

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2020.05.027

浙中城市群土地利用格局时空演变特征与生态风险评价

石小伟^{1,2} 冯广京^{2,3} YI Yang⁴ 邹逸江⁵ 葛浩然⁶ 苏培添⁷

(1. 东北农业大学经济管理学院, 哈尔滨 150030; 2. 东北农业大学土地经济与自然资源管理研究中心, 哈尔滨 150030;
3. 东北农业大学公共管理与法学院, 哈尔滨 150030; 4. 东京大学大学院工学系, 东京 113-8656;
5. 宁波大学地理与空间信息技术系, 宁波 315211; 6. 宁波大学商学院, 宁波 315211;
7. 浙江农林大学经济管理学院, 杭州 311300)

摘要: 为了探究东南沿海发育中期城市群“土地利用-生态”可持续机制,以浙中城市群为例,通过分析 1996—2016 年间的 5 期遥感影像数据,运用 FRAGSTATS 软件测度浙中城市群景观破碎化指数、景观形状指数和景观多样性指数在关键时间节点的水平数值,研究判断区域土地利用综合景观结构演变特征;进而通过 ARCGIS 演化区域生态风险空间分异态势,分析不同时期浙中城市群的土地利用生态风险。结果表明:21 年间,浙中城市群各种类型土地利用之间的转移态势均显著增强:建设用地面积增加了近 3 倍;林地面积占比总体呈缓慢增长趋势;水域及水利设施用地面积占比逐年下降;未利用土地减少比率最大,其次是耕地;园地的总体面积略有增加,草地的总体面积呈减少态势。浙中城市群的土地利用总体景观格局质量呈现先下降、后上升、再整体下降的态势,1996—2016 年总体景观破碎化指数增加,局部年份出现下降,景观形状指数和景观多样性指数总体下降,局部年份出现上升,各种类型土地之间转移趋向复杂波动化。基于 2016 年时间节点的浙中城市群生态风险空间演变特征视域判析,义乌市、东阳市、武义县的生态风险指数在 0.69~0.82 之间,为 IV 和 V 等级区,生态风险等级为较高或高;婺城区、金东区、浦江县的生态风险指数在 0.56~0.59 之间,为 III 等级区,生态风险等级为中;兰溪市、永康市、诸暨市、磐安县、龙游县、缙云县的生态风险指数在 0.49 以下,为 I 或 II 等级,生态风险等级为低或较低。1996—2016 年浙中城市群土地利用生态风险等级的空间差异较大,且在空间分布上呈现“趋同俱乐部”现象和“集中一分散”演变趋势,即较高生态风险区和高生态风险区在空间上指向浙中城市群中部且出现集聚态势,较低生态风险区和低生态风险区在空间上分散在浙中城市群的西北、东南和西南地区。

关键词: 土地利用/覆盖变化; 时空演变特征; 景观格局; 生态风险评价; 浙中城市群

中图分类号: F301.24 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2020)05-0242-10

OSID:



Temporal and Spatial Evolution Characteristics and Ecological Risk Assessment of Land Use Landscape Patterns in Central Zhejiang Urban Agglomeration

SHI Xiaowei^{1,2} FENG Guangjing^{2,3} YI Yang⁴ ZOU Yijiang⁵ GE Haoran⁶ SU Peitian⁷

(1. College of Economics and Management, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China
2. Land Economy and Natural Resources Management Research Center, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China
3. School of Public Administration and Law, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China
4. Department of Engineering, University of Tokyo, Tokyo 113-8656, Japan
5. Department of Geography and Spatial Information Technology, Ningbo University, Ningbo 315211, China
6. Business School, Ningbo University, Ningbo 315211, China
7. College of Economics and Management, Zhejiang A&F University, Hangzhou 311300, China)

Abstract: As the carrier of regional urban development, land has been attached great importance to spatial planning and development policy. In order to explore the sustainable development mechanism of “land use – ecology” in the middle-eastern urban agglomerations in the southeast coast, taking the central Zhejiang urban agglomeration as an example, the FRAGSTATS was used to measure the landscape fragmentation index of the central Zhejiang urban agglomeration by analyzing the five remote sensing

收稿日期: 2019-10-29 修回日期: 2019-12-06

基金项目: 国家自然科学基金项目(41301110)和国家社会科学基金项目(18VJ041)

