

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第32卷 第12期 Vol.32 No.12 **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 12 期

2012 年 6 月 (半月刊)

目 次

- 河口湿地人为干扰度时空动态及景观响应——以大洋河口为例..... 孙永光,赵冬至,吴 涛,等 (3645)
- 鄱阳湖南矶湿地优势植物群落及土壤有机质和营养元素分布特征..... 张全军,于秀波,钱建鑫,等 (3656)
- 青岛市湿地生态网络评价与构建..... 傅 强,宋 军,毛 锋,等 (3670)
- 大堤型湖滨带生态系统健康状态驱动因子——以太湖为例..... 叶 春,李春华,王秋光,等 (3681)
- 绿色屋顶径流氮磷浓度分布及赋存形态..... 王书敏,何 强,张峻华,等 (3691)
- 坡度对农田土壤动物群落结构及多样性的影响..... 何先进,吴鹏飞,崔丽巍,等 (3701)
- 枣园桃蛀果蛾寄生蜂种类及其与寄主的关系..... 姚艳霞,赵文霞,常聚普,等 (3714)
- 基于逻辑斯蒂回归模型的鹭科水鸟栖息地适宜性评价..... 邹丽丽,陈晓翔,何 莹,等 (3722)
- 温度、盐度和 pH 对马氏珠母贝稚贝清滤率的联合效应 朱晓闻,王 辉,刘 进,等 (3729)
- 鸡桑药共生模式库区土壤养分变化及流失风险..... 赵丽平,杨贵明,赵同科,等 (3737)
- 黑河中游典型土地利用方式下土壤粒径分布及与有机碳的关系 张俊华,李国栋,南忠仁 (3745)
- DEM 栅格分辨率和子流域划分对杏子河流域水文模拟的影响 邱临静,郑粉莉,Yin Runsheng (3754)
- 粒度变化对城市热岛空间格局分析的影响..... 郭冠华,陈颖彪,魏建兵,等 (3764)
- 基于景观连接度的森林景观恢复研究——以巩义市为例 陈 杰,梁国付,丁圣彦 (3773)
- 城市能源利用碳足迹分析——以厦门市为例..... 林剑艺,孟凡鑫,崔胜辉,等 (3782)
- 高寒牧区村域生态足迹——以甘南州合作市为例..... 王录仓,高 静 (3795)
- 太湖湖滨带生态系统健康评价..... 李春华,叶 春,赵晓峰,等 (3806)
- 秦岭大熊猫栖息地巴山木竹生物量..... 党坤良,陈俊娴,孙飞翔,等 (3816)
- 盐胁迫对盐生植物黄花补血草种子萌发和幼苗生长的影响..... 尤 佳,王文瑞,卢 金,等 (3825)
- 海南霸王岭山地原始林与伐后林中木质藤本对支持木的选择..... 刘晋仙,陶建平,何 泽,等 (3834)
- 闽楠幼树光合特性及生物量分配对光环境的响应..... 王振兴,朱锦懋,王 健,等 (3841)
- 基于形态及分子标记的濒危植物夏蜡梅自然居群的遗传变异研究 金则新,顾婧婧,李钧敏 (3849)
- 不同径级油松径向生长对气候的响应..... 姜庆彪,赵秀海,高露双,等 (3859)
- 珍稀濒危植物长蕊木兰种群的年龄结构与空间分布..... 袁春明,孟广涛,方向京,等 (3866)
- 巨桉与 5 种木本植物幼树的耗水特性及水分利用效率的比较..... 胡红玲,张 健,万雪琴,等 (3873)
- 银木凋落叶腐解过程对小白菜生长和抗性生理的影响..... 黄激激,胡庭兴,张念念,等 (3883)
- 基于氡示踪剂和热扩散技术的栓皮栎水分运输速率与效率研究..... 孙守家,孟 平,张劲松,等 (3892)
- 石漠化干旱环境中石生藓类水分吸收特征及其结构适应性..... 张显强,曾建军,湛金吾,等 (3902)
- 含铜有机肥对土壤酶活性和微生物群落代谢的影响..... 陈 琳,谷 洁,高 华,等 (3912)
- 钝叶枧不同性别花的花部形态与传粉特征比较..... 王 茜,邓洪平,丁 博,等 (3921)
- 我国春玉米潜在种植分布区的气候适宜性..... 何奇瑾,周广胜 (3931)
- 烯效唑干拌种对小麦氮素积累和运转及籽粒蛋白质品质的影响..... 樊高琼,杨恩年,郑 亭,等 (3940)

专论与综述

- 中国产业共生发展模式的国际比较及对策 石 磊,刘果果,郭思平 (3950)

研究简报

- 吉林省镇赉县近 10 年景观格局变化 张国坤,卢京花,宋开山,等 (3958)
- 杨树人工林生态系统通量贡献区分析..... 金 莹,张志强,方显瑞,等 (3966)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 330 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2012-06

封面图说:鸳鸯——在分类上属雁形目,鸭科。英文名为 Mandarin Duck(即“中国官鸭”)。鸳指雄鸟,鸯指雌鸟,故鸳鸯属合成词。常常栖息于山地河谷、溪流、湖泊、水田等处,雌雄偶居,以植物性食物为主,也食昆虫等小动物。繁殖期 4—9 月间,雌雄配对后迁至营巢区。巢往往置于树洞中,用干草和绒羽铺垫,每窝产卵 7—12 枚。江西省婺源鸳鸯湖是亚洲最大的野生鸳鸯越冬栖息地。鸳鸯是一种美丽的禽鸟,中国传统文化又赋予它很多美好的寓意,因此,在许多文学艺术作品中经常用以表达爱情。

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

DOI: 10.5846/stxb201109281430

李春华, 叶春, 赵晓峰, 王秋光, 陈小刚, 孔祥龙, 卢少勇, 徐东炯, 陈桥. 太湖湖滨带生态系统健康评价. 生态学报, 2012, 32(12): 3806-3815.

Li C H, Ye C, Zhao X F, Wang Q G, Chen X G, Kong X L, Lu S Y, Xu D J, Chen Q. The Ecosystem health assessment of the littoral zone of Lake Taihu. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(12): 3806-3815.

太湖湖滨带生态系统健康评价

李春华¹, 叶 春^{1,*}, 赵晓峰¹, 王秋光^{1,3}, 陈小刚¹, 孔祥龙¹,
卢少勇¹, 徐东炯², 陈 桥²

(1. 湖泊工程技术中心, 环境基准与风险评估国家重点实验室, 中国环境科学研究院, 北京 100012;

2. 常州市环境监测中心, 常州 213001; 3. 东北林业大学, 哈尔滨 150040)

摘要:根据湖滨带生态系统的特点, 运用综合健康指数法建立了湖滨带生态系统健康评价体系, 由目标层、准则层、指标层构成, 其中准则层由湖滨带水质状况、底泥状况、植被状况、其它生物状况(浮游动物、浮游植物、底栖动物)、岸带物理状况 5 项组成, 指标层由总氮、总磷、溶解氧、挺水植物覆盖率等 15 项指标构成。采用专家打分法、熵值法分别确定了准则层、指标层的权重系数。对太湖湖滨带 33 个点位进行了采样分析, 并进行无量纲化处理后应用到所建立的评价体系中。评价结果显示 33 个点位中为“很健康”、“健康”、“亚健康”、“疾病”、“严重疾病”的分别占 0%、24.2%、21.2%、51.5% 及 3.0%, 也即超过一半的点位处于“疾病”状态。只有东太湖刚刚超过“健康”分数的下限, 东部沿岸、贡湖、南部沿岸均处于“亚健康”状态, 而梅梁湾、竺山湾、西部沿岸属于“疾病”状态, 且竺山湾的生态健康状态最差。该评价结果与太湖湖滨带各分区的实际调查情况相符合, 评价方法可靠性、可行性较强, 可为其它湖泊湖滨带的生态系统健康评价提供一定的参照。

