

2010—2015 年江苏省环太湖及沿海地区土地利用变化和生态风险分析

张小强^{1,2}, 王云燕³, 黄娟^{1,2} (1. 江苏省环境工程重点实验室, 江苏省环境科学研究院, 江苏南京 210036; 2. 江苏省环保集团有限公司, 江苏南京 210036; 3. 河海大学环境学院, 江苏南京 210036)

摘要 以江苏省环太湖和沿海地区为研究对象, 运用遥感影像资料及地理信息技术, 将研究区域土地利用类型划分为耕地、林地、草地、湿地、人工表面及其他用地 6 种土地利用类型, 并对各类用地空间分布及比例进行现状分析。基于土地利用类型及景观类型指数探讨太湖一级保护区 2010—2015 年土地利用动态变化规律, 并在此基础上构建区域生态风险指数, 对江苏盐城市沿海生态风险时空分布及演变情况进行分析。结果表明, 环太湖地区人工表面面积最大, 沿海地区则以耕地为主, 太湖一级保护区以湿地为主, 2010—2015 年各地类转化复杂, 景观格局趋于复杂化、分散化。区域生态风险评价表明沿海地区生态风险程度自内陆向沿海呈梯度状增大趋势。区域生态风险及土地利用方式转变与人类的生产、生活有着密不可分的关系, 因此, 应优化土地利用转化模式, 加强较高生态风险区域生态保护, 以实现土地资源的可持续性发展及区域生态风险的有效管理。

关键词 太湖; 沿海地区; 土地利用; 生态风险评价; 景观格局

中图分类号 X 826 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2020)17-0097-07

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2020.17.025

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Land Use Change and Ecological Risk Analysis around Taihu Lake and Coastal Areas in Jiangsu Province from 2010 to 2015

ZHANG Xiao-qiang^{1,2}, WANG Yun-yan³, HUANG Juan^{1,2} (1. Jiangsu Provincial Key Laboratory of Environmental Engineering, Jiangsu Provincial Academy of Environmental Science, Nanjing, Jiangsu 210036; 2. Jiangsu Environmental Protection Group Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu 210036; 3. College of Environment, Hohai University, Nanjing, Jiangsu 210036)

Abstract This article focused on the area around Taihu Lake and coastal areas in Jiangsu Province, and used remote sensing image data and geographic information technology to divide the land use types in the study area into six land use types: cultivated land, forest land, grassland, wetland, artificial surface and other land use types. The current status of the spatial distribution and proportion of various land uses was analyzed. Based on the land use type and landscape type index, the dynamic changes of land use in Taihu first-grade protected areas from 2010 to 2015 were discussed. Based on this, a regional ecological risk index was constructed to analyze the spatial and temporal distribution and evolution of coastal ecological risks in Yancheng, Jiangsu. The results showed that the area around Taihu Lake had the largest artificial surface area, the coastal areas were dominated by cultivated land, and the Taihu first-grade protected areas were dominated by wetlands. The transformation between various land types was complex and the landscape pattern tended to become more complex and decentralized between 2010 and 2015. The regional ecological risk assessment showed that the ecological risk of coastal areas increased gradually from inland to coastal areas. Regional ecological risks and changes in land use were closely related to human production and life. Therefore, it should optimize land use conversion mode, strengthen ecological protection area of high ecological risk, in order to achieve sustainable development and effective management of ecological risks of regional land use of resources.

Key words Taihu Lake; Coastal area; Land use; Ecological risk assessment; Landscape pattern

土地是人类从事一切经济活动和生存发展的基础, 其结构和功能的稳定为人类社会的可持续性发展提供先决条件^[1-2]。1995 年, 国际地圈-生物圈计划(IGBP)与全球环境变化中的人文因素计划(HDP)联合确定土地利用/覆被变化(land use and land cover change, LUCC)为科学研究计划的核心项目, 使 LUCC 研究成为全球变化研究的前沿和热点^[3-4]。LUCC 是区域人类活动的指示器, 作为人类开发利用自然地理环境最直观的表现形式之一, 其与人类活动及全球环境变化紧密相连, 一定程度上反映人与自然相互作用的过程^[5-6]。近年来, 随着人类对地表空间占用范围及自然生态系统干扰程度的扩大, 原始自然环境和景观格局发生一系列变化。为更好地寻求人与自然和谐发展、合理有效规避生态风险, 探究土地利用时空演变及区域生态风险评价已成为当前区域环境管理、生态修复工作的热点研究领域之一^[7-8]。

生态风险评价(ecological risk assessment)是研究生态系统及其组分在受到外界一种或多种压力的情况下, 对其可能发生或正在发生的不利生态影响的过程进行评估的一种方法^[9-10]。最初起源于 20 世纪 80 年代, 局限于人体健康风险评价领域^[11]。随着生态风险评价理论和方法的迅速发展, 评价尺度由种群、生态系统向景观和区域水平不断扩大, 区域生态风险评价^[12-14]则是在区域尺度上描述和评价环境污染、人为胁迫或自然灾害等一种或多种风险因子对不同区域内的生态系统结构与功能等产生不利作用的可能性和潜在危害程度, 引入空间异质性理论, 体现不同土地利用方式和强度对生态影响的区域性和积累性特征。景观生态评价作为区域生态风险评价的重要分支领域, 旨在研究人类因素与景观格局和景观生态的相互作用。近年来, 基于土地利用动态变化的区域生态风险评价已成为研究焦点^[15-22]。巩杰等^[15]基于土地利用变化的生境脆弱度和景观生态损失度, 对甘肃白龙江流域的景观生态风险及其时空分异进行评价; 王涛等^[16]利用 GIS 空间分析技术和 Fragstats 软件构建景观生态风险指数, 对洱海流域生态风险时空变化及演变机制进行评价; 高永年等^[20]基于太湖流域土地利用变化, 构建景观生态风险评价指数, 探究景观生态风险与土地利用变化的效

基金项目 国家十三五水体污染控制与治理科技重大专项“太湖流域水生态环境功能分区管控策略研究与业务化运行”(2018ZX02708-004); 江苏省环境工程重点实验室开放课题项目(ZX2017007)。

