

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

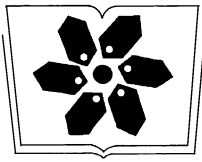
Acta Ecologica Sinica



第32卷 第8期 Vol.32 No.8 **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 8 期

2012 年 4 月 (半月刊)

目 次

东北地区 5 种阔叶树苗木对火烧的生理响应.....	王 荣, 胡海清 (2303)
梭梭木虱发生规律及其影响因子.....	李粉莲, 吴雪海, 王佩玲, 等 (2311)
基于遥感降尺度估算中国森林生物量的空间分布.....	刘双娜, 周 涛, 舒 阳, 等 (2320)
流域景观格局与河流水质的多变量相关分析.....	赵 鹏, 夏北成, 秦建桥, 等 (2331)
内蒙古达赉湖地区赤狐生境选择及生境景观特征分析.....	张洪海, 李成涛, 窦华山, 等 (2342)
雅鲁藏布江流域底栖动物多样性及生态评价.....	徐梦珍, 王兆印, 潘保柱, 等 (2351)
用组合模型综合比较的方法分析气候变化对朱鹮潜在生境的影响.....	翟天庆, 李欣海 (2361)
2010 年牧区 2 代草地螟成虫迁飞的虫源分析	张 丽, 张云慧, 曾 娟, 等 (2371)
基于细胞色素 b 基因的中国岩羊不同地理种群遗传差异分析.....	李楠楠, 刘振生, 王正寰, 等 (2381)
喀斯特峰丛洼地不同退耕还林还草模式的土壤微生物特性.....	鹿士杨, 彭晚霞, 宋同清, 等 (2390)
永定河沿河沙地杨树人工林生态系统呼吸特征.....	方显瑞, 张志强, 查同刚, 等 (2400)
基于湿地植物光谱的水体总氮估测.....	刘 克, 赵文吉, 郭逍宇, 等 (2410)
背瘤丽蚌 F 型线粒体基因组全序列分析	陈 玲, 汪桂玲, 李家乐 (2420)
流域“源-汇”景观格局变化及其对磷污染负荷的影响——以天津于桥水库流域为例	李崇巍, 胡 婕, 王 飒, 等 (2430)
线虫群落对抚顺煤矸石山周边土壤可溶性盐污染的响应.....	张伟东, 吕 莹, 肖 莹, 等 (2439)
地上竞争对林下红松生物量分配的影响.....	汪金松, 范秀华, 范 娟, 等 (2447)
湿地松和马尾松人工林土壤甲烷代谢微生物群落的结构特征.....	王 芸, 郑 华, 陈法霖, 等 (2458)
马尾松和杉木树干韧皮部水溶性糖 $\delta^{13}\text{C}$ 值对气象因子的响应	卢钰茜, 王振兴, 郑怀舟, 等 (2466)
沙坡头人工植被演替过程的土壤呼吸特征.....	高艳红, 刘立超, 贾荣亮, 等 (2474)
豫西刺槐能源林的热值动态.....	谭晓红, 刘诗琦, 马履一, 等 (2483)
铁皮石斛种子的室内共生萌发	吴慧凤, 宋希强, 刘红霞 (2491)
红光与远红光比值对温室切花菊形态指标、叶面积及干物质分配的影响	杨再强, 张继波, 李永秀, 等 (2498)
扑草净对远志幼苗根系活力及氧化胁迫的影响.....	温银元, 郭平毅, 尹美强, 等 (2506)
地表臭氧浓度增加和 UV-B 辐射增强及其复合处理对大豆光合特性的影响	郑有飞, 徐卫民, 吴荣军, 等 (2515)
AMF 对喀斯特土壤枯落物分解和对宿主植物的养分传递	何跃军, 钟章成, 董 鸣 (2525)
传统豆酱发酵过程中细菌多样性动态.....	葛菁萍, 柴洋洋, 陈 丽, 等 (2532)
定位施肥对紫色菜园土磷素状况的影响.....	孙倩倩, 王正银, 赵 欢, 等 (2539)
基于生态需水保障的农业生态补偿标准.....	庞爱萍, 孙 涛 (2550)
保障粮食安全造成的生态价值损失评估模型及应用.....	芦蔚叶, 姜志德, 张应龙, 等 (2561)
专论与综述	
疏浚泥用于滨海湿地生态工程现状及在我国应用潜力.....	黄华梅, 高 杨, 王银霞, 等 (2571)
问题讨论	
厌氧氨氧化菌群体感应系统研究.....	丁 爽, 郑 平, 张 萌, 等 (2581)
基于形态结构特征的洞庭湖湖泊健康评价.....	帅 红, 李景保, 夏北成, 等 (2588)
研究简报	
黄土高原不同树种枯落叶混合分解效应.....	刘增文, 杜良贞, 张晓曦, 等 (2596)
不同经营类型毛竹林土壤活性有机碳的差异.....	马少杰, 李正才, 王 斌, 等 (2603)
干旱对辣椒光合作用及相关生理特性的影响	欧立军, 陈 波, 邹学校 (2612)
硅和干旱胁迫对水稻叶片光合特性和矿质养分吸收的影响	陈 伟, 蔡昆争, 陈基宁 (2620)



封面图说: 红树林粗大的气生根——红树林是热带、亚热带海湾及河口泥滩上特有的常绿灌木或乔木群落。由于海水环境条件特殊, 红树林植物具有一系列特殊的生态和生理特征。其中之一就是气根, 红树从根部长出许多指状的气生根露出海滩地面, 以便在退潮时甚至潮水淹没时用以通气, 故称呼吸根。在中国, 红树林主要分布在海南、广西、广东和福建省沿海, 它一般分布于高潮线与低潮线之间的潮间带, 往往潮差越大, 红树的呼吸根就长得越高越粗大。

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

DOI: 10.5846/stxb201111281818

帅红, 李景保, 夏北成, 刘春平, 李玉丹. 基于形态结构特征的洞庭湖湖泊健康评价. 生态学报, 2012, 32(8): 2588-2595.

Shuai H, Li J B, Xia B C, Liu C P, Li Y D. Health evaluation of Dongting Lake based on morphological characters. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(8): 2588-2595.

