

DOI: 10.5846/stxb201703280534

谢花林,姚干,何亚芬,张道贝.基于 GIS 的关键性生态空间辨识—以鄱阳湖生态经济区为例.生态学报,2018,38(16): - .

Xie H L, Yao G, He Y F, Zhang D B. Study on spatial identification of critical ecological space based on GIS: a case study of Poyang Lake Ecological Economic Zone. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(16): - .

基于 GIS 的关键性生态空间辨识 ——以鄱阳湖生态经济区为例

谢花林^{1,2,*}, 姚干², 何亚芬^{1,3}, 张道贝^{1,2}

1 江西财经大学生态文明研究院, 南昌 330013

2 江西财经大学土地管理研究中心, 南昌 330032

3 江西财经大学生态文明制度建设协同创新中心, 南昌 330013

摘要:生态空间承担着维持区域生态平衡的使命,并为社会提供持续不断的生态空间服务,是区域土地生态能持续地提供自然空间服务的基本保障。以自然生态环境脆弱的鄱阳湖生态经济区为研究区,结合国内外学者的相关实践经验和研究成果,基于 RS 和 GIS 等相关空间信息技术,通过生态系统服务功能重要性评价和生态系统敏感性评价方法,因地制宜地选取了相应评价指标,以栅格为单元辨识了鄱阳湖生态经济区关键性生态空间。研究表明:鄱阳湖生态经济区关键性生态空间面积为 27751.25 km²,占研究区总面积的 52.55%,其中底线型生态空间面积为 17125.31 km²,占研究区总面积三分之一,危机型生态空间面积为 4431.19 km²,占研究区总面积的 8.39%,缓冲型生态空间面积为 6194.75 km²,占研究区总面积的 11.73%。在现状土地利用生态安全冲突分析中,有 14.29%的耕地,9.31%的建设用地处于关键性生态区内。

关键词:关键性生态空间;空间辨识;生态安全;GIS;鄱阳湖生态经济区

Study on spatial identification of critical ecological space based on GIS: a case study of Poyang Lake Ecological Economic Zone

XIE Hualin^{1,2,*}, YAO Gan², HE Yafen^{1,3}, ZHANG Daobei^{1,2}

1 Institute of Ecological civilization, Jiangxi University of Finance and Economics, Nanchang 330013, China

2 Research Center of Land Management, Jiangxi University of Finance and Economics, Nanchang 330032, China

3 Co-Innovation Center of Institutional Construction of Jiangxi Eco-Civilization, Nanchang 330013, China

Abstract: Ecological space undertakes the mission of maintaining regional ecological balance and provides sustainable ecological space services for society. It is a basic guarantee that regional land ecology can continuously provide society with the benefit of natural space services. In this study, the Poyang Lake Ecological Economic Zone, which is fragile in its natural ecological environment, was used as the research area. Based on relevant practical experience and research results of domestic and foreign scholars, spatial information technology based on RS and GIS was used to evaluate the importance of ecosystem services and the sensitivity of ecosystem; the corresponding evaluation indicators were selected, according to local conditions, to identify the critical ecological space of Poyang Lake Ecological Economic Zone. The results showed that the area of critical ecological space in Poyang Lake Ecological Zone was 27,751.25 km², accounting for 52.55% of the total area of the study area; the urgent ecological space was 17,125.31 km², accounting for 32.43% of the total area; the crisis

基金项目:国家自然科学基金资助项目(41361111);江西省高校科技落地计划项目(KJLD14033);江西省主要学科学术和技术带头人资助计划(20172BCB22011);江西省教育厅科技项目(GJJ160431);江西省自然科学基金重大项目(20143ACB21023);江西省研究生创新专项资金项目(YC2016-B067)

收稿日期:2017-03-28; 网络出版日期:2018-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xiehl_2000@163.com

ecological space was 4,431.19 km², accounting for 8.39% of the total area; and the crucial ecological space was 6,194.75 km², accounting for 11.73% of the total area. In land-use ecological-security conflict analysis, 14.29% of cultivated land and 9.31% of construction land are in a critical ecological zone.

Key Words: critical ecological space; spatial identification; ecological security; GIS; Poyang Lake Ecological Economic Zone

国土是生态文明的重要载体。近几十年来,由于人类对土地资源的不合理开发利用以及日益加剧的社会经济活动,致使生物多样性锐减、森林植被破坏、景观破碎化等生态系统功能退化。如何处理好人口、资源和环境保护之间的关系,协调好经济发展与生态文明建设之间的平衡是中国未来经济社会可持续发展的关键。

党的十八大报告提出,“大力推进生态文明建设,优化国土空间开发格局,构建科学合理的城市化格局、农业发展格局、生态安全格局”。2012年12月由国土资源部、国家发展和改革委员会共同牵头,联合20多个部门和科研单位,共同编制的《全国国土规划纲要(2011—2030年)》(以下简称《国土规划纲要》)形成征求意见稿。《国土规划纲要》中提出:要在优化格局过程中切实发挥开发引导和空间管控作用,设置“生存线”、“生态线”和“发展线”;其中“生态线”是明确基础性生态用地保护规模,建设国家生态屏障,提高生态环境安全水平。在十九大报告中,习近平总书记提出“今后五年,要完成生态保护红线、永久基本农田、城镇开发边界三条控制线划定工作”,同时提出我们要“像对待生命一样对待生态环境,统筹山水林田湖草系统治理,实行最严格的生态环境和生活方式,坚定走生产发展、生活富裕、生态良好的文明发展道路,建设美丽中国,为人们创造良好生产生活环境,为全球生态安全作出贡献”。因此,关键性生态空间是国家生态安全的重要组成部分和经济社会可持续发展的重要基础,关键性生态空间的辨识能够为国家生态保护红线、永久基本农田和城镇开发边界三条控制线的划定提供科学的参考依据,也是我们现阶段生态保护的首要工作。