关键词:湖滨带; 生态系统健康评价; 水生态; 太湖

The ecosystem health assessment of the littoral zone of Lake Taihu

LI Chunhua¹, YE Chun^{1,*}, ZHAO Xiaofeng¹, WANG Qiuguang^{1,3}, CHEN Xiaogang¹, KONG Xianglong¹, LU Shaoyong¹, XU Dongjiong², CHEN Qiao²

1 Centre of Lake Engineering & Technology, State Key Laboratory of Environmental Criteria and Risk Assessment, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China

2 Changzhou Environmental Monitoring Center, Changzhou 213001, China

3 Northeast Forestry University, Harbin 150040, China

Abstract: Lake littoral zone, as a natural protection barrier of lake, is one kind of the most important ecotones between terrestrial and aquatic ecosystem. It plays an important role in diluting pollutant concentration, improving aquatic environment and providing aquatic animals' habitat for their survival and reproduction. Therefore, ecological restoration of littoral zone is a necessary measure for lake protection and rehabilitation technologies. However, little work has been done on its ecosystem health assessment. Lake Taihu, being a typical large shallow lake, is one of the five famous greatest lakes in the east China plain. Its ecosystem has been deteriorating due to the more and more serious water pollution and eutrophication since 80's. The environmental problems of Lake Taihu have attracted Chinese government's careful attention. Many attempts for Lake Taihu's pollution control have been made by the government. Some progresses have been achieved since the 10th Five-Year period. In the present work, a case study for assessing ecosystem health of lake littoral zones has been conducted in the littoral zone of Lake Taihu.

基金项目:国家水体污染控制与治理科技重大专项(2009ZX07101-009)

收稿日期:2011-09-28; **修订日期:**2012-03-05

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

A unique structure of littoral zone of Lake Taihu is its dike, which occupies about 73% of the total lake bank length. The dike blocks the natural material flow between the surrounding land area and the lake water, sequentially the material exchange between them was reduced to a great extent. Therefore, unlike the natural lakes without dike, the littoral zone of Lake Taihu does not cover the land area near the bank. After a careful analysis of the hydrology, geography, and aquatic plant distribution, we defined the littoral zone as the region ranging from dike edges to 50—100m water forward. Among the three common methods for ecosystem health assessment, namely, biological indicator, pressure-state-response (PSR) method and ecological health comprehensive index (EHCI) method, the last one was employed for the lake littoral zone, because it could better reflect the ecological health state from different aspects. According to the characteristic of littoral zone ecosystem, an ecosystem health assessment approach for lake littoral zone was developed based on the method of comprehensive ecological health index. The evaluating system in this approach is composed of objective level, normal level and index level. The normal level consists of 5 factors including water quality, sediment quality, emergent macrophyte conditions, and other biological physical conditions. In the index level, there are 15 factors including total nitrogen, total phosphorous, dissolved oxygen, emergent macrophyte cover and so on. Total 33 sites in the littoral zone of Lake Taihu were sampled. The normalization values of the observed sample data were used for ecosystem health assessment. The assessment results shows that among these 33 sampling sites, the percentages of ‘very healthy’, ‘healthy’, ‘sub-healthy’, ‘ill’ and ‘serious ill’ ecological situation are 0%, 24.2%, 21.2%, 51.5% and 3.0%, respectively. This result indicates that more than half of the ecosystems in the 33 sampling sites were ‘ill’ state. Generally, the ecological health situation of the East Taihu Lake littoral zone was better than others, with an EHCI value just over the low limit score for ‘healthy’ situation. The ecosystems in the east lake side zone, Gonghu lake and the south lake side zone were in ‘sub-healthy’ state, while those in Meiliangwan, Zhushanwan and the west lake side zone were evaluated to be ‘ill’ state. It is shown that the ecosystem in Zhushanwan was in the worst ecological health situation among all of the littoral zones in Taihu Lake. The assessment results were coincident with the real situations. The assessment approach developed in this study is highly workable and reliable. This study may have some implications for the ecosystem health assessment of other lake littoral zones.

Key Words: littoral zone; ecosystem health; assessment; aquatic ecosystem; Lake Taihu

湖滨带是湖泊流域水生态系统与陆地生态系统间一种非常重要的生态过渡带,它具有拦截径流污染物的缓冲功能、维持湖泊生物多样性并提供野生动植物栖息地的生态功能、稳定湖岸控制土壤侵蚀的护岸功能。湖滨带是湖泊的一道保护屏障,因为在非生物生态因子的环境梯度以及地形和水文学过程的作用下,矿物质、营养物质、有机物质和有毒物质必须通过各种物理、化学和生物过程穿过湖滨带才能从流域进入湖泊水体。生态退化的湖滨带往往造成植被破坏、生物多样性下降、湖岸遭受侵蚀、水质恶化、景观美学价值降低、洪涝灾害频繁,甚至影响人民的身体健康和生命财产安全。因此湖滨带是健康的湖泊生态系统的重要组成部分和评价标志^[1]。然而,湖滨带生态系统健康涵义还未见明确阐述,湖滨带生态系统健康评价的理论与方法的研究也远远不足。

太湖是长江中下游著名五大淡水湖之一,属于我国重点控制的“三湖”之一。近年来由于流域经济的快速发展和不合理的开发利用导致太湖水质恶化,富营养化趋势明显,生态系统急剧退化,太湖湖滨带生态系统的结构破坏严重,造成生境恶化、生态功能退化等问题,严重影响了湖滨带的景观、渔业、农业以及产业,经济损失巨大^[2-3]。鉴于此,选择太湖湖滨带为研究对象,研究湖滨带生态系统健康评价体系,并对太湖湖滨带生态现状进行评价。

1 太湖湖滨带现状

太湖湖滨带的形状如图 1,岸线总长 405 km^[4],其中环湖大堤占岸线全长的 73%。根据 2010 年的测定,

梅梁湾段长 76.2 km, 竺山湾段长 37.7 km, 西部沿岸段长 34.5 km, 南部沿岸段长 56.2 km, 东太湖段长 69.8 km, 东部沿岸段长 87.7 km, 贡湖段长 43.2 km。健康的湖滨带是由陆向辐射带、水位变幅带和水向辐射带组成的^[1]。但是太湖湖滨带几乎被环湖大堤及山体所包围, 天然的陆向辐射带已基本不存在, 且环湖大堤将水位变幅带和水向辐射带与陆域分离开来, 原来的水陆物质交换也随之阻隔, 因此太湖湖滨带的范围就不再涵盖陆向辐射带。根据对太湖湖滨带的水下地形、水文特征、植物群落分布考察, 将太湖湖滨带的范围界定为大堤以内(水向)50—100 m 的环形区域。