基于形态结构特征的洞庭湖湖泊健康评价

帅 红^{1,*}, 李景保¹, 夏北成², 刘春平³, 李玉丹¹

(1. 湖南师范大学资源与环境科学学院, 长沙 410081; 2. 中山大学环境科学与工程学院, 广州 510275;

3. 防灾科技学院, 三河 065201)

摘要: 湖泊形态结构特征与湖泊健康水平密切相关, 是评价湖泊生态系统、服务功能是否健康的基础。以历史文献、图件及 1986—2010 年水沙实测数据等资料为依据, 选取洲滩出露频率、水动力条件和几何形态等 3 类共 8 个湖泊形态结构特征指标, 采用突变级数法对典型年洞庭湖湖泊健康状况进行评价。结果表明: (1) 东洞庭湖湖泊健康状况相对较好(隶属度平均值为 0.7486), 但波动较大(0.6775—0.7965); 南洞庭湖次之(0.7311); 西洞庭湖最差(0.7269), 其健康相对隶属度波动最小(0.7026—0.7487); (2) 近 20a 来, 洞庭湖湖泊健康状况呈现“先恶化、后改善”的趋势。1998 年其健康隶属度最低(0.6912), 2004 年值最高(0.7711), 其余典型年的值介于二者之间。这充分说明“4350”工程实施、三峡水库蓄水运行等有效地改善了洞庭湖湖泊形态结构, 使其朝健康方向发展。

关键词: 洞庭湖; 湖泊形态结构; 健康; 突变级数法

Health evaluation of Dongting Lake based on morphological characters

SHUAI Hong^{1,*}, LI Jingbao¹, XIA Beicheng², LIU Chunping³, LI Yudan¹

1 College of Resources and Environmental Science, Hunan Normal University, Changsha 410081 China

2 School of Environmental Science and Engineering; Sun Yat-Sen University; Guangzhou 510275; China

3 Institute of Disaster Prevention Science and Technology; Sanhe 065201; China

Abstract: The lake's morphological characters is closely related to the functions of lake ecosystem. It is fundamental to evaluate service function and healthy conditions. According to historical literatures, maps, water and sediment data from 1986 to 2010, 8 indicators of morphological characters including the exposed frequency of bottomland, hydrodynamic conditions and geometry form of the lake were selected to evaluate the healthy condition of the lake ecosystem during the typical years by catastrophe progression method. It showed that: (1) The East Dongting Lake has a relatively good health status (the average membership grade was 0.7486), but with great fluctuations (0.6775—0.7965); then followed by South Dongting Lake, (0.7311); the West Dongting Lake (0.7269) was the worst one with a minimum fluctuation of health relative membership degree (0.7026—0.7487); (2) In the last 20 years, the health standard of Dongting Lake Basin had showed a tendency of “worse at the beginning then improved”. It had the lowest healthy membership grade in 1998 (0.6912), and the highest value was in 2004 (0.7711), the values of the other typical years were in the middle, which might be the result of the strong support from both the implementation of “4350” project and Three Gorges dam.

Key Words: Dongting Lake; morphological characters; healthy condition; catastrophe progression method

基金项目: 国家自然科学基金(41071067); 湖南省“十二五”重点学科建设项目(地理学); 湖南省自然科学基金(11JJ6027)

收稿日期: 2011-11-28; 修订日期: 2012-03-26

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: shuaih823@163.com

目前国内外湖泊生态系统健康研究成果较多,但其评价指标体系和方法是在河流、湿地、海洋等相关研究基础上予以改进的。在评价指标体系构建方面,归纳起来有三类:一是在生物群落层次上设计指标^[1];二是人类健康和社会经济指标^[2];三是从影响生态系统变化的非生物原因中选取指标,如生境、水质等^[3]。评价方法方面, Jorgenson 于 1995 提出了一套初步评价程序^[4];卢媛媛等^[5]采用聚类分析法来确定武汉市 14 个浅水湖泊生态系统健康分级标准;张祖陆等^[6]以模糊综合评判模型评价南四湖湿地生态系统健康状况;许文杰等^[7]用熵权综合健康指数法评价滇池生态系统健康;龙邹霞使用改进后的生态系统健康指数(EHI')能够更好地反映各类型湖泊的健康状态,完善了 Xu 等的 EHI 理论并扩展了其应用范围^[8];卢志娟^[9]提出用营养状态-综合指数法(TSI-CI)对西湖进行生态系统健康评价;蒋卫国^[10]集成 RS 和 GIS 建立湿地生态系统健康评价模型,进行湿地压力、状态、响应健康分析从而揭示了洞庭湖湿地生态系统健康状况的空间分布规律,等。从目前的研究成果来看,湖泊健康研究主要从生态系统角度入手,尚未对湖泊形态结构予以关注。基于形态结构特征评价湖泊健康不仅可以潜在表征湖泊系统功能的健康程度,而且有助于识别导致湖泊生态退化的根本原因,因而它是评价湖泊生态系统、服务功能是否健康的基础;另外,由于湖泊生态系统健康评价目前多为静态的,缺乏时空动态变化,因而无法深入了解健康水平的高低与人类活动的关系,难以找出影响其健康的症结所在。据此,本文采用突变级数法,从形态结构特征研究洞庭湖湖泊健康的时空动态变化,以期为进一步优化和提升湖泊系统功能、湖泊动态综合管理提供科学依据,为湖泊健康研究提供一条值得探索和尝试的新思路。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区概况

洞庭湖地处长江中游荆江南岸,接纳淞滋、藕池、调弦、太平四口和湘、资、沅、澧四水水沙,经湖泊调蓄后于城陵矶注入长江,是我国典型的通江大型湖泊(图 1)。随着调弦口堵口,下荆江系统裁弯,葛洲坝截流等工程建设,以及四水流域一大批大中型水库的建设,四口四水入湖水沙过程发生多次调整变化。与此同时,洞庭湖区经历了堵支并流、围湖造田、兴修防洪大堤以及第一期,第二期治湖(含退田还湖工程)工程建设。这些频繁而剧烈的人类活动使湖泊几何形态发生了一系列变化,使得洞庭湖湿地受到了严重影响。长江三峡工程 2003 年 6 月开始蓄水运行,受其影响,湖泊形态结构将再次发生调整,洞庭湖区资源环境将产生新的变化。

文中洞庭湖湖泊形态结构是指湖南省境内洞庭湖(东洞庭湖、南洞庭湖、西洞庭湖(目平湖))的湖盆结构及其几何形态大小。湖盆结构由沿岸带、亚沿岸带和深水带(或湖心敞水带)3 部分组成,是相对稳定的;而湖泊几何形态的大小则以某一水位条件下相应的面积、岸线长度、容积、湖深等几何形态度量指标来表示的,并随着湖盆演变与水位变化而变化的。