关键性生态空间是保障区域水资源安全、生物多样性保护安全、地质灾害防护安全、水土保持安全、维护区域景观格局完整性和连续性的基础性用地空间。国外对区域关键性生态空间辨识,主要集中在生物多样性保护空间辨识、水安全防护空间辨识、水土流失防护空间辨识和绿色空间辨识等方面。在生物多样性保护空间辨识方面,在过去的三十年中,生物学家特别关注生物多样性保护中自然空间所面临的选择困境^[1-4]。如Rouget^[5]基于GIS进行了区域生物多样性保护的热点空间辨识研究。Vimal^[6]从稀有物种的高保护栖息地、高生态完整性地域、整个区域的景观多样性等方面探讨了生物多样性保护的敏感性空间。Moilanen^[7]讨论了生物多样性保护空间规划中辨识关键性生态空间的尺度性问题。在水安全防护空间辨识方面,Vos^[8]通过对区域关键性水安全防护空间的辨识对湿地生态系统规划了一个适应区以应对气候变化的影响。Brouwer^[9]通过辨识关键性水安全防护空间,分析了对其保护恢复所带来的生态、社会和经济影响。在水土流失防护空间辨识方面,Zagasa^[10]基于GIS技术、利用通用流失方程(USLE),辨识了希腊奥林匹斯山的关键性水土流失防护空间。国内关于区域关键性生态空间辨识的研究,主要集中在景观格局演变、指标体系评价、规划调控和生态安全格局等方面。在生态空间演变方面,陈爽^[11]研究了南京市生态空间数量增减和质量变化,从经济发展阶段、宏观政策环境和城市扩展规律等方面分析变化的驱动力,揭示政府干预下生态空间的结构和功能演变规律,并提出生态空间保护对策。谢花林^[12]以京津冀地区为例,通过建立不同阶段各生态空间类型变化的logistic回归模型,较好地揭示了区域不同阶段生态空间变化的驱动因素。在生态空间重要性评价方面,曾招兵等^[13]建立了上海市青浦区生态用地的综合评价指标体系,并对研究区生态用地建设的现状进行了综合的分析和评价。刘昕等^[14]以数值法作为分析方法,与生态系统服务功能理论相结合,从生态环境、生态敏感性、气候、土壤和地貌5个方面建立江西省生态用地保护重要性评价指标体系,在GIS技术的支持下,研究其生态保护重要性和生态用地的空间分布。李锋^[15]应用遥感、地理信息系统技术和生态系统服务评估等方法,评估了由城市生态用地改变所导致的生态系统服务的变化。综上,国外在生物多样性保护关键性生态空间辨识的

研究较深入,但只是单方面的,且在整合区域的水安全、水土流失防护、生物多样性等关键性空间辨识方面研究较少。从研究尺度看,现有的研究多为县域尺度或省域尺度,而以栅格为单元的区域尺度关键性生态空间辨识相对较少。

鄱阳湖生态经济区是江西省设立的第一个国家级经济开发区,是以鄱阳湖城市圈为依托,以保护生态、发展经济为重要战略构想的经济特区。区域内鄱阳湖是我国最大的淡水湖,是具有世界影响的重要湿地和候鸟越冬地,在维护区域生物多样性、调蓄长江洪水、降解污染物、保护长江中下游生态环境等方面具有不可替代的作用。近年来,随着城镇化和工业化的发展,区内生物多样性遭到威胁、水污染现象时有发生、雨汛期洪水泛滥,造成区内水土流失严重。因此,进行鄱阳湖生态经济区关键性生态空间辨识,一方面,契合了党的十九大提出的“今后五年,要完成生态保护红线、永久基本农田、城镇开发边界三条控制线划定工作”和“像对待生命一样对待生态环境,统筹山水林田湖草系统治理,实行最严格的生态环境和生活方式,坚定走生产发展、生活富裕、生态良好的文明发展道路,建设美丽中国,为人们创造良好生产生活环境,为全球生态安全作出贡献”的要求,另一方面,对于维护鄱阳湖生态经济区生态系统健康,开展生态保育和生态环境建设,构建区域生态安全格局具有重要的现实意义。

因此,本文从区域尺度出发,借助 GIS 平台,以鄱阳湖生态经济区为研究区,综合考虑生态系统服务功能重要性、生态系统敏感性以及生物多样性保护等多个方面因素辨识区域关键性生态空间。

1 数据来源和研究方法

1.1 数据来源

本文生态保护红线辨识所使用的评价指标数据主要包括 DEM 数据、气象数据、土壤类型数据、NDVI(归一化植被指数)数据、NPP(生态系统净初级生产力)数据、土地利用类型数据、统计年鉴数据以及相关规划数据等。其中 DEM 数据、NDVI(归一化植被指数)数据、NPP(生态系统净初级生产力)数据、土地利用类型数据来源于中国科学院地理科学与资源研究所。气象数据来自中国气象科学数据共享服务网(<http://data.cma.cn/>)的中国地面气候资料年值数据集,自 1980 年至 2011 年的中国 752 个基本、基准地面气象观测站及自动站的气候资料年值数据集,内容包括气温、降水量等数据,本文仅使用年平均气温和年均降水量数据。土壤类型数据来源于江西农业大学国土学院。所有的空间数据都进行重采样到 250 m×250 m 栅格上,并统一地理坐标系和投影坐标系。相关规划数据通过江西省土地利用总体规划(2006—2020 年)以及《鄱阳湖生态经济区规划》(2010—2020 年)提取得到。

1.2 关键性生态空间辨识方法

1.2.1 生态系统服务功能重要性评价方法

本文借助 GIS 的空间分析平台进行关键性生态空间辨识过程。具体的技术路线为:第一,构建区域生物多样性、土壤保持、水源涵养和洪水调蓄 4 类生态用地指数,以及水土流失和地质灾害 2 类敏感性指数;第二,对各指数进行计算并分级赋值,以完成单因子生态用地重要性的辨识;第三,对各单因子生态重要性指数进行叠加处理,完成综合关键性生态空间的识别。

(1) 水源涵养功能重要性评价

水源涵养是生态系统(如森林、草地等)通过其特有的结构与水相互影响和作用,对大气降水进行截留、渗透、蓄积,并通过蒸、散发实现对水流、水循环的调节和控制,主要表现为缓和地表径流、补充地下水水源水位、减缓河流流量的季节波动、调滞洪枯、保证水源水质等方面。通常以生态系统水源涵养服务能力指数作为评价指标,具体计算公式如下。

$$WR = NPP_{\text{mean}} \times F_{\text{sic}} \times F_{\text{pre}} \times (1 - F_{\text{slo}}) \quad (1)^{[16]}$$

式中,WR 是生态系统水源涵养服务能力指数; NPP_{mean} 是评价区域多年生态系统净初级生产力平均值; F_{sic} 是土壤渗透因子; F_{pre} 是评价区域多年(10—30 年)平均年降水量数据插值并归一化到 0—1 之间; F_{slo} 是根据最大