太湖湖滨带主要存在以下生态、环境问题: (1) 环湖大堤的阻隔及侵占: 太湖湖滨带是典型的大堤型湖滨带, 大堤的存在一方面将湖滨带与缓冲带分割开来, 缓冲带的水流不能通过漫流直接入湖, 只能在缓冲带较上游进入河道, 通过通湖的较大河流入湖; 另一方面大堤直接侵占了湖滨带湿地植物的生长空间, 并通过风浪的作用强化了对湖滨带基底的淘蚀作用, 加剧了湖滨带生境条件的退化。(2) 水环境质量普遍较差: 根据 2008—2011 年的持续调查发现, 除东太湖、贡湖湖滨带阶段性的相对较好外, 其他均为 IV 类、V 类, 夏季竺山湾甚至达到劣 V 类, 生物物种以耐污型为主。(3) 水生植物大面积消失且分布不均: 以挺水植物为例, 湖滨带挺水植物面积由 20 世纪 80 年代的 64.6 km², 下降到 2008 年的 6.38 km², 缩小了近 90%。沉水植物主要集中在东太湖, 其他湖区相对较少; 挺水植物主要分布在西部沿岸、北部湖湾区, 而东太湖相对较少。(4) 生态脆弱性持续增加: 根据生态脆弱性综合评价分析结果, 太湖湖滨带生态脆弱性状况在 1978 年最轻, 持续到 1991 年其状况均为轻脆弱性; 而从 1996 年至 2008 年, 太湖湖滨带生态环境脆弱性指数总体上呈现上升趋势, 2008 年已经达到为强脆弱性^[5]。

2 太湖湖滨带生态系统健康评价研究

2.1 评价方法的选择

选择合适的评价方法是进行生态系统健康评价的关键步骤。用于湖泊领域的生态系统健康评价方法主要包括以下 3 种: 指示生物法、压力-状态-响应 (Pressure-State-Response, PSR) 法、生态健康综合指数法 (Ecological Health Comprehensive Index, EHCI)。(1) 指示生物法主要根据生态系统中指示物种的多样性和丰富度, 确定丰富度指数或完整性指数 (如生物完整性指数)。当生态系统受到外界胁迫后, 这些指示物种的适宜生境受到胁迫, 它们的结构功能指标将产生明显的变化。但是这种方法不宜单独使用, 因为生态系统非常复杂, 仅依靠某一类敏感物种表示系统变化不可能展现出清楚的因果关系^[6]。湖滨带是由多种生物构成的非平衡开放性复杂生态系统, 因此不适合采用指示生物法反映其生态系统的状态或变化趋势。(2) 压力-状态-响应 (PSR) 法是基于 OECD (Organization of Economic Co-operation and Development, 联合国经济合作开发署) 建立的 PSR 模型框架构建的^[7]。该模型区分了 3 类指标, 即压力指标、状态指标和响应指标, 其中压力指标表征人类的经济和社会活动对环境的作用; 状态指标表征特定时间阶段的环境状态和环境变化情况, 包括生态系统与自然环境现状, 人类的生活质量和健康状况等; 响应指标指社会和个人如何行动来减轻、阻止、恢复和预防人类活动对环境的负面影响, 以及对已经发生的不利于人类生存发展的生态环境变化进行补救的措施。PSR 评价方法广泛地应用于区域环境可持续发展指标体系研究、水资源、土地资源指标体系研究中, 也有人尝试将该方法应用到湖滨带的生态系统健康评价中^[8-9], 但是湖滨带的特点是长度大但宽度小, 分散到每个行政区域的总面积并不大, 因此很难看出不同行政措施对湖滨带的影响; 另外由于太湖大堤在很大程度上

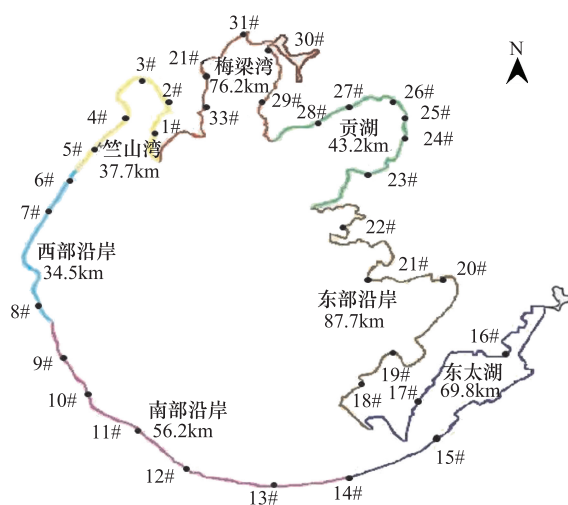


图1 太湖湖滨带形状及采样点位设置

Fig. 1 The diagram of littoral zone of Lake Taihu and the location of sampling sites

削减了外界人口、经济、社会的影响,所以 PSR 方法并不适合太湖湖滨带的生态系统健康评价。(3)综合健康指数法是通过建立多层次、多指标的综合健康指数体系,对系统的生态健康状态进行定量的评价与比较,该方法的基本原理简单,计算简便,结果可靠、直观,在生态系统健康评价中已经有相当广泛的应用^[10-11]。鉴于以上分析,太湖湖滨带的生态系统健康评价选用了综合健康指数法。

2.2 湖滨带生态系统健康的定义及综合健康指数分级

根据多年对湖滨带系统的研究成果^[1-3],将健康的湖滨带生态系统定义为:湖滨带的生物多样性及生态系统结构基本稳定,生态系统的能量输入和物质循环正常,局部节点的能量和物质累积没有导致湖泊功能退化和水环境质量下降,具有良好的自适应性和自我修复能力。就太湖来讲,健康的湖滨带生态系统应该具有足够的湖滨滩地、较强的水体自净能力、适宜的清洁度、较丰富的生物多样性,能够发挥应有的拦截污染物、提供生物栖息地、稳固湖岸以及增加景观美学潜力。参照湖泊等其他类似生态系统的健康评价,设立湖滨带生态系统健康综合指数(EHCI),值越大代表健康状态越好,将湖滨带生态系统健康状态分为很健康、健康、亚健康、疾病、严重疾病 5 级,详见表 1。

2.3 评价指标体系的构建

采用综合健康指数法构建湖滨带生态系统健康评价体系的重要环节是指标体系的设定、指标的选择,而这些都是基于对湖滨带生态系统健康的正确理解基础上的。借鉴其他类似生态系统的健康评价方法^[12],将太湖湖滨带生态系统健康评价指标体系设计成递阶层次结构,即由目标层、准则层和指标层构成。