1.2 典型年选取

本文基于三峡工程运行前后洞庭湖出湖年径流量序列,按照国家水利部信息中心水文预报规范,径流丰枯状况的划分标准界定典型年份,即:

$$P(\text{径流距平}\%) = \frac{\text{某年径流量} - \text{多年平均值}}{\text{多年平均值}} \times 100\%$$

当 $P > 20\%$ 为丰水年; $-10\% < P \leq 10\%$ 为平水年; $P < -20\%$ 为枯水年。以此判别标准为基础,综合逐年实测原型水文资料分析,选取 1998 年、1991 年、1986 年、2010 年、2004 年、2006 年分别为长江三峡水利枢纽工程正式运行时点前后的丰水年、平水年和枯水年,并以它们作为本文研究的典型年。

1.3 数据来源

本文水沙数据主要来源于荆江与洞庭湖区各主要水文站实测水沙资料(1986—2010 年);洞庭湖区 1:25000、1:10000 水下地形图和《湖南省洞庭湖区堤垸图集》来自于湖南省水利水电勘测设计研究总院与湖南省洞庭湖水利工程管理局; Landsat-7 ETM+ 数据来自于中国科学院遥感卫星地面接收站,时相分别为 2006 年 9 月 25 日和 2010 年 9 月 15 日;所用 29 幅地形图(1:10000016 幅和 1:5000013 幅)来自中国人民解放

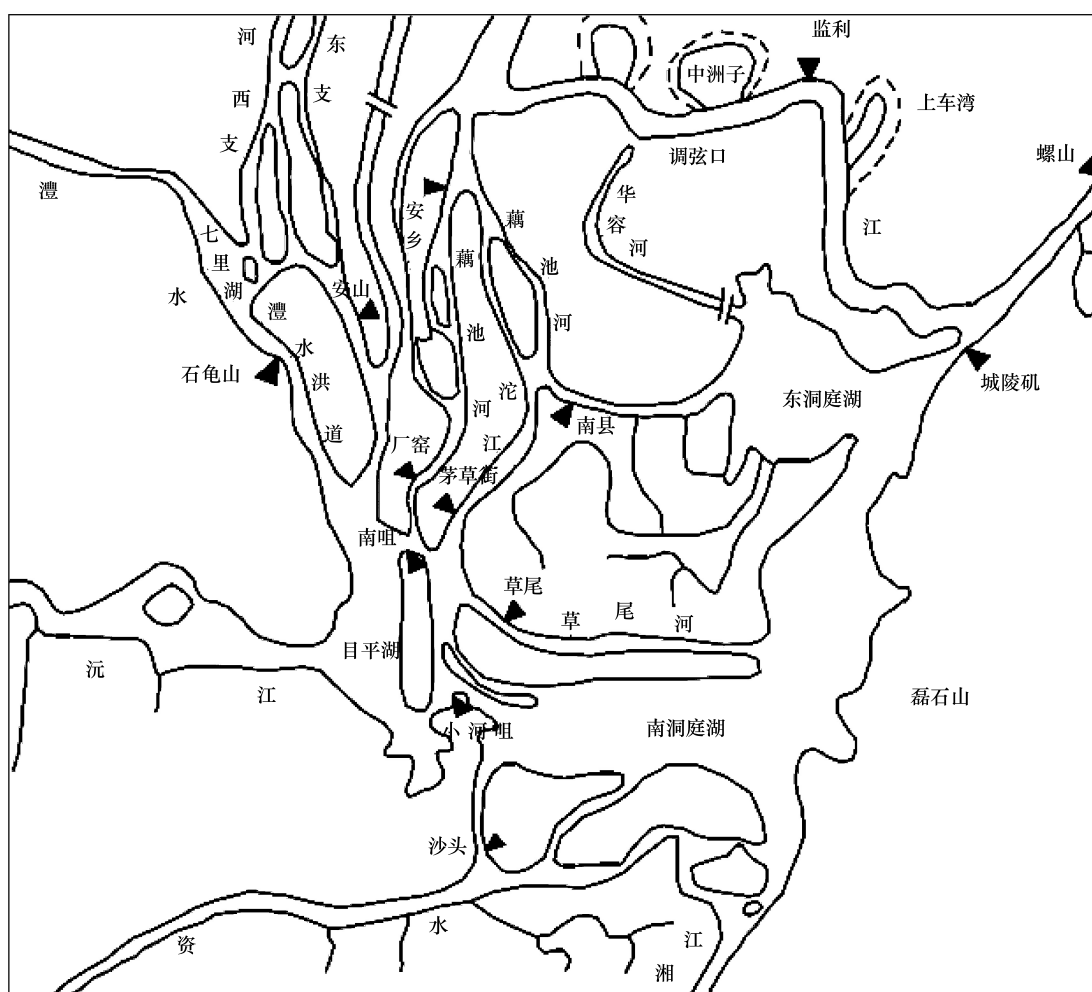


图1 湖南省洞庭湖区河湖位置示意图

Fig. 1 location of Rivers and lakes of Dongting Lake in Hunan

军总参谋部测绘局(北京 54 大地坐标系, 高斯-克吕格投影, Krassovsky 椭球体参数)。

1.4 研究方法

1.4.1 突变级数法

目前生态系统健康评价的方法主要有层次分析法、主成分分析法、综合指数法、模糊评价法以及突变级数法等。层次分析法对于既有定性指标又有定量指标的问题,往往表现出定量不足;主成分分析法通过对原始变量相关矩阵内部结构关系的研究、筛选、识别出影响健康的主要且相互独立的指标,但只能实现定性评价;模糊评价法主要适用于单级的多指标评价,而且在制定指标权重值和健康标准值时仍存在着较大的主观性;而突变级数法不需要对评价指标赋予权重,它只考虑指标的相对重要性,避免了主观判断健康标准的不确定对评价结果客观性的影响,定量化程度较高;同时,研究区洞庭湖是大型吞吐性湖泊,历经了堵支并流、围湖造田、兴修防洪大堤以及第一、二期治湖(含退田还湖工程)工程、三峡工程等重大水利工程运行影响,从而使湖泊形态结构演变过程具有波动性、突变性,这就要求数学评价模型能体现非连续、阶跃式的数理特征。突变级数法能反映这种突变特性,可更客观、准确地揭示洞庭湖湖泊健康的演替规律和变化动力机制。综上分析,本文选择突变级数法评价洞庭湖湖泊健康状态变化及空间分异^[11]。

