

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/stxb201201180111

叶春, 李春华, 王秋光, 陈小刚. 大堤型湖滨带生态系统健康状态驱动因子——以太湖为例. 生态学报, 2012, 32(12): 3681-3690.

Ye C., Li C. H., Wang Q. G., Chen X. G. Driving forces analysis for ecosystem health status of littoral zone with dikes: a case study of Lake Taihu. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(12): 3681-3690.

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^{1,*}, 李春华¹, 王秋光^{1,2}, 陈小刚¹

(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. 东北林业大学, 哈尔滨 150040)

摘要: 湖滨带是湖泊生态系统的重要组成部分, 对维持湖泊生态系统健康和改善水环境功能具有积极作用。由于防洪需要, 我国许多湖泊在湖滨带中修建了防洪大堤, 防洪大堤对湖滨带生态系统的影响还缺乏研究, 识别引起大堤型湖滨带生态健康退化的驱动因子是开展湖滨带生态修复的必要前提。针对太湖湖滨带的特点, 在定性筛选了太湖主体营养状态、入湖河流污染负荷通量、岸带类型、风浪强度 4 个主要影响因子的基础上, 分别采用“多元线性逐步回归法”和“偏相关系数法”进行驱动因子识别, 2 种方法确定的驱动因子个数均为 3 个, 且 3 者的驱动力大小排序也相同, 即太湖主体营养状态 > 岸带类型 > 入湖河流污染负荷通量。3 个驱动因子对太湖湖滨带生态系统健康的影响均为负效应, 也即太湖主体的营养状态综合指数越高、入湖河流污染负荷通量越重、岸带状况越差, 湖滨带生态系统也就越不健康。另外, 从统计方法的角度解释了“风浪强度”没有入选为驱动因子的原因; 澄清了现阶段环境学、生态学领域对“驱动因子”识别方法的误解及不足之处。研究结果为大堤型湖滨带的生态修复方案提供了理论支持。

关键词: 驱动因子; 生态退化; 生态系统健康; 湖滨带; 太湖

Driving forces analysis for ecosystem health status of littoral zone with dikes: a case study of Lake Taihu

YE Chun^{1,*}, LI Chunhua¹, WANG Qiuguang^{1,2}, CHEN Xiaogang¹

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 Northeast Forestry University, Harbin 150040, China

Abstract: Dikes have been built in the littoral zones of many lakes in China, for the purpose of flood prevention. Lake Taihu is one of these lakes and its dikes occupy as much as about 73% of the length of the total lake bank. Therefore, a case study of Lake Taihu was conducted. Being different from the natural littoral zone, the littoral zone with dikes has unique properties because dikes block the natural material flow between the surrounding land area and the lake water, consequentially, the material exchange between them was reduced to a great extent. Dike-building has brought a lot of ecological and environmental problems, such as the reduction of littoral wetland area, the decrease of aquatic animals' habitat, the damage of vegetation cover, and even the destruction of the ecological balance in littoral zones. The deterioration of its ecological health has caused more and more concerns and as a result, many ecological restoration measures have been adopted by local governments. However, not all of them had effect because the driving forces leading to

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: 2012-01-18; 修订日期: 2012-05-02

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

ecological health deterioration in this kind of littoral zones were still unknown.

According to the characteristic of Lake Taihu, 4 main factors affecting its littoral zone ecosystem health were selected including the nutrient state of major lake area, the pollutant fluxes of inflow rivers, littoral zone type and wave strength. Then, two different methods, namely, ‘stepwise multiple linear regression’ and ‘partial correlation coefficient’, were employed to determine the driving forces from the above 4 factors. Very similar results were obtained from these two methods, i. e., 3 factors were identified as driving forces and their driving forces from stronger to weaker, listed as the following sequence, the nutrient state of major lake area > littoral zone type > the pollutant fluxes of inflow rivers. All the 3 driving forces have negative effects on the ecosystem health of the littoral zone of Lake Taihu. The higher nutrient state of major lake area, the heavier pollutant fluxes of inflow rivers and the worse littoral zone type, the poorer the ecosystem health of littoral zone. The reason leading to the out of ‘wave strength’ as driving force was explained from the aspects of both statistical method and analysis results. Although it had significant correlation with ecosystem health of littoral zone, it showed non significant partial correlation with it when considering other 3 factors’ effects. This result is consistent with the real situations observed by other researchers. These results also suggest that human being activities played a significant driving role in ecosystem deterioration of the littoral zone with dikes, while the impact of natural force such as wave strength was quite uncertain. Therefore, it is possible to improve ecological health status of littoral zone through changing human being activities. Compared to driving force analysis in social, economic and medical fields, little study has been done on environmental and ecological sciences, so more work should be carried out. Some misunderstanding on the concept of ‘driving force’ and the abuse of statistical analysis are elaborated in this paper. This study may have some inspires on the future research about ‘driving force’. Additionally, the present study provides a scientific theory foundation and decision support for ecological restoration of the lake littoral zone with dikes.