作者简介: 石小伟(1993—),男,博士生,主要从事土地利用和空间地理信息集成研究, E-mail: 1442190575@qq.com

通信作者: 冯广京(1957—),男,研究员,博士生导师,主要从事土地经济和国土空间规划研究, E-mail: fenggj@139.com

image data from 1996 to 2016, including the horizontal value of the key time nodes of landscape shape index and landscape diversity index, and the evolution characteristics of the comprehensive landscape structure of the land use in the study area; and then the land use ecology of the central Zhejiang urban agglomeration in different periods was analyzed through the ARCGIS evolution regional ecological risk spatial differentiation. It was found that from 1996 to 2016, the transfer situation between various types of land use was significantly enhanced. The area of construction land was increased by nearly three times; the proportion of forest land area showed a slow growth trend; the land area of water resources and water conservancy facilities was decreased from 5.85% to 3.89% in 2006—2016, with a large decline; the unused land was reduced by nearly 21a. The most common ratio was followed by cultivated land. The actual reduced area of cultivated land was more than that of unused land. In the field and grassland, it was mainly distributed in the northeast direction and northwest direction of the central Zhejiang urban agglomeration. The overall increase in grassland was generally reduced. Increased and reduced areas account for a small proportion of total land use area. The overall landscape pattern quality of land use in central Zhejiang urban agglomerations showed a trend of “first decline – then rise – overall decline”. The specific performance was as follows: from 1996 to 2016, the overall landscape fragmentation index was increased, and the local year was declined. The landscape shape index and landscape diversity index were decreased overall, and the local year was increased. The transfer of various types of land tended to be complex and volatile. Based on 2016 time node spatial evolution characteristics of the horizon to ecological risk analysis of middle of Zhejiang, the ecological risk index of Yiwu, Dongyang and Wuyi was between 0.69 ~ 0.82, for IV and V level areas, ecological risk level was high or higher; the ecological risk index of Wu City, Jindong Area and Pujiang County was between 0.56 ~ 0.59, for III level area, ecological risk was moderate; the ecological risk index of Lanxi City, Yongkang City, Zhuji City, Panan County, Longyou County and Jinyun County was below 0.49, for I or II level, ecological risk level was low or relatively low. From 1996 to 2016, the spatial risk of land use ecological risk grades in central Zhejiang urban agglomerations was quite different, and the spatial distribution showed the phenomenon of “convergence club” and “concentration-distribution”, that was, higher ecological risk. The area and high ecological risk area were spatially directed to the central part of the middle-middle urban agglomeration and there was a gathering situation; the lower ecological risk area and the low ecological risk area were spatially dispersed in the northwest, southeast and southwest areas of the Zhejiang city group. The research and judgment of the sustainable use of land in central Zhejiang urban agglomeration provided ideas and methods to promote the sustainable development of land use and ecological environment in central Zhejiang urban agglomerations.

Key words: land use/cover change; temporal and spatial evolution characteristics; landscape pattern; ecological risk assessment; central Zhejiang urban agglomeration

0 引言

浙中城市群是浙江省在浙西南地区重点培育的城市群。作为浙江省新兴城市群区域,其土地利用/覆被表现出显著的变化特征^[1]。为了进一步保障其作为浙江省的“绿心”地位和浙西南地区的生态屏障作用,亟待对浙中城市群土地利用/覆被变化进行科学诊断和研判^[2-3]。

国内学者关于土地利用/覆盖变化的研究主要集中在在区域土地利用的时空演变特征^[4-9]、土地资源配置效率^[10-13]、人地关系与区域经济发展、区域“三生空间^[9-14]”(即生产、生态、生活空间)功能之间的协调^[14]、耕地质量等级评析^[15]与区域人口增长承载力关系之间的耦合^[16]、区域土地利用景观格局的驱动力^[17]等方面。在城市的生态风险结构方面,刘勇等^[18]对基于土地利用变化的太原市土地生态风险进行评价研究。在城市群的生态空间演变方

面,傅丽华等^[19]对长株潭城市群核心区的土地利用进行生态风险评价,并研究了长株潭城市群的空间演变特征。在城市群经济结构方面^[20],王静敏等^[9]对浙中城市群发育程度进行评估,并对内在经济联系进行了判研。在生态风险评估研究方面,王常颖等^[21]采用相对风险模型计算各研究单元的风险等级,并对基于景观格局的海岛开发潜在生态风险进行评价;臧淑英等^[22]根据景观生态学理论引入景观生态风险评价模型,对大庆市景观生态风险时空分布特征及空间关联格局进行评价。在土地利用的景观格局研究方面,许妍等^[23]对基于土地利用动态变化的太湖地区景观生态风险进行评价,并对生态屏障区的土地利用转移与景观格局时空分布特征与变化特点进行研究;林扬碧等^[24]对区域景观结构进行评价方法与案例研究,并对其景观格局变化及其驱动力进行了分析。