最小值法归一化到0-1之间的评价区域坡度栅格图,可由DEM计算得到。

(2) 土壤保持功能重要性评价

土壤保持是生态系统(如森林、草地等)通过其结构与过程,减少由于水蚀所导致的土壤侵蚀的作用,是生态系统提供的重要调节服务功能之一。土壤保持功能主要与气候、土壤、地形和植被等有关。以生态系统土壤保持服务能力指数作为评价指标,计算公式如下。

$$S_{\text{pro}} = \text{NPP}_{\text{mean}} \times (1 - k) \times (1 - F_{\text{slo}}) \quad (2)^{[16]}$$

式中, S_{pro} 是生态系统土壤保持服务能力指数; NPP_{mean} 是评价区域多年生态系统净初级生产力平均值; F_{slo} 是根据最大最小值法归一化到0-1之间的评价区域坡度栅格图; k 为土壤可蚀性因子。

(3) 洪水调蓄功能重要性评价

洪水调蓄是生态系统通过自身的涵养水源,保持水土等功能调蓄洪水的能力,是生态系统提供的重要调节服务功能之一^[17]。洪水调蓄能力的强弱主要与植被覆盖、地形地貌、人类活动强度等有关^[18]。本文通过河湖缓冲区距离、洪水调蓄区等级和洪水淹没区范围来表征洪水调蓄功能重要性,这3个指标分别代表维护区域洪水调蓄能力的某个方面,因此采用析取算法叠加3个指标,取生态服务功能重要性最高者,即洪水调蓄能力指数 $Q = \max(\text{河湖缓冲区距离}, \text{洪水调蓄区等级}, \text{洪水淹没区范围})$,各评价因子的分级标准见表1。

表1 洪水调蓄评价因子及分级标准

Table 1 Evaluation factors and classification criteria of flood regulation

评价因子 Evaluation factors	极重要 Very important	重要 Important	中等重要 Medium important	一般重要 Generally important	不重要 Unimportant
河湖缓冲区距离/m Width of river and lake buffer zone	≤25	25—50	50—100	100—150	≥150
洪水调蓄区等级 Level of flood storage	4级	3级	2级	1级	其他区域
洪水淹没区范围 Range of flood inundation	10年 一遇范围	20年 一遇范围	50年 一遇范围	100年 一遇范围	其他区域
分级赋值 Grading assignment	9	7	5	3	1

(4) 生物多样性保护功能重要性评价

生物多样性保护是生态系统发挥着维持基因、物种、生态系统多样性的功能,其为生态系统提供的最主要功能之一。生物多样性保护功能重要性评价常采用基于物种的评价方法和基于生境多样性的评价方法^[19]。第一种方法是通过收集区域动植物多样性和环境资源数据,建立物种分布数据库,应用物种分布模型(SDM)量化物种对环境的依赖关系,结合关键物种的实际分布范围最终划定确保物种长期存活的保护红线。第二种方法主要应用于部分物种分布数据资料及分布精度缺失的情况下^[20]。本文研究中因部分物种分布数据不全,采用生境多样性评价方法进行评价。其具体计算公式如下。

$$S_{\text{bio}} = \text{NPP}_{\text{mean}} \times F_{\text{pre}} \times F_{\text{tem}} \times F_{\text{alt}} \quad (3)^{[16]}$$

式中, S_{bio} 为生态系统生物多样性保护服务能力指数; NPP_{mean} 为评价区域多年生态系统净初级生产力平均值; F_{pre} 为评价区域多年(10—30年)平均年降水量数据插值并归一化到0-1之间; F_{tem} 为评价区域气温参数,由多年(10—30年)平均年降水量数据插值获得,得到的结果归一化到0-1之间; F_{alt} 为海拔高度,由评价区域海拔归一化获得。

1.2.2 生态系统敏感性评价方法

针对研究区各土地利用生态系统敏感性情况不同,开展区域生态系统敏感性评价,评价内容包括水土流失敏感性、地质灾害敏感性等,并利用自然断点法(Natural break)对评价结果进行分级,将评价结果分为不敏感、一般敏感、中度敏感、高度敏感和极敏感。

(1) 水土流失敏感性评价

水土流失是重要的生态环境问题之一,研究水土流失潜在发生过程及其可能性,对于明确水土流失敏感性分布区域,合理制定区域水土保持措施,缓解区域生态环境压力,促进区域可持续发展具有重要意义。本文在凡非得、王娇等人研究基础上^[21-22],采用水土流失敏感性指数进行区域水土流失敏感性评价,具体评价公式如下:

$$SS_i = \sqrt[5]{R_i \times K_i \times LS_i \times C_i \times P_i} \quad (4)$$

式中, SS_i 为评价区域*i*空间单元水土流失敏感性指数,评价因子包括降水侵蚀力(R)、土壤可蚀性(K)、坡度坡长因子(LS)、地表植被覆盖因子(C)、人工措施因子(P),各评价因子的分级标准见表2。

表2 水土流失敏感性评价指标体系

Table 2 Evaluation index system of soil and water loss sensitivity

评价因子 Evaluation factors	不敏感 Non-sensitive	轻度敏感 Mildly sensitive	中度敏感 Moderately sensitive	高度敏感 Highly sensitive	极敏感 Extremely sensitive
降雨侵蚀力 Rainfall erosivity	<25	25—100	100—400	400—600	>600
土壤可蚀性 Soil erodibility	石砾、沙	粗砾土、细砾土、黏土	面沙土、壤土	砂壤土、粉黏土、壤黏土	砂粉土、粉土
坡度坡长 Slope and slope length	0—20	20—50	50—100	100—300	>300
地表植被覆盖 Vegetation cover	湖泊、湿地、滩涂、滩地	亚热带常绿阔叶林、针叶林、针阔叶混合林、灌木林	山顶矮林、竹林、高山植被	迹地、苗圃及各类园地	无植被覆盖、裸土地
人工措施 Manual measures	>0.8	0.6—0.8	0.4—0.6	0.2—0.4	0—0.2
分级赋值 Grading assignment	1	3	5	7	9

(2) 地质灾害敏感性评价

鄱阳湖生态经济区地质灾害主要是滑坡、泥石流、崩塌、地面塌陷等重力型地质灾害,其与势能有关,而势能又与海拔高程、植被覆盖、地形坡度、地形起伏度、人类活动干扰等关系密切。因此,本文借鉴前人研究成果中致灾因子对地质灾害的影响程度以及各因子对地质灾害的敏感性^[23-25],采用地质灾害敏感性指数进行区域地质灾害敏感性评价,具体评价公式如下:

$$GS_i = \sqrt{\prod_{i=1}^5 G_i} \quad (5)^{[16]}$$

式中, GS_i 为评价区域*i*空间单元地质灾害敏感性指数; G_i 为*i*个评价因子的敏感性等级值,具体评价因子包括植被覆盖情况、海拔高程、坡度、地形起伏度、人类活动干扰强度,各评价因子的分级标准见表3。