作者简介 张小强(1983—), 男, 甘肃庆阳人, 工程师, 从事灾害遥感监测与评估研究。

收稿日期 2020-01-07

应。除流域外,城市水平及沿海地区的生态风险评估也得到不断发展,肖琳等^[23]对天津市,谭三清等^[24]对长沙市,曾勇^[25]对呼和浩特市区进行土地利用及时空分布特征评价;高宾等^[26]、吴莉等^[27]、田颖等^[28]基于景观格局分别对锦州湾沿海经济开发区、山东沿海地区、江苏沿海地区进行土地利用生态风险评价。但区域生态风险问题往往由多个因素交互作用引起,产生的影响后果往往难以预测,需要针对不同地区的区域特征进行评价和分析。

江苏省太湖流域及沿海地区近30多年来在经济建设领域取得了显著的成绩,在长三角乃至全国范围内起到了举足轻重的作用。但同时也付出了巨大的生态环境代价,优质耕地大幅流失、河湖湿地萎缩、生物多样性降低、海洋自然岸线减少,物种资源严重衰退、生态服务功能不断下降、土壤污染逐步显现,经济社会快速发展与资源环境承载能力不足的矛盾突出,未来中长期生态风险日逾凸显。因此,笔者以江苏省环太湖及沿海地区为研究对象,探究土地利用现状及变化特征,构建生态风险评价指数,对沿海地区盐城市进行区域生态风险评价,以期对江苏省环太湖和沿海地区的土地利用资源可持续利用及生态安全提供科学依据。

1 研究区概况

太湖流域是长江下游以太湖为中心的一个支流水系,包

括江苏省苏南地区,浙江省的嘉兴、湖州两市及杭州市的一部分,上海市的大部分。该研究中环太湖流域仅为常州市、无锡市、苏州市3市行政区域范围。流域面积约 $3.69 \times 10^4 \text{ km}^2$,其中山区丘陵占16%,河湖水面占16%,平原占68%,流域内中间为平原、洼地,西部为天目山、茅山及山麓丘陵,北、东、南三边受长江口及杭州湾泥沙淤积的影响,形成沿江及沿海高地,整个地形呈“碟状”,太湖及主要湖泊湖底高程为1.0 m。流域位于中纬度地区,属湿润的北亚热带气候,具有明显的季风特征,年平均气温 $15 \sim 17 \text{ }^\circ\text{C}$,自北向南递增,自然植被主要分布于丘陵山地,从北向南植被组成与类型渐趋复杂。

江苏省海岸带位于长江淮河下游、黄东海之滨,海岸线全长889 km,北起苏鲁交界绣针河口,南至长江口南岸苏沪交界处,海域面积 $3.75 \times 10^4 \text{ km}^2$,属于粉沙淤泥质海岸。江苏沿海处于胶辽隆起与苏北-南黄海凹陷带的过渡地带,以盱眙-响水-开山岛一线为界。海岸地貌分为海岸平原、潮间带、0~20 m近海海底平原。江苏省沿海地区包括连云港、盐城市、南通市3个市的市区及下属灌云、东台、海门等(县)市,位于北亚热带和暖温带过渡带,土地和滩涂资源丰富(图1)。

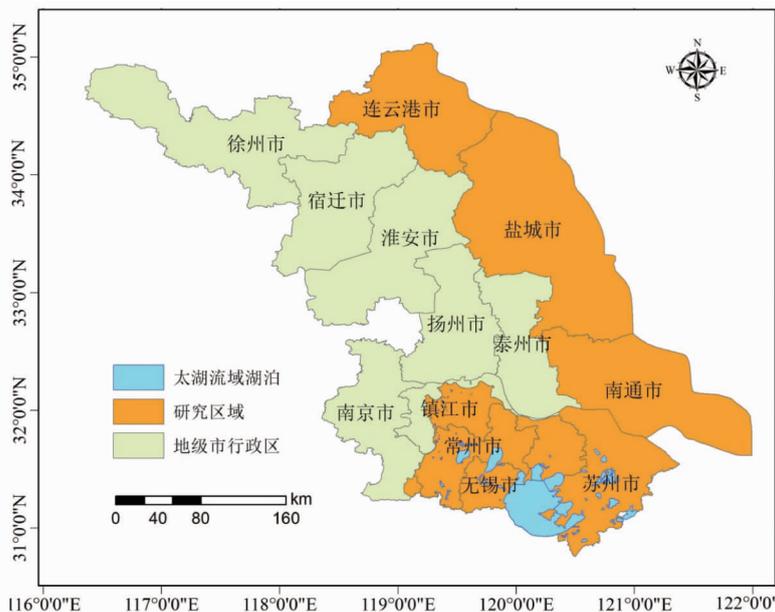


图1 研究区域地理位置

Fig. 1 Geographical location of the study area

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源及处理 在多源遥感影像数据(LANDSAT 8, SPOT 6&7, ASTER)分析的基础上,结合江苏省30 m DEM地形数据、野外实地调查及江苏省行政区划资料,应用光谱、空间、时间等多维信息获取的方法,利用ERDAS软件对遥感影像数据进行几何校正、辐射定标、大气校正、影像融合、影像镶嵌、影像裁剪、影像重采样、区域裁剪等数据预处理,利用最大似然法进行监督分类,其Kappa系数为0.76。在地理信息系统(geographical information system, GIS)及遥感(remote

sensing, RS)技术的支持下,基于研究区域土地资源利用状况,结合区域景观特征和光谱特征,建立遥感解译标志,对不同时期的遥感影像进行解译分析,得到江苏省环太湖流域及沿海地区土地覆被图,并对遥感影像分类结果进行精度检验,该研究的Kappa系数在0.86以上,符合江苏省土地分类精度要求。

2.2 研究方法

(1)景观损失度指数。景观指数是景观生态学中最常用的定量研究方法,通过单个指数或若干个指数组合,其数值

变化表征的生态意义不仅可以描述景观格局及变化,也可将格局与过程联系起来。不同景观类型对维护区域原有生态功能的能力不同,促进景观格局演变的能力不同,对外界干扰的抵抗力也不同。选取景观干扰度指数和景观脆弱度指数来构建景观损失指数,用以反映外界干扰下各景观类型代表的生态系统受到的风险威胁程度,其计算公式:

$$R_i = S_i \times F_i \quad (1)$$

式中, R_i 为第 i 类景观的景观损失度指数, S_i 为景观干扰度指数, F_i 为景观脆弱度指数。

景观干扰度指数由景观破碎度指数、景观分离度指数和景观优势度加权叠加,表达式:

$$S_i = aC_i + bN_i + cD_i \quad (2)$$

$$\text{其中, } C_i = \frac{n_i}{A_i}, N_i = \frac{A}{2A_i} \sqrt{\frac{n_i}{A}}, D_i = \frac{O_i + P_i + 2Q_i}{4}$$

