69944.html.

[13] 王福源,王培元,刘晓敏,孙瑞瑞. 苏南地区湖泊资源合理开发利用与保护的思考. 河北农业科学, 2011, 15(3): 114-116.

[14] 王苏民,窦鸿身.中国湖泊志.北京:科学出版社, 1998: 1-300.

[15] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法(第 4 版). 北京:中国环境科学出版社, 2002.

[16] 金相灿,刘树坤,章宗涉,屠清瑛,徐南妮.中国湖泊环境(第一册).北京:海洋出版社, 1995: 234-278.

[17] 张运林,秦伯强.东部平原地区湖泊富营养化的演变及区域分析. 上海环境科学, 2002, 21(9): 549-553.

[18] 成小英,李世杰.长江中下游典型湖泊富营养化演变过程及其特征分析.科学通报, 2006, M51(7): 848-855.

[20] 宋学宏,邴旭文,孙丽萍等.阳澄湖网围养殖区水体营养盐的时空变化与水质评价. 水生态学杂志, 2010, 3(6): 23-29.

[21] 彭自然,陈立婧,王武. 长江中下游浅水湖泊水产养殖污染现状与对策. 安徽农业科学, 2010, 38(12): 6467-6468, 6621.

[22] 班璇,余成,魏珂等.围网养殖对洪湖水质的影响分析.环境科学与技术, 2010, 33(9): 125-129.

[23] 钟太洋,黄贤金. 湖泊管理组织制度演进及其驱动因素的比较研究——以固城湖和长荡湖为例.水利经济, 2006, (6): 6-10.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34 ,No.2 Jan. ,2014 (Semimonthly)
CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

Effects of soil texture on variations of paddy soil physical and chemical properties under continuous no tillage GONG Dongqin,LÜ Jun (239)

Evaluation of the landscape patterns vulnerability and analysis of spatial correlation patterns in the lower reaches of Liaohe River Plain SUN Caizhi, YAN Xiaolu,ZHONG Jingqiu (247)

Effects of light and dissolved oxygen on the phenotypic plasticity of *Alternanthera philoxeroides* in submergence conditions XU Jianping, ZHANG Xiaoping, ZENG Bo, et al (258)

A review of the relationship between algae and bacteria in harmful algal blooms ZHOU Jin, CHEN Guofu,ZHU Xiaoshan, et al (269)

Biodiversity and research progress on picophytoplankton in saline lakes WANG Jiali, WANG Fang (282)

Effects of ozone stress on major plant physiological functions LIE Ganwen, YE Longhua, XUE Li (294)

The current progress in rodents molecular phylogeography LIU Zhu, XU Yanchun, RONG Ke, et al (307)

The progress in ecosystem services mapping: a review ZHANG Liwei, FU Bojie (316)

Autecology & Fundamentals

Growth, and cationic absorption, transportation and allocation of *Elaeagnus angustifolia* seedlings under NaCl stress LIU Zhengxiang, ZHANG Huaxin, YANG Xiuyan, et al (326)

Leaf morphology and PS II chlorophyll fluorescence parameters in leaves of *Sinosenecio jishouensis* in Different Habitats XIANG Fen, ZHOU Qiang,TIAN Xiangrong, et al (337)

Response of change of wheat LAI measured with LAI-2000 to the radiance WANG Yan, TIAN Qingjiu, SUN Shaojie, et al (345)

Effects of K⁺ and Cr⁶⁺ on larval development and survival rate of the acorn barnacle *Balanus reticulatus* HU Yufeng, YAN Tao, CAO Wenhao, et al (353)

Diffusion of colorado potato beetle, *Leptinotarsa decemlineata*, adults in field LI Chao, PENG He, CHENG Dengfa, et al (359)

Population, Community and Ecosystem

Seasonal variations in fish community structure in the Laizhou Bay and the Yellow River Estuary SUN Pengfei, SHAN Xiujuan, WU Qiang, et al (367)

Variations in fish community structure and diversity in the sections of the central and southern Yellow Sea SHAN Xiujuan, CHEN Yunlong, DAI Fangqun, et al (377)

Research on the difference in eutrophication state and indicator threshold value determination among lakes in the Southern Jiangsu Province, China CHEN Xiaohua, LI Xiaoping, WANG Feifei,et al (390)

Effecton of tidal creek system on the expansion of the invasive *Spartina* in the coastal wetland of Yancheng HOU Minghang, LIU Hongyu, ZHANG Huabing (400)

The spatial and temporal variations of maximum light use efficiency and possible driving factors of Croplands in Jiangsu Province KANG Tingting, GAO Ping, JU Weimin, et al (410)

Simulation of summer maize yield influenced by potential drought in China during 1961—2010 CAO Yang, YANG Jie, XIONG Wei,et al (421)

Forest change and its impact on the quantity of oxygen release in Heilongjiang Province during the Past Century ZHANG Lijuan,JIANG Chunyan,MA Jun,et al (430)

Soil macro-faunal guild characteristics at different successional stages in the Songnen grassland of China	LI Xiaoqiang, YIN Xiuqin, SUN Lina (442)
Seasonal dynamics of soil microbial biomass in six forest types in Xiaoxing'an Mountains, China	LIU Chun, LIU Yankun, JIN Guangze (451)
Landscape, Regional and Global Ecology	
Variation of drought and regional response to climate change in Huang-Huai-Hai Plain	XU Jianwen, JU Hui, LIU Qin, et al (460)
Wind speed changes and its influencing factors in Southwestern China	ZHANG Zhibin, YANG Ying, ZHANG Xiaoping, et al (471)
Characteristics of soil carbon density distribution of the <i>Kobresia humilis</i> meadow in the Qinghai Lake basin	CAO Shengkui, CHEN Kelong, CAO Guangchao, et al (482)
Life cycle assessment of carbon footprint for rice production in Shanghai	CAO Liming, LI Maobai, WANG Xinqi, et al (491)
Research Notes	
Seasonal changes of ground vegetation characteristics under artificial <i>Caragana intermedia</i> plantations with age in desert steppe	LIU Rentao, CHAI Yongqing, XU Kun, et al (500)
The experimental study on trans-regional soil replacement	JIN Yinghua, XU Jiawei, QIN Lijie (509)
Sensitivity analysis of swat model on changes of landscape pattern: a case study from Lao Guanhe Watershed in Danjiangkou Reservoir Area	WEI Chong, SONG Xuan, CHEN Jie (517)

《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

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 2 期 (2014 年 1 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 34 No. 2 (January, 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

主 编 王如松

主 管 中国科学技术协会

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

出 版 科 学 出 版 社
地址:北京东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717

印 刷 北京北林印刷厂

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

订 购 全国各地邮局

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

广告经营 京海工商广字第 8013 号

许 可 证

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

Editor-in-chief WANG Rusong

Supervised by China Association for Science and Technology

Sponsored by Ecological Society of China
Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS
Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China

Published by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China

Printed by Beijing Bei Lin Printing House,
Beijing 100083, China

Distributed by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North
Street, Beijing 100717, China
Tel: (010)64034563
E-mail: journal@cspg.net

Domestic All Local Post Offices in China

Foreign China International Book Trading
Corporation
Add: P. O. Box 399 Beijing 100044, China

