

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第33卷 第9期 Vol.33 No.9 **2013**

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 33 卷 第 9 期

2013 年 5 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

- 可持续发展研究的学科动向 茶 娜, 邬建国, 于润冰 (2637)
- 代谢异速生长理论及其在微生物生态学领域的应用 贺纪正, 曹 鹏, 郑袁明 (2645)
- 植物内生菌促进宿主氮吸收与代谢研究进展 杨 波, 陈 晏, 李 霞, 等 (2656)
- 中国园林生态学发展综述 于艺婧, 马锦义, 袁韵珏 (2665)

个体与基础生态

- 基于最小限制水分范围评价不同耕作方式对土壤有机碳的影响 陈学文, 王 农, 时秀焕, 等 (2676)
- 草原土壤有机碳含量的控制因素 陶 贞, 次旦朗杰, 张胜华, 等 (2684)
- 外源钙离子与南方菟丝子寄生对喜旱莲子草茎形态结构的影响 车秀霞, 陈惠萍, 严巧娣, 等 (2695)
- 毛竹出笋后快速生长期茎秆色素含量与反射光谱的相关性 刘 琳, 王玉魁, 王星星, 等 (2703)
- 巴郎山异型柳叶片功能性状及性状间关系对海拔的响应 冯秋红, 程瑞梅, 史作民, 等 (2712)
- 外源磷或有机质对板蓝根吸收转运砷的影响 高宁大, 耿丽平, 赵全利, 等 (2719)
- 不同猎物饲喂对南方小花蝽捕食量和喜好性的影响 张昌容, 郅军锐, 莫利锋 (2728)
- 捕食风险对东方田鼠功能反应格局的作用 陶双伦, 杨锡福, 姚小燕, 等 (2734)
- 基于线粒体细胞色素 c 氧化酶亚基 I 基因序列的帘蛤科贝类分子系统发育研究
..... 程汉良, 彭永兴, 董志国, 等 (2744)
- 不同实验生态环境对海刺猬遮蔽行为的影响 常亚青, 李云霞, 罗世滨, 等 (2754)

种群、群落和生态系统

- 基于 RS 与 GIS 的赣江上游流域生态系统服务价值变化 陈美球, 赵宝华, 罗志军, 等 (2761)
- 长江口及邻近海域富营养化指标响应变量参照状态的确定 郑丙辉, 朱延忠, 刘录三, 等 (2768)
- 长江口及邻近海域富营养化指标原因变量参照状态的确定 郑丙辉, 周 娟, 刘录三, 等 (2780)
- 鸭绿江口及邻近海域生物群落的胁迫响应 宋 伦, 王年斌, 杨国军, 等 (2790)
- 杭州西溪湿地大型底栖动物群落特征及与环境因子的关系 陆 强, 陈慧丽, 邵晓阳, 等 (2803)
- 生物土壤结皮对荒漠土壤线虫群落的影响 刘艳梅, 李新荣, 赵 昕, 等 (2816)
- 大棚模拟条件下角倍蚜春季迁飞数量动态及其与气象因子的关系 李 杨, 杨子祥, 陈晓鸣, 等 (2825)
- 宁南山区植被恢复对土壤团聚体水稳定及有机碳粒径分布的影响 程 曼, 朱秋莲, 刘 雷, 等 (2835)
- 1958—2008 年太白山太白红杉林碳循环模拟 李 亮, 何晓军, 胡理乐, 等 (2845)
- 不同干扰对黄土区典型草原物种多样性和生物量的影响 陈芙蓉, 程积民, 刘 伟, 等 (2856)
- 乌拉山自然保护区白桦种群的年龄结构和点格局分析 胡尔查, 王晓江, 张文军, 等 (2867)
- 西南干旱对哀牢山常绿阔叶林凋落物及叶面积指数的影响 纪金华, 章永江, 张一平, 等 (2877)
- 阿尔泰山小东沟林区乔木物种丰富度空间分布规律 井学辉, 曹 磊, 臧润国 (2886)

景观、区域和全球生态

太湖流域生态风险评价 许妍,高俊峰,郭建科 (2896)

基于 GIS 的关中-天水经济区土地生态系统固碳释氧价值评价 周自翔,李晶,冯雪铭 (2907)

资源与产业生态

淹水条件下控释氮肥对污染红壤中重金属有效性的影响..... 梁佩筠,许超,吴启堂,等 (2919)

研究简报

高温强光对小麦叶绿体 Deg1 蛋白酶和 D1 蛋白的影响及水杨酸的调节作用
..... 郑静静,赵会杰,胡巍巍,等 (2930)

不同 CO₂ 浓度变化下干旱对冬小麦叶面积指数的影响差异 李小涵,武建军,吕爱锋,等 (2936)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 308 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 32 * 2013-05



封面图说: 肥美的当雄草原——高寒草甸是在寒冷的环境条件下,发育在高原和高山的一种草地类型。其植被组成主要是多年生草本植物,冬季往往有冰雪覆盖,土壤主要为高山草甸土。当雄草原位于藏北高原,藏南与藏北的交界地带,海拔高度为 5200—4300m,受海洋性气候影响,呈现高原亚干旱气候,年平均降水量 293—430mm。主要有小嵩草草甸、藏北嵩草草甸和沼泽草甸等,覆盖度为 60%—90%,其中小嵩草草甸分布面积最大,连片分布于广阔的高原面上。高寒草甸草层低,草质良好,是畜牧业优良的夏季牧场。

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

DOI: 10.5846/stxb201202110180

许妍, 高俊峰, 郭建科. 太湖流域生态风险评价. 生态学报, 2013, 33(9): 2896-2906.

Xu Y, Gao J F, Guo J K. The ecological risk assessment of Taihu Lake watershed. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(9): 2896-2906.

太湖流域生态风险评价

许 妍^{1,*}, 高俊峰², 郭建科³

(1. 国家海洋环境监测中心, 大连 116023; 2. 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 南京 210008;

3. 辽宁师范大学海洋经济与可持续发展研究中心, 大连 116029)

摘要: 随着城镇的急剧扩张和经济的快速增长, 流域生态环境遭到极大冲击和破坏, 致使生态系统出现资源退化、环境恶化与灾害风险加剧的趋势, 生态环境面临前所未有的挑战。从复合生态系统入手, 深入分析流域内各生态系统要素之间的相互作用与影响机制, 综合考虑多风险源、多风险受体和生态终点共存情况下的风险大小, 从风险源危险度、生境脆弱度及受体损失度三方面构建了流域生态风险评价技术体系, 并选取太湖流域为实证区域, 对太湖流域 2000 年、2008 年两个时期生态风险的时空演化特征进行评价与分析。结果表明: 太湖流域生态风险指数介于 0.015—0.253 之间, 以中等和较低生态风险为主。至 2008 年, 高、较高生态风险所占面积逐渐扩大, 已由 2000 年的 5.66%、13.42% 增加至 6.05%、18.42%, 主要集中在流域北部的常州市区、江阴市大部分地区以及无锡市区。