式中, C_i 为景观破碎度指数; N_i 为景观分离度指数; D_i 为景观优势度; a 、 b 、 c 为 C_i 、 N_i 、 D_i 3 种指数对应的权重,权重之和为 1; n_i 为景观 i 对应的斑块数, A_i 为景观 i 对应的面积, A 为景观的总面积, Q_i 为斑块 i 出现的样方数与总样方数之比, P_i 为斑块 i 的数目与斑块总数之比, Q_i 为斑块 i 的面积与总面积之比^[29]。结合前人已有研究成果^[15,30],认为破碎度指数最重要,其次为分离度指数和优势度指数,以上 3 种指数分别赋权重 0.6、0.3、0.1。

景观脆弱度指景观类型对外部干扰能力抵抗力的大小,遭受外界风险时偏离稳定状态的难易程度。结合研究区域的景观特点及已有研究成果,认为未利用地最为脆弱,建设用地最为稳定。各类景观类型的脆弱度表现为未利用地>水域>耕地>草地>林地>建设用地,依据景观类型脆弱性由高到低依次赋值,未利用地=6、水域=5、耕地=4、草地=3、林地=2、建设用地=1,并进行归一化处理,得到各景观类型自身的脆弱度指数 F_i 。

(2) 风险小区划分。为了将生态风险评价指数空间化显示,运用 ArcGIS 对研究区域范围进行网格化以划定采集生态风险评价单元的样本。综合考虑研究区域的评价范围及斑块大小,将研究区域划分为 5 km×5 km 的正方形网格,共计 460 个评价单元样区,对研究区域进行等间距采样,利用每种景观类型的景观损失度指数和每种景观类型在样区的面积比重,分别计算各评价单元样区的生态风险,作为样区中心点的生态风险值。

(3) 景观生态风险指数。景观生态风险指数用以描述研究区域生态损失相对大小,该研究中景观生态风险指数根据每种景观类型的景观损失指数和每种景观类型在样区的面积比重,计算各风险小区的生态风险,计算公式:

$$ERI_i = \sum_{k=1}^n \frac{A_{ki}}{A_k} R_i \quad (3)$$

式中, ERI_i 为第 i 个风险小区的景观生态风险指数; R_i 为第 i 类景观的景观损失度指数; A_{ki} 为第 k 个风险小区内景观类型 i 的面积; A_k 为第 k 个风险小区的面积,为景观类型。

(4) 地统计分析。地统计学是用于统计一系列检测、模

拟、估计变量在空间上的相关关系和格局的方法。半方差分析方法作为地统计学的一部分,运用统计学方法来进行空间特征分析,为了更加直观地反映研究区域内生态风险等级的空间分布特征,利用 ArcGIS 中的空间分析及地统计功能,将 460 个风险小区的风险指数赋给样区中心点,采用半方差函数理论拟合分析,对样本点的风险值进行空间插值,得到研究区的生态风险空间分布图。半方差计算公式:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} [Z(x_i+h) - Z(x_i)]^2 \quad (4)$$

式中, $\gamma(h)$ 是半方差; h 是样本距; $Z(x_i)$ 、 $Z(x_i+h)$ 是位于 x_i 、 x_i+h 处的风险值; $n(h)$ 是间距为 h 的样本对总数。半方差有 3 个基本参数:块金值(nugget)、基台值(sill)、变程(range)。当 $h=0$ 时, $\gamma(h)$ 为块金值 C_0 ;当 h 增大 A_0 (变程),直到 $\gamma(h)$ 为一个稳定不变的常数,这个常数就是基台值(C_0+C), C 是结构方差;块金值 C_0 表示由随机因素引起的变异,结构方差 C 表示空间自相关造成的变异;基台值 [C_0+C] 表示研究区总的变异程度,值越大总的空间差异性越大;块金值与基台值的比值 [$C_0/(C_0+C)$] 表示系统中变量的空间相关程度,若小于 25%,说明相关性强;若大于 75%,说明相关性很弱。

运用 GIS 空间分析模型对半方差函数进行拟合,并在此基础上采用 Kriging 法对盐城沿海县市风险值进行空间插值,并对风险值进行分级统计,共分为 5 级,即低风险区($ERI \leq 0.25$)、较低风险区($0.25 < ERI \leq 0.35$)、中风险区($0.35 < ERI \leq 0.45$)、较高风险区($0.45 < ERI \leq 0.55$) 和高风险区($ERI > 0.55$)。

(5) 空间自相关分析。空间自相关分析的目的在于确定变量在空间上的依赖关系,以及这种关系是否对变量在空间上的分布格局有重要影响,有全局空间自相关和局部空间自相关之分。利用全局自相关系数 Moran's I 指数测度研究区域生态风险值在整体上的自相关,反映整体空间关联和差异状态。并用空间关联局部指标(LISA)进行局部空间自相关分析,检测局部地区是否存在统计显著的生态风险高高集聚“热点区”和低低集聚“冷点区”。

Moran's I 指数公式:

$$I = n \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (5)$$

LISA 公式:

$$LISA = (x_i - \bar{x}) \sum_j w_{ij} (x_j - \bar{x}) / \sum_i (x_j - \bar{x})^2 / n \quad (6)$$

式中, I 为生态风险的双变量全局自相关系数, x_i 、 x_j 为变量 x 在相邻配对栅格细胞的值, \bar{x} 是平均值, w_{ij} 是相邻权重, n 是空间单元总输。 I 取值在 $[-1, 1]$,大于 0 表示正相关,小于 0 表示负相关,等于 0 表示不相关。

3 结果与分析

3.1 研究区域土地利用现状 通过对多源遥感影像数据进行几何校正和图像掩膜,在影像光谱特征、纹理特征的基础上,建立遥感影像解译标志,进行图像处理。将江苏省环太湖及沿海地区土地利用划分为人工表面、林地、湿地、草地、

耕地、其他6类用地类型,并对各类土地利用类型的空间分布及比例进行分析。

(1)环太湖地区土地利用现状。环太湖地区包括常州、无锡、苏州3市行政区域,面积为 $1.75 \times 10^4 \text{ km}^2$,2015年土地

利用类型以人工表面、湿地、耕地、林地为主,总比例为99.6%。其中人工表面 $6\,272 \text{ km}^2$,占江苏太湖流域面积35.8%;其次为湿地、耕地和林地,分别为32.3%、25.5%、6.1%。(图2、3)。