突变级数法的理论基础是突变理论,其研究对象是系统的势函数。势函数通过系统的控制变量 u 与状态变量 x 描述系统行为,即 $V=V(x,u)$ 。突变理论把状态曲面的奇点集映射到控制空间,得到状态变量在控制空间的轨迹——分叉集。处于分叉集中的控制变量值会使势函数发生突变,即从一种质态跳跃到另一种质

态。托姆已经证明,当控制变量不超过 4 个,则势函数最多只有 7 种突变形式,常用的突变模型见表 1^[12]。

表 1 常用突变模型的相关公式
Table 1 Correlative formula of catastrophe models

突变模型 Forms	控制变量 Dimensions of control space	状态变量 Dimensions of behavior space	势函数 Potential function	分叉集 Bifurcation set	归一公式 Normalization formula
折叠突变 Fold	1	1	$V(x) = x^3 + u_1x$	$u_1 = -3x^2$	$X_{u_1} = \sqrt{u_1}$
尖点突变 Cusp	2	1	$V(x) = \frac{1}{4}x^4 + \frac{1}{2}u_1x^2 + u_2x$	$u_1 = -6x^2, u_2 = 8x^3$	$X_{u_1} = \sqrt{u_1}, X_{u_2} = \sqrt[3]{u_2}$
燕尾突变 Swallowtail	3	1	$V(x) = \frac{1}{5}x^5 + \frac{1}{3}u_1x^3 + \frac{1}{2}u_2x^2 + u_3x$	$u_1 = -6x^2, u_2 = 8x^3, u_3 = -3x$	$X_{u_1} = \sqrt{u_1}, X_{u_2} = \sqrt[3]{u_2}, X_{u_3} = \sqrt[4]{u_3}$
蝴蝶突变 Butterfly	4	1	$V(x) = \frac{1}{6}x^6 + \frac{1}{4}u_1x^4 + \frac{1}{3}u_2x^3 + \frac{1}{2}u_3x^2 + u_4x$	$u_1 = -10x^2, u_2 = 20x^3, u_3 = -15x^4, u_4 = 4x^5$	$X_{u_1} = \sqrt{u_1}, X_{u_2} = \sqrt[3]{u_2}, X_{u_3} = \sqrt[4]{u_3}, X_{u_4} = \sqrt[5]{u_4}$

突变级数法的评价步骤为:建立多级评价指标体系,并对各级指标按照重要程度排序;建立递级突变模型;原始数据处理后带入对应的突变模型归一公式,计算各级状态变量相对隶属度^[12]。

1.4.2 评价指标体系

从众多表征湖泊形态结构特征指标中,选取具有主导作用、代表性较强、易获取和量化的指标,如几何形态、洲滩出露频率和水动力条件等,构建了基于形态结构特征的洞庭湖湖泊健康评价指标体系(表 2),其中,水动力条件促使江湖水沙混合输送和能量传递,从而不断地塑造和调整洞庭湖盆结构,而水位涨落交替却不断地改变湖泊几何形态,因而水沙过程既是塑造湖泊形态结构的物质基础与动力,又是维系其生命活力的源泉;湖泊的形态结构及其动态变化,能表征湖泊发展演变过程、水情变化和水动力学特性;洲滩地淹水天数变化一方面反映了湖泊水情(水位、泥沙淤积量)的动态变化,另一方面将直接导致洲滩地植物种群演替的差异。

本文采用层次分析法计算得到各项指标权重,从而确定各指标重要性的排序,按照构建突变指标体系的原则,重要的指标放上面,次要的指标放下面(表 2)。

表 2 基于形态结构特征的洞庭湖湖泊健康评价指标体系及其权重
Table 2 Evaluation system and indicators' weight of health status of Dongting Lake based on morphological characters

目标层 Target layer	要素层 Feature layer	指标层 Index layer	文献数据计算/含义 Data calculation/meaning
洞庭湖湖泊 健康	A ₁ :洲滩出露频率 (0.4018)	B ₁ :高位洲滩出露天数/d(0.1614)	[13]
		B ₂ :中位洲滩出露天数/d(0.1322)	
		B ₃ :低位洲滩出露天数/d(0.1082)	
	A ₂ :水动力条件 (0.3289)	B ₄ :泥沙淤积率/%(0.1809)	(年入湖沙量-年出湖沙量)/年入湖沙量×100
		B ₅ :湖泊排泄能力(0.1481)	年出湖水量/年入湖水量
	A ₃ :湖泊几何形态 (0.2693)	B ₆ :湖泊平均高程/m(0.1149)	[14];地形法测量 ^①
		B ₇ :湖泊面积/km ² (0.0823)	[14];遥感目视解译法量算 ^②
		B ₈ :湖泊岸线长度/km(0.0721)	[15]

①各湖泊高程是根据 2005 年 1:10000 水下地形测绘资料的七里湖、目平湖、南洞庭湖、东洞庭湖 4 个天然湖泊面积及容积(相应湖口城陵矶黄海基水位 31.50m)来计算;②湖泊面积量算:先制作出用于洞庭湖区堤垸目视解译的遥感影像底图;其次制作成洞庭湖堤垸分布图;再次建立洞庭湖堤垸目视解译标志,并以堤垸分布图作为参照,进行洞庭湖区堤垸的遥感目视解译,获取解译成果图;最后在 ENVI 软件中计算洞庭湖面积

1.4.3 突变模型构建

根据突变理论及突变级数法的内涵及评价要求^[12],本文提出了基于形态结构特征的洞庭湖湖泊健康评价指标逐级集成的突变模型(图2),该模型共2级。第1级是为求指标层($B_1—B_8$)值而构造的3个突变模型,将其包含的下级指标作为控制变量,分别构建适宜的突变模型;第2级是为求目标层(即洞庭湖湖泊健康隶属度)值而构造的突变模型,将目标层作为状态变量,以 $A_1—A_3$ 为控制变量所构建的燕尾突变系统(图2)。