关键词: 风险源; 受体; 生态风险; 综合评价; 太湖流域

The ecological risk assessment of Taihu Lake watershed

XU Yan^{1,*}, GAO Junfeng², GUO Jianke³

1 National Marine Environmental Monitoring Center, Dalian 116023, China

2 Nanjing Institute of Geography & Limnology, Academy of Sciences, Nanjing 210008, China

3 Center for Studies of Marine Economy and Sustainable Development of Liaoning Normal University, Dalian 116029, China

Abstract: The ecological environment of watersheds has suffered from great shock and damage due to the rapid urban expansion and economic growth. This results in a trend of resource degradation, environmental degradation, disaster exacerbation, as well as the great challenge existing in ecological environment. In order to inhibit the deterioration of ecological environment and improve the human living environment, the ecological environment has been widely studied, resulting in increasing understanding of the environmental assessment. In recent years, with the transformation of environmental management goal and environmental concept, the ecological risk assessment (ERA) is becoming a key issue of ecological research as an important tool used in ecological management. During the last two decades, the study of the ecological risk assessment has been switched from biological toxicology and the effect of single chemical pollutant on environment and human health to the effect of nature disaster, the human activities (e.g., the land use, urbanization process) on the ecosystem in a large scale (e.g., the landscape, regional scales). Reference to the related research of ecological risk assessment, the paper investigates the interaction and influence mechanism among different watershed ecosystems, and assesses watershed ecological risk under the situation of multiple risk sources, risk factors, multi-endpoint and ecological receptors coexistence. Then, an index system including the hazard indicators of risk sources, the vulnerability indicators of habitats as well as the potential loss of risk receptors is build. The assessment technology system

基金项目: 水专项 (2012ZX07501-001-03, 2012ZX07506-001); 中国科学院重点项目 (NIGLAS2012135005); 国家海洋局青年海洋科学基金 (2013125)

收稿日期: 2012-02-11; **修订日期:** 2012-11-15

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yxu@nmemc.gov.cn

is mainly composed of comprehensive model, index system, level division and assessment unit. Finally, according to the assessment technology system build before to assess the ecological risk of Taihu Lake watershed in 2000 and 2008 using ArcGIS technologies, and then discuss the spatial-temporal evolution characteristics and the trends of ecological risk development based on the assessment results. The results show that the ecological risk values of Taihu Lake watershed range between 0.015 and 0.253, which mainly belongs to medium and low level according to the division standard of ecological risk level. The areas of higher and high level of ecological risk increased from 5.66% and 13.42% in 2000 to 6.05%, 18.42% in 2008, and number of total increasing area about 1696.13km², which mainly concentrated in the northern of watershed, such as Changzhou, Wuxi, Jiangyin City, Suzhou City, Wujiang City, Yixing City, et al. According to the characteristic of different ecological risk level areas, we put forward differentiation risk management policy to improve ecological environment and maintain the stable situation of ecological system. In addition, we also give a brief evaluation of the trend of ecological risk areas, and the corresponding suggestion to control the risk. The paper will provide decision-making support and theoretical support for watershed ecological risk and environment management.

Key Words: risk source; risk suffer; ecological risk; comprehensive evaluation; Taihu Lake watershed

流域是人类主要的生居场所,流域内的水、土、环境、生物资源等在维系人类社会的生存与发展中发挥着不可替代的作用。同时,湖泊、河流及其流域作为栖息地也为生物的繁衍和多样性维持提供了保障。流域作为一类复杂的自然地理区域,以地表水和地下水为主要纽带,密切链接水循环、土地覆被、生态系统等自然支撑系统。纵观历史文明古国和当代经济最发达的地区莫不是大型流域所在。随着城镇的急剧扩张和经济的快速增长,流域生态环境遭到极大冲击和破坏,致使生态系统出现资源退化、环境恶化与灾害加剧的趋势,生态环境面临前所未有的挑战^[1]。为了抑制生态环境恶化,改善人类生存环境,世界各国已开展了大量有关生态环境的研究,在环境评价方面也不断深化。近年来,随着环境管理目标和环境观念的转变,生态风险评价(ERA)作为一种重要的生态环境管理手段,正逐渐兴起并成为国内外学术界研究的热点问题之一^[2-4]。作为生态学、灾害学、地学以及资源与环境科学的前沿和主要研究领域,国内外许多学者及研究机构从理论与方法上对生态风险进行了探索,历经 20 余年的发展,生态风险评价已由生物毒理及单一化学污染物对环境和人类健康影响的研究逐渐转向景观、区域等大尺度空间内自然灾害、人类活动(包括土地利用、城市化)等生态风险评价^[5-6]。风险源从单一风险源扩展到多风险源,风险受体从单一受体发展到多种受体,评价范围也从种群、生态系统扩展到区域、流域水平^[7-10]。目前,关于太湖流域生态风险的研究还相对薄弱,仅有化学污染、洪涝灾害等单一风险源的评价,综合和定量研究相对较少^[11-16]。

太湖流域位于长江三角洲,是我国经济最发达地区之一,也是灾害频发区。太湖流域生态风险研究对区域经济增长战略的实施起着关键性的作用,在维护流域生态系统功能、加强流域生态系统管理、保障流域生态安全方面具有重要意义。

1 流域生态风险发生机理

流域生态风险系统是一个复杂的巨系统,由风险源(R)、生境(E)、风险受体(S)复合组成了流域生态风险的结构体系,这一结构体系强调把生境与风险受体分开,系统内的各要素具有同等重要性。 R 是风险产生的充分条件, S 是放大或缩小风险的必要条件, E 是影响 R 和 S 的背景条件,任何一个区域的生态风险都是 R 、 E 、 S 综合作用的结果。相应的由风险源危险度(H)、生境脆弱度(V)及风险受体损失度(L)共同构成了生态风险的功能体系。系统内生态风险各要素之间相互联系、相互影响、相互制约,是一个不断释放-传递-危害-响应-控制的复合高阶演变过程。在流域生态风险评价中,不同风险源向生境释放出各类型的胁迫因子,从而对存在生境中的多种受体造成诸多负面效应(图 1)。危险度指数、脆弱度指数及损失度指数是流域生态风险评价的三大影响因素,也是生态风险评价的 3 个基本目标,与目标函数(生态风险)呈正相关关系,即风险源危险度越大,生态环境越脆弱,风险受体潜在损失度越大,生态风险就越大。

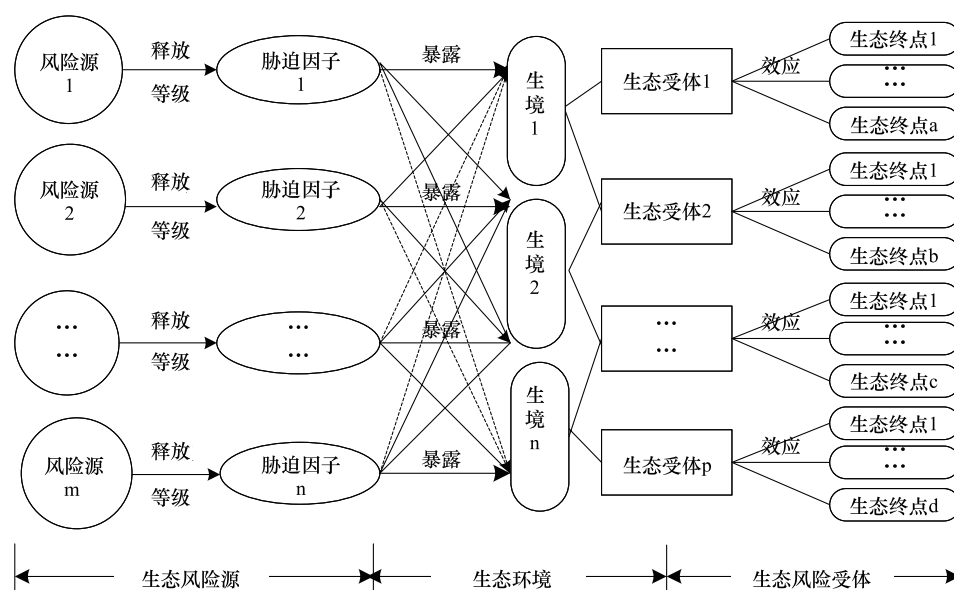


图1 流域生态风险发生过程简易图

Fig. 1 The diagram of ecological risk process

2 研究方法与数据来源

2.1 研究方法

就生态系统而言,灾害性事件的产生多为外界胁迫因素与系统内部生态结构不稳定因素共同作用的结果。外界胁迫作用于生态系统的表现即为外界干扰,而生态系统是否稳定,主要表现在抗外界干扰能力上,外界干扰强度越大,生态系统抗干扰能力越弱,发生风险的概率也就越大。本研究根据流域生态风险发生机理及概念模型^[17],综合考虑风险源、生境、风险受体等生态风险影响因素之间的相互作用关系,从危险度-脆弱度-损失度 3 个层次构建流域生态风险评价模型:

流域生态风险(ER)= f (危险度(H),脆弱度(V),损失度(L))

该模型从宏观角度综合考虑各种风险因素对流域复合生态系统的影响,具有较强的灵活性和实用性。具体计算公式为:

$$ER = \sum_{i=1}^n H \cdot V \cdot L \quad (1)$$

式中, ER 为流域生态风险指数; H 为风险源危险度; V 为生境脆弱度; L 为风险受体损失度; i 为评价单元(网格)编号; n 为评价单元数量。

2.1.1 风险源——危险度

风险源指对生态环境产生不利影响的一种或多种化学、物理或生物风险来源^[18]。大尺度的风险受体(生态系统)往往暴露于多重风险源之下,它们所受的干扰是多重风险源相互叠加的结果。本文针对复合风险源特点,引入相对权重系数来区分不同类型、不同等级风险源对风险受体的危险度差异,采用风险源危险度指数 H 来表征不同风险源的发生概率及强度,公式如下:

$$H = \sum_{i=1}^n \beta_i \cdot RH_i (i = 1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

式中, RH_i 为第 i 类风险源危险度; β_i 表示第 i 类风险源权重; i 为生态风险源类别; n 为风险源类型总数。其中:

$$RH_i = \sum_{j=1}^m \lambda_{ij} \cdot R_{ij} (j = 1, 2, \dots, m) \quad (3)$$

式中, R_{ij} 为第 i 类第 j 级风险源危险度指数; i 为风险源类别; j 为第 i 类风险源的等级数; m 为总级别数; λ_{ij} 为第 i 类第 j 级风险源权重。本文是基于流域尺度的研究, 因此, 风险源只考虑发生强度大、范围广、影响深的自然灾害及人为活动。

2.1.2 生境——脆弱度

生境是风险受体暴露于风险源及胁迫因子的生态环境^[19], 它即是风险源孕育、发展、暴发的外界环境条件, 又是风险受体生存所依赖的内部环境。不同生态环境在维护生物多样性、保护物种、完善生态系统整体结构和功能、促进景观结构自然演替等方面的作用是有差别的^[20]。因此, 生态脆弱度评估是反映相同外界干扰条件下, 生态系统产生生态失衡与生态环境问题的可能性^[21-22], 是联系风险源与风险受体的桥梁。通过查阅大量文献资料^[23-26], 并与相关领域专家进行讨论, 最终从自然、生态、社会等脆弱影响因素出发, 选取地面高程、坡度、土壤质地、多年平均降雨量、 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温、植被覆盖率、净初级生产力、Shannon 多样性指数、景观格局指数、土地利用程度等指标, 对生境脆弱程度进行定量分析。具体计算公式为:

$$V = W_n \cdot N + W_e \cdot E + W_h \cdot H \quad (4)$$

其中:

$$N = \sum_{i=1}^m W_i \cdot N_i, E = \sum_{i=1}^m W_i \cdot N_i, H = \sum_{i=1}^m W_i \cdot N_i$$

式中, V 表示生境脆弱度指数; N 、 E 、 H 分别为生态环境中自然因素、生态因素及社会因素的脆弱程度; N_i 、 E_i 、 H_i 分别为各因素第 i 种指标的归一化值; W 为指标权重值 (运用 AHP 方法确定自然、生态、社会因素权重分别为: 0.46、0.31、0.23); m 为评估指标的数目。

2.1.3 风险受体——损失度

风险受体是指生态系统中可能受到风险源不利作用的组成部分, 它应该能够及时准确的对环境要素的改变作出响应, 能够表征受体的风险效应。风险受体损失度评估即自然灾害事件及人类破坏活动等发生后对风险承受者具有的负面影响。这些影响除对社会经济具有直接的扰动和打击外, 还可能导致生态系统结构和功能损伤。因此, 损失度不仅应体现社会经济的损失情况, 更应表征自然生态系统自身的变化。由于风险具有不确定性, 风险导致的损失也是不确定的, 因而生态系统的绝对损害程度难以量化。本文采用相对评估法, 选取自然生态系统面积、人口密度、人均 GDP 及区域应急保障措施等指标表征生态系统及其组分可能遭受的损害程度。

2.2 数据来源与处理

(1) 风险源

本文生态风险源中洪涝灾害数据主要通过查阅和统计历史灾害记录及图片资料获得; 干旱灾害主要依据各地区气象监测站的降雨量和蒸发量数据间接计算得到; 极端气象灾害通过《中国自然灾害时空格局》、《中国自然灾害系统地图集》等有关地图数字化提取相关信息; 土壤侵蚀来自全国 1:10 万比例尺土壤侵蚀数据库; 工业污染企业点位数据及生活污水排放来自流域污染普查; 农田污染、畜禽污染、水产污染及村落污染等面源污染排放量则通过污染源普查及查阅各市 (县) 环境统计公报、环境质量报告书等资料获得。

(2) 生境

DEM 数据主要为 SRTM DEM, 其空间分辨率精度约为 90 m; 坡度 $> 20^\circ$ 面积比则通过 DEM 生成流域坡度图提取获得; 水面率、森林覆盖率、建设用地比例来自 2000 年、2008 年两个时期 Landsat 遥感影像 (空间分辨率 30 m) 解译得到土地利用矢量数据; 多年平均降雨量及 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温来源于中科院资源环境科学数据中心, 利用 GIS 软件对太湖流域进行裁剪获取, 后通过统计每个评估单元内降雨量和温度值得到空间栅格数据; 土壤类型来源于中国环境科学研究院, 并在 GIS 软件中将土壤类型矢量数据转换为栅格数据; 初级生产力 (NPP) 利用基于资源平衡观点的光能利用率概念模型, 由植物吸收的光合有效辐射 APAR 以及光能利用率求得; 蔓延度、景观生态格局指数、生物多样性指数等主要通过 FRAGSTATS 软件计算获得。

(3) 风险受体

人口密度、人均 GDP、粮食产量、每千人医疗床位数等指标主要通过城市统计年鉴、市(县)社会经济统计年鉴及中国民政统计年鉴查阅获得;自然生态系统面积来自土地利用数据库。

通过标准化消除数据量纲,将各指标映射到 5 km×5 km 的网格内,并依据三大体系构建数据库,作为太湖流域生态风险评价的数据基础。

3 流域生态风险三大影响因素分析

3.1 风险源-危险度

运用风险源危险度评价公式,分析了洪涝、干旱、极端气象、土壤侵蚀、污染物排放等主要生态风险源发生强度及分布范围(图 2);通过图层加权叠置得到流域内综合生态风险源危险度。从图 2 可见,流域内风险源危险度具有显著的空间分异特征,整体呈现环带状分布格局。