国外学者主要从土地利用的多功能性^[25]、土地

利用/覆盖变化与生态和景观理论^[26]、土地覆盖多重性耦合分析,以及土地利用的多功能作用与人类社会可持续发展的耦合关系等方面对土地利用/覆盖变化进行了大量研究。BIRO 等^[25]利用 Landsat 和 ASTER 数据分析了 1989—2009 年期间苏丹东部加达里夫地区因高密度旱地耕作而导致的土地利用/覆盖变化(LUCC)对土壤物理和化学性质的显著影响;ARAYA 等^[26]采用 CA - Markov 模型模拟预测葡萄牙塞图巴尔和塞西布拉斯地区 2020 年的土地利用对城市密集扩张和城市土地利用增长的趋势;LUCA 等^[27]利用 Worldview1 和 Worldview2 高分辨率卫星遥感数据绘制了马尔代夫群岛第一幅土地利用变化图谱,为当地的森林保护和城市规划作出重要贡献;ROBINSON^[28]探讨了美国密歇根州东南部 3 个乡镇的土地利用覆盖数量分布和景观破碎程度情况;THENKABAIL 等^[29]利用多期 MODIS 数据分析了印度河和恒河流域的土地利用覆盖情况,并绘制了流域内农业灌溉区的土地利用现状图。

前人对土地利用的景观格局进行了大量科学实证研究,但是对于发育初、中期的东南沿海城市群土地利用景观格局时空演变特征及生态风险研究不足。目前,利用景观格局分析浙中城市群的评价研究主要聚焦在 3 方面:浙中城市群的地理信息数据库平台建设和地理信息系统分析;浙中城市群经济社会发育态势耦合和发育程度评估,以及构建多指数评价模型对其发育程度的评估;以人均 GDP、产业结构等为内生变量指标,解析浙中城市群县域经济差异格局。已有研究结果不足以支持发育中期的浙中城市群在土地利用时空演变的作用机理和生态风险转移路径方面的最新研究,且缺乏基于地理差异和空间关联视角对发育中期城市群的土地类型转移及其生态风险转移评价。

本研究以浙中城市群为例,探究城市发育中期的土地利用景观格局时空演变特征、景观类型转移机制及生态风险评价,借助浙中城市群 5 期遥感数据,按土地利用类型,分区域进行定量定性分析,全面揭示浙中城市群的用地结构特征和用地景观格局生态风险,以优化东南沿海经济发达地区的内陆城市群发育中期的土地利用结构,保证沿海省份的生态安全,促进东南沿海地区的土地利用和生态环境的可持续发展。

1 数据来源与研究方法

1.1 数据来源及数据处理

遥感数据选取研究区 1996、2001、2006 年的 Landsat5 - TM 遥感影像和 2011、2016 年的 Landsat8 -

OLI 遥感影像,共获得 5 景数据,数据来源于中国科学院遥感卫星地面接收站,云覆盖率低于 5%,每景遥感数据的标准长宽为 180 km × 180 km,遥感数据坐标系统为 WGS - 1984, TM 数据和 OLI 数据的影像分辨率均为 30 m,如表 1 所示。本研究以多时相遥感影像数据为基础,辅以查阅的浙中城市群土地利用/覆被变化统计年鉴资料,以 RS、GIS 为技术支撑研究浙中城市群土地利用景观格局的时空变化及生态风险评价。遥感影像类别分为 8 个一级地类系统:耕地、林地、水域及水利设施用地、建设用地、草地、园地、特殊用地、未利用地等,经机器解译、人机交互解译及人工校正后,借助 ENVI 5.3 软件中的遥感图像自动装饰识别地类功能识别出遥感影像;进一步通过混淆矩阵法表量机器解译和人工解译结果。2016 年的解译精度最高,为 90.84%;1996、2001、2006、2011 年的解译精度分别为 89.57%、87.94%、87.21% 和 87.65% (实际操作中的遥感影像精度大于 85%,即可满足中等尺度的 LUCC 景观格局研究),这 5 期遥感影像解译精度适用于浙中城市群的土地利用景观分类。因此解译精度的结果满足浙中城市群土地利用/覆盖变化监测的研究要求,最后利用 ENVI 5.3 自带的地统计学计算模型与空间统计学分类分析功能标量 3 年各种土地利用/覆盖变化的景观生态面积转移占比。