Key Words: driving force; ecological deterioration; ecosystem health; littoral zone; Lake Taihu

湖滨带属于水陆生态交错带,天然的湖滨带由陆向辐射带、水位变幅带和水向辐射带组成^[1],是湖泊生态系统的重要组成部分,对维持湖泊生态系统健康和改善水环境功能具有积极作用。由于防洪需要,我国许多湖泊在湖滨带中修建了防洪大堤,破坏了湖滨带原有生态系统结构的连续性和完整性,阻断了水陆生态系统的物质循环、能量流动和信息传递,严重影响了湖滨带生态系统功能的发挥,导致了湖滨带生态系统退化,影响了湖滨带生态系统健康。大堤型湖滨带的生态系统健康退化现象已引起广泛关注^[2],科学识别大堤型湖滨带生态系统健康状态的驱动因子是开展湖滨带生态修复的必要前提,然而该方面的研究还远远不足。

太湖是我国的大型浅水湖泊,73%以上的岸带都修建了防洪大堤,其余部分临近山体,太湖的湖滨带属于典型的大堤型湖滨带。本文以太湖为例,运用驱动因子的识别方法,分析影响其湖滨带生态系统健康的主要驱动因子,旨在为我国类似湖泊湖滨带的驱动因子分析提供一定借鉴。

1 驱动因子识别方法的选择

驱动因子是指影响事物发展或状态的关键性的内在动力或外在力量。就生态系统而言,影响其状态的因子可以分为自然因子及人为因子两大类,前者主要包括温度、风力、波浪、大气沉降等,后者主要包括人口、经济、社会活动,以及与其相关的环境污染、土地利用变更等^[3]。然而并非所有影响因子都是驱动因子,对于简单系统中的驱动因子是可以直接判断的,但是对于生态等复杂系统则需要借助统计分析的方法,研究特征变量之间的相关关系,识别出哪些是起到关键作用的驱动因子。

与社会经济学、医学领域相比,环境学、生态学领域对于驱动因子的研究相对薄弱,对于环境、生态驱动因子的概念及其识别方法尚不成熟。有些研究没有深入理解“驱动因子”的含义,而直接用“影响因子”作为“驱动因子”加以诠释。有些研究没有正确理解统计学方法的原理,而采用简单相关系数法来识别“驱动因子”。另外应用“主成分分析”方法来直接研究驱动因子也欠妥,首先“主成分分析”是对表征事物现状的多个指标

(注意不是有驱动倾向的影响因子)进行降维筛选的过程,例如从 10 个水质指标中筛选 4—5 个能尽量反映水质现状的指标,而不是筛选能引起水质发生变化的驱动性影响因子;其次,“主成分分析”所筛选的几个主成分之间是没有相关性的,而在生态、环境、社会等领域驱动因子间的相关性是很难避免的,因此就可能错误的舍弃真正的驱动因子。所以,运用正确的统计方法确定真正的驱动因子是十分重要的。

驱动因子的确定通常经过以下 2 个步骤:(1)影响因子的定性筛选:是指在众多因子中筛选出有可能影响评价目标的因素,筛选原则是尽量全面并且有依据的考虑可能的影响因素。(2)驱动因子的确定及驱动力大小排序:社会经济领域的大量研究显示最被认可的 2 种方法是“多元线性逐步回归法”和“偏相关系数法”^[4]。前者是在因变量与自变量(影响因子)之间建立多元回归方程,通过逐步回归法确定驱动因子,即每引入一个变量同时检验方程中各个自变量的显著性,合格保留、不显著剔除,反复进行直到再没有显著的变量可以引入为止^[5]。各驱动因子的影响力大小可以通过比较各自标准偏回归系数来确定。后者“偏相关系数法”是通过固定因变量与其中一个自变量以外的其他变量对它们的影响以后,这两个变量之间的相关关系,它反映了事物间的本质联系。描述这种关系的强度指标为偏相关系数,绝对值越大,偏相关程度越大。研究证明对于在二元回归中两者相对大小始终一致,而在自变量个数超过 2 个的回归模型中两者得出驱动因子的驱动力相对大小却不一定完全一致^[6]。在两者结果不一致的时候还需追踪数据样本的波动性、与实际情况的相符性进行选择判断。

鉴于以上情况,本研究在定性筛选影响因子后,分别采用了“多元线性逐步回归法”和“偏相关系数法”确定太湖湖滨带的生态系统健康状况驱动因子及驱动力大小顺序。

2 驱动因子的确定

2.1 影响因子的定性筛选

影响因子的定性筛选范围是依据评价目标本身的特点而定的,既要有代表性又要兼顾获取的可能,筛选过少的影响因子可能造成真正的驱动因子缺失,但筛选过多的影响因子无疑会增加不必要的工作量。与其它大尺度的研究区域(例如喀斯特地形区、沙漠化地区等)相比,太湖湖滨带的范围是周长 405 km,宽度仅为 50—100 m 不等的环形区域,且有环湖大堤的阻隔,外界环境对湖滨带的影响主要是通过入湖河流产生的。在这种情况下,社会经济发展、人口、相关性不强的政策行为等就可以忽略不计,因此本文着重考虑与太湖湖滨带密切相关的自然以及人为影响因子。另外,由于太湖湖滨带缺少历史实测数据,对驱动因子的研究很难采用常见的纵向时间统计法,考虑到同一湖泊湖滨带生态系统健康状况在空间分布上的差异也能反映出某个影响因子作用力的差异,因此采用“空间换时间”的方法,通过研究同一时间环太湖湖滨带不同点位的生态系统健康状态及其影响因子间的统计关系来确定其驱动因子。根据多年的研究经验和实践分析,选取了太湖主体营养状态、入湖河流污染负荷通量、岸带类型、风浪强度 4 个主要影响因子。

