

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

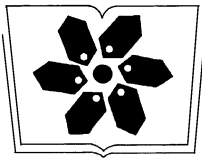
Acta Ecologica Sinica



第32卷 第1期 Vol.32 No.1 **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 1 期

2012 年 1 月 (半月刊)

目次

局域种群的 Allee 效应和集合种群的同步性	刘志广, 赵雪, 张丰盘, 等 (1)
叶片毛尖对齿肋赤藓结皮凝结水形成及蒸发的影响	陶冶, 张元明 (7)
长江口锋面附近咸淡水混合对浮游植物生长影响的现场培养	王奎, 陈建芳, 李宏亮, 等 (17)
河流流量对流域下垫面特性的响应	田迪, 李叙勇, Donald E. Weller (27)
中国中东部平原亚热带湿润区湖泊营养物生态分区	柯新利, 刘曼, 邓祥征 (38)
基于氮磷比解析太湖苕溪水体营养现状及应对策略	聂泽宇, 梁新强, 邢波, 等 (48)
滇池外海蓝藻水华爆发反演及规律探讨	盛虎, 郭怀成, 刘慧, 等 (56)
采伐干扰对华北落叶松细根生物量空间异质性的影响	杨秀云, 韩有志, 张芸香, 等 (64)
松嫩草原榆树疏林对不同干扰的响应	刘利, 王赫, 林长存, 等 (74)
天山北坡不同海拔梯度山地草原生态系统地上净初级生产力对气候变化及放牧的响应	周德成, 罗格平, 韩其飞, 等 (81)
草原化荒漠草本植物对人工施加磷素的响应	苏洁琼, 李新荣, 冯丽, 等 (93)
自然和人工管理驱动下盐城海滨湿地景观格局演变特征与空间差异	张华兵, 刘红玉, 郝敬锋, 等 (101)
晋、陕、宁、蒙柠条锦鸡儿群落物种多样性对放牧干扰和气象因子的响应	周伶, 上官铁梁, 郭东罡, 等 (111)
华南地区 6 种阔叶幼苗叶片形态特征的季节变化	薛立, 张柔, 奚如春, 等 (123)
河西走廊不同红砂天然群体种子活性相关性	苏世平, 李毅, 种培芳 (135)
江西中南部红壤丘陵区主要造林树种碳固定估算	吴丹, 邵全琴, 李佳, 等 (142)
酸雨和采食模拟胁迫下克隆整合对空心莲子草生长的影响	郭伟, 李钧敏, 胡正华 (151)
棉铃虫在 4 个辣椒品种上的寄主适合度	贾月丽, 程晓东, 蔡永萍, 等 (159)
烟草叶面积指数的高光谱估算模型	张正杨, 马新明, 贾方方, 等 (168)
不同作物田烟粉虱发生的时空动态	崔洪莹, 戈峰 (176)
长期施肥对稻田土壤固碳功能菌群落结构和数量的影响	袁红朝, 秦红灵, 刘守龙, 等 (183)
新银合欢篱对紫色土坡地土壤有机碳固持的作用	郭甜, 何丙辉, 蒋先军, 等 (190)
一株产漆酶土壤真菌 F-5 的分离及土壤修复潜力	茆婷, 潘澄, 徐婷婷, 等 (198)
木论喀斯特自然保护区土壤微生物生物量的空间格局	刘璐, 宋同清, 彭晚霞, 等 (207)
岷江干旱河谷 25 种植物一年生植株根系功能性状及相互关系	徐琨, 李芳兰, 苟水燕, 等 (215)
黄土高原草地植被碳密度的空间分布特征	程积民, 程杰, 杨晓梅, 等 (226)
棉铃发育期棉花源库活性对棉铃对位叶氮浓度的响应	高相彬, 王友华, 陈兵林, 等 (238)
耕作方式对紫色水稻土有机碳和微生物生物量碳的影响	李辉, 张军科, 江长胜, 等 (247)
外源钙对黑藻抗镉胁迫能力的影响	闵海丽, 蔡三娟, 徐勤松, 等 (256)
强筋与弱筋小麦籽粒蛋白质组分与加工品质对灌浆期弱光的响应	李文阳, 闫素辉, 王振林 (265)
专论与综述	
蛋白质组学研究揭示的植物根盐胁迫响应机制	赵琪, 戴绍军 (274)
流域生态风险评估研究进展	许妍, 高俊峰, 赵家虎, 等 (284)
土壤和沉积物中黑碳的环境行为及效应研究进展	汪青 (293)
研究简报	
青藏高原紫穗槐主要形态特征变异分析	梁坤伦, 姜文清, 周志宇, 等 (311)
菊属与蒿属植物苗期抗蚜虫性鉴定	孙娅, 管志勇, 陈素梅, 等 (319)
滨海泥质盐碱地衬膜造林技术	景峰, 朱金兆, 张学培, 等 (326)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 332 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 36 * 2012-01



封面图说: 白鹭展翅为梳妆, 玉树临风巧打扮——这是大白鹭繁殖期时的美丽体态。大白鹭体羽全白, 身长 94—104cm, 寿命 20 多年。是白鹭中体型最大的。繁殖期的大白鹭常常在湿地附近的大树上筑巢, 翩翩飞舞吸引异性, 其繁殖期背部披有蓑羽, 脸颊皮肤从黄色变成兰绿色, 嘴由黄色变成绿黑色。大白鹭是一个全世界都有它踪迹的广布种, 一般单独或成小群, 在湿地觅食, 以小鱼、虾、软体动物、甲壳动物、水生昆虫为主, 也食蛙、蝌蚪等。

彩图提供: 陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201011101615

许妍, 高俊峰, 赵家虎, 陈炯锋. 流域生态风险评价研究进展. 生态学报, 2012, 32(1): 0284-0292.

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): 0284-0292.