(1)目标层 目标层用以反映健康状况的总体水平,用生态系统健康综合指数(EHCI)表示。EHIC 是根据准则层和指标层逐层聚合的结果。

(2)准则层 准则层从不同侧面反映湖滨带生态系统健康状况的属性和水平,是确定主要影响因子范围的关键构建层。著名湖沼学家 Jacob Kalff 指出在研究某个湖泊、湿地或者其中一部分的时候,影响因子的空间有效性是十分重要的,如果错误的放大尺度效应,会导致人为强化无关因子同时又弱化了主要因子^[13]。在太湖湖滨带这样一个范围窄小且有堤坝阻断的特定区域内,气候因子、现有的针对性不强的行政措施、外延区域的人口密度、人群文化素质、经济发展等很难有显著的影响,所以这些因子均不作为采纳指标。借鉴湿地、河海岸带等类似的生态类型的评价方法^[14-15],湖滨带的生态健康评价也可以从化学指标、生物指标、物理指标 3 大类来设定。化学指标采用湖滨带的水质、底泥的清洁状况;生物指标采用岸带植被状况、其他生物(浮游动物、浮游植物、底栖动物)状况;物理指标采用岸带物理状况(岸内滩地面积)。鉴于以上分析,最终将太湖湖滨带的生态健康系统评价的准则层确定为以下 5 个方面:水质状况、底泥状况、植被状况、其他生物(浮游动物、浮游植物、底栖动物)状况、岸带物理状况。

(3)指标层 指标层是在准则层下选择若干指标所组成。依据目的性、综合性、主导因子以及可操作性 4 项原则,选择能反映湖滨带生态变化趋势、涵盖全面且无重复、有主导性、可搜集和可统计的指标。按照准则层设定的 5 个方面,分别确定其包含的指标,共计 15 个指标:①水质状况指标共计 7 项,除了选用《地表水环境质量标准》(GB383—2002)中对湖库水质关注的高锰酸盐指数、总氮、总磷、氨氮、溶解氧 5 项主要指标,还选用了与湖泊水体状态密切相关的透明度和总悬浮颗粒物 2 项指标;水质指标中没有采用叶绿素值,主要是考虑到湖滨带的水生植物也会产生大量叶绿素,从而叶绿素浓度的大小不能反映藻类密度;且浮游植物的测量结果完全可以反映藻类密度的情况。②底泥状况选用总氮、总磷、总有机质 3 项作为评价指标。由于太湖沉积物的有毒有机污染物、重金属浓度尚属低风险范畴^[16-17],所以可以忽略。③通常湖滨带的植物包括湿生

表 1 湖滨带生态系统健康综合指数分级

分级 Classification	生态系统健康综合指数 Ecological health comprehensive index (EHCI)	健康状态 Health state
I	80—100	很健康
II	60—80	健康
III	40—60	亚健康
IV	20—40	疾病
V	0—20	严重疾病

植物、挺水植物、浮叶植物、漂浮植物、沉水植物;其中挺水植物是最具有湖滨带特征的典型植物,也是太湖湖滨带中最主要的植物^[2],因此选用挺水植物的覆盖率作为该项唯一的评价指标。④其它生物状况选用底栖动物、浮游动物、浮游植物 3 项主要指标。⑤岸带物理状况通常指岸带稳定性、岸内滩地面积、亲水景观舒适度^[12],而影响太湖湖滨带生态系统健康的主要因子是岸内滩地面积,因为它直接影响水生植物的分布、野生动植物栖息环境、岸堤的稳固和亲水景观的可塑空间,所以确定岸内滩地面积为岸带物理状况的唯一指标。

根据以上原则,确定的太湖湖滨带健康评价体系如图 2 所示。

2.4 指标层参照标准确定

生态系统健康评价是建立在与参照标准对比基础上的,用来参照或比较的标准可以采用国家环保部已经制定的一系列环境保护标准,也可以查询国外有关标准或查询公认的数量界限或者采用生态系统所在地域的平均本底值^[18]。表 2 列出了 15 项指标因子的参照标准值及其确定依据,参照标准值用来 s_{ij} 表示,即为 i 指标在 j 点位的参照标准。

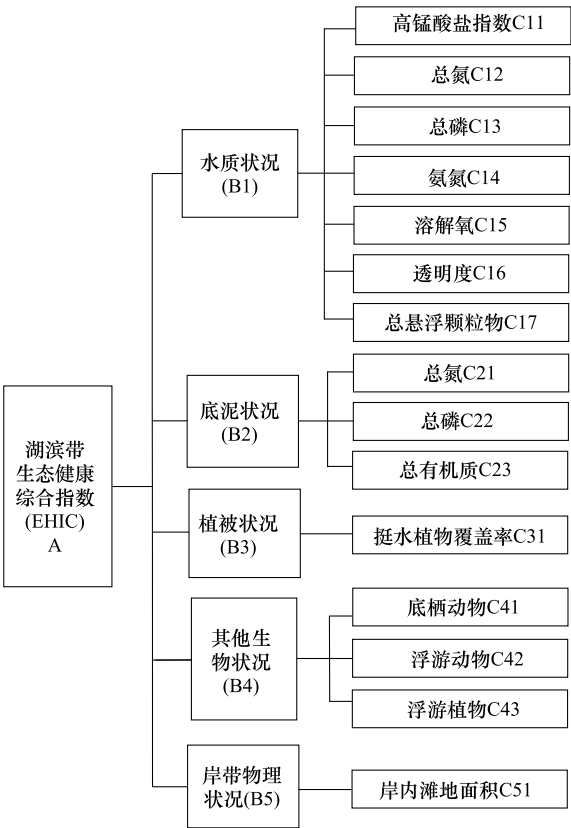


图 2 湖滨带生态系统健康评价体系 (EHCI)
Fig. 2 Ecological health comprehensive index (EHCI) structure for littoral zone

表 2 太湖湖滨带生态系统健康评价指标层参照标准 s_{ij} 及其依据
Table 2 The standard values (s_{ij}) for EHIC indexes and their reference sources

指标因子 Index factors	参照标准 Standard values	设定依据 Reference sources
高锰酸盐指数 Permanganate index C11	10 mg/L	发改委颁布的《太湖流域水环境综合治理总体方案》将太湖湖岸带水质目标设置为《地表水环境质量标准》(GB383—2002)湖库Ⅳ类标准 ^[19]
总氮 Total nitrogen in water C12	1.5 mg/L	
总磷 Total phosphorous in water C13	0.1 mg/L	
氨氮 Ammonia nitrogen C14	1.5 mg/L	
溶解氧 Dissolved oxygen C15	3.0 mg/L	
透明度 Transparence C16	实测点位水深的 1/3	
总悬浮颗粒物 Total suspended solids C17	2.1 mg/L	
总氮 Total nitrogen in sediment C21	670 mg/kg	1960 年太湖底泥的调查数据 ^[21]
总磷 Total phosphorous in sediment C22	440 mg/kg	
总有机质 Total organic matter C23	6800 mg/kg	
挺水植物分布 emergent macrophyte cover C31	50% 的覆盖率	太湖五里湖湖滨带的恢复效果评价 ^[3]
底栖动物 Benthic fauna C41	Hilsenhoff 生物指数 (HBI) 值 5.88	太湖清洁样点的分布频度为 50% 的 HBI 值 ^[22]
浮游动物 Zooplankton C42	Shannon-Wiener 多样性指数 2.178	太湖 1961—1987 年夏季调查数据 ^[4]
浮游植物 Phytoplankton C43	浮游植物密度 98 万个/L	湖泊中等营养标准 ^[19] , 叶绿素与浮游植物密度的转化公式 $\ln(D) = 1.99\ln(\text{chl}a)$, 式中 D 为浮游植物密度 (万个/L); Chla 为叶绿素浓度 ($\mu\text{g/L}$) ^[23]
岸内滩地面积 Wetland area C51	采样点 50m×50m 范围内滩地面积比率为 100%	参照无大堤天然湖滨带的类型