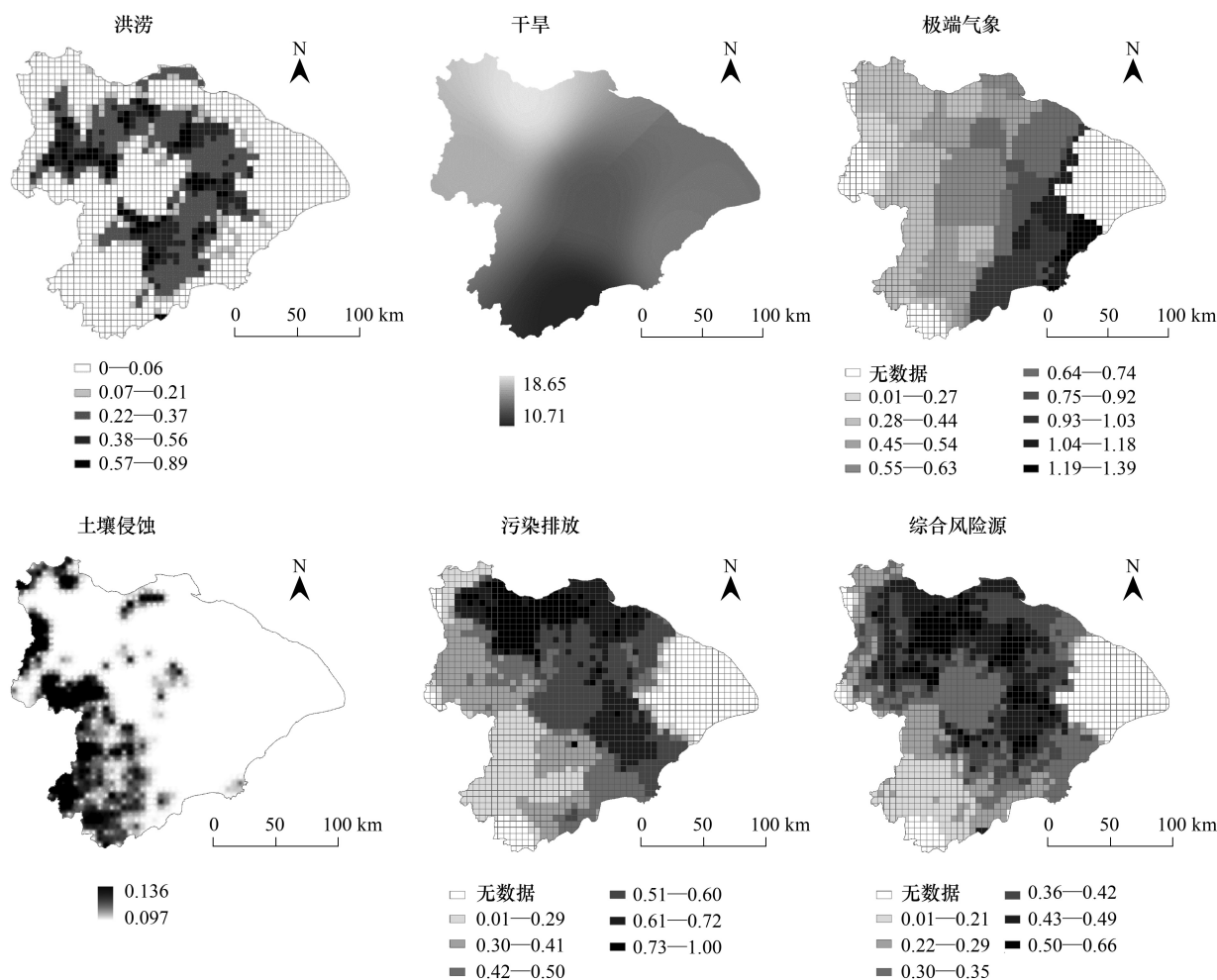


图 2 研究区生态风险源危险度分布图

Fig. 2 The spatial distribution of ecological risk sources hazard

通过 ArcGIS 自然断点法将评价单元内风险源危险度指数由低到高依次划分为 5 个等级,统计分析得到不同等级危险区所占比例及其分布范围。高危险区面积为 3684.87 km²,占流域面积的 11.72%,集中分布在环太湖一带的北部区域,包括常州市区的大部分、无锡市的西北部、苏州市东北部一带及吴江市的北部区域,该区生态系统和整个景观的生态功能受到的外界胁迫高于其他地区;风险源较高危险区主要呈“西北—北—东北—东”半环状分布格局,所占比例为 24.52%;危险度较低的区域集中在流域西南部的苕溪流域一带,面积占 15.66%,包括安吉县的大部分区域、德清县的西部、杭州市区的西部。通过对 5 种生态风险源的贡献率进行排序,确定最大贡献率的风险源为主导风险源。结果表明(表 1):全流域有 59.9% 的区域以污染排放为

主导风险源,面积为 18836.53 km²,主要分布在镇江—宜兴—长兴—安吉一线以东的地区;25.45%的区域主导风险源为干旱,主要集中在镇江—宜兴—长兴—安吉一线以西;12.44%的区域则以洪涝灾害为主导风险源,集中分布在湖州、宜兴等地;而以土壤侵蚀、极端气象灾害作为主导风险源地区相对较为分散,所占比例较小。

表 1 太湖流域主导生态风险源统计结果

Table 1 The statistical results of dominant ecological risk sources in Taihu watershed

主导风险源类型 Dominant risk source type	网格数/个 Grid/No.	面积/km ² Area/km ²	所占比例/% Proportion/%
干旱灾害 Drought Disaster	359	8002.49	25.45
洪涝灾害 Flood Disaster	157	3911.28	12.44
土壤侵蚀 Soil Erosion	17	362.28	1.15
极端气象灾害 Extreme Weather	16	332.36	1.06
污染排放 Pollution Emission	801	18836.53	59.9

3.2 生境-脆弱度

根据已有数据库,将各单项脆弱度评价因子统一分配到网格单元内,运用公式 3 求得综合生境脆弱度指数。由图 3 可见,太湖流域生态脆弱度整体呈现四周高中间低、南部高于北部、东部高于西部的空间分布特征,大体以太湖为中心,由内及外逐步升高,具有显著的地域分异规律。