流域生态风险评价研究进展

许 妍¹, 高俊峰^{2,*}, 赵家虎², 陈炯锋²

(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)

摘要:流域生态风险评价是流域生态环境保护与管理的重要研究内容, 与一般的区域生态风险评价相比, 具有其独特的流域特征。在已有研究基础上, 对流域生态风险评价进行了概念界定与特征分析, 并按照风险源、生态受体、生态终点的分类标准对流域生态风险评价进行了类型划分, 简要评述了流域生态风险评价的相关研究主题, 并尝试构建反映流域时空尺度变化规律的生态风险评价概念模型。最后针对流域生态风险评价的研究现状, 重点讨论了目前存在的不足及未来的研究趋向。

关键词:流域; 生态风险; 特征; 评价方法; 研究进展

The research progress and prospect of watershed ecological risk assessment

XU Yan¹, GAO Junfeng^{2,*}, ZHAO Jiahu², CHEN Jiongfang²

1 National Marine Environment Monitoring Center, Dalian 116023, China

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

Abstract: Watershed ecological risk assessment is an important research subject of watershed eco-environmental protection and management, which also uses distinct watershed characteristics compared with regional ecological risk assessment. In this paper, we firstly present the concept and definition of watershed ecological risk assessment based on existing research. The watershed ecological risk assessment is a complicated dynamic process, taking eco-spatial pattern formed by physical landform differentiation and hydrological process as evaluation region, in order to assess the possibility and its harmful levels of the negative influence caused by natural hazard, artificial interference as well as some other risk sources on each ecosystem and its components in the watershed. The process of ecological risk assessment has great ambiguity, uncertainty and relativity. Thus, the focal point is to investigate the relationship and ecological risk effects among the water, soil, vegetation, biodiversity as well as human activity in different hydrologic compartments of the whole watershed.

Secondly, we analyze its spatial-temporal characteristics, heterogeneity, regional correlation and integrity and discuss the research hotspot region at present. Based on the properties, the quantity and the extent of risk sources, ecological receptor and ecological endpoint (defined as the damage to ecological receptor), we divide the ecological risk assessment into several types. Through an overview of the development and related research about the watershed ecological risk assessment, the main research subjects related to watershed ecological risk assessment are classified into three kinds. The first subject is about ecological risk of freshwater system, which concerns mainly about eco-toxicological research of one or more contaminants in different compartments of the hydrologic system. The second subject is about ecological risk of natural disasters in watershed, especially the risks of flood, drought, soil erosion on the ecosystem and its components. The third subject is application of comprehensive evaluation model for watershed ecological risks involving multiple receptors and risk

基金项目:国家水体污染控制与治理科技重大专项(2008ZX07101-014, 2008ZX07526-007); 科技部基础专项(2008CB418106)

收稿日期:2010-11-10; **修订日期:**2011-06-20

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: gaojunf@niglas.ac.cn

sources like land use, soil erosion, pollution emission, etc.

Thirdly, based on the EPA framework and watershed characters, we build a conceptual model of watershed ecological risk assessment which considers the environmental characteristics of a watershed and can reflect the spatial and temporal changes of the assessment parameters. According to the successive steps of risk assessment as “problem formation, risk analysis and characterization, risk management and its feedback”, we construct an index system which includes the hazard indicators of risk sources, the vulnerability indicators of habitats as well as the potential loss of risk receptors based on the three basic elements of ecological risk assessment consist of risk sources, habitat and effect. Finally, problems and perspectives are discussed, expecting to make contribution to the further research in this field.

Key Words: watershed; ecological risk; characteristics; assessment method; research progress

生态风险评价(Ecological Risk Assessment, ERA)即调查生态系统及其组分的风险源,预测风险出现的概率及其可能出现的负面效果,并据此提出相应的舒缓措施^[1]。区域生态风险评价是整个生态风险研究的重要组成部分,而流域是一类复杂的自然地理区域,它是以地表水和地下水为主要纽带,密切连接特定区域水循环、土地覆被、生态系统等自然支撑系统的综合生态地域系统。因此,流域为生物繁衍以及人类活动提供了强有力的保障^[2],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。但随着社会经济的发展,流域内资源和生态系统受到越来越大的外界胁迫,环境污染严重、灾害频发、资源结构性短缺矛盾逐渐加剧;湖泊及其流域上中下游之间、部门之间的利益冲突和矛盾不断尖锐,流域成为区域人-地关系最为紧张和复杂的地理单元^[3],是生态压力和风险最大的区域之一。然而,由于自身的复杂性,目前流域生态风险研究尚没有引起足够重视。相关成果仅散见于区域生态风险研究中,与一般区域混为一谈,没有深入探讨流域内部水土、植被、生物、资源间的生态关联和相互作用。整个流域生态地域系统及其生态风险问题的独特性、整体性和系统性尚没有得到发掘。从生态风险管理的实践角度讲,正确及时地对流域生态系统存在的风险进行预测、评价和管理,对于维护人类赖以生存和发展的流域生态系统功能、加强流域生态系统管理、保障流域生态安全具有重要现实意义。本文希望通过梳理现有研究成果,在分析流域生态风险内涵的基础上,从类型、研究主题、评价方法、热点区域、特征等多方面回顾和总结国内外流域生态风险评价的研究进展,对其存在问题与未来研究方向进行分析与展望,从而有助于该领域研究的进一步深入。

1 流域生态风险评价的概念界定及其分类

1.1 流域生态风险评价概念

流域是汇集和补给一条河流及其支流的地表水和地下水全部来源区,即地表水与地下水分水脊线所包围的集水区域^[4]。流域生态系统是指流域辖区内以水为纽带,由水、土、气、生等自然环境要素和人口、社会、经济等要素共同构成的一个通过物质输移、能量流动、信息传递、相互交织、相互制约的自然-经济-社会复合生态系统^[5-7]。这种复合生态系统尺度较大,更为综合,具有由自然、社会与经济多组分耦合的复杂性,同时又因其特殊的发育条件与演化进程,受到人为强烈而长期的干扰^[3]。因此,流域生态风险评价具有一定的复杂性与特殊性。目前,尚未有对流域生态风险评价的完整定义,笔者认为流域生态风险评价是以自然地貌分异与水文过程形成的生态空间格局为评价区域,评价自然灾害、人为干扰等风险源对流域内生态系统及其组分造成不利影响的可能性及其危害程度的复杂的动态变化过程,是由生态风险源危险度指数、生态环境脆弱度指数及风险受体潜在损失度指数构成的时间和空间上的连续函数,用于描述和评价风险源强度、生态环境特征以及风险源对风险受体的危害等信息,具有很大的模糊性、不确定性和相对性。流域生态风险研究的关键是从整体的角度,考察流域内部上下游之间、主支流之间、源汇流之间等不同水系、水体流经区域的水、土、植被及生物多样性、人类活动等要素的相互作用与联系及其生态波及效应。