表 1 遥感影像数据

Tab. 1 Remote sensing image data

遥感影像类型	轨道号 (P/R)	影像拍摄 日期	分辨 率/m	分类波段
Landsat5 - TM	119/40	1996 - 03 - 24	30	TM432
Landsat5 - TM	119/40	2001 - 03 - 01	30	TM432
Landsat5 - TM	119/40	2006 - 10 - 01	30	TM432
Landsat8 - OLI	119/40	2011 - 10 - 11	30	OLI543
Landsat8 - OLI	119/40	2016 - 10 - 10	30	OLI543

注:基于浙中城市群的覆盖范围较大,浙江地处亚热带季风气候区,夏季多台风、雨,冬季多锋面雨,因此很难获取相同时相、清晰度又较高的遥感影像,拍摄时间主要为秋季和春季。

基于 LUCC 对研究区的遥感地物影像分类是本研究最为关键的基础工作之一。在遥感地物影像分类时不仅要考虑影像信息提取精度、目标地物类别、目标地物的面积估算、各种地类边界识别等,还要考虑研究目的、数据源选择、研究尺度等多目标综合性最优化。本研究采用的是我国土地利用现状分类体系《土地利用现状分类》(GB/T 21010—2007)分类标准,充分保证分类原则的客观性;并将研究区的遥感地物影像分成 8 个一级类型系统(鉴于浙中城市群中金华市的浦江县、衢州的龙游县、丽水的缙云县有相当面积的果园和茶园,故增加园地为单独一类。园地采用狭义园地的地类概念,并且园地地类的解译

是在对林地解译完成的基础上,结合 Google Earth 软件的地球观测模式再次解译,并且对有争议的解译地类采取了实地考察方法),分类结果详见表2。

表2 研究区域遥感分类系统以及解译手段类别

Tab.2 Category of regional remote sensing classification system and means of interpretation

一级地类	二级地类	解译手段
耕地	水田、水浇地、菜地、农田、旱地等	人机交互解译
林地	灌木林地、观赏林苗圃、森林、其他林地	人机交互解译
	沼泽地、单独地类湿地、坑塘水面、河流水面、湖泊水面、水库水面、沿海滩涂、内陆滩涂、沟渠、水工建筑等	
水域及水利设施用地		人机交互解译
建设用地	住宅用地、商服用地、仓储用地、城镇用地、工矿用地等	机器解译
草地	天然牧草地、人工牧草地、其他牧草地	人机交互解译
园地	果园、茶园、城市景观绿地、其他园地	人机交互解译
特殊用地	军用设施用地、交通运输用地、殡葬用地等	人工解译
未利用地	空闲地、设施农用地、田坎、盐碱地、裸土、偏僻地类等	人工解译

1.2 研究区概况

浙中城市群、杭州湾城市群、温台城市群是浙江省三大城市群。其中浙中城市群属于唯一没有出海港口的城市群。浙中城市群包括2个县级区(即金华市辖的婺城区、金东区)、5个县(金华市辖的武义县、浦江县、磐安县、衢州市辖的龙游县,丽水市辖的缙云县)、5个县级市(金华市辖的兰溪、义乌、东阳、永康4个县级市和绍兴市辖的诸暨市)(图1),行政总面积达1.36万 km²,人口规模达610万左右。浙中城市群内的地形地貌主要为丘陵盆地和冲积平原,城市多位于盆地底部的冲积平原,地势低平。浙中城市群是浙江省重点生态功能区和自然保护区,是浙江省生态安全屏障的重点保护区域;21年来浙中城市群在工业化和城市化快速推进中,其土地利

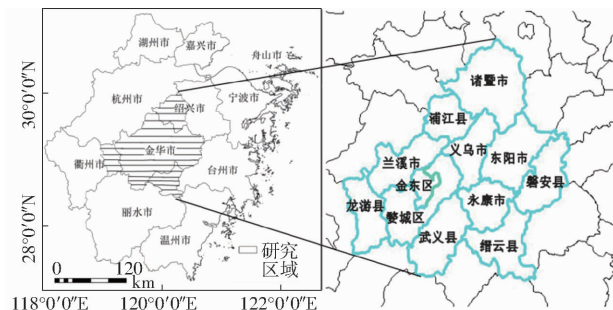


图1 浙中城市群地理位置示意图

Fig.1 Schematic of geographical position of central Zhejiang Province cluster's cities