(1)太湖主体营养状态

太湖主体的营养状态是对太湖水质的综合性评价指标,它的好坏直接影响到湖滨带的生态系统健康状况,对湖滨带的水质、底质、生物都有直接的影响。例如,太湖北部湖区污染严重,水质较差,呈富营养状态,其湖滨带区植物种类单一,分布面积少,底栖动物多数为耐污种;而东太湖湖区水质状况相对较好,呈轻度富营养状态,湖滨带植物种类较多,且覆盖度大,底栖动物中耐污种相对少些。因此,太湖主体湖区的营养状态对于湖滨带生态系统健康状况有较大的影响。

(2)入湖河流污染负荷通量

入湖河流污染负荷是湖泊污染物的重要来源,大部分点源与面源污染物是通过入湖河流进入湖泊的,污染物在水力坡度、密度梯度和风力等作用下发生迁移,与湖水尤其是处于湖滨带的近岸湖水混合,造成水质下降。由于一些太湖入湖河流有随季节反向流动的特点,因此采用河流的污染负荷通量来表达。有研究发现入湖河流在近河口处 300 m 内污染物浓度明显上升,300 m 以外由于有较高的稀释扩散而受影响明显减弱^[7]。而太湖湖滨带的范围为大堤向水域 50—100 m 范围内,正是受入湖河流影响最大的范围。所以,入湖河流的

污染负荷通量也是影响湖滨带生态系统健康状况的重要因素。另外,入湖河流的污染负荷通量与所在流域的经济发展模式、土地利用方式、人口、环境措施等密切相关,可以用来反映湖滨带所受的流域环境的综合压力。

(3) 岸带类型

根据太湖湖滨带地形地貌、水文条件,具体而言是根据太湖湖滨带水位线与邻近堤岸或者山体的相对位置关系及露滩面积不同,将其分为 6 种类型:长期露滩-大堤型、间歇露滩-大堤型、无滩地-大堤型、有滩地-山坡型、无滩地-山坡型与河口型。岸带类型的差异,会直接影响湖滨带的水生植物分布、滩地面积大小、生物栖息地、生物多样性、岸堤侵蚀性、景观适宜性等,因此也是影响湖滨带健康状态的重要因素之一。例如,长期露滩-大堤型与有滩地-山坡型由于高水位到堤脚或山脚尚有一定的距离,有足够的滩地空间满足一定规模的水生植物生长需求,湖滨带相对完整,受大堤或山体的影响较小,所以水生植物生长情况较好、生物多样性高、岸堤侵蚀较轻;但是无滩地-大堤型和无滩地-山坡型的堤岸,在低水位时就超过堤脚或山脚,风浪较大,不适宜挺水植物和湿生植物生长,只有少量的沉水植物生长,或者无植物生长,岸带整体状况较差。

(4) 风浪强度

风浪所引起湖水的紊动,对湖水理化性质的分布、湖中泥沙的输移、浮游生物的迁移以及湖水中污染物质的扩散和净化等过程均有一定的影响。风浪驱动是太湖最主要的水动力驱动因素,无论是太湖的泥沙沉积、内源污染释放,还是水生植物分布,都明显受到风浪扰动强度的影响^[8]。由于风浪引起的浪淘蚀、湖流等在岸边比湖心区的作用力要大^[9],因此风浪引起湖水的运动会对湖滨带水质、底质可能产生更为明显的影响,导致湖滨带水体透明度下降,影响沉水植物的生长;风浪对堤岸的淘蚀作用也会影响底栖生物、挺水植物的分布,所以风浪也被选择为重要影响因子。

2.2 数据来源与处理

于 2010 年夏季对太湖湖滨带 33 个点位进行了生态调查(图 1),并运用生态系统健康综合指数法进行了湖滨带的生态系统健康评价,该评价体系的构建、数据搜集及处理等详细内容已在已有的研究成果中做了具体阐述^[10],其评价结果见表 1 中的第 2 列数值,分值越高代表生态系统越健康。在同一时期对各点位对应的以上 4 个主要影响因子情况进行了现场调查或数据搜集,其数据处理结果如表 1 所示。其中,太湖主体营养状态(X_1)用湖泊综合营养状态指数(TLI(Σ))表示,测定及计算方法参照中国环境监测总站推荐的“湖泊(水库)富营养化评价方法及分级技术规定”,与湖滨带采样点位相对应,选择 33 个太湖主体营养状态观测点位,位置为从湖滨带采样点向湖心内扩展约 1 km 处。入湖河流污染负荷通量(X_2)的数据来源为中国环境科学院余辉等人做的全太湖入湖河流污染负荷通量调查^[11],采用近点位处的入湖河流的总氮、总磷、总有机物的年总污染负荷通量标准化值表示,计算方法是先将总氮、