1.2 流域生态风险评价的类型

根据风险源、风险受体及生态终点的性质、数量及发生范围的不同,可将流域生态风险评价划分为以下 3

种类型(表1):一是针对风险源进行的流域生态风险评价。按照风险源性质可划分为洪涝灾害、水土流失等自然灾害的生态风险评价,化学污染物、重金属等人类活动引起的生态风险评价以及复合风险源的生态风险评价;根据风险源数量可分为单一风险源与多重风险源的生态风险评价。二是针对流域尺度风险受体的生态风险评价,大多是针对生物物种或生态系统等风险受体在流域尺度范围内遭受已存在或者潜在风险源胁迫后而进行的风险评价;根据风险受体水平可划分为种群、群落和生态系统的生态风险评价,按照受体数量可划分为单一受体与多种受体的生态风险评价。三是针对生态终点发生的尺度进行划分,生态终点是风险受体可能受到的损害,以及由此而发生的生态系统结构和功能的损伤^[8]。因此,可根据不同生态事件发生的区域范围将生态风险评价细分为湖泊、河流、河口及整个流域的生态风险评价。

表1 流域生态风险评价类型
Table 1 Type of watershed ecological risk assessment

风险因素 Risk factors		分类 Type	研究案例 Study case
风险源 Source	风险源性质	自然灾害 人类活动	太湖流域主要城市洪涝灾害生态风险评价 ^[9] 环渤海湾诸河口潜在生态风险评价 ^[10]
	风险源数量	单一风险源 多种风险源	道路对景观的影响及其生态风险评价——以澜沧江流域为例 ^[11] Multiple stressor risk assessment of the codorus creek watershed ^[12]
风险受体 Receptor	风险受体数量	单一受体 多种受体	DDT 对太湖大银鱼种群危害的生态风险 ^[13] Androscoggin river watershed ecological risk assessment ^[14]
	风险受体水平	种群群落 生态系统	洞庭湖流域区域生态风险评价 ^[15] Ecological risk assessment for the middle snake river ^[16] 水资源系统生态风险的分析与评价——以香日德绿洲地区为例 ^[17]
生态终点 Endpoint	生态终点尺度	湖泊 河流 河口三角洲 流域	巢湖水体沉积物重金属的分布及生态风险评价 ^[18] RS 和 GIS 支持下的生态风险评估——以塔里木河下游为例 ^[19] 辽河三角洲湿地区域生态风险评价 ^[8] 干旱区内陆流域区域景观生态风险分析——以阜康三工河流域为例 ^[20]

2 国内外流域生态风险评价研究进展

2.1 相关研究主题

Hunsaker 等人在 20 世纪 90 年代初便发表文章阐述如何将生态风险评价应用到区域景观尺度^[21]。由于单因子的生态风险评价方法向大尺度综合生态风险评价外推中存在许多不确定因素^[22],导致区域生态风险评价变得困难。早期区域生态风险评价更多的只是理论探讨^[23-25]或针对单一受体和风险源,运用 USEPA 评价指南就生态风险的若干重要研究议题进行评价^[26],不能有效地将区域景观结构、多重压力、多重受体、多重生境联系起来。直至 20 世纪 90 年代末至 21 世纪初期,科学家们开始构建适于流域尺度的研究范式,并尝试开展流域生态风险评价^[27],主要包括流域水环境生态风险评价、流域灾害生态风险评价及流域综合生态风险评价。

(1) 流域水环境生态风险评价

关于流域水环境生态风险的研究多是从水生态毒理角度,针对不同水体中单一或多种污染物质,利用成熟的生态风险评价理论和框架模型进行研究^[28-29]。一般采用 Hakanson 的潜在生态风险指数法,利用所选指标与生态风险之间的相关性对流域生态风险进行评价和预测。指标选取多沿用已有的指标体系或采取相似指标替代。如 Wallack 等在关于杀虫剂对流域表层水体的风险评价时,用土地利用方式等数据代替杀虫剂浓度,完成水域生态风险评价^[30]。ORNL 评价了美国田纳西州 Clinch River 流域内化学有毒物质对水体中特殊种群的生态影响^[31]。此后,Valiela I 等在 Waquoit Bay 流域进行了氮的风险评价^[32]。国内研究多为借鉴已有方法对水环境中污染物、重金属元素潜在的生态风险进行个案分析^[10,18]。可见,现有水环境生态风险评价研究成果多是关于水质风险评价或水生态风险评价,没有从流域水环境整体角度出发考虑多风险源及其相互关系,尚缺乏全流域水环境生态风险的空间效应与传导机制研究。

(2) 流域灾害生态风险评价

国内外对于流域灾害生态风险评价的研究主要集中在自然灾害尤其是洪涝、干旱、水土流失等风险源对较高层次的生态系统及其组分可能产生的风险,而对生态系统内部因素与人为因素引起的风险研究较少。Hooper 和 Duggin 在 1996 年建立了基于生态特性的洪水风险区划模型,并在此基础上提出限制土地利用的政策^[33]。刘家福等从危险性、稳定性及易损性三方面建立灾害风险评价指标体系对淮河流域内洪水灾害进行生态风险评价^[34];张志国从危险性与损失度两方面对延河流域水土流失生态风险进行了研究^[35]。该类评价多为针对某一自然灾害对生态系统的损害,没有考虑人类活动及突发性事件的影响,且选取的评价指标较为繁杂,尚未形成统一的评价指标体系。

(3) 流域综合生态风险评价

目前,流域生态风险评价正逐步转向涉及多重受体和多重风险源的流域综合生态风险评价模式,并在一些流域开展了案例研究。Cornier SM 等在对美国 Big Darby River 流域进行评价时,除考虑化学风险源外,还加入了河流形态、农业生产及城市化等非化学风险源^[36]。Obery 和 Landis、Hayes 等人分别评价了美国瓦尔迪兹港、Willamette McKenzie 流域、Codorus Creek 流域及 Androscoggin River 流域内土地利用、土壤侵蚀、污染物排放、河岸带植被等外界风险因素对微生物和暖水鱼类脆弱生境的累计风险效应^[12,14,37-38]。EPA 则综合考虑了农田灌溉、水产养殖、污水排放对 Middle Snake River 流域的鱼类、植物及无脊椎动物产生的生态影响并进行了风险评估^[16]。国内学者主要从自然灾害和人为因素两方面出发,结合流域特征和风险受体的易损程度,构建了适当评价模型进行风险评估^[8,19-20]。整体来看,流域综合生态风险评价在指标选择和评价方法上有一定的进展,但由于流域环境因素以及风险源与受体作用过程的复杂性和监测数据的不足,大多数评价只局限在定性或粗略分析上,缺乏过程-机制的深入研究。