1.4.4 数据预处理

原始数据取值范围和度量单位各不相同,它们之间无法进行相互比较。因此,在使用归一化公式之前,应依据突变理论综合评判的要求,将控制变量的原始数据转化到[0—1]之间。本文采用的无量纲化关系式为:

$$\text{对于正向指标} \quad y_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max(x_{ij})} \quad (1)$$

$$\text{对于逆向指标} \quad 1 - \frac{x_{ij}}{\max(x_{ij})} \quad (2)$$

式中, $i=1,2,\dots,m$ (m 为指标数); $j=1,2,\dots,n$ (n 为指标数)。

1.4.5 评价分级标准

由于突变级数法归一公式(式1)和(式2)的特点,计算出来的评价值一般较高,中间差距很小,这在一定程度上给分级标准提出了高要求。本文在指标体系给定的前提下,设当底层控制指标对应的相对隶属度均取值为 x_i ($x_i=0/0.2/0.4/0.6/0.8/1$) 时,由突变级数法进行计算,可得其总隶属度 y_i ,可计算出突变级数法在绝对意义下的各级综合平均值,进而制定出突变级数法下的各级分级标准。在此基础上,参照湖泊的相关研究^[1-2,5-10]最终确定洞庭湖湖泊健康评价等级标准(表3)。

表3 洞庭湖湖泊健康评价等级标准

Table 3 Evaluation rating criteria for Dongting Lake

健康状况 Health condition	很健康 Very healthy	较健康 Healthier	临界健康 Critical health	较不健康 Less healthy	很不健康 Very unhealthy
等级 Rate	I	II	III	IV	V
隶属值 Membership value	>0.80	0.75–0.80	0.71–0.75	0.65–0.70	<0.65

1.4.6 计算过程

以1986年西洞庭湖为例,说明各层指标的计算过程:

B_1 、 B_2 、 B_3 构成燕尾突变模型,按互补原则,则

$$B_1 = (B_1^{1/2} + B_2^{1/3} + B_3^{1/4})/3 = (0.0571^{1/2} + 0.4239^{1/3} + 0.0471^{1/4}) = 0.7189$$

B_4 、 B_5 构成尖点突变模型,按互补原则,则

$$B_2 = (B_4^{1/2} + B_5^{1/3})/2 = (0.9707^{1/2} + 0.0012^{1/3})/2 = 0.4926$$

B_6 、 B_7 、 B_8 构成燕尾突变模型,按互补原则,则

$$B_3 = (B_6^{1/2} + B_7^{1/3} + B_8^{1/4})/3 = (0.1553^{1/2} + 0.0027^{1/3} + 0.0001^{1/4})/3 = 0.2437$$

A_1 、 A_2 、 A_3 构成燕尾突变模型,按取小原则,则

$$A = \min(B_1^{1/2}, B_2^{1/3}, B_3^{1/4}) = (0.7189^{1/2}, 0.4936^{1/3}, 0.2437^{1/4}) = 0.7026$$

同理,可计算基于形态结构特征的洞庭湖各湖泊健康相对隶属度,最终的结果见表4;结合表3评价等级

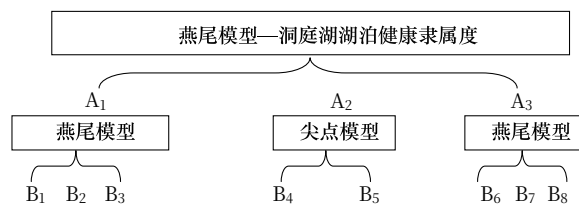


图2 基于形态结构特征的洞庭湖湖泊健康评价递级突变模型

Fig. 2 The Delivery catastrophe model of the healthy conditions of Dongting Lake based on morphological characters

$A_1—A_3$: 控制变量; $B_1—B_8$: 指数层值

标准可得图 3。

表 4 基于形态结构特征的洞庭湖湖泊健康相对隶属度

Table 4 Relative membership degrees of the healthy status of Dongting Lake based on morphological characters

区域 Region	1986 年	1991 年	1998 年	2004 年	2006 年	2010 年
西洞庭湖 West Dongting Lake	0.7026	0.7212	0.7142	0.7487	0.7334	0.7417
南洞庭湖 South Dongting Lake	0.7192	0.7321	0.6818	0.7681	0.7389	0.7462
东洞庭湖 East Dongting Lake	0.7245	0.7415	0.6775	0.7965	0.7686	0.7832

2 结果分析与讨论

2.1 空间特征

从表 4 和图 3 可以看出,1986 年和 1991 年东、南、西洞庭湖湖泊均处于临界健康的状态;1998 年洞庭湖各湖泊健康状态明显恶化,只有西洞庭湖仍保持临界健康,东、南洞庭湖都处于较不健康状态;2004 年,洞庭湖各湖泊健康得到了显著改善,基本处于较健康水平;2006 年和 2010 年东洞庭湖仍保持着较健康状态,而西、南洞庭湖健康水平有所下降,为临界健康。

总体来看,东洞庭湖湖泊健康状况相对较好,健康相对隶属度波动较大;南洞庭湖次之;西洞庭湖最差,其健康相对隶属度波动最小。

2.2 时间特征

从各典型年洞庭湖湖泊健康平均隶属度来看,1998 年值最低(0.6912),2004 年值最高(0.7711),其余典型年的值介于二者之间。表明:1998 年洞庭湖湖泊健康状态最差,2004 年有明显好转,随后虽表现出退化,但仍比 1986、1991 年的健康情况要好。从整体趋势来看,洞庭湖湖泊健康状态呈现出先恶化后改善的趋势。

同时,从图 2 可看出,平水年(1991 年、2004 年)洞庭湖湖泊健康相对隶属度较高,而枯水年(1986 年)较低,这说明平水年洞庭湖湖泊健康状态相对较好。

受数据收集、资料等方面的限制,本研究典型年份选择了 6a,分别为三峡工程运行前后的枯、平、丰水年,在一定程度上能反映洞庭湖湖泊健康状态的变化。然而,重大水利工程建设对洞庭湖湖泊形态结构的影响是一个长期、动态的过程,因而需进一步跟踪监测与评价,以便把握其变化趋势。

2.3 健康影响因素分析

由上述结果可知,湖泊淤积演变、洲滩的扩展和发育是影响洞庭湖湖泊形态结构的“症结”所在,而其主要受 20 世纪 50 年代至 60 年代初的人工围垦、1998 年特大洪灾之后的退田还湖工程、三峡工程等水利工程运行的影响。