2.5 数据的收集和无量纲化处理

于 2010 年 8 月份对全太湖湖滨带 33 个点位进行了全面的水质、底泥、生物、岸带情况调查(图 1),作为生态系统健康评价的基础数据。由于各指标的量级有很大的差别,不能直接进行计算,通常采取无量纲化处理,以便对各样本指标进行综合分析并使结果具有可比性^[24]。这里采用比值法进行数据的无量纲化处理,其计算公式为:

$$r_{ij} = x_{ij} / s_{ij} \quad (1)$$

或者

$$r_{ij} = s_{ij} / x_{ij} \quad (2)$$

式中, x_{ij} 是 i 指标在采样点 j 的实测值; s_{ij} 是指标因子的参考标准。当指标因子数值越小,健康程度越好时,选用公式(1)来计算,例如水质中的高锰酸盐指数、总氮、总磷等 10 项指标;反之,则选用公式(2)来计算,包括溶解氧、透明度、挺水植物分布、浮游动物多样性指数以及岸内滩地面积 5 项指标。

2.6 评价指标权重的确定

权重的确定尤为重要,目前确定权重的方法主要有主观赋权法和客观赋权法。主观赋权法最常见的是专家打分法,其优点是概念清晰、简单易行,可抓住生态系统健康评价的主要因素,但需要寻求一定数量的有深厚经验的专家给予打分;客观赋权法是由评价指标值构成的判断矩阵来确定指标权重,最常用的熵值法本质就是利用该指标信息的效用值来计算,效用值越高,其对评价的重要性越大。本研究将以上两种方法有机的结合起来,使所确定的权重同时体现主观信息和客观信息,采用专家打分法确定准则层权重,熵值法确定指标层的权重。

(1) 准则层 B 权重的确定方法

该层次的权重系数采取专家打分法确定,将评价指标做成调查表,邀请专家进行打分,满分为 10 分,分值越高表示越重要。通过对咨询结果进行整理后的判断矩阵,计算每个准则层的权重系数(表 3)。

(2) 指标层 C 权重的确定方法

由于每一准则层下有多个指标层,各个因素的数据由实际调查所得,为了使其更具有客观性,本层次的权重系数由熵值法确定。其计算步骤如下:

①构建 n 个样本 m 个评价指标的判断矩阵, $Z = X_{n \times m}$, 本文中 $n = 33$, $m = 15$ 。

$$Z = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \cdots & X_{1m} \\ X_{21} & X_{22} & \cdots & X_{2m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ X_{n1} & X_{n2} & \cdots & X_{nm} \end{bmatrix}$$

②运用 2.4 中的公式(1)或者(2)进行无量纲化处理,得到新的判断矩阵,其中元素的表达式为:

$$R = (r_{ijn \times m}) \quad (3)$$

③根据熵的定义, n 个样本 m 个评价指标,可确定评价指标的熵为:

$$H_i = -\frac{1}{\ln n} \left[\sum_{j=1}^m f_{ij} \ln f_{ij} \right] \quad (4)$$

式(4)中 f_{ij} ,经修正,定义:

$$f_{ij} = -\frac{1 + r_{ij}}{\sum_{i=1}^n (1 + r_{ij})} \quad (5)$$

其中 $0 \leq H_i \leq 1$,为使 $\ln f_{ij}$ 有意义,假定 $f_{ij} = 0$, $f_{ij} \ln f_{ij} = 0$, $i = 1, 2, \cdots, n$, $j = 1, 2, \cdots, m$

④利用熵值计算 C 层指标因子相对于准则层 B 的熵权

$$W_i = \frac{1 - H_i}{m - \sum_{i=1}^m H_i} \quad (6)$$

式(6)中,满足 $\sum_{i=1}^m W_i = 1$

⑤ C 层指标因子相对于目标层 A 的权重计算

$$W(CA)_i = W_i \times W(BA)_i \tag{7}$$

式(7)中, $W_{(BA)_i}$ 为准则层 B 相对于目标层 A 的权重; $W_{(CA)_i}$ 为 C 层指标因子相对于目标层 A 的权重。指标层的权重系数最终计算结果见表 3。

表 3 湖滨带生态系统健康评价体系层次设置及其权重

Table 3 The hierarchy composition and the factor weights of EHCI

目标层 A Objective level	准则层 B (权重) normal level (weight)	指标层 C index level	指标层 C 权重 Factor weights of index level	
			C 层指标相对于 B 层的权重	C 层指标相对于 A 层的权重
湖滨带生态系统健康综合指数 Ecological health comprehensive index for littoral zone EHCI	水质状况 B1 (0.2092)	高锰酸盐指数 C11	0.0180	0.0038
		总氮 C12	0.1059	0.0221
		总磷 C13	0.4481	0.0937
		氨氮 C14	0.2719	0.0569
		溶解氧 C15	0.0158	0.0033
		固体悬浮物 C16	0.0066	0.0014
		透明度 C17	0.1337	0.0280
	底泥状况 B2 (0.1743)	总氮 C21	0.4109	0.0716
		总磷 C22	0.4749	0.0828
		总有机物 C23	0.1142	0.0199
	植被状况 B3 (0.2245)	挺水植物覆盖率 C31	1	0.2245
	其他生物状况 B4 (0.1841)	底栖动物生物指数 C41	0.1848	0.0340
		浮游植物密度 C42	0.7984	0.1470
		浮游动物密度 C43	0.0169	0.0031
	岸带物理状况 B5 (0.2078)	岸内滩地面积 C51	1	0.2078

2.7 湖滨带生态系统健康综合指数的计算

各指标的无量纲化值和指标熵权确定后,代入下式,即可求得湖滨带生态系统熵权综合健康指数:

$$EHCI = \sum_{j=1}^m [W(CA)_i \times r_{ij}] \times 100 \tag{8}$$

EHCI 为湖滨带生态系统健康的综合指数值; r_{ij} 为评价指标的无量纲化值,此处需满足 $0 \leq r_{ij} \leq 1$,大于 1 的按 1 取值。

2.8 评价结果

根据表 1 中 EHCI 指标数据,采用公式(8)计算出 2010 年太湖湖滨带的各个采样点的生态系统健康综合指数如图 3 所示。33 个点位中为“很健康”、“健康”、“亚健康”、“疾病”、“严重疾病”的分别占 0%、24.2%、21.2%、51.5% 及 3.0%,也即超过一半的点位处于“疾病”状态。生态状态为“健康”的点位主要分布在东太湖和贡湖东南区域,“疾病”状态的点位主要分布在竺山湾、梅梁湾和西部沿岸及贡湖北段。另外,表 4 按太

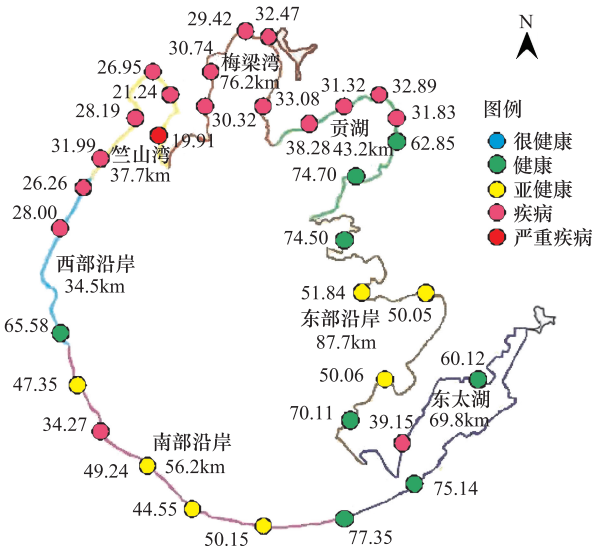


图 3 太湖湖滨带不同监测点生态系统健康综合指数
Fig. 3 The EHCI values of different sampling sites in littoral zone of Lake Taihu