2.2 概念模型与评估方法

概念模型是采用语言模型或图解模型对生态风险评价过程进行的一种简化定性描述,用于表示评价生态系统的组成和相互关系。随着风险评价尺度的扩大,传统的概念模型已经不能满足大尺度生态风险评价要求^[39]。在风险评价过程中,科学家们逐渐认识到自然条件与生态环境特征不仅影响风险受体的行为、位置,也影响到风险压力因子的时空分布规律。此外,地形地貌、土壤植被等自然环境因素亦可通过改变生态系统的脆弱性而影响风险源对受体的破坏力。但目前已有的评价框架模型多侧重于风险要素的多重性选择,而忽视了环境特征的重要性。在总结前人研究基础上,充分考虑流域的环境特征及时空尺度,依据问题形成-风险分析与表征-风险管理与反馈等风险评价步骤,从风险源、生境及影响等生态风险评价三要素出发,构建流域综合风险评价的概念模型(图1)。

流域尺度上风险受体的选择不同,生态风险的判定不同,所采用的评价方法、模型亦不相同^[40],主要包括以下几种评价方法,如表2所示。

2.3 研究热点区域

目前流域生态风险评价研究已涵盖了湿润区、半湿润区以及干旱区的湖泊型流域和河流型流域。流域生态风险评价的热点区域主要集中在湖泊、河流、河口三角洲,但从综合视角对整个流域进行生态风险研究的案

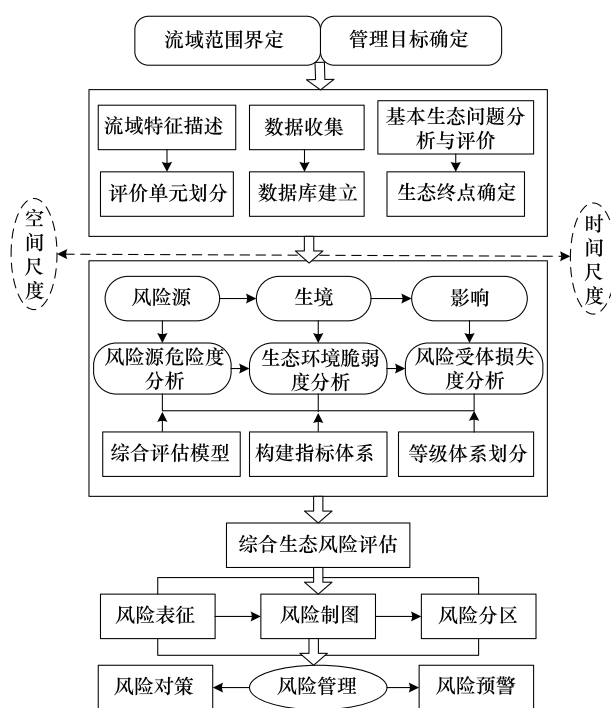


图1 流域生态风险评价概念模型

Fig. 1 The conceptual model of watershed ecological risk

表 2 流域生态风险评价方法

Table 2 Assessment methods of watershed ecological risk

评价模型方法 Evaluation methods	方法描述 Method description	模型缺点 Model defects
因果分析法 Causality anlysis	基于野外观察数据,在区域水平上建立用于描述压力因子及其可能影响之间的因果关系或运用“因子权重”法进行风险原因分析 ^[39,41-43] ,从而实现大尺度风险的定性定量评价。	侧重于回顾性评价,无法将生态风险的动态变化纳入到评价体系。
生态等级风险评价法 Ecological risk level evalutaion	该模型分为初级评价、区域评价和局地评价 3 部分,采用综合的方法进行暴露和影响分析;在概念模型中加入了因果分析链,并将权重分析法用于因果分析 ^[44-45] 。	没有将时间动态变化因素纳入到评价体系之中。
相对风险评价模型 Relative risk assessment model	该模型引入风险源与生境、生境与评价终点之间暴露“系数”、效应“系数”,通过设置等级标准对风险源、生境、评价终点得分进行计算,一定程度上解决了大尺度风险评价中的定量和半定量问题 ^[23] 。	该模型是一种相对的评价方法,评价标准难确定,验证需要大量数据。
景观分析法 Landscape anlysis	选取适当的景观指数构建综合生态风险模型,对生态风险分布和演化过程进行定量分析和评估。通常以景观类型作为评价受体,着重分析人为活动对生态系统造成的潜在风险或已造成的风险。	未考虑化学污染物造成的风险;遥感图像空间分辨率对计算结果产生一定影响。
数学概率模型 Mathematical probability model	运用函数关系式将综合风险发生概率及其生态系统潜在风险损失度的非线性风险复合表征模型具体化 ^[8] ,较好的反应了危害事件和生态终点的相互作用关系,实现非毒性污染物风险的定量评价。	模型参数的确定具有主观性,缺乏对不确定性的有效检验手段。

例较少。湖泊、河流生态风险研究主要包括两方面内容:一是从湖泊、河流自身出发,研究水体的污染物及重金属含量多少,以此判断水体风险的大小;二是对湖滨带、河滨带内人类活动与自然灾害等外界胁迫对湖泊、河流水质的影响进行研究,二者均为以水质变化为生态终点的一种潜在风险评估。河口三角洲处于河流系统和海洋系统相互联系、相互作用和相互影响的过渡地带,风险来源较为复杂,多以湿地子系统为风险受体,综合考虑来自流域及海洋系统的风险源。

3 流域生态风险评价特征

流域生态风险评价除具有一般意义上“生态风险”涵义与特征外,还具有其独特性。主要表现为时空尺度特征、空间异质特征、要素关联与传导特征及整体性特征。

3.1 时空尺度特征

流域生态风险通常发生在较大的时空范围,其评价对象为结构复杂的复合生态系统。流域内不同尺度下生态系统的表现并不相同,在小尺度上常表现出“非平衡特征”或“瞬变态特征”,但在大尺度上则可能表现为极强的稳定性和可持续性^[46]。此外,不同时间尺度下各生态系统的表现行为亦会导致流域生态风险评估结果存在差别。其中,陆地生态系统时间尺度相对较长,一般为几年到几十年甚至更长时间;水域生态系统时间尺度相对较短,河流与湖泊生态系统的尺度一般为数天至数年;社会经济系统的尺度通常为 1a。一般而言,可根据风险事件发生范围,种群、群落、生态系统等风险受体暴露的时空分布及其二者相互作用的时空过程来确定流域生态风险评估的研究尺度^[47]。