1.2.3 关键性生态空间辨识方法

从单因子分析评价得出的生态系统服务功能重要性和生态敏感性只能反映某一单因子的作用过程,要综合辨识出区域关键性生态空间,则需要根据各项因子的重要性分级赋值,计算每一个空间栅格单元上的综合生态用地指数,得到区域生态保护红线的空间分布等级图。因此,本文采用析取算法,通过计算区域综合生态用地指数,辨识关键性生态空间范围,其具体计算公式如下。

$$EL = \max(WR, S_{pro}, Q, S_{bio}, SS_i, GS_i) \quad (6)$$

式中, EL 为综合生态用地指数; WR 为生态系统水源涵养服务能力指数; S_{pro} 为生态系统土壤保持服务能力指数; Q 为生态系统洪水调蓄能力指数; S_{bio} 为生态系统生物多样性保护服务能力指数; SS_i 为评价区域*i*空间单元水土流失敏感性指数; GS_i 为评价区域*i*空间单元地质灾害敏感性指数。

表 3 地质灾害敏感性评价指标体系及权重

Table 3 Evaluation index system and weight of geological disaster sensitivity

评价因子 Evaluation factors	不敏感 Non-sensitive	轻度敏感 Mildly sensitive	中度敏感 Moderately sensitive	高度敏感 Highly sensitive	极敏感 Extremely sensitive
海拔高程/m Altitude	<50	50—100	100—200	200—500	>500
植被覆盖 Vegetation coverage	>0.8	0.6—0.8	0.4—0.6	0.2—0.4	0—0.2
坡度 Slope/(°) Slope	<5	5—10	10—15	15—25	>25
地形起伏度/m Topographic relief	<20	20—50	50—100	100—300	>300
人类活动干扰强度 Interference intensity of human activities	林地、高覆盖草 地、湖泊、滩涂、 滩地	水库坑塘、沼泽地、其 他未利用土地	耕地、中低覆盖草地、 裸土地	农村居民点、其他 建设用地	城镇、工矿建设 用地
分级赋值 Grading assignment	1	3	5	7	9

2 关键性生态空间辨识结果

2.1 生态系统服务功能重要性评价结果

依据上述已经建立的生态系统服务重要性评价方法,利用 ArcGIS 10.0 软件进行研究区水源涵养、土壤保持、洪水调蓄、生物多样性保护等单因子生态系统功能重要性评价,其重要性评价结果见表 4 和图 1。

表 4 鄱阳湖生态经济区生态系统服务功能重要性评价结果

Table 4 Evaluation of the importance of ecosystem services in Poyang Lake Ecological Economic Zone

评价因子 Evaluation factors	重要性等级 Importance level	面积 Area/km ²	百分比 Percentage/%	累积百分比 Cumulative percentage/%
水源涵养功能重要性 Importance of water conservation function	不重要	29688.31	56.22	56.22
	一般重要	11119.88	21.06	77.28
	中等重要	2725.38	5.16	82.44
	重要	4576.56	8.67	91.11
	极重要	4692.75	8.89	100
土壤保持功能重要性 Importance of soil conservation	不重要	32495.56	61.54	61.54
	一般重要	6893.50	13.06	74.60
	中等重要	3371.50	6.39	80.99
	重要	2641.50	4.99	85.98
	极重要	7400.81	14.02	100
洪水调蓄功能重要性 Importance of flood regulation function	不重要	41921.25	79.39	79.39
	一般重要	1592.63	3.02	82.41
	中等重要	649.63	1.23	83.64
	重要	1673.13	3.17	86.81
	极重要	6966.25	13.19	100
生物多样性保护功能重要性 Importance of biodiversity conservation	不重要	29452.38	55.78	55.78
	一般重要	11885.69	22.51	78.29
	中等重要	3118.56	5.91	84.20
	重要	1818.00	3.44	87.64
	极重要	6528.25	12.36	100

在水源涵养功能重要性评价方面,从表 4 和图 1a 中可以看出,极重要和重要的区域面积分别为 4692.75 km²和 4576.56 km²,占研究区总面积的 8.89%和 8.67%。该区域主要分布于鄱阳湖生态经济区东北部丘陵岗

地、怀玉山脉西段沿线、东南部的武夷山脉北段沿线以及西部的九岭山和幕阜山东段沿线,赣江流域、抚河流域中上游丘陵山地有零星斑块分布,这些地区水源涵养能力强,对维护当地水资源安全和提升水源涵养功能具有重要意义,能够起到减缓地表径流、补充地下水位、降低河流水量的季节性波动、保证水源水质等作用。