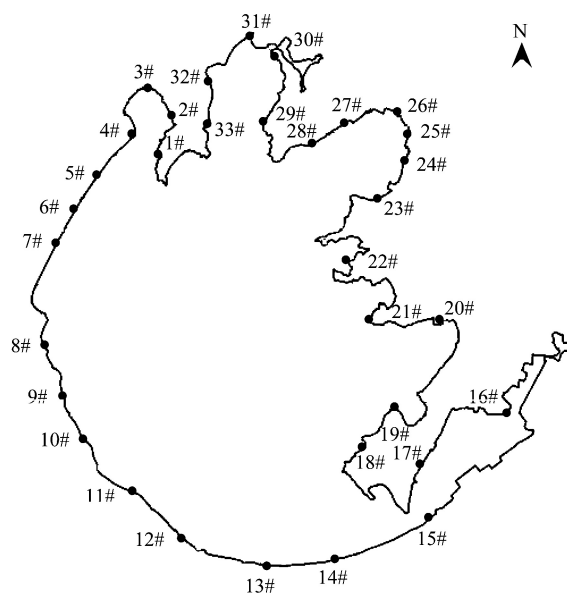


图 1 太湖湖滨带调查点位分布图

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

总磷、总有机物值进行标准化处理,再用熵值法确定这 3 种污染负荷通量的权重系数 w_i ,采用公式 $\Sigma w_i P_i$ 得出各监测点位的总污染负荷通量,式中 P_i 具体化为 P_{TN} 、 P_{TP} 、 P_{TC} ^[12]。岸带类型(X_3)的影响采用现场观察大堤对湖滨带生态破坏程度并进行打分,评分标准为:0—10 分,分值越高破坏程度越大,例如无滩地-大堤型由于大堤完全侵占了原来的湖滨滩地,使挺水植物无法自然生长,因此赋予 10 分,而长期露滩-大堤型虽然建立堤坝,但是基本保留原始湖滨带状态,根据滩地面积大小可赋予 0—4 分。风浪强度(X_4)采用莆田公式模拟

计算的波浪高度(m)来表示。

表 1 湖滨带生态系统健康影响因子数据表
Table 1 Data sheet of the affecting factors for ecosystem health of littoral zone

点位序号 Site number	湖滨带生态系统 健康综合指数 Ecological health comprehensive index Y	太湖主体营养状态 Nutrient state of major lake area X_1	入湖河流污染负荷通量 Pollutant fluxes of inflow rivers X_2	岸带类型 Littoral zone type X_3	风浪强度 Wave strength X_4
1	19.84	70	0.75	10	0.323
2	21.25	70	0.66	8	0.323
3	27.04	66	0.66	10	0.296
4	28.47	66	0.66	10	0.318
5	32.72	66	0.80	6	0.337
6	26.98	66	0.80	10	0.337
7	28.77	66	0.80	10	0.337
8	66.22	54	0.24	0	0.201
9	47.89	54	0.24	3	0.201
10	34.17	63	0.24	10	0.101
11	49.14	59	0.24	6	0.001
12	44.90	59	0.24	4	0.001
13	49.81	59	0.24	4	0.001
14	77.16	46	0.00	0	0.001
15	74.96	54	0.00	0	0.001
16	59.97	59	0.00	0	0.012
17	38.60	66	0.00	5	0.114
18	70.01	54	0.00	2	0.002
19	49.68	59	0.00	3	0.001
20	49.77	59	0.00	3	0.001
21	51.73	59	0.01	1	0.001
22	74.55	53	0.03	0	0.001
23	75.13	53	0.00	0	0.001
24	62.00	55	0.06	2	0.001
25	31.29	68	0.06	6	0.222
26	32.98	68	0.06	8	0.322
27	30.92	66	0.06	8	0.322
28	38.75	66	0.32	2	0.337
29	33.19	68	0.32	10	0.337
30	32.55	68	0.32	10	0.337
31	29.21	68	0.32	10	0.337
32	30.79	68	0.32	10	0.337
33	30.92	68	0.32	10	0.337

2.3 多元线性逐步回归法确定驱动因子

多元线性逐步回归确定驱动因子的方法已广泛应用于环境预测、环境监测、环境评价等多个环境领域^[13]。该方法是建立 m 个自变量的多元线性回归分析的数学模型,通过逐步回归分析来剔除无驱动力的变量,而保留统计上有显著驱动效应的自变量,并形成驱动力模型:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \cdots + \beta_m X_m + \varepsilon$$

式中, Y 为因变量, X 为自变量, β 为待定系数, ε 为随机误差项,表示除 X 以外其他随机因素对 Y 影响的总和。

本研究中因变量 Y 为湖滨带生态系统健康综合指数, 自变量个数 m 为 4, 自变量为 X_1 为太湖主体营养状态; X_2 为入湖河流污染负荷通量; X_3 为岸带类型; X_4 为风浪强度。

利用 SPSS 软件对表 1 中数据进行回归分析, 结果见表 2。可知多元线性逐步回归分析中, 剔除了影响因子 X_4 (风浪强度), 其余 3 个影响因子与 Y (湖滨带生态系统健康综合指数) 形成的多元线性回归方程均通过了 t 检验 ($P \leq 0.05$), 回归方程模型如下:

$$Y = 159.36 - 1.72X_1 - 9.998X_2 - 1.145X_3 \quad (R=0.968, R^2=0.936)$$

回归方程模型拟合度检验表明, 多重相关系数 ($R=0.968$) 和多重判定系数 ($R^2=0.936$) 都很接近 1, 说明该回归方程有很好的拟合度, 并且有 93.6% 的湖滨带生态系统健康状态可以用该模型解释。由此筛选出太湖湖滨带生态系统健康的 3 个驱动因子为: 太湖主体营养状态 (X_1)、入湖河流污染负荷通量 (X_2)、岸带类型 (X_3)。3 个驱动因子的回归系数均为负值, 表明太湖主体的营养状态综合指数越高、入湖河流污染负荷通量越重、大堤负面影响越显著, 湖滨带生态系统健康状态也就越差。