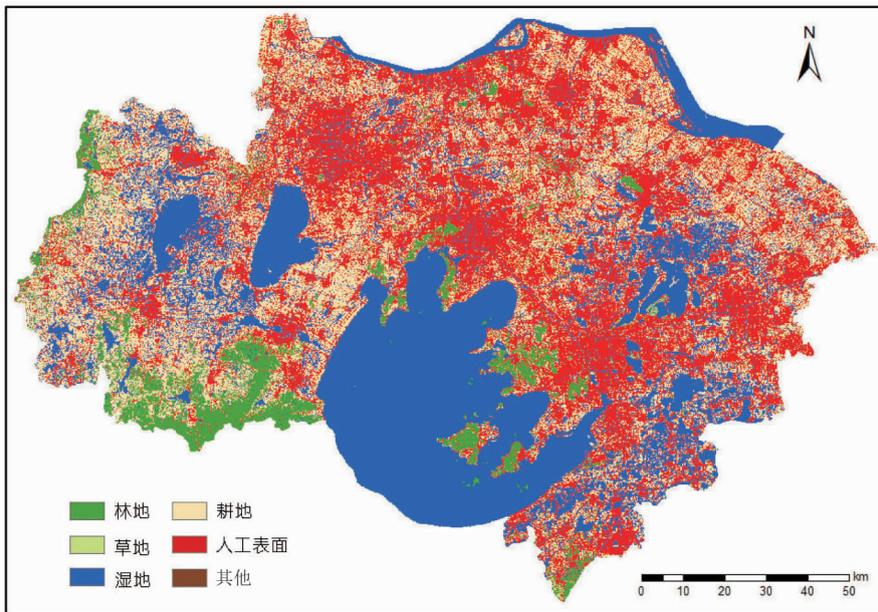


图2 江苏省土地利用类型

Fig.2 Land use types in Jiangsu Province

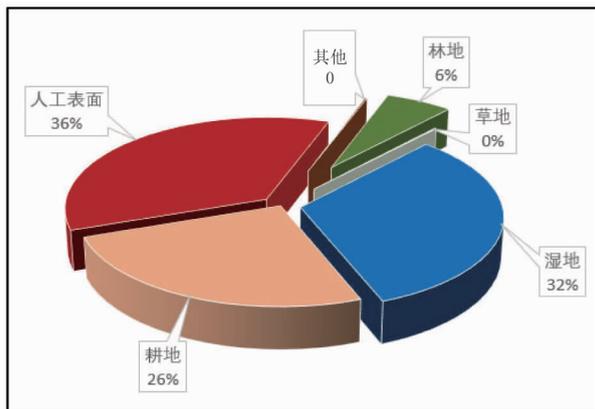


图3 江苏省土地利用类型结构

Fig.3 Land use type structure in Jiangsu Province

2015年太湖一级保护区(沿湖岸5 km区域)总面积为 $3\,793.81 \text{ km}^2$,主要为林地、耕地、湿地和人工表面。其中林地面积 399.26 km^2 ,占10.51%;耕地面积 367.23 km^2 ,占9.68%;人工表面面积 513.87 km^2 ,占13.54%;湿地面积 $2\,511.31 \text{ km}^2$,占66.19%,其中太湖湖泊面积 $2\,427.8 \text{ km}^2$,占湿地面积的96.67%;其他用地面积 2.14 km^2 ,占0.06%(图4)。

(2)沿海地区土地利用现状。江苏省沿海地区面积为 $3.22 \times 10^4 \text{ km}^2$,2015年土地利用类型以耕地、人工表面、湿地为主,总比例为98.6%。其中耕地 $2.18 \times 10^4 \text{ km}^2$,占沿海地区面积67.5%;其次为人工表面和湿地,分别为20%、11%(图5、6)。

以江苏海岸线向陆延伸10 km作为近岸地区海岸带范

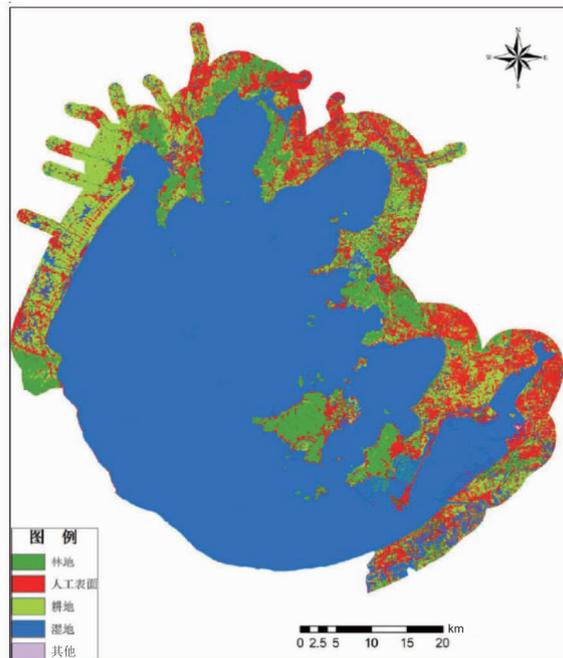


图4 太湖流域一级保护区土地利用类型结构

Fig.4 Land use type structure of Taihu Basin primary reserve

围,北起绣针河口苏鲁交界海陆分界点,南至启东市连兴港口,全长889 km,区域内面积 $5\,452 \text{ km}^2$ 。江苏省近岸地区2015年土地利用类型以耕地、湿地、人工表面为主,总比例为96.7%。其中耕地面积 $2\,272 \text{ km}^2$,占海岸带地区面积41.7%;其次为湿地和人工表面,分别为35.2%、19.8%,有少部分林地,主要位于连云港云台山地区(图7、8)。