湖湖滨带 7 个区段的划分列出了其平均生态系统健康综合指数,该结果表明太湖湖滨带生态系统健康整体状况较差,只有东太湖刚刚超过“健康”分数的下限,东部沿岸、贡湖、南部沿岸均处于“亚健康”状态,而梅梁湾、竺山湾、西部沿岸属于“疾病”状态,且竺山湾的生态健康状态最差。

表 4 太湖湖滨带分区生态系统健康综合指数

Table 4 The EHCI values of different littoral zones of Lake Taihu

区域 Littoral zone	湖滨带生态系统健康综合指数 Ecological health comprehensive index for littoral zone	健康状态 Health state
梅梁湾 Meiliangwan	31.20	疾病
竺山湾 Zhushanwan	24.07	疾病
西部沿岸 West lake side zone	37.96	疾病
南部沿岸 South lake side zone	45.11	亚健康
东太湖 East Lake Taihu	62.94	健康
东部沿岸 East lake side zone	59.31	亚健康
贡湖 Gonghu lake	45.26	亚健康

3 分析与讨论

3.1 关于评价权重

准则层 B 相对于目标层 A 的权重是根据专家打分并进行统计处理后得到的。按照权重系数的大小,准则层 B 各个因素的相对重要性排序为:湖滨带植被状况 B3(0.2245) > 水质状况 B1(0.2092) > 岸带物理状况 B5(0.2078) > 其他生物状况 B4(0.1841) > 底泥状况 B2(0.1743)。其中,植被状况 B3(0.2245)、水质状况 B1(0.2092) 和岸带物理状况 B5(0.2078) 这 3 个因素的权重系数较大,并且 3 者权重之和(0.2245+0.2092+0.2078=0.6415) 大于 0.5,即这 3 个因素的权重之和大于另外 2 个指标的权重之和,即“植被状况”、“水质状况”和“岸带物理状况”属于准则层 B 中最重要的因素,且“植被状况”显得尤为重要。

指标层 C 相对于准则层 B 的权重是用熵值统计法得出的。(1)在水质状况 B1 所对应的 7 项指标中,总磷 C13(0.4481) 的权重最大,其次为氨氮 C14(0.2719),2 者权重之和(0.72) 大于 0.5,即水质状况中的“总磷”和“氨氮”属于最重要的因素。(2)在底泥状况 B2 所对应的 3 项指标中,总磷 C22(0.4749) 的权重最大,其次为总氮 C21(0.4109),这 2 个因素的影响要明显高于总有机物 C23(0.1142)。(3)在植被状况 B3 中由于只选择了 1 项指标因子“挺水植物覆盖率 C31”,因此它的相对权重为 1。(4)在其他生物状况 B4 所对应的 3 项指标中,浮游植物密度 C42(0.7984) 的权重最大,且大于其它 2 项之和,为其中最重要的因素。(5)岸带物理状况 B5 只有 1 项指标因子“岸内滩地面积 C51”,所以它的相对权重为 1。

指标层 C 相对于准则层 A 的权重是由公式(7) 计算得出的,可以通过该层权重的大小直接判断所有指标因子的相对重要性。15 个指标因子中权重最高的前 3 个依次为:挺水植物覆盖率 C31(0.2245) > 岸内滩地面积 C51(0.2078) > 浮游植物密度 C42(0.1470),这 3 项指标的权重之和(0.5793) > 0.5,也即这 3 项为最重要的指标因子,对湖滨带生态系统健康评价结果会起到决定性的作用。

3.2 关于评价结果

由评价结果可知,太湖湖滨带中,梅梁湾、竺山湾、西部沿岸均属于“疾病”状态,影响它们健康状态的主要因素是挺水植物覆盖率低、岸内滩地面积少、浮游植物密度高、磷浓度高。例如,梅梁湾 5 个调查点位的岸内没有任何滩地,也无挺水植物生长,且浮游植物密度最高达 2.5×10^9 个/L。竺山湾受夏季东南风的影响造成大片有害藻堆积,浮游植物密度最高值(3.3×10^9 个/L) 就出现在这一区段;另外竺山湾点位水质及底泥的总磷含量在全湖滨带都是最高的。西部沿岸的调查点位中有 3 个点缺乏岸内滩地面积,挺水植物生长稀少,并且其底栖动物 HBI 生物指数也是最高的。另外,依据评价结果,唯一处于“健康”状态东太湖区段,该段具有大面积的岸内滩地,挺水植物生长茂盛,浮游植物密度相对较低。

本方法的计算结果与太湖湖滨带各分区的实际调查情况相符合^[21],即竺山湾的生态状况最差,梅梁湾的次之;北部区段的生态状态明显劣于南段及东南段区域的;东太湖的生态状态相对较好。胡志新等^[25]采用湖泊生态系统健康的系统能、系统能结构、生态缓冲容量和湖泊营养状态指数的研究也显示类似结果,即太湖生态系统健康呈现由东南部湖区向西北部湖区递减的趋势。马陶武等^[22]运用底栖动物综合生物指数法对太湖 60 个采样点位的清洁度分析也有同样证明了东太湖区域的健康状态相对较好,在太湖 15 个清洁样点位中有 9 个样点分布在东太湖。这说明本研究采用专家打分与熵值权重法结合的生态系统健康综合指数法对其进行生态系统健康的评价结果是可信的、方法是可行的。

4 结论与建议

太湖湖滨带生态系统的特点是湖岸类型以大堤型为主、水环境质量普遍较差、水生植物大面积消失且分布不均、生态脆弱性持续增加。据此设计了太湖湖滨带生态系统健康评价指标体系,对整个太湖湖滨带生态系统进行了评价分析,得出以下研究结论:

(1) 湖滨带生态系统健康综合指数体系中的准则层及指标层的权重系数研究结果显示,准则层 5 个因素的重要性排序为湖滨带植被状况>水质状况>岸带物理状况>其他生物状况>底泥状况;15 个指标因子中权重系数最高的前 3 个因子依次为挺水植物覆盖率 >岸内滩地面积 >浮游植物密度,这 3 个因子的权重系数之和大于 0.5,对最终评价结果起到决定性的作用。

(2) 综合评价结果显示,太湖湖滨带生态系统健康状况不容乐观,梅梁湾、竺山湾、西部沿岸的湖滨带均处于“疾病”状态;南部沿岸、东部沿岸、贡湖的湖滨带均处于“亚健康”状态;只有东太湖湖滨带属于“健康”状态。该评价结果与太湖湖滨带实际调查情况以及前人对于全太湖的研究相符,说明建立的评价方法是可行的。