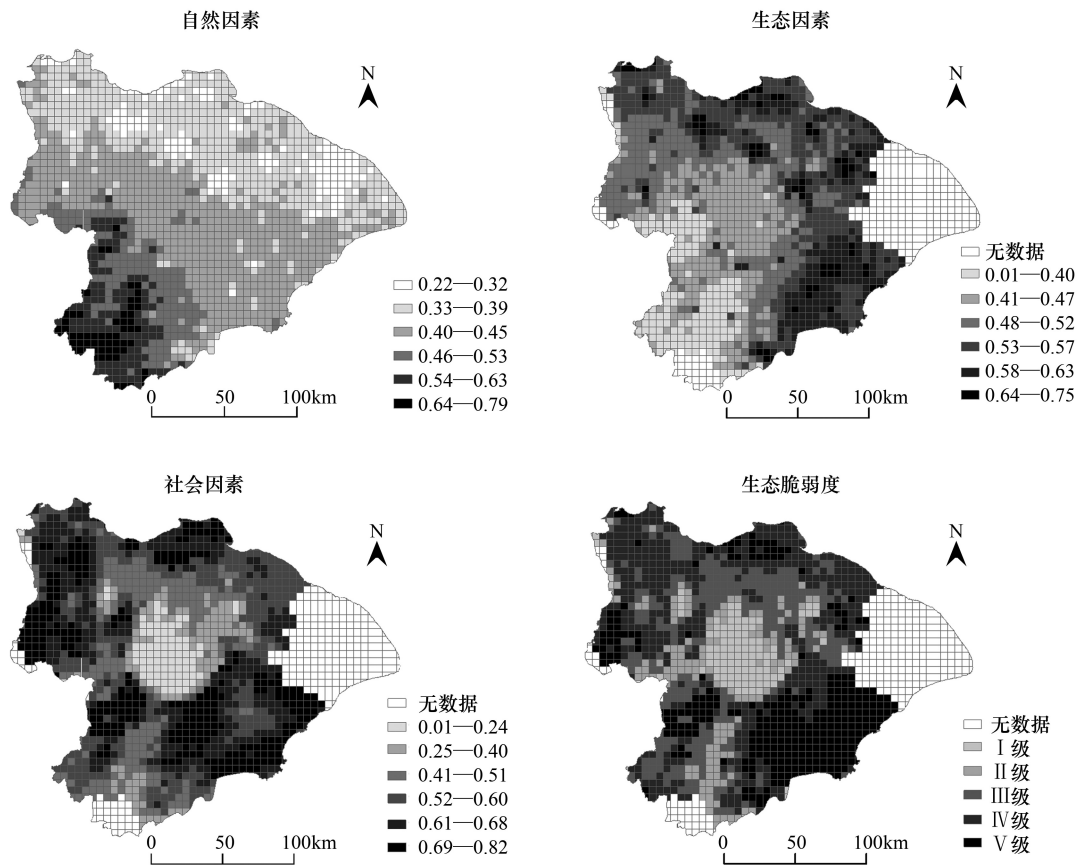


图 3 各单项因子及综合生态脆弱度空间分布

Fig. 3 The spatial distribution of each factor and comprehensive ecological vulnerability

太湖流域综合生态脆弱度指数介于 0.301—0.573 之间,根据全国生态脆弱分级标准^[27],太湖流域以中度脆弱和轻度脆弱为主。为便于分析流域内部生态脆弱的空间差异特征,运用 ArcGIS 自然断点法对轻度脆

弱区和中度脆弱区进一步细分,划分为 I 级—V 级。评估结果表明,太湖流域以中度 IV 级、中度 V 级生态脆弱为主,占流域总面积的 32.63% 和 29.37%。V 级生态脆弱区集中分布在流域东南部的杭嘉湖平原区及西苕溪流域;IV 级生态脆弱区则主要分布在北部沿江区域及湖西平原的茅山低山丘陵一带,还有少部分集中在 V 级生态脆弱区外围。这些区域生态系统稳定性差、环境容量小、组织结构不合理、弹性度弱、对外界干扰敏感性强、遭遇破坏后其生态环境恢复力差。低生态脆弱区的面积较小,主要集中在南部天目山山脉、自然湖荡及其周边地区,生态系统稳定性较高,有较强的抗外界干扰能力,生态系统破坏后,自然恢复能力较强。通过上述分析可知,太湖流域无论在水体、湖荡、山地、平原,几乎均受到生态环境恶化的威胁和侵蚀,毗邻城市、人类活动频繁的区域更为严重。

3.3 风险受体-损失度

(1) 自然生态系统

由于自然经济特点及景观特征不同,生态系统和生态系统服务类型空间分布具有明显异质性,不同区域生态系统服务价值存在巨大差异。本研究主要参考中国生态系统单位面积生态服务价值当量^[28]中自然生态系统的生态服务价值量并结合本地实际状况对各景观生态系统的价值量进行修订,计算太湖流域各类自然生态系统的生态服务功能价值(图 4)。

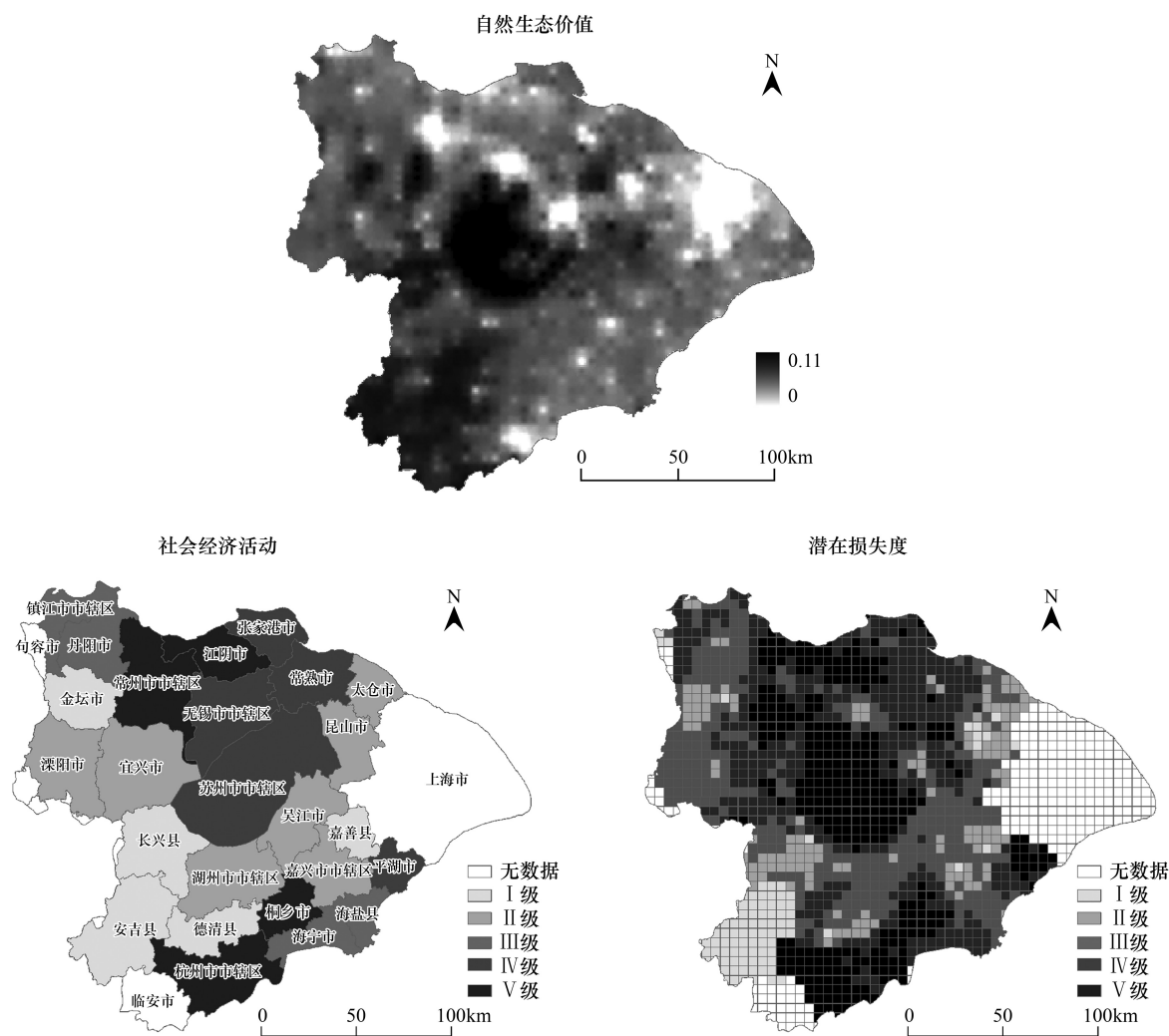


图 4 自然生态系统、社会经济系统、综合生态系统潜在损失度

Fig. 4 The potential loss degree of nature, social economic system and comprehensive ecosystem

(2) 社会经济系统

从系统特征分析出发,参考各指标的均值和标准差,并依据各指标对社会经济系统损失的影响,将其分为 5 个等级,赋予相应的分值,运用综合评估法对社会经济系统潜在损失进行评价。结果表明(图 4)北部区域及杭嘉湖平原的杭州市区、平湖市、桐乡市社会经济潜在损失度较高;安吉县、长兴县、德清县相对经济落后、人口密度较小。因此,当面临相同等级风险时,其潜在损失度低于其他地区。