3.2 空间异质特征

由于流域内地形、地质、水文、土壤等非生物环境的空间变异以及社会经济、人为干扰等因素的区域差异,导致流域生态风险评估的风险受体与风险来源具有明显的空间异质性。不同区域内的风险源种类与数量存在一定差异性;同一风险源对于不同区域的影响范围与风险强度也是有差别的。就风险受体而言,不同生态系统类型在维护生物多样性、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区别的^[48],因此,同一风险源作用于不同生态系统所产生的危害结果也是不同的。这种地域分异现象在非区域生态风险评估中是不必考虑的,但在流域尺度生态风险评估中却至关重要。

3.3 要素关联与传导特征

流域生态系统是一个开放系统,同时也是一个相对异质性的系统,流域各子系统之间不断地进行着能量、物质和信息流动^[49]。流域内任一自然与社会经济要素的变化或某一区段的局部性调整将不可避免的对整个

流域产生重要影响^[3]。流域生态风险的四大关联要素是水、土、植被及生物,其中水是关键要素,无论是自然灾害还是人为污染源,其生态波及效应均是通过这四大关联要素来实现的。同一流域内的四大要素生态关联作用比一般区域更加紧密,同一生态事件在流域内部的传导、放大远比一般区域更快、更广。水作为流域上、中、下游各自然与人文要素之间联系的媒介,使流域系统不仅在水环境、水循环、水灾害和水资源等方面相互关联、相互影响,而且在土地利用、环境整治等方面也具有极大的相关性。如上游土地利用中流失的泥沙、N、P 等营养物质沿河道迁移,造成下游河湖淤积和水体富营养化;局地点源污染排放可能会扩散到更大的区域范围,对物种、生态系统乃至整个区域生态环境造成危害^[3]。与单一地点的生态风险评价相比,流域生态风险评价所涉及的环境问题成因及结果往往具有要素关联与传导特征。

3.4 整体性特征

由于流域的根本特性在于空间异质性,即不同类型生态系统在地域单元上的空间镶嵌,依据生态整体大于部分之和的基本原理,流域生态风险评价应是对地域空间内多种生态系统组成的空间载体进行综合风险考量,而非对各类生态系统风险状态单一评价结果的简单线性叠加,其评价结果不仅能揭示流域整体的风险水平,而且往往以流域内部不同空间单元生态风险状态的空间差异为重要表征。

4 研究不足与发展趋向

随着地理信息系统、遥感等信息技术的快速发展,生态风险评价的概念模型与评估方法不断完善,风险源已由化学污染物逐步向非化学污染物,如土地利用、生物入侵等复合风险源演化,评价范围也由小尺度区域向流域、景观等大尺度范围扩张。流域生态风险评价是以湖泊、河流及其流域为整体单元对其自然生态环境及社会经济发展进行的综合评价,较传统的以行政区为单元的研究思路更有利于流域生态环境的综合保护与管理。但基于资料、技术和工具的局限以及流域生态系统复杂多样的特点,流域生态风险评价至今尚未形成统一的评价体系。目前,一些流域生态风险评价没有真正上升到流域尺度,不能提供全面的评价信息和确定相应的管理标准,生态风险评价在流域尺度上的定量研究还有待于进一步探索和发展。

4.1 研究不足

(1)流域作为一个具有明确边界的地理单元,它以水为纽带,将上、中、下游组成一个普遍具有因果联系的复合生态系统。流域生态风险评价所涉及的环境问题的成因及结果都呈现空间异质特征。因此,进行评估时要充分认识流域生态风险来源的复杂性,对于流域生态风险源的辨识既要考虑子流域或研究子区内的局地生态风险源,还应在了解流域污染物的产生、迁移、转化和富集过程基础上,明确通过水体等流动性介质由外部迁移或传递来的全域风险源及不同风险源之间的相互复合作用。当前研究多考虑多胁迫因子或风险源的简单叠加,鲜有涉及流域内累积和复合性的风险评价。

(2)流域生态风险评价研究已进入到深层次的内在关系研究,不仅考虑外部风险源,而且注意到生态系统自身的脆弱性以及复合生态系统的综合状态。由于流域风险来源的多样性及风险受体的复杂性,目前对生态风险的本质与发生机理研究尚不深刻,尤其对压力-响应规律认识不足,在风险源与敏感生态风险受体之间的接触暴露关系、方式以及程度和范围等暴露-效应分析方面进展相对滞后,尚未有合适的数学或物理模型来定量表征这一过程。

(3)流域生态风险评价方法较多,在特定区域上应用较成熟,但因不同地区指标体系及其因子的量化、各指标的阈值、权重等均不相同,流域生态风险评价尚没有形成统一的评价框架模型和评价指标体系。针对各种生态系统类型的评价指标体系亦不够完整,这使得流域内不同尺度间的转换及小尺度向大尺度推广都存在一定困难。因此,流域生态风险评价研究亟需建立一套适用不同尺度的评价框架、指标体系及定量评估的方法和原则。

(4)流域生态风险评价是对流域内人与自然环境复合生态系统在某一时期、某一阶段过程风险状态的描述,是随着时空尺度不断发展变化的动态过程。对于流域生态环境管理人员而言,不仅关注生态风险的现实状态,更加注重流域内生态风险未来的发展变化趋势。目前,流域生态风险评价只是针对生态风险潜在状况

的一个评估,尚未发展能够反映时间和空间尺度变化规律的流域生态风险评价模型。

4.2 发展趋向

流域生态风险评价未来的研究重点应是基于解决目前存在的关键问题而逐步发展的。因此,未来研究趋向主要为:

(1)流域内关于水环境生态风险评价的研究开展较早,其系统研究相对较陆地生态系统丰富,因此如何借鉴水环境生态风险评价的技术方法,从流域内水生态系统逐渐过渡至陆地生态系统,最终实现“人-地-水”复合生态风险评价是未来研究的新课题。

(2)未来流域生态风险评价应着重围绕多重风险压力-多重风险受体-多重生态效应之间的相互关系展开分析,并从风险源-生境-影响三方面选取适当指标,针对不同类型生态系统构建统一指标体系,确定评价框架及定量评估的方法和原则。

(3)流域生态风险评价是一个动态变化过程,目前流域生态风险评价多为生态风险状态分析,对于生态风险的时空演化规律研究不足,深入挖掘流域内部上、中、下游不同区域生态问题及其风险的关联机制,对流域单元内生态风险的时空演化特征与规律进行研究是今后研究的重点亦是难点。