2.3.1 洞庭湖泥沙严重淤积及其诱发的湖泊垦殖活动,削弱了洞庭湖调蓄功能。在城陵矶水位 27.00m 情况下,人工围垦使得洞庭湖的面积由 1974 年的 2387.33km²,下降到 1998 年的 2156.06km²,25a 间面积减少了 208.05km²,容积减少了 10.244×10⁸m³。其中,东洞庭湖是湖泊萎缩的主体,西洞庭湖(目平湖)较小,南洞庭湖位居其中;同时,受沅江清水冲刷的影响,在高程 26m 以下,目平湖湖泊面积有扩张现象^[14]。虽然荆江截弯取直,四(三)口径流减少,入湖泥沙减少,但是泥沙在下游螺山河床淤积,从而使荆江水位抬高,下荆江以下江段落差增大,下泄量增加,对出湖水起到顶托,出湖径流速度减慢、出湖径流泥沙量减少,在一定程度上促使了泥沙淤积(1998 年为最高点,全年淤积量达到 14500×10⁴t),尤其以西、南洞庭湖相对严重。湖面湖容严重萎缩,湖盆底部淤高,湖泊水动力减弱,导致洞庭湖洪道行洪不畅,湖泊排泄能力大为减弱,以至于 1986、1991、1998 年洞庭湖湖泊健康状态逐年恶化。

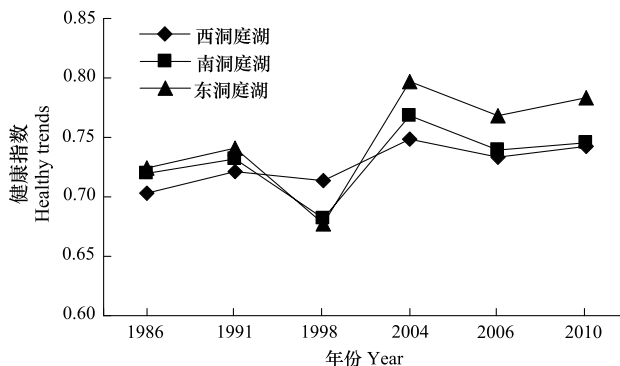


图 3 基于形态结构特征的洞庭湖湖泊相对健康趋势

Fig. 3 Relatively healthy trends of Dongting Lake based on morphological characters during the typical years

2.3.2 “4350”工程的实施与“三峡工程”蓄水运行有效地改善了湖泊形态结构,进而提高了洞庭湖湖泊健康水平。1998 年特大洪灾过后,国家采取一系列重大措施,加大了对洞庭湖综合治理的力度。(1)实施“平垸行洪,退田还湖”工程后,特大高洪水年景蓄洪堤垸和单退堤垸退水还湖扩大湖泊面积约 1343 km² 及相应容积 86×10⁸ m³,加上现有的天然湖泊面积 2625 km²,容积 165×10⁸ m³,洞庭湖面积恢复至 3968 km²,相应湖容约 251×10⁸ m³,西、南、东 3 洞庭湖多年平均水位变幅变大,依次为 11.02m、12.35m 及 13.25m^[17]。(2)三峡建坝后,由长江三口注入洞庭湖的泥沙大幅度减少,淤积量也随之减少。根据 2003—2008 年实测资料统计,洞庭湖入湖水量相对多年平均值偏小不多,为 18%,但入湖沙量减少显著,减少了 82.6%;泥沙年淤积量减少为 9.1×10⁶ t,仅为多年平均值的 1/10,沉积率也减小为 37.3%^[16]。“4350”工程与三峡工程有效地增大了洞庭湖的湖面和湖容,减缓了泥沙淤积速度,湖泊调蓄量、排泄能力加强,以至于其健康状态在 2000 年以后有较大改善,尤其是东洞庭湖。

2.3.3 洲滩演变的影响。洲滩演变规律不仅反映了湖区水情的动态变化,而且将导致湿地自然景观演替,它与洞庭湖区环境演变和人类活动有关,如长江四口和四水入湖水量变化、泥沙淤积、以及防洪抗洪而加固筑高防洪大堤,湖区围垦、退田还湖、三峡工程建坝运行等自然、人为因素的综合作用。由于四口、四水的含沙量不同,且随流程的变化而变化,因此,带来了东、南、西洞庭湖湖泊群间洲滩湿地泥沙淤积的差异性。西洞庭湖是三湖洲滩湿地中泥沙淤积最严重的一块湿地,1951—1999 年间淤积于西洞庭湖的泥沙为 4645×10⁴ t,占全洞庭湖淤积量的 37.75%,东洞庭湖次之,南洞庭湖淤积量最小。

退田还湖工程一定幅度地增加了洞庭湖各湖区洲滩地面积。20 世纪 90 年代与 70 年代比较,东洞庭湖同一淹水天数的洲滩地高程均增加,说明东洞庭湖洪水压力变大;南洞庭湖高位洲滩地淹水天数增加,而中、低位洲滩地出露的时间有所增加;西洞庭湖淹水天数为 100d 以上洲滩地高程均降低,中、低位洲滩地出露的时间也增多^[18]。随着三峡工程的蓄水运行,枯水期受干流河床冲刷影响洞庭湖出口水位下降,尤其是三峡蓄水期,城陵矶水位下降显著,将引起洞庭湖区洲滩提前出露,枯水期时间拉长^[19],湖泊河道化、河槽洲滩化、洲滩陆地化趋势加剧。受此影响,洞庭湖湖泊健康水平在 2006 年后出现了回落态势。

湖泊的形态结构特征是多因素综合作用的产物,是在内、外营力以及人为因素长期相互作用下的综合反映,其形成过程是一个错综复杂的过程。因而,基于形态结构特征的洞庭湖湖泊健康状况除受上述因素影响之外,还受湖泊及流域地质、地貌差异、岸线的不规则程度、气候变化因素等因素的影响。如果资料充分,还应将这些因子纳入评价指标之中。因而,其未来研究尚有继续发展的空间。

3 结语

泥沙是塑造湖泊形态结构的物质基础,径流是其动力。“4350”工程的实施有效地扩大了洞庭湖湖容、湖面,增大了水位变幅;三峡水库蓄水运行后,洞庭湖泥沙淤积率大幅减小,湖水流速增大,冲刷趋于平衡。由此,洞庭湖水动力条件得到较大改善,湖泊调蓄量、排泄能力也随之加强。因而,“4350”工程实施和三峡工程蓄水运行以来,洞庭湖湖泊健康状况有所好转,但受洲滩演变的影响,其健康水平在 2006 年后稍有回落。因此,决策层应结合目前洞庭湖存在的问题、隐患采取积极的措施,以保证湖泊健康状况可持续的迈向更高水平。

References:

- [1] Liu Y, Guo H C, Dai Y L, Lu Y F. An assessing approach for lake ecosystem health. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2004, 24(4): 723-729.
- [2] Zhao Z Y, Xu F L, Zhan W, Hao J Y, Zhao S S, Hu W P, Tao S. A quantitative method for assessing lake ecosystem health. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(6): 1466-1474.
- [3] Leopold J C. Getting a handle on ecosystem health. *Science*, 1997, 276: 876-887.
- [4] Jorgensen S E. Exergy and ecological buffer capacities as measures of ecosystem health. *Ecosystem Health*, 1995, 1(3): 150-160.
- [5] Lu Y Y, Wu H J, Lü J, Zhang S H. Evaluating ecosystem health of Shallow Lakes in Wuhan. *Environmental Science and Technology*, 2006, 29(9): 66-68.