根据自然生态系统的服务功能价值与社会经济系统潜在损失度进行风险受体潜在损失度评价,结果如图 4。潜在损失较大的区域集中在太湖湖体及北部发达区域、杭州市区西部、海宁市和平湖市。随着经济水平提高和人口密度增加,大部分区域的综合损失度水平呈升高趋势,小部分区域由于区内社会保障措施不断完善或生态价值高的景观逐渐减少而导致潜在损失度减小。

4 综合生态风险评价结果

4.1 空间分布规律

将上述风险源危险度、生境脆弱度及风险受体损失度的分析结果导入 ArcGIS,根据生态风险评价模型,计算得到太湖流域生态风险的时空分布情况。生态风险范围值处于 0.015—0.253 之间,采用 ArcGIS 自然断点法将生态风险程度划分为 5 个等级,分别为低 0—0.063,较低 0.063—0.096,中 0.096—0.127,较高 0.127—0.162 及高 0.162—0.253。

从图 5 可见,太湖流域生态风险空间差异显著,具有明显的空间集聚特征。高生态风险区主要位于风险发生概率和综合生态损失度均较高的北部常州市区、江阴市大部分地区以及无锡市区、苏州市区、吴江市、宜兴市的北部区域,约占流域的 24.47%。这一区域地势较低,主要环绕太湖分布,人类干扰强度较大,水质污染严重、水域生态系统非常脆弱,受污染、洪涝、干旱、极端气象等多种风险源综合作用,区内生态系统受到较大的负面影响。此外,该区是流域经济最发达、人口最稠密的地区之一,又是引用水源保护区,因此,其潜在的生态风险程度较高,是高风险度-高脆弱度-高损失度区域。

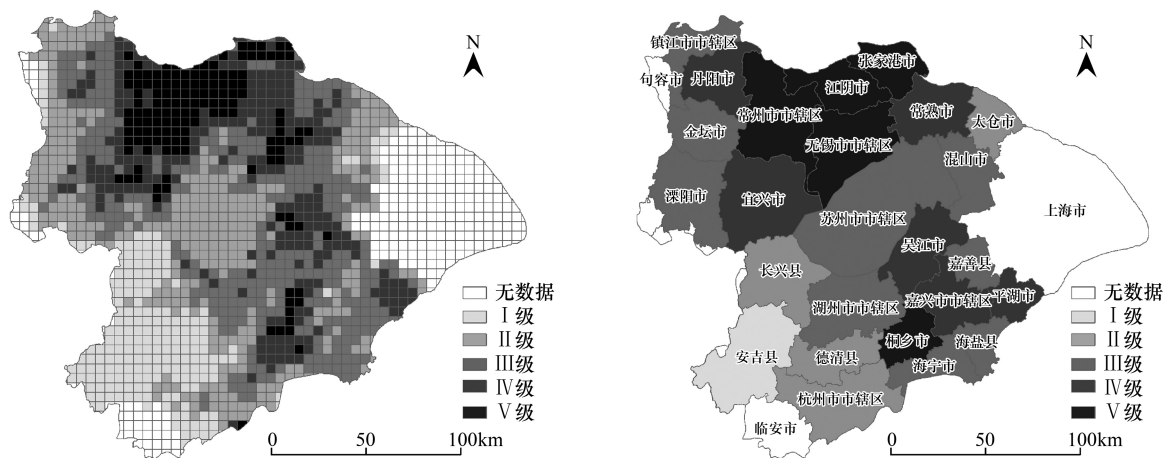


图 5 流域生态风险空间分布图

Fig. 5 The spatial distribution of watershed ecological risk

中等生态风险区域约占 32.11%,位于湖西丹阳市、金坛市等农业灌溉区及东南部的杭嘉湖平原。湖西丘陵山地一带是流域内土壤侵蚀较为敏感区,杭嘉湖平原一带虽然风险源危险度相对于北部区低,但由于该区地势平坦,自然条件优良,存在较强的人为干扰,且有较多的破碎化林地和水域,自身的稳定性较差,生态系统较脆弱,受到破坏后不易恢复,属于中危险度-高脆弱度-中损失度区域。

位于流域南部的苕溪流域为低和较低生态风险区,约占流域的 43.42%,该区属于太湖流域上游区,地势较高,主要生境类型为林地、草地等,由于受到的人类活动干扰较小,景观完整度高,发生景观破碎化的概率较低,其生态脆弱度较小。此外,该区人口密度低、经济水平相对落后,因此,当发生生态事故后,其风险受体潜

在损失度较小,属于低危险度-低脆弱度-低损失度区域。

4.2 时序演化特征

通过对研究区 2000 年、2008 年两个时期各等级生态风险所占面积进行统计(表 2)得到,生态风险变化存在以下趋势:较低生态风险区的范围明显缩小,中等生态风险和较高生态风险区的面积逐步扩大。2000 年太湖流域以较低生态风险为主,面积为 9825.46 km²,约占总面积的 31.25%。至 2008 年,较低生态风险面积缩减至 9101.81 km²,所占比例降至 28.95%;中等生态风险面积不断扩大,其所占比例也由之前的 26.97% 上升至 32.11%,成为流域内主要生态风险等级。高、较高生态风险所占比例由 2000 年的 5.66%、13.42% 增加至 2008 年的 6.05%、18.42%,增加面积共计 1696.13 km²。将区内前期生态风险指数作为该时段的相对基准,以其后期与前期生态风险之差计算生态风险的相对变化,如果为正值说明生态风险呈增加趋势,零表明未有变化,负值说明生态风险减小。从生态风险指数变化情况得知,7.3% 的评价单元生态风险未有变化,72.78% 的评价单元生态风险呈增加趋势,约 19.92% 的评价单元呈现减小趋势,集中分布于太湖流域北部一带,主要为常州市区、无锡市区及苏州市区、昆山市的中心区域,主要原因有:一方面,“退耕还林”、“退田还湖”等生态措施的实施,改善了生态环境,提高了抗风险能力;另一方面,随着社会保障水平的不断完善,减少了风险受体潜在损失度。

表 2 流域内不同等级生态风险分布情况
Table 2 The distribution of ecological risk in different levels

年份 Year	统计项目 Statistic	生态风险 Ecological risk				
		低生态风险 Low	较低生态风险 Lower	中等生态风险 medium	较高生态风险 Higher	高生态风险 Highest
2000	单元个数 Number	321	421	356	176	76
	面积 Area/km ²	7138.39	9825.46	8482.23	4218.89	1779.97
	占总面积比 Proportion/%	22.70	31.25	26.97	13.42	5.66
2008	单元个数 Number	207	401	418	244	80
	面积 Area/km ²	4550.18	9101.81	10097.96	5792.09	1902.9
	占总面积比 Proportion/%	14.47	28.95	32.11	18.42	6.05

5 结论与建议

本文从风险源危险度-生境脆弱度-风险受体损失度三方面构建了流域综合生态风险评价指标体系,对太湖流域进行了生态风险评价。结果表明:

流域生态风险整体呈现北高南低,东高西低的空间分布格局。太湖流域北部经济发达区、东部沿海地带是生态风险等级最高的区域,此区风险源发生概率高、环境易损性大、生态资产价值高是导致高风险的主要因素,因此,应降低风险源强度,特别要加强面源污染和点源污染的控制,积极实施“退耕还林”、“退耕还草”、“退田还湖”等措施,降低生态环境脆弱性,提高抗风险能力。此外,城市化、工业化过程导致土地利用格局改变、景观破碎度增加,生态系统遭受较大外界干扰,也是导致高风险的原因之一,因此,应加强土地利用规划与调整,控制人类过度开发,维持生态系统正常功能。