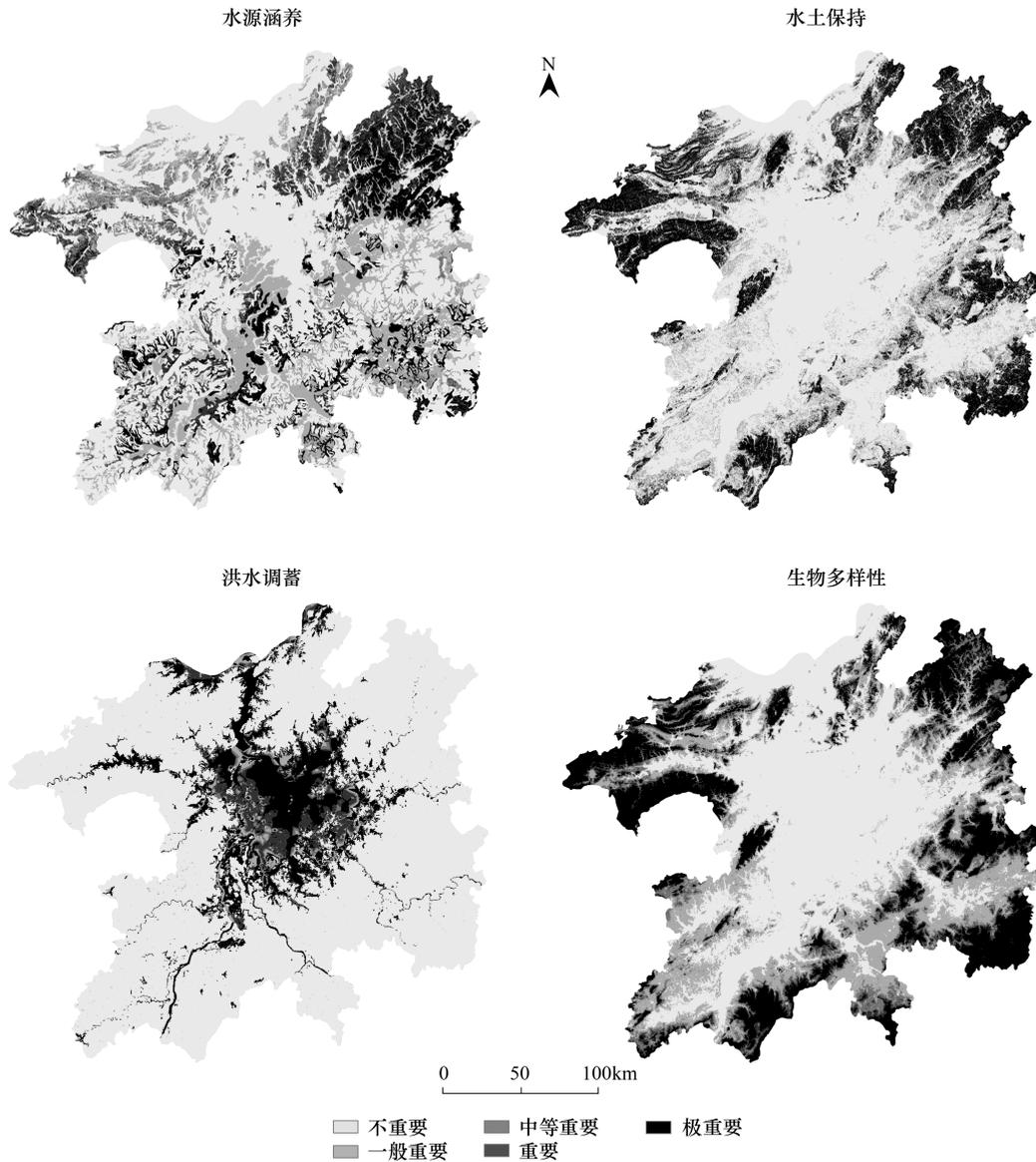


图 1 鄱阳湖生态经济区各生态系统服务功能重要性评价图

Fig.1 Evaluation of the importance of water conservation function in Poyang Lake Ecological Economic Zone

(a)为水源涵养功能重要性评价结果,(b)为水土保持功能重要性评价结果,(c)为洪水调蓄功能重要性评价结果,(d)为生物多样性功能重要性评价结果

在土壤保持功能重要性评价方面,从表 4 和图 1b 中可以看出,极重要和重要的区域面积分别为 7400.81 km²和 2641.50 km²,占研究区总面积的 14.02%和 4.99%。这些区域主要分布于庐山山脉、东北部低山丘陵岗地、东部的怀玉山脉西段沿线、东南部的武夷山脉北段沿线、西部九岭山和幕阜山东段沿线、南部的玉华山地区,这些地区主要大部分属于红壤、黄壤和黄褐土,土质松弛,加之海拔较高,地形起伏较大,极易发生由于强降水、河湖水流速度大等带来的土壤侵蚀问题。

在洪水调蓄功能重要性评价方面,从表 4 和图 1c 中可以看出,极重要和重要区域面积分别为 6966.25 km²和 1673.13 km²,占研究区总面积的 13.19%和 3.17%。主要分布于鄱阳湖湖体核心保护区域、柘林湖水库

区域、鄱阳湖生态经济区北部鄱阳湖与长江交汇区域以及区域内河流水系等,这些区域处于河谷平原地区,地势较低,是地表水源集中汇集区,也是水资源保护的重点区域,极易发生因强降雨、上游泄洪等发生洪涝灾害,威胁人民生活 and 居住区域安全。

在生物多样性保护功能重要性评价方面,从表 4 和图 1d 中可以看出,极重要区域面积为 6528.25 km²,占研究区总面积的 12.36%。主要分布于庐山山脉、东北部低山丘陵岗地、东部的怀玉山脉西段沿线、东南部的武夷山脉北段沿线、西部九岭山和幕阜山东段沿线、南部的玉华山地区,这些地区是鄱阳湖生态经济区生物多样性保护的核心地区,该区域森林种群丰富,是大部分生物物种的理想栖息地。其中,重要区域面积为 1818.00 km²,占研究区总面积的 3.44%,这些地区主要分布于极重要地区的外围,是本地生物物种核心栖息地的缓冲区和隔离带。极重要和重要区域的面积几乎接近研究区总面积的 1/6,是进行生物多样性保护的重点区域。

2.2 生态系统敏感性评价结果

依据前文已经建立的生态系统敏感性评价方法,利用 ArcGIS 10.0 软件,开展研究区水土流失、地质灾害等单因子生态系统敏感性评价,其敏感性评价结果见表 5。

表 5 鄱阳湖生态经济区生态系统敏感性评价结果

Table 5 Evaluation of ecosystem sensitivity of Poyang Lake Ecological Economic Zone

评价因子 Evaluation factors	重要性等级 Importance level	面积 Area/km ²	百分比 Percentage/%	累积百分比 Cumulative percentage/%
水土流失敏感性 Soil erosion sensitivity	不敏感	29272.19	55.44	55.44
	较敏感	12292.38	23.28	78.72
	中度敏感	4184.56	7.92	86.64
	高度敏感	2020.38	3.83	90.47
	极敏感	5033.38	9.53	100
地质灾害敏感性 Geological hazard sensitivity	不敏感	35196.19	66.65	66.65
	较敏感	7681.44	14.55	81.20
	中度敏感	2964.25	5.61	86.81
	高度敏感	4829.44	9.15	95.96
	极敏感	2131.56	4.04	100

在水土流失敏感性评价方面,从表 5 和图 2a 中可以看出,中度敏感及其以上区域面积为 9925.25 km²,占研究区总面积的 18.80%,其中高度敏感和极敏感区域面积为 4829.44 km²和 2131.56 km²,说明鄱阳湖生态经济区极易发生水土流失的可能性,这些区域主要分布在鄱阳湖湖体核心保护区沿线、柘林湖水库沿线、赣江、抚河、信江流域上游低山丘陵岗地,这些区域土质疏松,土壤相对贫瘠,植被覆盖率较低,因此,发生水土流失的可能性就较大。