(4)流域尺度包含多行政区,涉及不同管理机构,因此,决策者、研究者和利益相关方的广泛参与交流,确定生态终点、明确评价目标是进行流域生态风险评价的前提条件;同时将指标选取与风险防范的对策措施相结合,最终根据具体指标反映问题及时回应,通过跨部门与跨行政区的协调管理,制定避免风险、抑制风险、降低风险和转移风险的对策和措施也是未来的发展方向。

References:

- [1] Mao X L, Ni J R. Recent progress of ecological risk assessment. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Pekinensis*, 2005, 41(4): 646-654.
- [2] Cai H S, Zhang X L, Huang H S. The theories and methods of lake-watershed land ecological management. *Journal of Natural Resources*, 2010, 25(6): 1049-1058.
- [3] Secretariat on studies of lake and watershed. Research advances on lake and the watershed studies. *Journal of Lake Sciences*, 2002, 14(4): 289-300.
- [4] Encyclopedia of Chinese Agriculture Editorial Office. *Encyclopedia of Chinese Agriculture: Water Conservancy Volume (Roll)*. Beijing: Agriculture Press, 1986.
- [5] Li C Y, Deng Y L. Degradation of watershed ecosystems in China: a review. *Chinese Journal of Ecology*, 2009, 28(3): 535-541.
- [6] Li X Y. Key scientific issues for green water research in the watershed. *Advances in Earth Science*, 2008, 23(7): 707-712.
- [7] Yu S Y, Chai X Y. Analysis of the interrelationship between the change of ecological environment and human activities in the arid and semi-arid river basin. *Journal of Hohai University (Philosophy and Social Sciences)*, 2009, 11(2): 30-33.
- [8] Fu Z Y, Xu X G, Li H P, Wang X L. Regional ecological risk assessment of in the Liaohe River Delta wetlands. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(3): 365-373.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] Liu S L, Yang Z F, Cui B S, Gan S. Effects of road on landscape and its ecological risk assessment: a case study of Lancangjiang River Valley. *Chinese Journal of Ecology*, 2005, 24(8): 897-890.
- [12] Obery A M, Landis W G. A regional multiple stressor risk assessment of the Codorus Creek watershed applying the relative risk model. *Human and Ecological Risk Assessment*, 2002, 8(2): 405-428.
- [13] Zhao X, Zhang Y L, Li S Y. Ecological risk assessment of DDT damage to protosalanx hyalocranius (Abbott) population in Taihu Lake. *Ecology and Environment*, 2007, 16(5): 1342-1345.
- [14] Landis W G, Chen V, Pfingst A, Kushima G. Androscoggin River Watershed Ecological Risk Assessment. National Council for Air and Stream Improvement Grant 1-56189. Bellingham: Western Washington University, 2006.
- [15] Lu H W, Zeng G M, Xie G X, Zhang S F, Huang G H, Jin X C, Liu H L. The regional ecological risk assessment of the Dongting Lake watershed. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(12): 2520-2530.

- [16] National Center for Environmental Assessment Office of Research and Development, US EPA. Ecological Risk Assessment for the Middle Snake River, Idaho. EPA/600/R-01/017. Washington DC: National Center for Environmental Assessment Office of Research and Development, 2002.
- [17] Hang X Z, Li Z Z, Zhang K B, Li R J, Hui C, Gao M. Ecological risk analysis and evaluation of water resources system: a case study of Xiangride oasis. *Science of Soil and Water Conservation*, 2005, 3(2): 113-118.
- [18] 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.
- [19] Shu C Q, Jiang L Q, Chen X, Chen K, Liu H. Ecological risk assessment based on remote sensing and geographic information system — a case study in the lower reaches of Tarim river. *Science of Surveying and Mapping*, 2009, 34(3): 28-30.
- [20] Chen P, Pan X L. Ecological risk analysis of regional landscape in inland river watershed of arid area: a case study of Sangong River Basin in Fukang. *Chinese Journal of Ecology*, 2003, 22(4): 116-120.
- [21] Hunsaker C T, Graham R L, Suter G W II, O'Neill R V, Barnhouse L W, Gardner R H. Assessing ecological risk on a regional scale. *Environmental Management*, 1990, 14(3): 325-332.
- [22] Twining J R, Cameron R F. Decision-making processes in ecological risk assessment using copper pollution of Macquarie harbour from Mt Lyell, Tasmania, as a case study. *Hydrobiologia*, 1997, 352(1/3): 207-218.
- [23] Suter G W II. Endpoints for regional ecological risk assessment. *Environmental Management*, 1990, 14(1): 9-23.
- [24] Landis W G, Wiegiers J A. Design considerations and a suggested approach for regional and comparative ecological risk assessment. *Human and Ecological Risk Assessment*, 1997, 3: 287-297.
- [25] Wiegiers 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.
- [26] Yin H, Wang Y L, Cai J L, Lu X F, Liu X Q. Regional ecological risk assessment: its research progress and prospect. *Chinese Journal of Ecology*, 2009, 28(5): 969-975.
- [27] Landis W G. Twenty years before and hence: ecological risk assessment at multiple scales with multiple stressors and multiple endpoints. *Human and Ecological Risk Assessment*, 2003, 9(5): 1317-1326.
- [28] Yin H W. Procedure of ecological risk assessment for water environment. *Shanghai Environmental sciences sciences*, 1995, 14(11): 11-14.
- [29] Wang X M, Liu J L, Ma M Y, Yang Z F. Aquatic ecological risk assessment and management strategies in a watershed: an overview. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2010, 30(2): 237-245.
- [30] Wallack R N, Hope B K. Quantitative consideration of ecosystem characteristics in an ecological risk assessment: a case study. *Human and Ecological Risk Assessment*, 2002, 8(7): 1805-1814.
- [31] National Center for Environmental Assessment Office of Research and Development, US EPA. Clinch and Powell valley watershed ecological risk assessment. EPA/600/R-01/050. Washington DC: National Center for Environmental Assessment Office of Research and Development, 2002.
- [32] Valiela I, Tomasky G, Hauxwell J, Cole M L, Cebrián J, Kroeger K D. Operationalizing sustainability: management and risk assessment of land-derived nitrogen loads to estuaries. *Ecological Applications*, 2000, 10: 1006-1023.
- [33] 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.
- [34] 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.
- [35] 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.
- [36] Cormier S M, Smith M, Norton S, Neiheisel T. Assessing ecological risk in watersheds: a case study of problem formulation in the Big Darby Creek watershed, Ohio, USA. *Environmental Toxicology Chemistry and Chemistry*, 1999, 19(4): 1082-1096.
- [37] Hayes E H, Landis W G. Regional ecological risk assessment of a near shore marine environment: cherry point, WA. *Human and Ecological Risk Assessment*, 2004, 10(2): 299-325.
- [38] Luxon M, Landis W G. Application of the relative risk model to the upper Willamette River and Lower McKenzie River, Oregon//Landis W G, ed. *Regional Scale Ecological Risk Assessment: Using the Relative Risk Model*. Boca Raton: CRC Press, 2005: 91-117.
- [39] Chen H, Liu J S, Cao Y, Li S C, Ouyang H. Progress of ecological risk assessment. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(5): 1558-1566.
- [40] Pastorok R A, Bartell S M, Ferson S, Ginzburg L R. *Ecological Modeling in Risk Assessment: Chemical Effects on Populations, Ecosystems and Landscapes Reviews*. Boca Raton: Lewis Publishers, 2002.
- [41] Forbes V E, Calow P. Applying weight-of-evidence in retrospective ecological risk assessment when quantitative data are limited. *Human and Ecological Risk Assessment*, 2002, 8(7): 1625-1639.