但是,本文中所应用的健康状态等级划分模式,不易准确评价两个邻近等级的边界值。如果利用多次或长期的湖滨带生态调查结果,采用本文的湖滨带生态系统健康方法,对湖滨带不同时空的生态系统健康状态的比较和变化趋势分析,能够得出更准确的结果。本研究对进一步完善湖泊生态系统健康评价体系具有一定的参考价值,同时也为湖泊管理、湖滨带的生态修复及工程决策提供科学依据。

References:

- [1] Ye C. The Study on Ecology Restoration Engineering Mode of Aquatic-Terrestrial Ecotone of Lake Erhai [D]. Beijing: Chinese Research Academy of Environmental Sciences, 1999.
- [2] Ye C. Studies on Macrophyte Restoration in the Damaged Aquatic-Terrestrial Ecotone and Engineering Demonstration [D]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University, 2007.
- [3] Ye C, Li C H, Yu H C, Song X F, Zou G Y, Liu J. Study on ecological restoration in near-shore zone of a eutrophic lake, Wuli Bay, Taihu Lake. *Ecological Engineering*, 2011, 37(9): 1434-1437.
- [4] Sun S C, Huang Y P. Taihu. Beijing: Ocean Press, 1993: 3-9.
- [5] Ge F, Ye C, Feng G Y, Hong T. A research for water ecosystem entropy comprehensive health index method in the lakefront of Taihu lake. *Journal of Inner Mongolia Normal University: Natural Science Edition*, 2010, 39(6): 623-626.
- [6] Ma K M, Kong H M, Guan W L, Fu B J. Ecosystem health assessment: methods and directions. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(12): 2106-2116.
- [7] OECD. OECD Core Set of Indicators for Environmental Performance Reviews. *Environment Monographs*, 1993: 5-10.
- [8] Xie F, Zhang G S, Cheng X Y. Assessment of ecosystem health in the lakeside zone of Wuli lake. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2007, 23(7): 506-509.
- [9] Wang Q, Li H T, Liang T, Fu C J, Wang B M. Research on the health assessment index system of degraded ecosystem in the lakeside zone. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2009, 37(5): 2226-2228.
- [10] Zhang G S, Xie F, Liang X H. Indicators and methods for assessing aquatic ecosystem health. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2010, 26(24): 334-337.
- [11] 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.
- [12] You Y, Xu Z L, Wang P J, Shen Y J, Liao R H, Liu C, Gu H. Study on the health assessment of ecotype river in Wenyuhe River. *Journal of*

- Water Resources and Water Engineering, 2009, 20(3): 19-24.
- [13] Jacob K. Limnology: Inland Water Ecosystems. Pearson Education, 2002.
- [14] Spencer C, Robertson A I, Curtis A. Development and testing of a rapid appraisal wetland condition index in south-eastern Australia. Journal of Environmental Management, 1998, 54(2): 143-159.
- [15] State Oceanic Administration People's Republic of China. HY/T 087—2005 The Guidance for the Assessment of Coastal Marine Ecosystem Health. Beijing: Standards Press of China, 2008.
- [16] Li Y B, Liu Z T, Feng L, Zhou J L. Ecological risk assessment of PAHs in the sediments from Taihu Lake. Environmental Chemistry, 2011, 30(10): 1769-1774.
- [17] Zhu G W, Qin B Q, Gao G, Luo L C, Wang W M. Accumulation characteristics of heavy metals in the sediments of lake Taihu, China. Journal of Lake Sciences, 2005, 17(2): 143-150.
- [18] Wang Z H, Wang K L, Xu L F. The assessment indicators of wetland ecosystem health. Territory and Natural Resources Study, 2003, (4): 63-64.
- [19] Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China. GB383—2002 Environmental Quality Standards for Surface Water. Beijing: China Environmental Science Press, 2002.
- [20] Jin X C, Tu Q Y. Lake Eutrophication Survey Specification. 2nd ed. Beijing: China Environmental Science Press, 1990: 301-301.
- [21] Qin B Q, Hu W P, Chen W M. Water Environment Evolution Process and Mechanism of Taihu Lake. Beijing: Science Press, 2004: 110-134.
- [22] Ma T W, Huang Q H, Wang H, Wang Z J, Wang C X, Huang S B. The selection of benthic macroinvertebrate-based multimetrics and preliminary establishment of biocriteria for the bioassessment of the water quality of Taihu Lake. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(3): 1192-1200.
- [23] Yu H Y, Zhou B, Hu Z Y, Ma Y, Zhao A M. Study on correlation between chlorophyll a and algal density of biological monitoring. Environmental Monitoring in China, 2009, 25(6): 40-43.
- [24] Zheng H C, Zhang G S, Cheng X Y. Eutrophication assessment by use of grey clustering method in the lakeside zone of Wuli Lake. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2008, 24(4): 403-407.
- [25] Hu Z X, Hu W P, Gu X H, Chen Y W, Ji J. Assessment of ecosystem health in Lake Taihu. Journal of Lake Sciences, 2005, 17(3): 256-262.

参考文献:

- [1] 叶春. 洱海湖滨带生态恢复工程模式研究 [D]. 北京: 中国环境科学研究院, 1999.
- [2] 叶春. 退化湖滨带水生植物恢复技术及工程示范研究 [D]. 上海: 上海交通大学, 2007.
- [4] 孙顺才, 黄漪平. 太湖. 北京: 海洋出版社, 1993: 3-9.
- [5] 戈锋, 叶春, 冯冠宇, 洪涛. 基于熵权综合健康指数法的太湖湖滨带水生生态系统研究. 内蒙古师范大学学报: 自然科学汉文版, 2010, 39(6): 623-626.
- [6] 马克明, 孔红梅, 关文彬, 傅伯杰. 生态系统健康评价: 方法与方向. 生态学报, 2001, 21(12): 2106-2116.
- [8] 谢锋, 张光生, 成小英. 五里湖湖滨带生态系统健康评价. 中国农学通报, 2007, 23(7): 506-509.
- [9] 王潜, 李海涛, 梁涛, 顾晨洁, 王佰梅. 湖滨带退化生态系统健康评价指标体系研究. 安徽农业科学, 2009, 37(5): 2226-2228.
- [10] 张光生, 谢锋, 梁小虎. 水生生态系统健康的评价指标和评价方法. 中国农学通报, 2010, 26(24): 334-337.
- [11] 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.
- [12] 尤洋, 许志兰, 王培京, 申颖洁, 廖日红, 刘操, 顾华. 温榆河生态河流健康评价研究. 水资源与水工程学报, 2009, 20(3): 19-24.
- [15] 国家海洋局. HY/T 087—2005 近岸海洋生态健康评价指南. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [16] 李玉斌, 刘征涛, 冯流, 周俊丽. 太湖部分沉积物中多环芳烃生态风险评估. 环境化学, 2011, 30(10): 1769-1774.
- [17] 朱广伟, 秦伯强, 高光, 罗淑葱, 王文敏. 太湖近代沉积物中重金属元素的累积. 湖泊科学, 2005, 17(2): 143-150.
- [18] 汪朝晖, 王克林, 许联芳. 湿地生态系统健康评估指标体系研究. 国土与自然资源研究, 2003, (4): 63-64.
- [19] 国家环保部. GB383—2002 地表水环境质量标准. 北京: 中国环境科学出版社出版, 2002.
- [20] 金相灿, 屠清瑛. 湖泊富营养化调查规范 (第二版). 北京: 中国环境科学出版社, 1990: 301.
- [21] 秦伯强, 胡维平, 陈伟民. 太湖水环境演化过程与机理. 北京: 科学出版社, 2004: 110-134.
- [22] 马陶武, 黄清辉, 王海, 王子健, 王春霞, 黄圣彪. 太湖水质评价中底栖动物综合生物指数的筛选及生物基准的确立. 生态学报, 2008, 28(3): 1192-1200.
- [23] 于海燕, 周斌, 胡尊英, 马勇, 晁爱敏. 生物监测中叶绿素 a 浓度与藻类密度的关联性研究. 中国环境监测, 2009, 25(6): 40-43.
- [24] 郑焕春, 张光生, 成小英. 五里湖湖滨带水体富营养化程度的灰色聚类法评价. 中国农学通报, 2008, 24(4): 403-407.
- [25] 胡志新, 胡维平, 谷孝鸿, 陈宇炜, 季江. 太湖湖泊生态系统健康评价. 湖泊科学, 2005, 17(3): 256-262.