用结构和景观格局发生较大变化,人类活动加大对土地资源的开发加重了土地利用的生态风险程度。

1.3 研究方法

1.3.1 景观类型转入/转出模型

景观类型转移模型描述不同景观类型自身变化情况,包括景观类型转入率和景观类型转出率;充分考虑浙中城市群景观之间的转移作用信息,对比各个景观类型的转入和转出的空间格局和数量特征。

景观类型转入率模型为

$$L_{ji} = \sum_{j=1}^n S_{ji}/S_i \times 100\% \quad (1)$$

景观类型转出率模型为

$$L_{ij} = \sum_{i=1}^n S_{ij}/S_i \times 100\% \quad (2)$$

式中 L_{ij} ——第*i*类景观类型向第*j*类景观类型转移发生的比例,即景观类型转出率

L_{ji} ——第*j*类景观类型向第*i*类景观类型转移发生的比例,即景观类型转入率

S_{ij} ——第*i*类景观类型向第*j*类景观类型转移的面积

S_{ji} ——第*j*类景观类型向第*i*类景观类型转移的面积

S_i ——景观类型的转移总面积

1.3.2 景观格局水平分析法

浙中城市群的景观“二元”结构特征显著,土地利用的景观因子对常规模型不敏感,考虑到高精度遥感数据对浙中城市群景观格局水平模拟的重要性,故选择以下模型进行计量研究。

面积加权平均斑块形状指数(AWMSI)计算公式为

$$P_{AWMSI} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \frac{0.25P_{ij}a_{ij}}{\sqrt{a_{ij}}A} \quad (3)$$

式中 m, n ——斑块类型总数量

P_{ij} ——景观斑块的周长

A ——景观斑块的总面积

a_{ij} ——斑块面积

当景观中所有的斑块为正方形时,AWMSI为1,AWMSI随形状不规则性增加而增加。

聚集度(CONT)的计算公式为

$$P_{CONT} = \left(1 + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \frac{P_{ij} \ln P_{ij}}{2 \ln m} \right) \times 100\% \quad (4)$$

聚集度通常度量同一类型斑块的聚集程度,取值在0~100之间。其取值还受到类型总数和均匀度的影响。如果一个景观是由许多离散的小斑块组成,聚集度比较小,否则聚集度比较大,与多样性、均匀度不同,聚集度明确考虑斑块类型之间的相邻关系。

最大斑块指数(LPI)计算公式为

$$P_{LPI} = \frac{\max(a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_n)}{A} \times 100\% \quad (5)$$

式中 a_i ——第 i 个景观的面积

LPI 反映了景观中最大斑块面积占的比重。

景观形状指数 (LSI) 的计算公式为

$$P_{LSI} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \frac{0.25P_{ij}}{\sqrt{a_{ij}}} \quad (6)$$

香农多样性指数 (SHDI) 计算公式为

$$P_{SHDI} = - \sum_{i=1}^n (p_i \ln p_i) \quad (7)$$

式中 p_i ——景观类型 i 所占面积的比例

SHDI 反映了描述大小、形状、属性不一的景观空间单元 (斑块) 在空间上的分布与组合规律, 包括景观组成单元的类型、数量及空间分布与配置, 当景观中只有一种类型的斑块时 SHDI 为 0, 当斑块类型增加或者各类型斑块所占比例趋于相近时, SHDI 也相应增大。

香农均匀度指数 (SHEI) 计算公式为

$$P_{SHEI} = \frac{H}{H_{\max}} = \frac{- \sum_{i=1}^{m'} p_i \ln p_i}{\ln m'} \quad (8)$$

式中 p_k ——景观斑块类型 K 在整个景观中所占面积的比重

H ——多样性指数

H_{\max} ——多样性指数中的最大值

m' ——景观中最大可能的景观斑块类型数量

香农均匀度指数反映景观中各斑块在面积分布上的不均匀程度, 以多样性指数与其最大值的比来表示。

此外, 边缘密度 (ED)、平均斑块面积 (AREA_MN)、斑块数目 (NP)、斑块密度 (PD)、蔓延度指数 (CONTAG)、散布与并列指数 (IJI)、面积加权分维度 (FRAC_AM)、景观分离度指数 (DIVISION) 数学模型的应用已非常成熟, 其数学模型详见文献[22]。

2 结果与分析

2.1 研究区土地利用总体变化特征

从总体变化分析来看 (表 3, 表中 P 为初始转出率, Q 为期末转入率), 1996—2016 年浙中城市群的未利用地类型在 8 种土地利用类型中转移率最高, 达到 48.80%, 主要是转出转移模式。其中 72.53% 转为林地, 具体为毛竹林用地类型居多, 自然原因方