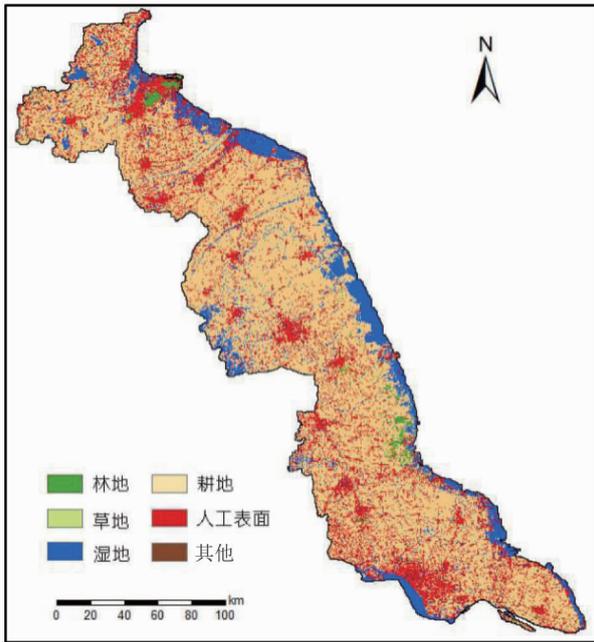


图 5 江苏省沿海地区土地利用类型

Fig. 5 Land use types in coastal areas of Jiangsu Province

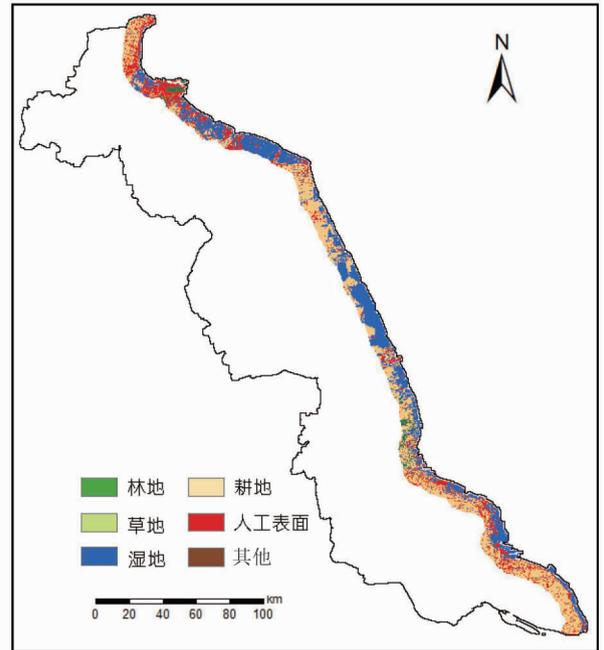


图 7 江苏省海岸带土地利用类型

Fig. 7 Land use types in coastal zone of Jiangsu Province

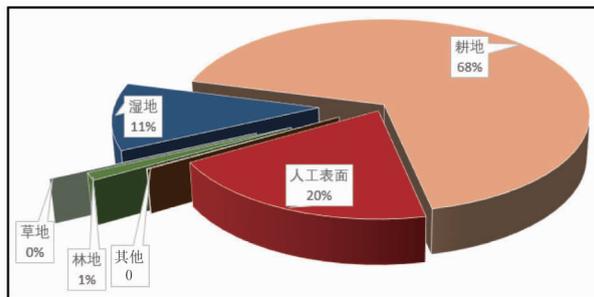


图 6 江苏省沿海地区土地利用类型结构

Fig. 6 Land use type structure in coastal areas of Jiangsu Province

以上,是太湖流域一级保护区的优势类型。从 2010—2015 年土地利用变化情况来看,耕地和人工表面增加幅度较大,分别增加了 95.05 和 52.89 km²。林地和湿地面积减少,分别减少了 119.49 和 30.56 km²。其他用地类型裸土增加了 2.11 km²。湿地虽然 5 年来面积有下降趋势,但仍是区域景观基质类型。

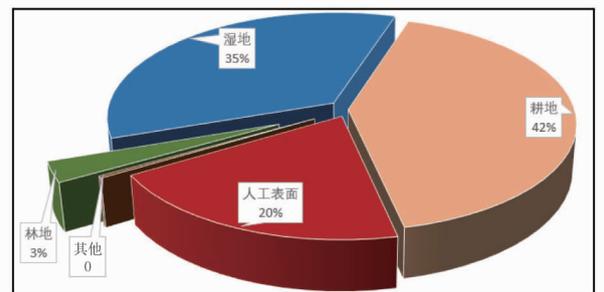


图 8 江苏省海岸带土地利用类型结构

Fig. 8 Land use type structure in coastal zone of Jiangsu Province

3.2 土地利用动态变化情况 利用 2010 年与 2015 年遥感影像解译获取的土地利用变化数据,对太湖流域一级保护区 5 年来土地利用变化情况进行统计分析(表 1)。2010—2015 年,太湖流域一级保护区土地利用类型以湿地、人工表面和林地为主,其中湿地景观面积百分比最大,占总面积的 65%

表 1 太湖流域一级保护区土地利用类型变化(2010—2015)

Table 1 Changes of land use type in Taihu River Basin primary reserve

类型 Type	2010 年		2015 年		面积变化 Area change//km ²
	面积 Area//km ²	比例 Proportion//%	面积 Area//km ²	比例 Proportion//%	
林地 Woodland	518.75	13.67	399.26	10.52	-119.49
湿地 Wetland	2 541.87	67.00	2 511.31	66.19	-30.56
耕地 Arable land	272.18	7.17	367.23	9.68	95.05
人工表面 Artificial surface	460.98	12.15	513.87	13.54	52.89
其他 Other	0.03	0.00	2.14	0.06	2.11

按照土地利用转移矩阵的计算公式,利用 Markov 模型对一级保护区土地利用变化过程进行空间统计分析,得到 2010—2015 年土地利用类型转移矩阵(表 2)。结果表明,2010—2015 年,太湖一级保护区各类用地变化明显,林地是

主要的转出类型,耕地是主要的转入类型。林地转出的主要去向为耕地、人工表面和湿地,转换百分比分别为 20.65%、18.16%和 6.88%。耕地转入主要依靠林地和人工表面转换而来,转换比例分别为 29.17%和 21.45%。湿地减少,人工

表面是湿地的主要转出方向,转移率为2.47%。人工表面面积增加主要由林地、湿地和耕地转换而来。转入比例分别为18.33%、12.21%和9.32%。其他用地类型主要指裸地是面

积变化相对较小的土地利用类型,5年间,裸地面积增加了2.11 km²,主要由林地和湿地转入。同时亦有小部分临近太湖入湖河道周边的裸地因闲置长草而重新转变为湿地。

表2 太湖流域一级保护区土地利用转移矩阵(2010—2015)
Table 2 Land use transfer matrix of Taihu Basin primary reserve