低生态风险区主要分布于西部的低山丘陵区 and 植被覆盖度较高的浙西山区,这一带综合风险源危险度较低,主要生态风险源为土壤侵蚀、极端气象。区内分布有龙王山自然保护区、大汉七十二峰等,植被覆盖度高,生态环境整体良好。未来应在保护现有森林植被基础上,对土壤侵蚀区的坡耕地实施“退耕还林还草”政策,在宜林荒山荒地进行植树造林,改善生态环境,降低生态脆弱度。同时,加大水土保持、生态建设重要性的宣传力度,增强人们的忧患意识。

References:

- [1] Li Y, Guo H C, Huang K, Yu Y J, Da Y L, Mao Z G. The theories and methods of lake-watershed ecosystem Management (LWEM). Acta

- Ecologica Sinica, 2007, 27(12): 5352-5360.
- [2] Hunsaker C T, Graham R L, Suter G W II, O'Neill R V, Bainthouse L W, Gardner R H. Assessing ecological risk on a regional scale. Environmental Management, 1990, 14(3): 325-332.
- [3] Glenn W, Suter G WII, Susan B, Barnthouse L W. The evolution of frameworks for ecological risk assessment from the Red Book Ancestor. Human and Ecological Risk Assessment, 2003, 9(5): 1349-1360.
- [4] Shen Y W, Cao H F. Review of ecological risk assessment methods. China Environmental Science, 1991, 11(6): 464-468.
- [5] Domene X, Ramírez W, Mattana S, Alcañiz J M, Andrés P. Ecological risk assessment of organic waste amendments using the species sensitivity distribution from a soil organisms test battery. Environmental Pollution, 2008, 155(2): 227-236.
- [6] Zhou S J, Shane P, Griffiths. Sustainability assessment for fishing effects (SAFE): a new quantitative ecological risk assessment method and its application to elasmobranch by catch in an Australian trawl fishery. Fisheries Research, 2008, 91(1): 56-68.
- [7] Victor B. Applying ecological risk principles to watershed assessment and management. Environmental Management, 2002, 29(2): 145-154.
- [8] Hayes E H, Landis W G. Regional risk assessment of a near shore marine environment: Cherry Point, W A. Human and Ecological Risk Assessment, 2004, 10(2): 299-325.
- [9] Landis W G, Chen V, Pfingst A, Kushima G. National Council for Air and Stream Improvement Grant 1-56189: Androscoggin river watershed ecological risk assessment. Institute of Environmental Toxicology, Huxley College of the Environment Western Washington University, 2006, 1.
- [10] Yang J, Cai Y L, Li J, Gong Y L, Wang L. Analysis on main sources of eco-risk in Chongming island of Yangtze estuary with proposal of its countermeasures. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2007, 16(5): 615-619.
- [11] Liu C, Wang Z Y, He G, Wu Y S. Evaluation on the potential ecological risk for the river mouths around Bohai Bay. Research of Environmental Sciences, 2002, 15(5): 33-37.
- [12] Cheng J, Li X D, Hua R M, Tang J, Lu H X. Distribution and ecological risk assessment of heavy metals in sediments of Chaohu Lake. Journal of Agro-Environment Science, 2008, 27(4): 1403-1408.
- [13] Liu J F, Li J, Liu J, Cao R Y. Integrated GIS/ AHP-based flood risk assessment: a case study of Huaihe River Basin in China. Journal of Natural Disasters, 2008, 17(6): 110-114.
- [14] Zhang Z G, Li R, Wang G L. Evaluation of regional ecological risk of soil erosion based on GIS. Science of Soil and Water Conservation, 2007, 5(5): 98-101.
- [15] Hooper B P, Duggin J A. Ecological riverine floodplain zoning. Its application to rural floodplain management in the Murray-Darling Basin. Land Use Policy, 1996, 13(2): 87-99.
- [16] Li H X, Cai Y L. Ecological risk assessment of flood disaster in major cities in Taihu Basin. Journal of Catastrophology, 2002, 17(3): 91-96.
- [17] Xu Y, Gao J F, Zhao J H, Chen J F. The research progress and prospect of watershed ecological risk assessment. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(1): 284-292.
- [18] Mao X L, Ni J R. Recent progress of ecological risk assessment. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis, 2005, 41(4): 646-654.
- [19] Wieggers J K, Feder H M, Mortensen L S, Shaw D G, Wilson V J, Landis W G. A regional multiple-stressor rank-based ecological risk assessment for the fjord of Port Valdez, Alaska. Human and Ecological Risk Assessment, 1998, 4(5): 1125-1173.
- [20] Xie H L. Regional eco risk analysis of based on landscape structure and spatial statistics. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(10): 5020-5026.
- [21] Wang R H, Fan Z L. Study of ecological fragility of Tarim River Basin. Arid Environmental Monitoring, 1998, 12(4): 39-41.
- [22] Zhang X N, Wang K L, Zhang W, Chen H S, He X Y. The quantitative assessment of eco-environment vulnerability in Karst regions of Northwest Guangxi. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(2): 749-757.
- [23] Zhou B J, Cai H S, Chen M Q. Evaluation of ecological fragility in Poyang Lake Region. Ecological Economy, 2009, (4): 37-41, 54-54.
- [24] William S E, Leibowitz S G, Hyman J B, Foster W E, Dowing M C. Synoptic assessment of wetland function: a planning tool for protection of wetland species biodiversity. Biodiversity and Conservation, 2002, 11(3): 379-406.
- [25] Metzger M J. Towards a spatially explicit and quantitative vulnerability assessment of environmental change in Europe. Region Environment Change, 2006, 6(4): 201-216.
- [26] Turner B LII, Kasperson R E, Matson P A, McCarthy J J, Corell R W, Christensen L, Eckley N, Kasperson J X, Luerse A, Martello M L, Polsky C, Pulsipher A, Schiller A. A framework for vulnerability analysis in sustainability science. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2003, 100(14): 8074-8079.
- [27] Shi D M, Liang Y. Evaluation and conservation of fragile ecological environment in China. Journal of Soil and Water Conservation, 2002, 16(1): 6-10.
- [28] Xie G D, Lu C X, Leng Y F, Zheng D, Li S C. Ecological assets valuation of the Tibetan Plateau. Journal of Natural Resources, 2003, 18(2): 189-195.