表 3 1996—2016 年浙中城市群土地利用转移矩阵

Tab. 3 Transition matrix of each land use type in central Zhejiang urban agglomeration during 1996—2016

土地利用类型	参数	未利用地	建设用地	耕地	林地	草地	水域及水利设施用地	园地	特殊用地	1996年
未利用地	面积/hm ²	3 044.65	292.93	48.97	3 771.05	220.97	64.87	93.56	143.51	8 064.44
	$P/\%$		8.94	1.09	73.64	4.70	1.44	8.54	1.65	
	$Q/\%$		0.07	0.09	5.01	0.62	0.13	5.23	0.55	
建设用地	面积/hm ²	0	28 550	23 800.56	230.32	314.45	2 521.23	3 456.12	102.54	52 946.56
	$P/\%$	0		38.71	4.23	5.77	36.29	10.00	5.00	
	$Q/\%$	0		4.41	0.31	0.88	4.95	6.61	6.65	
耕地	面积/hm ²	82.55	44 220.00	24 060.41	63 058.14	3 290.29	38 326.72	4 594.26	75.45	64 982.70
	$P/\%$	0.02	70.85		11.53	0.60	7.01	9.52	0.47	
	$Q/\%$	4.69	80.32		73.70	9.17	65.22	52.41	32.52	
林地	面积/hm ²	658.36	80 155.40	24 391.43	1 404 900.00	26 337.28	9 638.36	6 165.25	4 512.14	1 446 080.83
	$P/\%$	0.47	46.77	17.28		18.65	6.83	9.22	0.78	
	$Q/\%$	27.44	14.56	35.15		63.37	18.92	24.14	35.23	
草地	面积/hm ²	913.28	5 556.23	1 013.70	7 215.06	201 500.00	400.83	458.51	96.35	35 599.10
	$P/\%$	8.05	21.80	6.71	45.78		7.65	8.43	1.58	
	$Q/\%$	51.93	1.01	1.88	9.58		0.79	9.81	10.56	
水域及水利设施用地	面积/hm ²	104.39	22 212.75	26 189.52	1 064.59	5 733.96	255 100.00	165 062.24	165.25	41 405.21
	$P/\%$	0.19	35.16	42.35	1.92	10.37		6.43	3.57	
	$Q/\%$	5.94	4.03	48.48	1.41	15.97		1.15	9.75	
园地	面积/hm ²	15.56	564.56	66 542.21	522.33	6 552.31	1 211.37	635.14	16.45	4 646.36
	$P/\%$	6.47	20.5	35.14	24.55	10.55	2.52		0.27	
	$Q/\%$	8.34	4.36	8.63	9.45	7.64	6.42		4.65	
特殊用地	面积/hm ²	56.75	756.65	4 126.65	455.36	49.5	3 855.56	554.96	25.57	4 397.12
	$P/\%$	82.47	3.50	4.94	2.55	4.55	1.52	0.47		
	$Q/\%$	1.66	6.65	1.36	0.54	2.35	3.57	0.65		
2016年	面积/hm ²	4 475.25	213 880.55	63 440.47	1 215 040.36	36 478.94	47 580.81	13 256.25	4 636.25	

面是浙江省的低山丘陵地形和亚热带季风气候区等自然条件非常适合当地毛竹等植物生长,人为原因主要是金华市、衢州市、丽水市、绍兴市最近20年的保护林地资源政策以及金华市“创建国家级森林城市”项目的落实实施。从总体转入转移模式来看,转化来源51.93%来自于草地,37.44%来自于其他植被类型林地。建设用地利用类型转入面积增长较大,通过转置矩阵分析看出,转入率在16.56%,其中耕地用地类型占建设用地转入总面积的80.32%,林地用地类型转入建设用地占比6.02%,其他土地利用类型转入建设用地占比13.66%,可以看出:转入的土地利用类型来源呈现多样化的趋势,但是转入的土地类型来源中最主要是耕地,即占用耕地用地类型来增大建设用地的面积。这是由于浙中城市群的大部分城市处于城市成长中期,城市建设用地的需求量非常大。从建筑用地利用类型的内部转移模式来看,建筑用地内部转移比率比较低,仅1.87%,这说明浙中城市群的城市土地集约节约利用率还比较低。建设用地利用类型也有转出,为27.44%,转出的类型中43.71%转成耕地,46.2%转成水域;林地转出率最低,为8.32%。