表 2 多元线性逐步回归模型结果

Table 2 Results of multivariate linear stepwise regression analysis

项目 Items	原始数据回归系数 Regression coefficients for initial data		标准化数据 回归系数 Regression coefficients for normalized data	t -检验 t -test	显著性 Significance
	回归系数	标准差			
常数 Constant	159.360	13.083		12.181	0.000
太湖主体营养状态 X_1 Nutrient state of major lake area	-1.720	0.239	-0.629	-7.204	0.000
入湖河流污染负荷通量 X_2 Pollutant fluxes of inflow rivers	-9.998	3.976	-0.158	-2.515	0.018
岸带类型 X_3 Littoral zone type	-1.145	0.418	-0.261	-2.738	0.010

驱动力大小的比较不能直接采用回归系数, 而要采用标准化数据的回归系数。因为在多元线性回归方程中, 各自变量的单位不同, 得到的回归系数也就有不同的量纲, 所以回归系数的大小只能表明自变量与因变量在数量上的关系, 而不能表示各自变量在回归方程的重要性。要比较各个自变量的重要性, 必须消除单位的影响。为此, 在做线性回归时需要对变量值作标准化变换, 即变量减去其均值并除以其标准差的估计, 由此得到的回归系数被称为标准化系数^[6]。如表 2 所示 3 个驱动因子的标准化回归系数分别为: -0.629、-0.158、-0.261。标准化系数的绝对值越大说明驱动因子的驱动力越大, 所以湖滨带生态系统健康驱动因子的驱动力强弱顺序为: 太湖主体营养状态 X_1 > 岸带类型 X_3 > 入湖河流污染负荷通量 X_2 。

2.4 偏相关系数分析

简单的高度相关并不意味着因果性^[14], 而偏相关系数的计算过程会同时考虑多个变量之间可能产生的影响, 另一方面又采用一定的方法控制其他变量, 得到在交互影响下两个特定变量的净相关关系。具有显著性统计意义的偏相关系数能反映事物间的本质联系, 并已成功应用于筛选驱动因子的研究中^[15]。

运用 SPSS 软件对表 1 数据进行偏相关性及相关性分析, 结果表明 4 个影响因子虽然与湖滨带生态系统健康状况 (Y) 都有显著的相关性 ($P \leq 0.01$), 但是只有 3 个因子与因变量 Y 具有显著的偏相关性关系 ($P \leq 0.05$), 也就是该方法确定的驱动因子为太湖主体营养状态 X_1 、入湖河流污染负荷通量 X_2 、岸带类型 X_3 (表 3)。偏相关系数绝对值越接近 1, 表明相关性越大, 所以这 3 个驱动因子的驱动力大小排序为太湖主体营养状态 X_1 > 岸带类型 X_3 > 入湖河流污染负荷通量 X_2 。这一结果与 2.3 中的“多元线性逐步回归法”得出的结果完全一致, 说明这两种方法对该样本数据的处理结果没有本质差异。

观察表 3 中各影响因子的相关系数与偏相关系数还可以发现, 虽然在相关性分析中风浪强度 X_4 与湖滨

带生态系统健康综合指数 Y 呈显著负相关,但是在偏相关性分析中其系数却为正值,且没有达到 $P \leq 0.05$ 的显著性水平。说明在综合考虑其他影响因素存在的情况下,风浪强度对湖滨带生态系统健康状况可能会起到正面效应,也就是风浪强的区域不一定是生态系统健康差的区域,虽然这一推断在统计上没有显著意义。

表 3 湖滨带生态系统健康状态与其影响因子的相关性及偏相关性分析

Table 3 Correlation and partial correlation analysis between dependent variable and independent variables

Y	影响因子 X Affecting factors	显著性 Significance	偏相关系数(显著性) Partial correlation coefficient (significance)
湖滨带生态系统健康综合指数 Ecological health comprehensive index	太湖主体营养状态 X_1	-0.941 (0.000)	-0.7643 (0.000)
	入湖河流污染负荷通量 X_2	-0.697 (0.000)	-0.4018 (0.028)
	岸带类型 X_3	-0.897 (0.000)	-0.4541 (0.012)
	风浪强度 X_4	-0.818 (0.000)	0.0363 (0.849)