2010年	2015年				
	林地 Woodland	湿地 Wetland	耕地 Arable land	人工表面 Artificial surface	其他 Other
林地 Woodland	280.84	35.67	107.13	94.21	0.90
A	54.14	6.88	20.65	18.16	0.17
B	70.34	5.89	12.20	11.57	0.00
湿地 Wetland	23.52	2 430.48	24.42	62.75	0.70
A	0.93	95.62	0.96	2.47	0.03
B	1.42	96.78	0.74	1.06	0.00
耕地 Arable land	48.70	18.62	156.92	47.89	0.05
A	17.89	6.84	57.65	17.59	0.02
B	29.17	6.65	42.73	21.45	0.00
人工表面 Artificial surface	46.20	26.53	78.76	309.00	0.49
A	10.02	5.76	17.09	67.03	0.11
B	18.33	12.21	9.32	60.13	0.00
其他 Other	0.00	0.01	0.00	0.02	0.00
A	0.00	33.33	0.00	66.67	0.00
B	42.06	32.71	2.34	22.90	0.00

注:A行表示2010年第*i*种土地利用类型转变为2015年第*j*种土地利用类型的比例;B行表示2015年第*j*种土地利用类型中由2010年的第*i*种土地利用类型转变而来的比例。A行和B行单位为%,其余行单位为km²
Note:Row A represents the proportion of land use type *i* in 2010 to land use type *j* in 2015;row B represents the ratio of the land use type *j* in 2015 to the land use type *i* in 2010. Rows A and B are in units of %,and the remaining rows are in units of km²

通过对2010—2015年景观格局变化指数的计算(表3),可以看出太湖流域一级保护区景观水平趋于破碎化,区域景观格局更加复杂化和分散化。太湖流域一级保护区总斑块数从2010年的5 357个增加为2015年6 401个,景观斑块数量的增加说明大的斑块逐渐被分离成小的斑块。斑块数的增加主要是由于耕地及人工表面斑块数增加所致。最大斑块指数下降,表明区域景观格局正被小块的优势景观所取

代,呈现出景观的复杂化和多样化。2010—2015年香农多样性指数下降,而香农均匀度指数呈增加趋势,表明景观优势组分对景观整体控制作用减弱,景观异质性程度逐渐提高,在人类活动影响下,土地利用朝着多样化和均匀化方向发展。分维数的降低及分离度指数的增加,进一步意味着各景观类型的分布更加分散。

表3 太湖流域一级保护区景观指数变化(2010—2015)
Table 3 Changes of landscape index of Taihu Basin primary reserve

年份 Year	斑块数 Number of patches	斑块密度 Patch density 斑块数/km ²	最大斑块指数 Maximum plaque index	分维数 Fractal dimension	香农多样性指数 Shannon diversity index	分离度 Degree of separation	香农均匀度指数 Shannon evenness index
2010	5 357	1.68	63.51	1.47	1.36	0.59	0.45
2015	6 401	3.93	37.64	1.45	1.28	0.81	0.72

3.3 沿海地区生态风险评价 在气候变暖、海平面上升的大背景下,作为介于海洋和陆地生态系统过渡带的江苏省海岸带生态系统脆弱性凸显,景观破碎化明显,灾害频发,生态服务价值明显降低。盐城市作为江苏省面积最大的沿海城市,拥有江苏省最长海岸线、最大沿海滩涂和海岸湿地,拥有丹顶鹤和大丰麋鹿两大世界珍稀生物保护区,在生物多样性维持和生态环境保护方面具有重要作用。因此选取盐城海岸带作为土地利用变化研究对象,具有典型性和代表性。运用GIS和遥感技术,在两期土地利用数据分析的基础上,利用景观指数构建生态风险评价模型,探讨研究区生态风险时空变化特征及景观生态驱动力,以期为江苏沿海城市化过程

中区域土地可持续利用及生态环境的协调发展提供科学依据和数据支持。

(1)土地利用生态风险分析。由表4可知,耕地是研究区最主要的景观,面积达78%以上,分布广,为区域基质,其他景观分布于其周围或镶嵌其中。其次是建设用地,建设用地面积不断增大,但其斑块个数逐渐下降,这是由于其主要侵占周边的耕地以及农村居住用地,因此整体集聚,破碎度降低,分离度变小。水域面积增大的同时,其斑块个数增大为50.17%,导致其优势度呈递增趋势,分离度和破碎度不断减小。与建设用地和草地不同的是,耕地、草地面积不断减小,但两者的斑块个数变化不大,两者的分离度均不断增大。

林地面积呈先增后减的趋势,但其破碎度和分离度一直 上升。

表 4 2015 年江苏省沿海地区景观类型指数

Table 4 Landscape type index of coastal areas of Jiangsu Province in 2015

景观类型 Landscape type	面积 Area km ²	面积比例 Area ratio %	斑块个数 Number of plaques	破碎度 Fragmentation	分离度 Degree of separation	优势度 Dominance	脆弱度 Fragile degree	干扰度 Interference degree
耕地 Arable land	8 588.4	74.60	518	0.000 6	0.014 2	0.582 4	0.111 1	0.062 9
林地 Woodland	95.6	0.83	28	0.002 9	0.297 0	0.029 0	0.055 6	0.093 8
草地 Grassland	243.0	2.11	139	0.005 7	0.260 3	0.074 1	0.083 3	0.088 9
水域 Water	160.1	1.39	1 338	0.083 6	1.226 0	0.177 2	0.166 7	0.435 7
养殖 Farm	1 047.7	9.10	695	0.006 6	0.135 0	0.230 0	0.138 9	0.067 5
人工表面 Artificial surface	1 133.1	9.84	2 960	0.026 1	0.257 6	0.382 9	0.027 8	0.131 2
其他 Other	112.7	0.98	56	0.005 0	0.356 2	0.123 4	0.194 4	0.122 2

(2)生态风险空间分异。土地利用生态风险程度自内陆向沿海呈梯度状增大的趋势,风险等级呈带状分布。低生态风险主要分布在响水县北部沿海,该处地处暖温带,土质黏重,日照较长,蒸发量大,此段土地利用单一,风险低。较低生态风险区主要分布在研究区四周边缘地带,中生态风险区主要分布在研究区中部地带的广大范围内,占比接近 65%,但不断下降,较高和高生态风险区主要分布在沿海地区。

4 结论与讨论

该研究以多源遥感影像解译数据为基础,运用 ArcGIS 软件并结合区域研究特征,将江苏省环太湖和沿海区域土地利用类型分为耕地、林地、湿地、草地,结果表明,环太湖流域人工表面用地面积最大,占江苏省环太湖流域面积的 35.8%,太湖一级保护区(沿湖岸 5 km 区域)以湿地为主,占总面积的 66.19%,林地、耕地、人工表面的面积较为均衡,在 9.68%~13.54%;江苏沿海地区及江苏近岸地区均以耕地为主,分别占沿海和近岸面积的 67.5%和 41.7%。