耕地土地利用类型在21年中转出最多,转出的土地利用类型中80.32%是建设用地类型,其次,转出为林地土地利用类型占比11.53%;其他类型的占比综合较小。耕地土地利用类型在2001年时转入率48.26%,在2016年时转入率64.82%,转入的土地利用类型中水域及水利设施用地占48.645%;其次,由林地土地利用类型转入的耕地占比45.15%。从转移的数值来看,园地总体转移率较低,为2.16%,其中转出建设用地占56.77%;转入来源中耕地占83.70%。

草地主要转化为建设用地和林地,其中转出林地占47.78%,建设用地占36.80%,转入来源中林地占73.37%,水域占15.97%。水域向耕地、建设用地转移,转入来源为耕地,转移率为17.82%,转出耕地为47.35%,建设用为40.16%,转入来源耕地占75.22%。

特殊用地类型在研究区内的规模极小,且特殊用地类型转移趋势变化不显著,转出率和转入率均较低,21年转移率基本保持稳定。

2.2 土地利用结构的变化差异

通过地统计分析1996—2016年间浙中城市群各类土地利用总量变化差异,如图2所示。可见,各类型土地利用转移率呈复杂波动变化趋势。从面积转移变化来看,建设用地面积发生显著的变化,2016年面积转移率上升到27.47%,较2006年增长了

67.35%,尤其是2006—2016年增长幅度占21年总比率的49.51%,实际建设用地面积增加了3743.17 km²。这种态势的主要原因是浙中城市群城市化进程的加快和区域人口经济发展“扩张效应”的影响。从各类型土地利用面积减少的变化来看,耕地、林地、未利用地面积发生了不同程度的减少(分别下降5.84%、2.03%、0.14%),3类占比的降幅为15.42%、1.13%、29.89%,耕地面积减少最大,减少了2774.67 km²。林地和未利用地的减少面积较小,主要原因是耕地的面积基数大,且占用耕地转为其他用地类型的概率大,林地减少面积较小的主要原因是由于浙中城市群特殊的保护森林政策。未利用地的面积基数太小,因此实际减少面积不显著。局部年份的草地面积下降,但呈总体上升趋势,较2006年,2016年草地面积转移率上升了0.29%,增长率为14.81%,年均增长1.2534%。水域及水利设施用地面积总体发生了小幅增加,转移率分别上升了0.46%,增长率为10.72%,年均增长0.9672%。这种态势的主要原因为“退耕还湖”政策的继续推进和城市水工景观面积的增加,以及浙江省实行了特殊严格的“河长制”等。

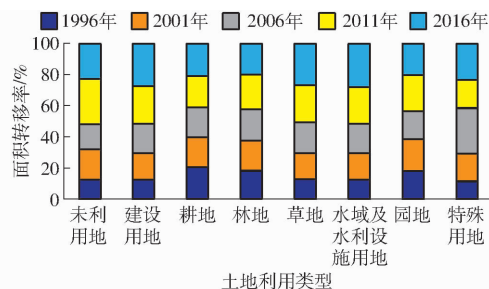


图2 1996—2016年浙中城市群各种土地利用结构变化差异图

Fig. 2 Changes and differences of land use structure in central Zhejiang urban agglomeration during 1996—2016

2.3 土地利用生态风险评价

本研究通过景观结构统计软件FRAGSTATS 3.4分析浙中城市群的土地利用生态风险评价的指标有3大类,分别是景观破碎化指数、景观形状指数、景观多样性指数。景观破碎化指数和景观形状指数均细分出5个二级指标;景观多样性指数细分出2个二级指标,如表4所示。

2.3.1 景观水平格局特征

浙中城市群的总体景观格局主要特征有:从斑块数量来看,1996年为68102个,2016年为34043个,21年间减少了34059个,减小幅度50%,年平均减少1792个。说明1996—2016年间,斑块分布总体由分散布局向集中合并的趋势发展,但是集聚的时间效率不均衡,1996—2006年

间的集中效率大于2006—2016年,说明集聚速率在减小,斑块相邻的密集度逐渐降低到了稳定值并且未来不会持续的集中。从平均斑块面积来看,平均斑块面积从1996年的 0.2349 km^2 增加到2016年的 0.4699 km^2 ,年平均增大面积 0.0124 km^2 。在2001—2006年平均斑块面积略有波动下降,但是不影响总体平均斑块面积增加的趋势。从斑块密度来看,浙中城市群从1996年的 $4.2894\text{ 个}/\text{km}^2$ 降到2016年的 $2.1276\text{ 个}/\text{km}^2$,斑块的密集程度在1996—2006年持续变小,再从2006—2011年变大,再从2011—2016年变小。从最大斑块指数看,最大斑块指数总体逐渐减小,可见,区域斑块的极化态势逐渐变小,逐渐由集中向