3 分析与讨论

3.1 驱动因子

通过以上两种统计分析方法,确定了相同的驱动因子,并且驱动力大小顺序也一致,均为:太湖主体营养状态 X_1 > 岸带类型 X_3 > 入湖河流污染负荷通量 X_2 。由标准化回归系数的绝对值大小可知,太湖主体营养状态对湖滨带健康状态的影响是其它 2 个驱动因子的 2.4—4.0 倍;这比由偏相关系数绝对值大小推断的 1.7—1.9 倍略大一些;这两种方法得出的另外 2 个驱动因子的系数绝对值分别都很接近。该结果说明对于太湖湖滨带的生态系统健康状况影响最大的驱动因子是太湖主体营养状态,且对湖滨带生态系统健康状态起到决定性的作用,这与常规判断以及前期研究结果是一致的^[16]。因此任何引起太湖水质状态下降的因素也会反馈在湖滨带生态系统健康上,湖滨带与湖泊主体是唇齿相依的关系,一切有利于太湖水质改善的措施也同样会有益于湖滨带的生态系统健康恢复。驱动作用居第 2 位的是岸带类型,结合岸带类型的评分标准,我们会发现有无大堤、大堤与水位线之间的滩地面积的大小是影响湖滨带生态系统健康的重要因素,也即大堤的建设是促使太湖湖滨带生态退化的重要驱动力。根据历史调查数据^[17],环湖大堤建成以后,原有湖滨带滩地面积锐减,大堤内芦苇滩地的宽度仅剩数十米甚至消失,滩地挺水植物量在修建大堤前后形成明显的拐点,1995 年是 1990 年的 20% 不到。驱动力排第 3 位的是入湖河流污染负荷通量,流域污染源或者营养盐多以径流携带的方式汇入入湖河流,湖滨带首当其冲的最先受到污染。赖格英^[18]利用 SWAT 模型研究了入湖河流污染负荷与太湖流域的工业、农业发展、地形、土壤、气候、土地利用的关系,表明生活污水、工业废水是引起河流污染负荷升高的 2 大重要因素,贡献率分别占 30% 和 16%。由此而推,人为产生的生活污水、工业废水也是引起湖滨带生态恶化的重要原因。

图 2 给出了这 3 个驱动因子沿太湖湖滨带分布的趋势与湖滨带生态系统健康综合指数的关系,图中湖滨带的环形圈内色彩的变化表示不同的健康状态,每个点位所对应的 3 个饼状图面积由大到小分别为太湖主体营养状态、岸带类型、入湖河流污染负荷通量,饼状图面积大小代表驱动力的大小;饼状图的颜色变化代表驱动因子值的高低变化。结合 2.2 的数据解释可知,湖滨带生态系统健康综合指数越大越健康,而 3 个驱动因子的数值越大产生的负面效果越大,图 2 可以直观的反映出这种对应关系,即在太湖北部的梅梁湾、竺山湾的湖滨带生态系统健康较差的区域,3 个驱动因子的数值也相对越大;在东太湖等少数相对较健康的区域,3 个驱动因子的数值相对较小。

3.2 未入选的影响因子

在逐步回归分析和偏相关系数分析结果中,还有一个未选入的影响因子,即风浪强度。在强制型回归方程分析中,发现该影响因子没有通过显著性检验,它的回归系数与偏相关系数分析的结果一样也为正值,即在有其他 3 个影响因子作用的情况下风浪大的区域所对应的湖滨带生态系统健康状况却是较好的。这一结果与很多孤立的研究风浪对湖体、湖滨带状态影响的结论正相反^[19],孤立研究风浪作用所得到的结论正如本文

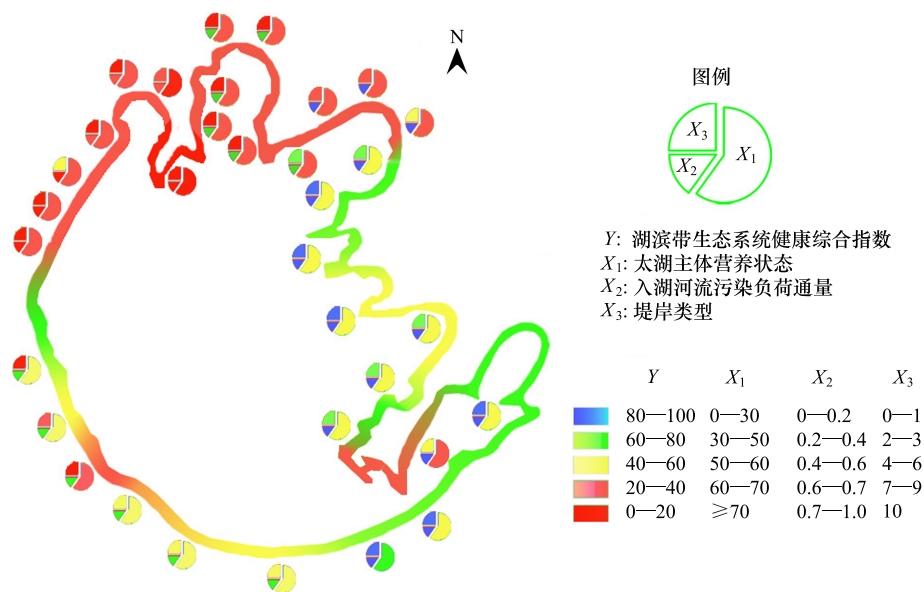


图2 太湖湖滨带生态系统健康状况及其驱动因子情况对照图

Fig. 2 Distribution of ecosystem health status and their corresponding driving forces of littoral zones in Lake Taihu