在地质灾害敏感性评价方面,鄱阳湖生态经济区地质灾害主要是滑坡、泥石流、崩塌、地面塌陷等,从表 5 和图 2b 中可以看出,极敏感区域面积为 2131.56 km²,占研究区总面积的 4.04%。主要分布于庐山山脉、西部的九岭山和幕阜山东段、东北部的低山丘陵岗地、东南部的武夷山脉北段等区域,这些地区大多坡度大于 25°,且地表裸露,生态环境相对恶劣,是滑坡、泥石流、崩塌、地面塌陷等地质灾害频发的极端危险区域。高度敏感区域面积为 4829.44 km²,占研究区总面积的 9.15%,主要分布于东北部的低山丘陵岗地、东部的怀玉山脉西段沿线以及极敏感区域的周边,这些地区发生滑坡、泥石流、崩塌、地面塌陷等地质灾害的可能性较大。

2.3 关键性生态空间范围

根据相关研究成果,将生态系统服务功能重要性评价和生态系统敏感性评价极重要和极敏感区域作为底线型生态空间,重要和高度敏感区域作为危机型生态空间,中等重要和高度敏感区域作为缓冲型生态空间,一般重要和较敏感、不重要和不敏感区域作为安全性型生态空间。根据前文已经建立的鄱阳湖生态经济区关键

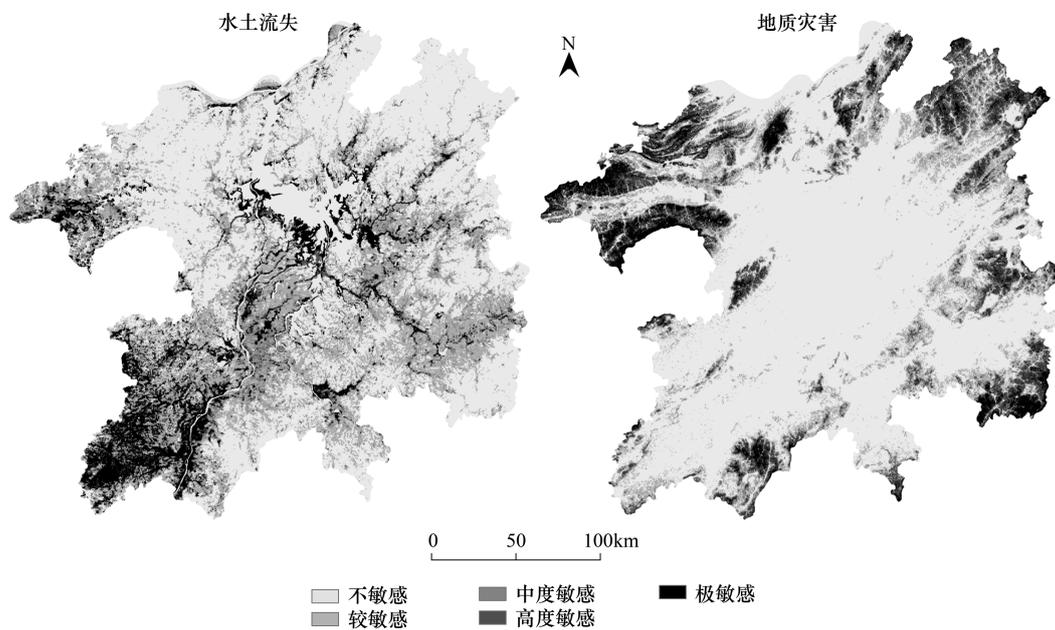


图2 水土流失敏感性和地质灾害敏感性评价图

Fig.2 Sensitivity evaluation

(a) 为水土流失敏感性评价结果, (b) 为地质灾害敏感性评价结果

性生态空间辨识方法,采用析取算法,得到鄱阳湖生态经济区关键性生态空间辨识范围(表6和图3)。

从表6和图3可以看出,经综合评价辨识后鄱阳湖生态经济区底线型生态空间面积为17125.31 km²,占研究区总面积的32.43%,其分布较为集中,主要分布于鄱阳湖湖体核心区、庐山山脉地区、东北部的低山丘陵岗地、东部的怀玉山脉西段沿线、东南部的武夷山脉北段沿线、西部的九岭山和幕阜山东段、南部的玉华山地区以及赣江、抚河流域中上游低山丘陵地区,区域内大中型水库等区域也有少量斑块分布,这些地区是维护区域生态安全的核心区域,生态环境脆弱,人类活动对其影响反应剧烈,是生态环境保护的底线安全区域,应加强生态环境保护和生态基础设施建设,严格禁止城镇开发建设等人类活动,保持生态平衡。危机型生态空间面积为4431.19 km²,占研究区总面积的8.39%,其主要分布于鄱阳湖湖体核心区的外围以及底线型生态空间的周

边,分布较为集中,对区域生态系统的安全保障起着重要作用,也应加强生态环境保护和生态基础设施建设,严格控制城镇开发建设等人类活动。缓冲型生态空间面积为6194.75 km²,占研究区总面积的11.73%,其分布较为零碎,应在保护生态环境的同时,允许有条件的进行城镇开发建设活动,履行严格的用地审批和生态环境保护要求,禁止盲目开发建设,合理规划,从而达到人与自然和谐相处。

2.4 现状土地利用生态安全冲突分析

将现状土地利用中的建设用地、农业用地与综合关键性生态用地叠加,通过分析建设用地和农业用地在关键性生态空间的分布结构来评价现状土地利用。

从表7可以看出,2010年鄱阳湖生态经济区中两类人类活动剧烈的土地利用类型中,超过90%的建设用

表6 鄱阳湖生态经济区关键性生态空间辨识结果

Table 6 Identification of red line in ecological protection of Poyang Lake Ecological Economic Zone

关键性生态空间类型 Type of critical ecological space	面积 Area/km ²	百分比 Percentage/%	累积百分比 Cumulative percentage/%
底线型生态空间 Urgent ecological space	17125.31	32.43	32.43
危机型生态空间 Crisis ecological space	4431.19	8.39	40.82
缓冲型生态空间 Crucial ecological space	6194.75	11.73	52.55
非关键性生态空间 Non-critical ecological space	25051.63	47.45	100