- [42] Landis W G. The frontiers in ecological risk assessment at expanding spatial and temporal scales. *Human and Ecological Risk Assessment*, 2003, 9(6): 1415-1424.
- [43] Burton G A, Chapman P M, Smith E. Weight-of-evidence approaches for assessing ecosystem impairment. *Human and Ecological Risk Assessment*, 2002, 8(7): 1657-1673.
- [44] Moraes R, Landis W G, Molander S. Regional risk assessment of a Brazilian rain forest reserve. *Human and Ecological Risk Assessment*, 2002, 8(7): 1779-1803.
- [45] Moraes R, Molander S. A procedure for ecological tiered assessment of risks (PETAR). *Human and Ecological Risk Assessment*, 2004, 10(2): 349-371.
- [46] Zhang N. Scale issues in ecology: concepts of scale and scale analysis. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(7): 2340-2355.
- [47] Suter G W II. *Ecological Risk Assessment*. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2006.
- [48] Xie H L. Regional eco risk analysis of based on landscape structure and spatial statistics. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(10): 5020-5026.
- [49] Luo Y C, Zhou Z X, Sun Y, Deng H B, Zhang P, Wu G. Assessment methods of watershed ecosystem health. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(8): 1606-1614.

参考文献:

- [1] 毛小琴, 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.
- [2] 蔡海生, 张学玲, 黄宏胜. “湖泊-流域”土地生态管理的理念与方法探讨. *自然资源学报*, 2010, 25(6): 1049-1058.
- [3] “湖泊及流域学科发展战略研究”秘书组. 湖泊及流域科学研究进展与展望. *湖泊科学*, 2002, 14(4): 289-300.
- [4] 中国农业百科全书总编辑委员会水利卷编辑委员会, 中国农业百科全书编辑部. *中国农业百科全书·水利卷(上)*. 北京: 农业出版社, 1986.
- [5] 李春艳, 邓玉林. 我国流域生态系统退化研究进展. *生态学杂志*, 2009, 28(3): 535-541.
- [6] 李小雁. 流域绿水研究的关键科学问题. *地球科学进展*, 2008, 23(7): 707-712.
- [7] 俞树毅, 柴晓宇. 干旱半干旱流域生态环境变化与人类活动间的相互影响分析. *河海大学学报(哲学社会科学版)*, 2009, 11(2): 30-33.
- [8] 付在毅, 许学工, 林辉平, 王宪礼. 辽河三角洲湿地区域生态风险评价. *生态学报*, 2001, 21(3): 365-373.
- [9] 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.
- [10] 刘成, 王兆印, 何耘, 吴永胜. 环渤海湾诸河口潜在生态风险评价. *环境科学研究*, 2002, 15(5): 33-37.
- [11] 刘世梁, 杨志峰, 崔保山, 甘淑. 道路对景观的影响及其生态风险评价——以澜沧江流域为例. *生态学杂志*, 2005, 24(8): 897-890.
- [13] 赵肖, 张娅兰, 李适宇. DDT对太湖大银鱼种群危害的生态风险. *生态环境*, 2007, 16(5): 1342-1345.
- [15] 卢宏伟, 曾光明, 谢更新, 张硕博, 黄国和, 金相灿, 刘鸿亮. 洞庭湖流域区域生态风险评价. *生态学报*, 2003, 23(12): 2520-2530.
- [17] 韩晓卓, 李自珍, 张克斌, 李润杰, 惠苍, 高猛. 水资源系统生态风险的分析与评价——以香日德绿洲地区为例. *中国水土保持科学*, 2005, 3(2): 113-118.
- [18] 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价. *农业环境科学学报*, 2008, 27(4): 1403-1408.
- [19] 舒成强, 蒋良群, 陈曦, 湛柯, 刘辉. RS和GIS支持下的生态风险评估——以塔里木河下游为例. *测绘科学*, 2009, 34(3): 28-30.
- [20] 陈鹏, 潘晓玲. 干旱区内陆流域区域景观生态风险分析——以阜康三工河流域为例. *生态学杂志*, 2003, 22(4): 116-120.
- [26] 殷贺, 王仰麟, 蔡佳亮, 吕晓芳, 刘小茜. 区域生态风险评价研究进展. *生态学杂志*, 2009, 28(5): 969-975.
- [28] 殷浩文. 水环境生态风险评价程序. *上海环境科学*, 1995, 14(11): 11-14.
- [29] 王雪梅, 刘静玲, 马牧源, 杨志峰. 流域水生态风险评价及管理对策. *环境科学学报*, 2010, 30(2): 237-244.
- [34] 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价——以淮河流域为例. *自然灾害学报*, 2008, 17(6): 110-114.
- [35] 张志国, 李锐, 王国梁. 基于GIS的区域水土流失生态风险评价. *中国水土保持科学*, 2007, 5(5): 98-101.
- [39] 陈辉, 刘劲松, 曹宇, 李双成, 欧阳华. 生态风险评价研究进展. *生态学报*, 2006, 26(5): 1558-1566.
- [46] 张娜. 生态学中的尺度问题: 内涵与分析方法. *生态学报*, 2006, 26(7): 2340-2355.
- [48] 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.
- [49] 罗跃初, 周忠轩, 孙轶, 邓红兵, 张萍, 吴钢. 流域生态系统健康评价方法. *生态学报*, 2003, 23(8): 1606-1614.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.32 ,No.1 January ,2012(Semimonthly)