江苏省太湖一级保护区土地利用时空格局变化差异较大,各地类之间的转化较为复杂。耕地和人工表面增加幅度较大,林地和湿地面积减少,其他用地类型裸土稍有增加。耕地增加主要来源于林地、人工表面,人工表面面积增加主要由林地、湿地和耕地转换而来,林地转出的主要去向为耕地、人工表面和湿地,湿地面积则主要转为人工表面,其他用地增加的面积由林地和湿地转入,总体而言,太湖一级保护区各类用地变化明显。结合景观格局变化,太湖流域一级保护区景观水平趋于破碎化,土地利用类型趋于多样化。江苏省沿海地区以耕地为主要景观,生态风险程度自内陆向沿海呈梯度状增大的趋势。

基于以上分析,对江苏省环太湖和沿海地区土地利用现状和变化趋势有了初步的了解,依据区域景观破碎化程度和生态风险空间分布情况,应适当调整和控制土地利用转化的方式和变化方向,针对不同风险级别的地区实施针对性的环境改善和生态保护措施。对于中高风险区应合理规划土地利用,有效控制人类活动、针对防治环境污染;对于低风险区则需因地制宜、加强生态建设,防患于未然。

该研究所构建的区域生态风险评价模型是基于景观格局指数建立,以土地利用时空变化和景观格局破碎程度为基

础,探究江苏省沿海地区的区域生态风险指数空间分布情况。由于不同土地利用类型的景观迁移和转化必会引起区域生态功能和价值的变化,因此,该研究基于土地利用景观类型的时空变化来研究区域生态变化和风险表征具有可行性、科学性,能够为江苏沿海地区区域土地资源的合理利用和生态环境的管理提供理论支撑和科学依据。但土地利用与景观风险指数的变化关系并非线性,区域生态风险受社会经济、环境污染、水质变化、气候变化、生态变化等多种外力影响较为复杂,而该研究对区域生态风险评价尚不够深入,有待进一步加深。

参考文献

- [1] FOLEY J A, DEFRIES R, ASNER G P, et al. Global consequences of land use[J]. *Science*, 2005, 309: 570-574.
- [2] GOLDEWIJK K K. Estimating global land use change over the past 300 years: The HYDE database [J]. *Global biogeochemical cycles*, 2001, 15 (2): 417-433.
- [3] LAMBIN E F, BAULIES X, BOCKSTAEL N, et al. Land-use and land-cover change (LUCC): Implementation strategy. A core project of the International Geosphere-Biosphere Programme and the International Human Dimensions Programme on Global Environmental Change [M]. Stockholm: IGBP, 1995.
- [4] TURNER B L II, SKOLE D, SANDERSON S, et al. Land-use and land-cover change: Science/research plan [M]. Stockholm: IGBP, 1995.
- [5] STERLING S M, DUCARNE A, POLCHER J. The impact of global land-cover change on the terrestrial water cycle [J]. *Nature climate change*, 2013, 3(4): 385-390.
- [6] 张新荣, 刘林萍, 方石, 等. 土地利用、覆被变化(LUCC)与环境变化关系研究进展[J]. *生态环境学报*, 2014, 23(12): 2013-2021.
- [7] BARTOLO R E, VAN DAM R A, BAYLISS P. Regional ecological risk assessment for Australia's tropical rivers: Application of the relative risk model [J]. *Human and ecological risk assessment*, 2012, 18: 16-46.
- [8] 张月, 张飞, 王娟, 等. 基于 LUCC 的艾比湖区域生态风险评价及预测研究[J]. *中国环境科学*, 2016, 36(11): 3465-3474.
- [9] 孙洪波, 杨桂山, 苏伟忠, 等. 生态风险评价研究进展[J]. *生态学杂志*, 2009, 28(2): 335-341.
- [10] 徐兰, 罗维, 周宝同. 基于土地利用变化的农牧交错带典型流域生态风险评价: 以洋河为例[J]. *自然资源学报*, 2015, 30(4): 580-590.
- [11] 雷炳莉, 黄彪彪, 王子健. 生态风险评价理论和方法[J]. *化学进展*, 2009, 21(21): 350-358.
- [12] 颜磊, 许学工. 区域生态风险评价研究进展[J]. *地域研究与开发*, 2010, 29(1): 113-118, 129.
- [13] 许学工, 林辉平, 付在毅, 等. 黄河三角洲湿地区域生态风险评价[J]. *北京大学学报(自然科学版)*, 2001, 37(1): 111-120.
- [14] 任金铜, 杨可明, 陈群利, 等. 贵州草海湿地区域土地利用景观生态安全评价[J]. *环境科学与技术*, 2018, 41(5): 158-165.
- [15] 巩杰, 赵彩霞, 谢余初, 等. 基于景观格局的甘肃白龙江流域生态风险评价与管理[J]. *应用生态学报*, 2014, 25(7): 2041-2048.

2.5 m 的全冠苗,苗木经济实惠、生长快、效果好,尽量少种或不种大规格苗、名贵树木和引种草皮^[10];同时可以充分考虑经济林木,因为经济林木在农村园林绿化中可以丰富树种资源、提高景观效果、增加经济收入、改善人居环境^[11]。调查过程中发现部分村庄存在植物配置不当,生长混乱的状况,

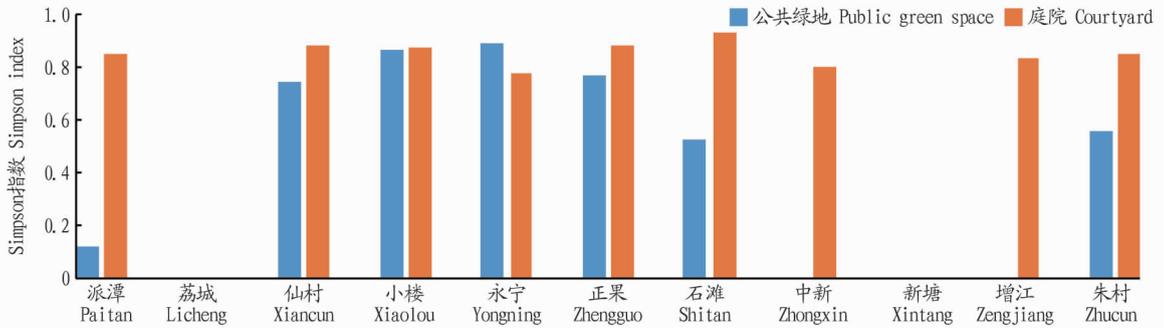


图2 灌木层 Simpson 指数分析

Fig. 2 Simpson index analysis of shrub layer

根据因地制宜、生态平衡原则,结合增城区新农村的绿化现状,推荐一些乡土植物材料包括乔木 24 种、灌木 15 种、草本 10 种,并依据不同的功能用地总结了 16 种绿化配置模式,具体如下:

(1) 公共绿地植物配置模式: a. 美丽异木棉+大叶紫薇+白兰+朱瑾+红花檵木+小叶紫薇+细叶结缕草; b. 黄槐决明+苹婆+垂叶榕+糖胶树+九里香+海桐+翠芦莉+紫背万年青; c. 白兰+杜英+红千层+刺葵+假连翘+红花檵木+鹅掌柴+沿阶草; d. 鸡冠刺桐+黄钟木+鸡蛋花+光叶子花+红花檵木+尖叶木樨榄+狗牙根; e. 榕树+木棉+假槟榔+垂叶榕+黄蝉+光叶子花+米仔兰+细叶结缕草; f. 香樟+糖胶树+小叶榄仁+灰莉+黄金榕+木犀+葱兰+狗牙根。

(2) 道路绿地植物配置模式: a. 垂叶榕+灰莉+黄杨+台湾草; b. 小叶榄仁+美丽异木棉+红花檵木+假连翘+萼距花; c. 大王椰子+假连翘+龙船花+台湾草; d. 羊蹄甲+杜英+假连翘+朱瑾; e. 美丽异木棉+羊蹄甲+九里香+光叶子花; f. 火焰树+大叶紫薇+美丽异木棉+鹅掌柴+基及树。

(3) 河道绿地植物配置模式: a. 垂柳+细叶结缕草; b. 落

羽杉+细叶结缕草; c. 凤凰木+再力花+朱蕉+菖蒲; d. 木棉+假连翘+狗牙根。

参考文献

- [1] 刘权,蓝锦光. 增城区绿道建设现状与探讨[J]. 现代园艺, 2019(5): 102-106.
- [2] 张少弘. 关于公园绿化改造的研究:以增城儿童公园为例[J]. 建材与装饰, 2016(26): 85-86.
- [3] 王海华. 增城区乡土树种人工林生长表现及生态效益评价[D]. 广州:华南农业大学, 2016.
- [4] 钟献正. 生态景观林带在“农家乐”休闲旅游中的功能分析:以广州市增城北部景观走廊为例[J]. 广东林业科技, 2014, 30(5): 74-79.
- [5] 董东平. 土壤与植物地理野外调查研究[M]. 呼和浩特:内蒙古大学出版社, 2007: 183-184.
- [6] 李舒仪. 南京玄武湖公园植物景观评价与优化[D]. 南京:南京林业大学, 2009.
- [7] 罗芸,何凯明. 园林植物景观评价研究进展[J]. 现代农业科技, 2019(10): 117-118.
- [8] 鲁苗. 浅析乡村景观评价方法研究[J]. 设计艺术研究, 2018, 8(6): 106-115.
- [9] 杨婷,王秀荣. 基于内容研究法的公园植物景观评价体系研究[J]. 北方园艺, 2019(4): 197-202.
- [10] 谢善雄,欧斌. 新农村建设中绿化树种的选择[J]. 江西林业科技, 2005(4): 21-25.
- [11] 折小园,弓弼,王晓斐,等. 经济林木在陕西新农村人居环境绿化中的应用:以关中地区为例[J]. 西北林学院学报, 2014, 29(1): 234-238.
- [12] 肖琳,田光进. 天津市土地利用生态风险评价[J]. 生态学杂志, 2014, 33(2): 469-476.
- [13] 谭三清,李宇,李春华,等. 长沙市土地利用生态风险及评价[J]. 中国农学通报, 2010, 26(15): 336-342.
- [14] 曾勇. 区域生态风险评价:以呼和浩特市为例[J]. 生态学报, 2010, 30(3): 668-673.
- [15] 高宾,李小明,李志刚,等. 基于景观格局的锦州湾沿海经济开发区生态风险分析[J]. 生态学报, 2011, 31(12): 3441-3450.
- [16] 吴莉,侯西勇,徐新良,等. 山东沿海地区土地利用和景观格局变化[J]. 农业工程学报, 2013, 29(5): 207-216, 293.
- [17] 田颖,李冰,王水. 江苏沿海地区土地利用/覆被及景观格局变化分析[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(1): 318-322.
- [18] 位宏,徐丽萍,李晓蕾,等. 博斯腾湖流域景观生态风险评价与时空变化[J]. 环境科学与技术, 2018, 41(S1): 345-351.
- [19] JIN C J, ZHANG J Q, ZHANG Y, et al. Research on the watershed ecological risk management [J]. Applied mechanics and materials, 2014, 44(8): 272-276.

(上接第 103 页)

- [16] 王涛,张超,于晓童,等. 洱河流域土地利用变化及其对景观生态风险的影响[J]. 生态学杂志, 2017, 36(7): 2003-2009.
- [17] XIE H L, WANG P, HUANG H S. Ecological risk assessment of land use change in the Poyang Lake eco-economic zone, China [J]. International journal of environmental research and public health, 2013, 10: 328-346.
- [18] 黄木易,何翔. 近 20 年来巢湖流域景观生态风险评估与时空演化机制[J]. 湖泊科学, 2016, 28(4): 785-793.
- [19] 王娟,崔保山,刘杰,等. 云南澜沧江流域土地利用及其变化对景观生态风险的影响[J]. 环境科学学报, 2008, 28(2): 269-277.
- [20] 高永年,高俊峰,许妍. 太湖流域水生生态功能区土地利用变化的景观生态风险效应[J]. 自然资源学报, 2010, 25(7): 1088-1096.
- [21] 许妍,高俊峰,高永年. 基于土地利用动态变化的太湖地区景观生态风险评价[J]. 湖泊科学, 2011, 23(4): 642-648.
- [22] 卢宏伟,曾光明,谢更新,等. 洞庭湖流域区域生态风险评价[J]. 生态学报, 2003, 23(12): 2520-2530.