中简单相关性分析得出的风浪对湖滨带生态系统健康有显著的负效应一样。这一研究结果应该引起人们深入关注,即在自然环境中不能单纯考虑某一影响因子的作用,这样可能得到完全相反的结论。另外,该结果可以更好的解释一些在现场情况下研究风浪效应的结果,实际上许多湖泊研究专家已经发现风浪的不定性作用^[20],例中国科学院地理与湖泊研究所太湖研究站人员发现尽管梅梁湾中部测点底泥量丰富、水深相对较小,但是强风浪(平均波高大于10 cm),并不能使水中氮、磷营养盐含量显著上升,这表明太湖底泥营养盐在风浪强度较大时,并不呈现释放状态,相反的可能会因为再悬浮沉积物吸附作用,底层表现为水体营养盐的汇,从而使水体溶解性总氮、总磷指标还具有下降的趋势^[8]。范成新也指出营养盐的垂向分布受水深、底泥性状、植物分布及风浪等多种因素影响,因此风浪对浅水湖泊营养盐的分布的作用较为复杂^[8]。

3.3 驱动因子的识别方法

本文所采用的“多元逐步回归法”和“偏相关系数法”是现今最受认可的2种探寻驱动因子的方法。但是由于统计方法的差异,这2种方法各有优劣势。“多元逐步回归法”不仅能通过 t 检验筛选出驱动因子,消除统计上显著的多重共线性问题,而且还可以建立回归模型,具有预测的功能;但是对于驱动力大小的判定,由于采用标准化系数的方法,不仅与自变量的回归系数有关,而且与这个自变量的波动程度有关,因此可能会有偏差,将样本数据中波动程度较大(自变量的标准差较大)的自变量赋予过高的驱动作用力^[6]。而“偏相关系数法”对于驱动力大小的判定则不会受自变量样本波动性的影响,但是其弱点是不能形成预测模型。因此,除了只有2个自变量的情况下(此时2种方法结果一致),建议同时使用这两种方法作比较研究,并认真核实差异原因,以期做出合理的解释。

值得注意的还有,无论哪种驱动因子识别方法,得出的结论都有自己的时效性、地域性,其结果只适用于某一特定时段、特定区域,只能用作短期、类似地域外推,不能盲目的推断未来十几年、甚至几十年的情况,也不能无限制的应用到任何地域。

4 结论与建议

4.1 结论

(1)以太湖为例,研究了“多元线性逐步回归法”及“偏相关系数分析法”对大堤型湖滨带生态系统健康状态的驱动因子识别,2种方法识别的驱动因子相同,即太湖主体营养状态、入湖河流污染负荷通量和岸带类型。

(2)3 个驱动因子的驱动力大小排序为:太湖主体营养状态 >岸带类型 >入湖河流污染负荷通量;且 3 者均是负驱动效应,也即太湖主体的营养状态综合指数越高、入湖河流污染负荷通量越重、岸带类型状况越差,湖滨带生态系统健康状态也就越差。

(3)从统计方法的原理及结果上解释了“风浪强度”没有入选为驱动因子的原因,这与许多湖泊研究专家发现风浪的不定性作用相符合。

4.2 建议

(1)加强对于环境学、生态学领域驱动因子的探讨,逐步完善驱动因子的概念、识别方法及模型研究的系统方法。

(2)风浪强度这个自然因素不是引起湖滨带生态系统健康差异的驱动因子,驱动因子是与人为活动密切相关的 3 个影响因素,因此,通过调整人类活动可以达到改善太湖湖滨带生态系统健康状态的目的。

(3)根据本文的研究结果,太湖湖滨带的生态修复的根本措施是减少入湖河流污染负荷通量,改善太湖主体水质。但是,减少大堤对湖滨带的负面影响,例如将大堤向陆域后撤 50m,增加滩地面积,为挺水植物和其它生物提供栖息空间,也能够直接改善太湖湖滨带的生态系统健康状况。

References:

- [1] Ye C. The Study on Ecology Restoration Engineering Model of Aquatic-Terrestrial Ecotone of Lake Erhai [D]. Beijing: Chinese Research Academy of Environmental Sciences, 1999.
- [2] 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.
- [3] Dao X, Zhou F, Guo H C. Driving forces analysis of transportation land use / land cover change in Beijing. *Research of Environmental Sciences*, 2008, 21(5): 207-213.
- [4] Pindyck R S, Rubinfeld D L. *Econometric Models and Economic Forecasts*//Qian X J, Trans. 4th ed. Beijing: China Machine Press, 2005.
- [5] Li C Z, Yu F L, Liu J, Bao W P, Du Z F. Comprehensive evaluation of water quality based on multivariate statistical analysis. *Journal of Water Resources and Water Engineering*, 2006, 17(4): 36-40.
- [6] Wang H Y, Yang F T, Liu L. Comparison and application of standardized regressive coefficient & partial correlation coefficient. *The Journal of Quantitative and Technical Economics*, 2006, 23(9): 150-155.
- [7] Jin X C, Xin W G, Lu S Y, Hu X Z, Deng Y X, Li Y J. Effect of polluted inflow river on water quality of lake bay. *Research of Environmental Sciences*, 2007, 20(4): 52-56.
- [8] Fan C X, Wang C X. *Environmental Geochemistry and Eutrophication of the Lakes in the Middle and Lower Reaches of the Yangtze River*. Beijing: Science Press, 2007: 167-201.
- [9] Hu W P, Hu C H, Zhang F B, Hu Z X, Chen Y G, Ji J, Luo L C, Qin B Q. On the emperical wind-wave height model in northern Lake Taihu, China. *Journal of Lake Sciences*, 2005, 17(1): 41-46.
- [10] 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. Study on ecosystem health assessment of the littoral zone of Lake Taihu. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(12): 3806-3815
- [11] Yan S W, Yu H, Zhang L L, Xu J, Wang Z P. Water quantity and pollutant fluxes of inflow and outflow rivers of lake Taihu, 2009. *Journal of Lake Sciences*, 2011, 23(6): 855-862.
- [12] 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.
- [13] Zhang J, Ma M T, Wang J P. Narration on regression analysis methods applied in environmental fields. *Environmental Science and Technology*, 2008, 21(Supplement 2): 40-43.
- [14] Yan L K. Application of correlation coefficient and biased correlation coefficient in related analysis. *Journal of Yunnan University of Finance and Economics*, 2003, 19(3): 78-80.
- [15] Liu K Q, Chen Z H, Zhou J L, Liu M. Variation of drought and flood disasters and its driven factors of recent 50-year in Hubei province. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2010, 29(3): 326-332.
- [16] Qin B Q, Hu W P, Chen W M. *The Water Environment Evolution and Mechanisms of Taihu Lake*. Beijing: Science Press, 2004: 110-134.
- [17] Liu W L, Hu W P, Chen Y G, Gu X H, Hu Z X, Chen Y W, Ji J. Temporal and spatial variation of aquatic macrophytes in West Taihu Lake.

Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(1): 159-170.

- [18] Lai G Y, Yu G, Gui F. Simulation assessment on nutrient transport in Taihu Lake Basin. Science China D: Earth Sciences, 2005, 35(Supplement II): 121-130.
- [19] Di Toro D M. Sediment Flux Modeling. New York: John Wiley and Sons Inc, 2001.
- [20] Liu E F, Shen J, Zhu Y X, Xia W L, Zhu G W. Source analysis of heavy metals in surface sediments of Lake Taihu. Journal of Lake Sciences, 2004, 16(2): 113-119.

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.
- [3] 刀谱, 周丰, 郭怀成. 北京市交通土地利用/覆盖变化驱动因子研究. 环境科学研究, 2008, 21(5): 207-213.
- [4] 平狄克 R S, 鲁宾菲而德 D L. 计量经济模型与经济预测//钱小军, 译. 4 版. 北京: 机械工业出版社, 2005.
- [5] 李传哲, 于福亮, 刘佳, 鲍卫锋, 杜子芳. 基于多元统计分析的水质综合评价. 水资源与水工程学报, 2006, 17(4): 36-40.
- [6] 王海燕, 杨方廷, 刘鲁. 标准化系数与偏相关系数的比较与应用. 数量经济技术经济研究, 2006, 23(9): 150-155.
- [7] 金相灿, 辛玮光, 卢少勇, 胡小贞, 邓义祥, 李英杰. 入湖污染河流对受纳湖湾水质的影响. 环境科学研究, 2007, 20(4): 52-56.
- [8] 范成新, 王春霞. 长江中下游湖泊环境地球化学与富营养化. 北京: 科学出版社, 2007: 167-201.
- [9] 胡维平, 胡春华, 张发兵, 胡志新, 陈永根, 季江, 罗敏葱, 秦伯强. 太湖北部风浪波高计算模式观测分析. 湖泊科学, 2005, 17(1): 41-46.
- [10] 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研究. 生态学报, 2012, 32(12): 3806-3815.
- [11] 燕姝雯, 余辉, 张璐璐, 徐军, 王振平. 2009 年环太湖入出湖河流量及污染负荷通量. 湖泊科学, 2011, 23(6): 855-862.
- [12] 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.
- [13] 张菁, 马民涛, 王江萍. 回归分析方法在环境领域中的应用评述. 环境科技, 2008, 21(增刊 2): 40-43.
- [14] 严丽坤. 相关系数与偏相关系数在相关分析中的应用. 云南财贸学院学报, 2003, 19(3): 78-80.
- [15] 刘可群, 陈正洪, 周金莲, 刘敏. 湖北省近 50 年旱涝灾害变化及其驱动因素分析. 华中农业大学学报, 2010, 29(3): 326-332.
- [16] 秦伯强, 胡维平, 陈伟民. 太湖水环境演化的过程与机理. 北京: 科学出版社, 2004: 110-134.
- [17] 刘伟龙, 胡维平, 陈永根, 谷孝鸿, 胡志新, 陈宇炜, 季江. 西太湖水生植物时空变化. 生态学报, 2007, 27(1): 159-170.
- [18] 赖格英, 于革, 桂峰. 太湖流域营养盐物质输移模拟评估的初步研究. 中国科学 D 辑: 地球化学, 2005, 35(增刊 II): 121-130.
- [20] 刘恩峰, 沈吉, 朱育新, 夏威夷, 朱广伟. 太湖表层沉积物重金属元素的来源分析. 湖泊科学, 2004, 16(2): 113-119.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 12 June, 2012 (Semimonthly)

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 cathcartii</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: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