参考文献:

- [1] 刘永, 郭怀成, 黄凯, 郁亚娟, 戴永立, 毛国柱. 湖泊-流域生态系统管理的内容与方法. 生态学报, 2007, 27(12): 5352-5360.
- [4] 沈英娃, 曹洪法. 生态风险评估方法简述. 中国环境科学, 1991, 11(6): 464-468.
- [10] 杨娟, 蔡永立, 李静, 龚云丽, 王亮. 崇明岛生态风险源分析及其防范对策研究. 长江流域资源与环境, 2007, 16(5): 615-619.
- [11] 刘成, 王兆印, 何耘, 吴永胜. 环渤海湾诸河口潜在生态风险评估. 环境科学研究, 2002, 15(5): 33-37.
- [12] 程杰, 李学德, 花日茂, 唐俊, 卢洪秀. 巢湖水体沉积物重金属的分布及生态风险评估. 农业环境科学学报, 2008, 27(4): 1403-1408.
- [13] 刘家福, 李京, 刘荆, 曹入尹. 基于 GIS/AHP 集成的洪水灾害综合风险评估——以淮河流域为例. 自然灾害学报, 2008, 17(6): 110-114.
- [14] 张志国, 李锐, 王国梁. 基于 GIS 的区域水土流失生态风险评估. 中国水土保持科学, 2007, 5(5): 98-101.
- [16] 李辉霞, 蔡永立. 太湖流域主要城市洪涝灾害生态风险评价. 灾害学, 2002, 17(3): 91-96.
- [17] 许妍, 高俊峰, 赵家虎, 陈炯烽. 流域生态风险评估研究进展. 生态学报, 2012, 32(1): 284-292.
- [18] 毛小苓, 倪晋仁. 生态风险评价研究述评. 北京大学学报: 自然科学版, 2005, 41(4): 646-654.
- [20] 谢花林. 基于景观结构和空间统计学的区域生态风险分析. 生态学报, 2008, 28(10): 5020-5026.
- [21] 王让会, 樊自立. 塔里木河流域生态脆弱性评价研究. 干旱环境监测, 1998, 12(4): 39-41.
- [22] 张笑楠, 王克林, 张伟, 陈洪松, 何寻阳. 桂西北喀斯特区域生态环境脆弱性. 生态学报, 2009, 29(2): 749-757.
- [23] 周丙娟, 蔡海生, 陈美球. 鄱阳湖区生态环境脆弱性评价及对策分析. 生态经济, 2009, (4): 37-41, 54-54.
- [27] 史德明, 梁音. 我国脆弱生态环境的评估与保护. 水土保持学报, 2002, 16(1): 6-10.
- [28] 谢高地, 鲁春霞, 冷允法, 郑度, 李双成. 青藏高原生态资产的价值评估. 自然资源学报, 2003, 18(2): 189-195.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 9 May, 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Analysis of subject trends in research on sustainable development CHA Na, WU Jianguo, YU Runbing (2637)
- Metabolic scaling theory and its application in microbial ecology HE Jizheng, CAO Peng, ZHENG Yuanming (2645)
- Research progress on endophyte-promoted plant nitrogen assimilation and metabolism
..... YANG Bo, CHEN Yan, LI Xia, et al (2656)
- Review on the development of landscape architecture ecology in China YU Yijing, MA Jinyi, YUAN Yunjue (2665)

Autecology & Fundamentals

- Evaluating tillage practices impacts on soil organic carbon based on least limiting water range
..... CHEN Xuewen, WANG Nong, SHI Xiuhuan, et al (2676)
- Controls over soil organic carbon content in grasslands TAO Zhen, CI Dan Langjie, ZHANG Shenghua, et al (2684)
- Antagonistic interactive effects of exogenous calcium ions and parasitic *Cuscuta australis* on the morphology and structure of
Alternanthera philoxeroides stems CHE Xiuxia, CHEN Huiping, YAN Qiaodi, et al (2695)
- Correlation between pigment content and reflectance spectrum of *Phyllostachys pubescens* stems during its rapid growth stage
..... LIU Lin, WANG Yukui, WANG Xingxing, et al (2703)
- Response of leaf functional traits and the relationships among them to altitude of *Salix dissa* in Balang Mountain
..... FENG QiuHong, CHENG Ruimei, SHI Zuomin, et al (2712)
- Effects of phosphate and organic matter applications on arsenic uptake by and translocation in *Isatis indigotica*
..... GAO Ningda, GENG Liping, ZHAO Quanli, et al (2719)
- Effect of different preys on the predation and prey preference of *Orius similis* ... ZHANG Changrong, ZHI Junrui, MO Lifeng (2728)
- Effects of predation risk on the patterns of functional responses in reed vole foraging
..... TAO Shuanglun, YANG Xifu, YAO Xiaoyan, et al (2734)
- Phylogenetic analysis of Veneridae (Mollusca: Bivalvia) based on the mitochondrial cytochrome c oxidase subunit I gene fragment ...
..... CHENG Hanliang, PENG Yongxing, DONG Zhiguo, et al (2744)
- Effects of different ecological environments in the laboratory on the covering behavior of the sea urchin *Glyptocidaris crenularis*
..... CHANG Yaqing, LI Yunxia, LUO Shibin, et al (2754)

Population, Community and Ecosystem

- The ecosystem services value change in the upper reaches of Ganjiang River Based on RS and GIS
..... CHEN Meiqiu, ZHAO Baoping, LUO Zhijun, et al (2761)
- The reference condition for Eutrophication Indicator in the Yangtze River Estuary and adjacent waters — response variables
..... ZHENG Binghui, ZHU Yanzhong, LIU Lusan, et al (2768)
- The reference condition for eutrophication Indicator in the Yangtze River Estuary and adjacent waters — Causal Variables
..... ZHENG Binghui, ZHOU Juan, LIU Lusan, et al (2780)
- The stress response of biological communities in China's Yalu River Estuary and neighboring waters
..... SONG Lun, WANG Nianbin, YANG Guojun, et al (2790)
- Ecological characteristics of macrobenthic communities and its relationships with environmental factors in Hangzhou Xixi Wetland
..... LU Qiang, CHEN Huili, SHAO Xiaoyang, et al (2803)
- Effects of biological soil crusts on desert soil nematode communities LIU Yanmei, LI Xinrong, ZHAO Xin, et al (2816)
- Associations between weather factors and the spring migration of the horned gall aphid, *Schlechtendalia chinensis*
..... LI Yang, YANG Zixiang, CHEN Xiaoming, et al (2825)
- Effects of vegetation on soil aggregate stability and organic carbon sequestration in the Ningxia Loess Hilly Region of northwest
China CHENG Man, ZHU Qiulian, LIU Lei, et al (2835)

- Simulation of the carbon cycle of *Larix chinensis* forest during 1958 and 2008 at Taibai Mountain, China LI Liang, HE Xiaojun, HU Lile, et al (2845)
- Effects of different disturbances on diversity and biomass of communities in the typical steppe of loess region CHEN Furong, CHENG Jimin, LIU Wei, et al (2856)
- Age structure and point pattern of *Butula platyphylla* in Wulashan Natural Reserve of Inner Mongolia HU Ercha, WANG Xiaojiang, ZHANG Wenjun, et al (2867)
- The impacts of the Southwest China drought on the litterfall and leaf area index of an evergreen broadleaf forest on Ailao Mountain ... QI Jinhua, ZHANG Yongjiang, ZHANG Yiping, et al (2877)
- Spatial distribution of tree species richness in Xiaodonggou forest region of the Altai Mountains, Northwest China JING Xuehui, CAO Lei, ZANG Runguo (2886)
- Landscape, Regional and Global Ecology**
- The ecological risk assessment of Taihu Lake watershed XU Yan, GAO Junfeng, GUO Jianke (2896)
- The value of fixing carbon and releasing oxygen in the Guanzhong-Tianshui economic region using GIS ZHOU Zixiang, LI Jing, FENG Xueming (2907)
- Resource and Industrial Ecology**
- Effect of different controlled-release nitrogen fertilizers on availability of heavy metals in contaminated red soils under waterlogged conditions LIANG Peijun, XU Chao, WU Qitang, et al (2919)
- Research Notes**
- Effect of heat and high irradiation stress on Deg1 protease and D1 protein in wheat chloroplasts and the regulating role of salicylic acid ZHENG Jingjing, ZHAO Huijie, HU Weiwei, et al (2930)
- The difference of drought impacts on winter wheat leaf area index under different CO₂ concentration LI Xiaohan, WU Jianjun, LÜ Aifeng, et al (2936)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索自然奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的原始创新性科研成果。特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评价和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

本期责任副主编 欧阳志云

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 33 卷 第 9 期 (2013 年 5 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 9 (May, 2013)

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	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元