- [6] Zhang Z L, Liang C G, Yan B. Assessment of wetland ecosystem health in the Nansihu Lake. *China Population Resources and Environment*, 2008, 18(1): 180-184.
- [7] Xu W J, Cao S L. Health assessment of urban lake ecosystem based on PSR-Entropy weight comprehensive health index method. *Hydrology*, 2010, 30(5): 64-67.
- [8] Lou Z X, Yu X G. Lake ecosystem elasticity coefficient: theory and application. *Chinese Journal of Ecology*, 2007, 26(7): 1119-1124.
- [9] Lu Z J, Pei H P, Wang Y. Preliminary exploration of ecosystem health assessment for Lake West. *Journal of Lake Sciences*, 2008, 20(6): 802-805.
- [10] Jiang W G, Pan Y Z, Hou P, Li X, Ji W, Zheng J R. Assessment and analysis of wetland ecosystem health in Dongting Lake. *Geographical Research*, 2009, 28(6): 1665-1671.
- [11] Wei T, Zhu X D, Li Y F. Ecosystem health assessment of Xiamen City: the catastrophe progression method. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(12): 6313-6320.
- [12] Chen Y F, Sun D Y, Lu G F. Application of catastrophe progression method in ecological suitability assessment: a case study on Zhenjiang new area. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(8): 2588-2193.
- [13] Peng P Q, Tong C L, Qiu S J. Variations of flooded days and areas of beach wetlands in Dongting Lake. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2007, 16(5): 685-689.
- [14] Jiang J H, Huang Q. Analysis of the lake basin change and the rushing-silting features in the past decades of Dongting Lake. *Journal of Lake Sciences*, 2004, 16(3): 209-214.
- [15] Li J B. Changes of hydrology and basin shape of Dongting Lake in the last decades. *Oceanologia Et Limnologia Sinica*, 1992, 23(6): 626-633.
- [16] Chang J, Li J B, Lv D Q, Zhu X, Lu C Z, Zhou Y Y, Deng C X, et al. The hydrological effect between Jingjiang River and Dongting Lake during the initial period of Three Gorges Project operation. *Journal of Geographical Sciences*, 2009, 64(11): 1342-1352.
- [17] Zhang X B, Lu J Y, Wang M, Huang Y, Xu Q X. Preliminary study on flow and sediment Changing and influence on Dongting Lake after the Three Gorges project operation. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2010, 19(6): 640-643.
- [18] Peng P Q, Tong C L, Qiu S J. Variations of flooded days and areas of beach wetlands in Dongting Lake. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2007, 16(5): 685-689.
- [19] Yuan S B, Xie Z H. The formation law of the wetland of beach of the Dongting Lake. *Hunan Forestry Science and Technology*, 2005, 32(5): 12-15.

参考文献:

- [1] 刘永, 郭怀成, 戴永立, 陆轶峰. 湖泊生态系统健康评价方法研究. *环境科学学报*, 2004, 24(4): 723-729.
- [2] 赵臻彦, 徐福留, 詹巍, 郝君宜, 张颖, 赵珊珊, 胡维平, 陶澍. 湖泊生态系统健康定量评价方法. *生态学报*, 2005, 25(6): 1466-1474.
- [5] 卢媛媛, 邹红娟, 吕晋, 张绍浩. 武汉市浅水湖泊生态系统健康评价. *环境科学与技术*, 2006, 29(9): 66-68.
- [6] 张祖陆, 梁春管, 延波. 南四湖湖泊湿地生态健康评价. *中国人口·资源与环境*, 2008, 18(1): 180-184.
- [7] 许文杰, 曹升乐. 基于 PSR-熵权综合健康指数法的城市湖泊生态系统健康评价. *水文*, 2010, 30(5): 64-67.
- [8] 龙邹霞, 余兴光. 湖泊生态系统弹性系数理论及其应用. *生态学报*, 2007, 26(7): 1119-1124.
- [9] 卢志娟, 裴洪平, 汪勇. 西湖生态系统健康评价初探. *湖泊科学*, 2008, 20(6): 802-805.
- [10] 蒋卫国, 潘英姿, 侯鹏, 李雪, 季维, 郑建蕊. 洞庭湖区湿地生态系统健康综合评价. *地理研究*, 2009, 28(6): 1665-1671.
- [11] 魏婷, 朱晓东, 李扬帆. 基于突变级数法的厦门城市生态系统健康评价. *生态学报*, 2008, 28(12): 6313-6320.
- [12] 陈云峰, 孙殿义, 陆根法. 突变级数法在生态适宜度评价中的应用——以镇江新区为例. *生态学报*, 2006, 26(8): 2588-2193.
- [13] 彭佩钦, 童成立, 仇少君. 洞庭湖洲滩地年淹水天数和面积变化. *长江流域与资源环境*, 2007, 16(5): 685-689.
- [14] 姜加虎, 黄群. 洞庭湖近几十年来湖泊变化及冲淤特征. *湖泊科学*, 2004, 16(3): 209-214.
- [15] 李景保. 近数十年洞庭湖湖盆形态与水情的变化. *海洋与湖沼*, 1992, 23(6): 626-633.
- [16] 常疆, 李景保, 吕殿青, 朱翔, 卢承志, 周跃云, 邓楚雄. 三峡水库调度运行初期荆江与洞庭湖区的水文效应. *地理学报*, 2009, 64(11): 1342-1352.
- [17] 张细兵, 卢金友, 王敏, 黄悦, 许全喜. 三峡工程运用后洞庭湖水沙情势变化及其影响初步分析. *长江流域资源与环境*, 2010, 19(6): 640-643.
- [18] 彭佩钦, 童成立, 仇少君. 洞庭湖洲滩地年淹水天数和面积变化. *长江流域与资源环境*, 2007, 16(5): 685-689.
- [19] 袁穗波, 谢振华. 洞庭湖洲滩湿地形成规律研究. *湖南林业科技*, 2005, 32(5): 12-15.