地是处于生态安全或生态较为安全的空间内,仍然有6%左右的建设用地是处于脆弱甚至极脆弱的生态环境中,对于这些区域的建设用地,一方面存在着较大的生命财产风险,另一方面它们的存在对区域自然环境、生态安全也构成极大的威胁。而在耕地利用中,有接近90%的农用地是处于安全或者较安全的区域中,而约有10%的耕地是处于脆弱甚至是极脆弱的生态环境中,这部分耕地的存在对区域生态环境构成了较大的威胁。

3 讨论、结论与政策启示

3.1 讨论

关键性生态空间承担着维护区域生命土地的安全和健康的重要使命。任一单元的土地都可能承担多种生态过程,从空间上将区域重要的生态服务功能和面临的主要生态危机作为辨识指标可以较为全面地反映出区域的关键性生态空间。本文将区域多种关键的生态过程统一纳入辨识方法中,从栅格的尺度评价出关键性生态空间,对区域土地利用规划、永久基本农田划定以及构建生态安全的土地利用格局都有较大的参考意义,但在某些单一生态过程分析评价过程中,由于受数据获取和评价指标空间化等影响,数据还不够精准,如在进行生物多样性保护功能重要性评价时,未能连续监测指示物种分布热点及生活习性等。此外,本文在关键性生态空间的级别划分上是根据各单项评价中最高级别作为综合生态空间级别,各单项级别则是根据得分从高到底依次划分,这种不区分生态过程的统一划分方法可能会忽视某一生态过程的突出作用,因此在以后的研究工作中这些部分有待进一步补充完善,以便更加精准辨识区域关键性生态空间。

及构建生态安全的土地利用格局都有较大的参考意义,但在某些单一生态过程分析评价过程中,由于受数据获取和评价指标空间化等影响,数据还不够精准,如在进行生物多样性保护功能重要性评价时,未能连续监测指示物种分布热点及生活习性等。此外,本文在关键性生态空间的级别划分上是根据各单项评价中最高级别作为综合生态空间级别,各单项级别则是根据得分从高到底依次划分,这种不区分生态过程的统一划分方法可能会忽视某一生态过程的突出作用,因此在以后的研究工作中这些部分有待进一步补充完善,以便更加精准辨识区域关键性生态空间。

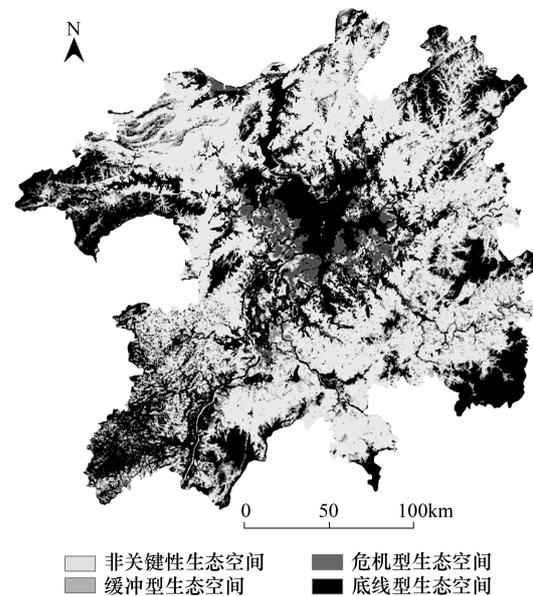


图3 鄱阳湖生态经济区关键性生态空间范围

Fig.3 Ecological scope of ecological protection of Poyang Lake Ecological Economic Zone

表7 现状土地利用生态安全冲突区

Table 7 Land use ecological security conflict zone

关键性生态空间级别 Type of critical ecological space	建设用地 Construction land/hm ²	占比 Percentage/%	耕地 Cultivated land	占比 Percentage/%
非关键性生态区 Non-critical ecological space	145947.49	90.69	1776972.53	85.71
缓冲生态区 Crucial ecological space	5465.78	3.39	103083.95	4.97
危机生态区 Crucial ecological space	2427.03	1.51	42377.08	2.04
底线生态区 Urgent ecological space	7082.38	4.40	150698.68	7.27
合计	160922.68	100.00	2073132.24	100.00

3.2 结论

根据不同类型土地的生态功能及评价目标的差异性,本文分别从生态系统服务功能重要性和生态系统敏感性两个方面,选取水源涵养、土壤保持、洪水调蓄、生物多样性保护、水土流失以及地质灾害等六个单因子生态过程,构建了区域关键性生态空间辨识方法,并基于RS和GIS等相关空间信息技术以栅格(250 m×250 m)

为单元对研究区进行关键性生态空间辨识,得到如下结论:

本文将鄱阳湖生态经济区生态保护红线区划分为底线型生态空间、危机型生态空间和缓冲型生态空间。通过叠加分析,结果表明鄱阳湖生态经济区关键性生态空间面积为 27751.25 km²,大约占研究区总面积的一半,其中底线型生态空间占比最大,达到 32.43%,大约占全区面积的 1/3。缓冲型生态空间次之,为 11.73%。辨识结果较好地反映维护区域自然生态环境和人类活动范围的空间分布特征,也验证了提出构建区域关键性生态空间辨识方法的可行性。在关键性生态空间内,耕地和建设用地面积分别为 8539.5 km²和 860.38 km²,占关键性生态空间总面积的 30.77%和 3.1%。

3.3 政策启示

通过辨识鄱阳湖生态经济区关键性生态空间,针对不同关键空间提出相应的政策启示,以便更好的保护区域生态环境,构建区域生态安全格局,实现人与自然和谐相处。

(1) 针对底线型生态空间,可制定相关政策法规,以法律法规的形式将底线型红线区域纳入城市发展、经济发展、城乡建设用地扩张和耕地开垦的禁止开发区域,同时,在生态保护的核心区域(如鄱阳湖湖体核心区、区域各流域支流沿岸地带、高山森林区域、水源保护区等)严格禁止任何城镇开发建设活动,切实加强对区域生态环境保护的宣传教育力度,推动公众自觉参与到生态环境保护中来,采取生态保育和生态调控措施,实施退耕还林还湖还草,封山育林以及加强对水源保护区的保护力度,重点区域实施生态移民,从而缓解当地生态环境压力。

(2) 针对危机型生态空间,在实现上述调控措施的基础上,要实施区域土地利用生态补偿政策,界定好补偿的对象、补偿标准和方式等,对合理利用土地资源和保护生态环境的对象从经济利益等方面进行合理补偿,构建土地利用生态补偿的常态化机制,同时,要创新土地利用生态补偿机制,可通过税收等财税手段加大对区域生态环境产生不良影响的经济活动主体征税力度,通过税收杠杆把区域生态安全引导向健康道路。