CONTENTS

Temporal and spatial dynamic changes and landscape pattern response of Hemeroby in Dayang estuary of Liaoning Province, China	SUN Yongguang, ZHAO Dongzhi, WU Tao, et al (3645)
Distribution characteristics of plant communities and soil organic matter and main nutrients in the Poyang Lake Nanji Wetland	ZHANG Qianjun, YU Xiubo, QIAN Jianxin, et al (3656)
Evaluation and construction of wetland ecological network in Qingdao City	FU Qiang, SONG Jun, MAO Feng, et al (3670)
Driving forces analysis for ecosystem health status of littoral zone with dikes: a case study of Lake Taihu	YE Chun, LI Chunhua, WANG Qiuguang, et al (3681)
The concentrations distribution and composition of nitrogen and phosphorus in stormwater runoff from green roofs	WANG Shumin, HE Qiang, ZHANG Junhua, et al (3691)
Effects of slope gradient on the community structures and diversities of soil fauna	HE Xianjin, WU Pengfei, CUI Liwei, et al (3701)
Investigation of populations of parasitic wasps parasitizing <i>Carposina sasakii</i> Matsumura (Lepidoptera: Carposinidae) in jujube orchards in China, with respect to the wasp-host relationship	YAO Yanxia, ZHAO Wenxia, CHANG Jupu, et al (3714)
Assessment of ardeidae waterfowl habitat suitability based on a binary logistic regression model	ZOU Lili, CHEN Xiaoxiang, HE Ying, et al (3722)
Combined effects of temperature, salinity and pH on the clearance rate of juveniles of <i>Pinctada martensii</i> (Dunker)	ZHU Xiaowen, WANG Hui, LIU Jin, et al (3729)
Soil nutrient dynamics and loss risks in a chicken-forage mulberry-medicinal plant intercropping system	ZHAO Liping, YANG Guiming, ZHAO Tongke, et al (3737)
Soil particle size distribution and its relationship with soil organic carbons under different land uses in the middle of Heihe river	ZHANG Junhua, LI Guodong, NAN Zhongren (3745)
Effects of DEM resolution and watershed subdivision on hydrological simulation in the Xingzihe watershed	QIU Linjing, ZHENG Fenli, YIN Runsheng (3754)
Impacts of grid sizes on urban heat island pattern analysis	GUO Guanhua, CHEN Yingbiao, WEI Jianbing, et al (3764)
Landscape connectivity analysis for the forest landscape restoration: a case study of Gongyi City	CHEN Jie, LIANG Guofu, DING Shengyan (3773)
Carbon footprint analysis on urban energy use: a case study of Xiamen, China	LIN Jianyi, MENG Fanxin, CUI Shenghui, et al (3782)
The ecological footprint of alpine pastures at the village-level: a case study of Hezuo in Gannan Autonomous Prefecture, China	WANG Lucang, GAO Jing (3795)
The ecosystem health assessment of the littoral zone of Lake Taihu	LI Chunhua, YE Chun, ZHAO Xiaofeng, et al (3806)
The biomass of <i>Bashania fargesii</i> in giant pandas habitat in Qinling Mountains	DANG Kunliang, CHEN Junxian, SUN Feixiang, et al (3816)
Effects of salinity on seed germination and seedling growth in halophyte <i>Limonium aureum</i> (L.) Hill	YOU Jia, WANG Wenrui, LU Jin, et al (3825)
Liana-host tree associations in the tropical montane primary forest and post-harvest forest of Bawangling, Hainan Island, China	LIU Jinxian, TAO Jianping, HE Zeet al (3834)
The response of photosynthetic characters and biomass allocation of <i>P. bournei</i> young trees to different light regimes	WANG Zhenxing, ZHU Jinmao, WANG Jian, et al (3841)
Genetic variation among populations of the endangered <i>Sinocalycanthus chinensis</i> based on morphological traits and ISSR profiles	JIN Zexin, GU Jingjing, LI Junmin (3849)
Growth response to climate in Chinese pine as a function of tree diameter	JIANG Qingbiao, ZHAO Xiuhai, GAO Lushuang, et al (3859)
Age structure and spatial distribution of the rare and endangered plant <i>Alcimandra cathartii</i>	YUAN Chunming, MENG Guangtao, FANG Xiangjing, et al (3866)
The water consumption and water use efficiency of the seedlings of <i>Eucalyptus grandis</i> and other five tree species in Sichuan Province	HU Hongling, ZHANG Jian, WAN Xueqin, et al (3873)
Effects of leaf litter of <i>Cinnamomum septentrionale</i> on growth and resistance physiology of <i>Brassica rapa</i> in the decomposition process of litter	HUANG Weiwei, HU Tingxing, ZHANG Niannian, et al (3883)
Water transport velocity and efficiency in <i>Quercus variabilis</i> detected with deuterium tracer and thermal dissipation technique	SUN Shoujia, MENG Ping, ZHANG Jinsong, et al (3892)
The saxicolous moss's features of absorbing water and its structural adaptability in the heterogeneous environment with rock desertification	ZHANG Xianqiang, ZENG Jianjun, CHEN Jinwu, et al (3902)
Effects of organic materials containing copper on soil enzyme activity and microbial community	CHEN Lin, GU Jie, GAO Hua, et al (3912)
Comparison of floral morphology and pollination characteristics between the sexes in <i>Eurya obtusifolia</i>	WANG Qian, DENG Hongping, DING Bo, et al (3921)
Climatic suitability of potential spring maize cultivation distribution in China	HE Qijin, ZHOU Guangsheng (3931)
Effects of uniconazole dry seed dressing on nitrogen accumulation and translocation and kernel protein quality in wheat	FAN Gaoqiong, YANG Ennian, ZHENG Ting, et al (3940)
Review and Monograph	
International comparison and policy recommendation on the development model of industrial symbiosis in China	SHI Lei, LIU Guoguo, GUO Siping (3950)
Scientific Note	
The Change of landscape pattern in Zhenlai Xian, Jilin Province in recent ten years	ZHANG Guokun, LU Jinghua, SONG Kaishan, et al (3958)
Footprint analysis of turbulent flux over a poplar plantation in Northern China	JIN Ying, ZHANG Zhiqiang, FANG Xianrui, et al (3966)

《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 12 期 (2012 年 6 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 32 No. 12 (June, 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:1000717	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