CONTENTS

Allee effects of local populations and the synchrony of metapopulation	LIU Zhiguang, ZHAO Xue, ZHANG Fengpan, et al (1)
Effects of leaf hair points on dew deposition and rainfall evaporation rates in moss crusts dominated by <i>Syntrichia caninervis</i> , Gurbantunggut Desert, northwestern China	TAO Ye, ZHANG Yuanming (7)
The influence of freshwater-saline water mixing on phytoplankton growth in Changjiang Estuary	WANG Kui, CHEN Jianfang, LI Hongliang, et al (17)
The responses of hydrological indicators to watershed characteristics	TIAN Di, LI Xuyong, Donald E. Weller (27)
Lake nutrient ecosystems in the east-central moist subtropical plain of China	KE Xinli, LIU Man, DENG Xiangzheng (38)
The current water trophic status in Tiaoxi River of Taihu Lake watershed and corresponding coping strategy based on N/P ratio analysis	NIE Zeyu, LIANG Xinqiang, XING Bo, et al (48)
Reversion and analysis on cyanobacteria bloom in Waihai of Lake Dianchi	SHENG Hu, GUO Huaicheng, LIU Hui, et al (56)
Effects of cutting disturbance on spatial heterogeneity of fine root biomass of <i>Larix principis-rupprechtii</i>	YANG Xiuyun, HAN Youzhi, ZHANG Yunxiang, et al (64)
Responses of elm (<i>Ulmus pumila</i>) woodland to different disturbances in northeastern China	LIU Li, WANG He, LIN Changcun, et al (74)
Impacts of grazing and climate change on the aboveground net primary productivity of mountainous grassland ecosystems along altitudinal gradients over the Northern Tianshan Mountains, China	ZHOU Decheng, LUO Geping, HAN Qifei, et al (81)
Response of herbaceous vegetation to phosphorus fertilizer in steppe desert	SU Jieqiong, LI Xinrong, FENG Li, et al (93)
Spatiotemporal characteristics of landscape change in the coastal wetlands of Yancheng caused by natural processes and human activities	ZHANG Huabing, LIU Hongyu, HAO Jingfeng, et al (101)
Response of species diversity in <i>Caragana Korshinskii</i> communities to climate factors and grazing disturbance in Shanxi, Shaanxi, Ningxia and Inner Mongolia	ZHOU Ling, SHANGGUAN Tieliang, GUO Donggang, et al (111)
Seasonal change of leaf morphological traits of six broadleaf seedlings in South China	XUE Li, ZHANG Rou, XI Ruchun, GUO Shuhong, et al (123)
Correlation analysis on <i>Reaumuria soongorica</i> seed traits of different natural populations in Gansu Corridor	SU Shiping, LI Yi, CHONG Peifang (135)
Carbon fixation estimation for the main plantation forest species in the red soil hilly region of southern-central Jiangxi Province, China	WU Dan, SHAO Quanqin, LI Jia, et al (142)
Effects of clonal integration on growth of <i>Alternanthera philoxeroides</i> under simulated acid rain and herbivory	GUO Wei, LI Junmin, HU Zhenghua (151)
Difference of the fitness of <i>Helicoverpa armigera</i> (Hübner) fed with different pepper varieties	JIA Yueli, CHENG Xiaodong, CAI Yongping, et al (159)
Hyperspectral estimating models of tobacco leaf area index	ZHANG Zhengyang, MA Xinming, JIA Fangfang, et al (168)
Temporal and spatial distribution of <i>Bemisia tabaci</i> on different host plants	CUI Hongying, GE Feng (176)
Abundance and composition of CO ₂ fixating bacteria in relation to long-term fertilization of paddy soils	YUAN Hongzhao, QIN Hongling, LIU Shoulong, et al (183)
Effect of <i>Leucaena leucocephala</i> on soil organic carbon conservation on slope in the purple soil area	GUO Tian, HE Binghui, JIANG Xianjun, et al (190)
Isolation and the remediation potential of a Laccase-producing Soil Fungus F-5	MAO Ting, PAN Cheng, XU Tingting, et al (198)
Spatial heterogeneity of soil microbial biomass in Mulun National Nature Reserve in Karst area	LIU Lu, SONG Tongqing, PENG Wanxia, et al (207)
Root functional traits and trade-offs in one-year-old plants of 25 species from the arid valley of Minjiang River	XU Kun, LI Fanglan, GOU Shuiyan, et al (215)
Spatial distribution of carbon density in grassland vegetation of the Loess Plateau of China	CHENG Jimin, CHENG Jie, YANG Xiaomei, et al (226)
Effect of nitrogen concentration in the subtending leaves of cotton bolls on the strength of source and sink during boll development	GAO Xiangbin, WANG Youhua, CHEN Binglin, et al (238)
Long-term tillage effects on soil organic carbon and microbial biomass carbon in a purple paddy soil	LI Hui, ZHANG Junke, JIANG Changsheng, et al (247)
Effects of exogenous calcium on resistance of <i>Hydrilla verticillata</i> (L. f.) Royle to cadmium stress	MIN Haili, CAI Sanjuan, XU Qinsong, et al (256)
Comparison of grain protein components and processing quality in responses to dim light during grain filling between strong and weak gluten wheat cultivars	LI Wenyang, YAN Suhui, WANG Zhenlin (265)
Review and Monograph	
Salt-responsive mechanisms in the plant root revealed by proteomic analyses	ZHAO Qi, DAI Shaojun (274)
The research progress and prospect of watershed ecological risk assessment	XU Yan, GAO Junfeng, ZHAO Jiahu, et al (284)
A review of the environmental behavior and effects of black carbon in soils and sediments	WANG Qing (293)
Scientific Note	
Variation in main morphological characteristics of <i>Amorpha fruticosa</i> plants in the Qinghai-Tibet Plateau	LIANG Kunlun, JIANG Wenqing, ZHOU Zhiyu, et al (311)
Identification of aphid resistance in eleven species from <i>Dendranthema</i> and <i>Artemisia</i> at seedling stage	SUN Ya, GUAN Zhiyong, CHEN Sumei, et al (319)
Research of padded film for afforestation in coastal argillaceous saline-alkali land	JING Feng, ZHU Jinzhao, ZHANG Xuepei, et al (326)

《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 1 期 (2012 年 1 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 32 No. 1 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: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 70.00 元