(3) 针对缓冲型生态空间,在实现上述调控措施的基础上,要加强生态安全的动态监测,合理调控区域土地利用,确定好自然生态用地、农业用地以及城市建设用地等控制指标,保证自然生态用地、农业用地和城市建设用地三者动态平衡,不断优化生态安全格局。同时,环境保护各主管部门要相互协调,及时发现生态环境破坏行为,及时处理,将对生态环境威胁的行为影响降到最低。

在土地利用生态安全冲突分析中可知有部分现状耕地和建设用地位于关键性生态空间内,这两类土地是人类干扰强度最大的土地类型,一旦人们干扰强度超过了其生态承受能力,则会影响生态系统功能的正常运行,从而威胁局地甚至全区的生态安全。随着我国经济的发展和城镇化水平的提速,人类活动范围的扩大和活动强度的增强,都将会对区域自然生态环境以及维护区域生态安全产生更大的干扰。因此,通过关键性生态空间的辨识,可以提前预警农业、城镇发展与关键性生态用地发生冲突的空间位置,为区域合理而又科学地规划土地利用提供依据。

参考文献 (References):

- [1] Margules C R, Nicholls A O, Pressey R L. Selecting networks of reserves to maximise biological diversity. *Biological Conservation*, 1988, 43(1): 63-76.
- [2] Snyder S, ReVelle C, Haight R. One- and two- objective approaches to an area-constrained habitat reserve site selection problem. *Biological Conservation*, 2004, 119(4): 565-574.
- [3] Klein C J, Wilson K A, Watts M, Stein J, Carwardine J, Mackey B, Possingham H. Spatial conservation prioritization inclusive of wilderness quality: a case study of Australia's biodiversity. *Biological Conservation*, 2009, 142(7): 1282-1290.
- [4] Orsi F, Church R L, Geneletti D. Restoring forest landscapes for biodiversity conservation and rural livelihoods: A spatial optimisation model. *Environmental Modelling & Software*, 2011, 26(12): 1622-1638.
- [5] Rouget M, Cowling R M, Pressey R L, Richardson D M. Identifying spatial components of ecological and evolutionary processes for regional conservation planning in the Cape Floristic Region, South Africa. *Diversity and Distributions*, 2003, 9(3): 191-210.
- [6] Vimal R, Pluvinet P, Sacca C, Mazagol P O, Etlicher B, Thompson J D. Exploring spatial patterns of vulnerability for diverse biodiversity

- descriptors in regional conservation planning. *Journal of Environmental Management*, 2012, 95(1): 9-16.
- [7] Moilanen A, Arponen A. Administrative regions in conservation: Balancing local priorities with regional to global preferences in spatial planning. *Biological Conservation*, 2011, 144(5): 1719-1725.
- [8] Vos C C, Van Der Hoek D C J, Vonk M. Spatial planning of a climate adaptation zone for wetland ecosystems. *Landscape Ecology*, 2010, 25(10): 1465-1477.
- [9] Brouwer R, Van Ek R. Integrated ecological, economic and social impact assessment of alternative flood control policies in the Netherlands. *Ecological Economics*, 2004, 50(1/2): 1-21.
- [10] Zagas T D, Raptis D I, Zagas D T. Identifying and mapping the protective forests of southeast Mt. Olympus as a tool for sustainable ecological and silvicultural planning, in a multi-purpose forest management framework. *Ecological Engineering*, 2011, 37(2): 286-293.
- [11] 陈爽, 刘云霞, 彭立华. 城市生态空间演变规律及调控机制——以南京市为例. *生态学报*, 2008, 28(5): 2270-2278.
- [12] 谢花林. 基于 Logistic 回归模型的区域生态用地演变影响因素分析——以京津冀地区为例. *资源科学*, 2011, 33(11): 2063-2070.
- [13] 曾招兵, 陈效民, 李英升, 邱尧荣, 方堃. 上海市青浦区生态用地建设评价指标体系研究. *中国农学通报*, 2007, 23(11): 328-332.
- [14] 刘昕, 谷雨, 邓红兵. 江西省生态用地保护重要性评价研究. *中国环境科学*, 2010, 30(5): 716-720.
- [15] 李锋, 叶亚平, 宋博文, 王如松. 城市生态用地的空间结构及其生态系统服务动态演变——以常州市为例. *生态学报*, 2011, 31(19): 5623-5631.
- [16] 国家环境保护部自然生态保护司. 国家生态保护红线—生态功能红线划定技术指南(试行), 2014.1.
- [17] 李赛红, 马其芳. 区域土地利用生态安全研究进展. *国土与自然资源研究*, 2012, (2): 41-44.
- [18] 陈文波, 赵丽红, 钱奇霞. 鄱阳湖区土地利用安全格局研究. *农业工程学报*, 2008, 24(7): 86-90.
- [19] 彭羽, 卿凤婷, 米凯, 薛达元. 生物多样性不同层次尺度效应及其耦合关系研究进展. *生态学报*, 2015, 35(2): 577-583.
- [20] 李果, 吴晓蕾, 罗遵兰, 李俊生. 构建我国生物多样性评价的指标体系. *生物多样性*, 2011, 19(5): 497-504.
- [21] 凡非得, 王克林, 熊鹰, 宣勇, 张伟, 岳跃民. 西南喀斯特区域水土流失敏感性评价及其空间分异特征. *生态学报*, 2011, 31(21): 6353-6362.
- [22] 王娇, 程维明, 祁生林, 周成虎, 张文杰, 全迟鸣. 基于 USLE 和 GIS 的水土流失敏感性空间分析——以河北太行山区为例. *地理研究*, 2014, 33(4): 614-624.
- [23] 苏泳娴, 张虹鸥, 陈修治, 黄尧庆, 叶玉瑶, 吴旗韬, 黄宇生, 匡耀求. 佛山市高明区生态安全格局和建设用地扩展预案. *生态学报*, 2013, 33(5): 1524-1534.
- [24] 俞孔坚, 李海龙, 李迪华, 乔青, 奚雪松. 国土尺度生态安全格局. *生态学报*, 2009, 29(10): 5163-5175.
- [25] 周锐, 王新军, 苏海龙, 娄翼来. 平顶山新区生态用地的识别与安全格局构建. *生态学报*, 2015, 35(6): 2003-2012.