CONTENTS

Physiological responses of five deciduous broad-leaved tree seedlings in the Northeast Area of China to burning	WANG Rong, HU Haiqing (2303)
The occurrence regularity of psyllid in <i>Haloxylon</i> spp and its influencing factors	LI Fenlian, WU Xuehai, WANG Peiling, et al (2311)
The estimating of the spatial distribution of forest biomass in China based on remote sensing and downscaling techniques	LIU Shuangna, ZHOU Tao, SHU Yang, et al (2320)
Multivariate correlation analysis between landscape pattern and water quality	ZHAO Peng, XIA Beicheng, QIN Jianqiao, et al (2331)
Red fox habitat selection and landscape feature analysis in the Dalai Lake Natural Reserve in Inner Mongolia	ZHANG Honghai, LI Chengtao, DOU Huashan, et al (2342)
Research on assemblage characteristics of macroinvertebrates in the Yalu Tsangpo River Basin	XU Mengzhen, WANG Zhaoyin, PAN Baozhu, et al (2351)
Climate change induced potential range shift of the crested ibis based on ensemble models	ZHAI Tianqing, LI Xinhai (2361)
Analysis of the sources of second generation meadow moth populations that immigrated into Chinese pastoral areas in 2010	ZHANG Li, ZHANG Yunhui, ZENG Juan, et al (2371)
Genetic diversity based on cytochrome <i>b</i> gene analysis of different geographic populations of blue sheep in China	LI Nannan, LIU Zhensheng, WANG Zhenghuan, et al (2381)
Soil microbial properties under different grain-for-green patterns in depressions between karst hills	LU Shiyang, PENG Wanxia, SONG Tongqing, et al (2390)
Ecosystem and soil respiration of a poplar plantation on a sandy floodplain in Northern China	FANG Xianrui, ZHANG Zhiqiang, ZHA Tonggang, et al (2400)
Estimating total nitrogen content in water body based on reflectance from wetland vegetation	LIU Ke, ZHAO Wenji, GUO Xiaoyu, et al (2410)
Analysis on complete F type of mitochondrial genome in <i>Lamprotula lei</i>	CHEN Ling, WANG Guiling, LI Jiale (2420)
The source-sink landscape pattern change and its effect on phosphorus pollution in Yuqiao watershed	LI Chongwei, HU Jie, WANG Sa, et al (2430)
Responses of soil nematode communities to soluble salt contamination around Gangue hill in Fushun	ZHANG Weidong, LV Ying, XIAO Ying, et al (2439)
Effect of aboveground competition on biomass partitioning of understory Korean pine (<i>Pinus koraiensis</i>)	WANG Jinsong, FAN Xiuhua, FAN Juan, et al (2447)
Research of methane metabolic microbial community in soils of slash pine plantation and Masson pine plantation	WANG Yun, ZHENG Hua, CHEN Falin, et al (2458)
$\delta^{13}\text{C}$ values of stem phloem water soluble sugars of <i>Pinus massoniana</i> and <i>Cunninghamia lanceolata</i> response to meteorological factors	LU Yuxi, WANG Zhenxing, ZHENG Huaizhou, et al (2466)
Soil respiration patterns during restoration of vegetation in the Shapotou area, Northern China	GAO Yanhong, LIU Lichao, JIA Rongliang, et al (2474)
Dynamics of caloric value of <i>Robinia pseudoacacia</i> L. energy forest in the west of Henan Province	TAN Xiaohong, LIU Shiqi, MA Luyi, et al (2483)
<i>Ex-situ</i> symbiotic seed germination of <i>Dendrobium catenatum</i>	WU Huifeng, SONG Xiqiang, LIU Hongxia (2491)
Effects of red/far red ratio on morphological index, leaf area and dry matter partitioning of cut chrysanthemum flower	YANG Zaiqiang, ZHANG Jibo, LI Yongxiu, et al (2498)
Effect of prometryne on root activity and oxidative stress of <i>Polygala tenuifolia</i> Willd. seedling roots	WEN Yinyuan, GUO Pingyi, YIN Meiqiang, et al (2506)
Combined effects of elevated O_3 concentration and UV-B radiation on photosynthetic characteristics of soybean	ZHENG Youfei, XU Weimin, WU Rongjun, et al (2515)
Nutrients transfer for host plant and litter decomposition by AMF in Karst soil	HE Yuejun, ZHONG Zhangcheng, DONG Ming (2525)
The dynamics of bacteria community diversity during the fermentation process of traditional soybean paste	GE Jingping, CHAI Yangyang, CHEN Li, et al (2532)
Effect of site-specific fertilization on soil phosphorus in purple garden soil	SUN Qianqian, WANG Zhengyin, ZHAO Huan, et al (2539)
A method of determining standards for ecological compensation in agricultural areas, giving priority to environmental flows in water allocation	PANG Aiping, SUN Tao (2550)
The loss of ecosystem services value caused by food security assessment model and its application	LU Weiye, JIANG Zhide, ZHANG Yinglong, et al (2561)
Review and Monograph	
Review of the current situation of coastal ecological engineering using dredged marine sediments and prospects for potential application in China	HUANG Huamei, GAO Yang, WANG Yinxia, et al (2571)
Discussion	
Quorum sensing in anaerobic ammonium oxidation bacteria	DING Shuang, ZHENG Ping, ZHANG Meng, et al (2581)
Health evaluation of Dongting Lake based on morphological characters	SHUAI Hong, LI Jingbao, XIA Beicheng, et al (2588)
Scientific Note	
Effects of mix-leaf litter decomposition of different trees in the Loess Plateau	LIU Zengwen, DU Liangzhen, ZHANG Xiaoxi, et al (2596)
Changes in soil active organic carbon under different management types of bamboo stands	MA Shaojie, LI Zhengcai, WANG Bin, et al (2603)
Effects of drought stress on photosynthesis and associated physiological characters of pepper	OU Lijun, CHEN Bo, ZOU Xuexiao (2612)
Effects of silicon application and drought stress on photosynthetic traits and mineral nutrient absorption of rice leaves	CHEN Wei, CAI Kunzheng, CHEN Jining (2620)

《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 8 期 (2012 年 4 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 8 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:100071	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