分散的趋势演变。总体来看,研究区的总体景观格局呈现出“整体集中,局部分散”的态势。从景观分离度指数来看,从1996年的 0.9059 降低到2016年的 0.8896 ,从年变化趋势来看,指数先变小再变大,具体表现:1996—2006年变小,2006—2011年变大,2011—2016年变小,最终和2011年的景观分离度指数持平。边缘密度用来分析区域景观被分割程度和景观的离散程度,边缘密度在1996—2016年持续变小。浙中城市群斑块的离散化程度逐渐减小,斑块被分割的分散程度在降低。景观形状指数用来分析浙中城市群斑块的变异程度,从景观形状指数分析,浙中城市群斑块由不规则化逐渐向规则化发展。

表4 浙中城市群1996—2016年景观水平格局指数

Tab.4 Landscape level pattern index of central Zhejiang urban agglomeration from 1996 to 2016

景观格局指标	1996年	2001年	2006年	2011年	2016年
斑块数量(NP)/个	68 102	59 745	43 969	49 883	34 043
斑块密度(PD)/(个· km^{-2})	4.289 4	3.705 6	2.736 5	3.117 6	2.127 6
最大斑块指数(LPI)	22.465 6	22.016 8	21.665 3	20.702 8	21.265 3
平均斑块面积(AREA_MN)/ km^2	0.234 9	0.267 8	0.363 8	0.320 7	0.469 9
景观分离度指数(DIVISION)	0.905 9	0.872 6	0.887 2	0.892 1	0.889 6
边缘密度(ED)	22.465 6	20.458 3	18.362	16.837 6	15.246 8
景观形状指数(LSI)	97.861 1	91.234 6	86.143 2	73.215 9	70.365 4
蔓延度指数(CONTAG)	53.738 7	54.025 8	53.964	55.541 9	56.259 6
散布与并列指数(IJI)	54.720 3	52.149 6	50.163 5	47.126 9	43.586 4
面积加权分维度(FRAC_AM)	1.175 2	1.173 9	1.176 9	1.179 7	1.183 6
香农多样性指数(SHDI)	1.259 5	1.305 5	1.264 7	1.223 3	1.283 4
香农均匀度指数(SHEI)	0.647 7	0.635 8	0.634 5	0.628 5	0.601 57

蔓延度指数用来分析斑块景观的空间相互连接关系,蔓延度指数越高,说明研究区所有斑块景观中的优势斑块与非优势板块呈现出良好的连接度;蔓延度指数越低,说明研究区所有斑块景观中优势斑块呈单一性密集排列格局,非优势斑块相间离散化排列。1996—2016年的5个时间节点蔓延度指数均大于53,可见浙中城市群存在相对较大优势的斑块景观。从散布与并列指数分析,该指数从1996年(大于54)逐年持续下降到2016年(小于44),说明浙中城市群景观格局由收敛转向“分散—集中格局”,不同类型的景观格局相邻度增大。从面积加权分维度分析,1996—2016年面积加权分维度增加了 0.0084 ,增幅 0.7148% ,说明浙中城市群的景观斑块总体分维度没有显著变化,但是有向复杂程度变大的趋势。香农多样性指数是指研究区内景观类型的数量和各个类型景观数量占总体景观类型数量比例的演变态势,从香农多样性指数分析,该指数从1996年的 1.2595 增加到2001年的 1.3055 ,接着又降低到2011年的 1.2233 ,然后再上升到2016年

的 1.2834 ,说明浙中城市群景观类型丰富度呈波动式发展,2016年景观丰富度虽和2000年基本持平,但是破碎化程度略高,21年间呈波动变化态势。香农均匀度指数反映了景观中各组成斑块的分布均匀程度,其值为0时,说明景观仅由一种组成,无多样性;其值为1时,说明各斑块类型均匀分布,有最大多样性,5个时间节点的数值大于 0.60 ,说明各斑块类型存在多样性,但其值有所减少,说明多样性在降低。

2.3.2 土地利用生态风险时空演变

在分析土地利用生态风险时空演变时,需要将土地利用生态风险转移情况进行等级类型分区,生态风险等级类型分区的常用方法是GIS空间分析法。

GIS是面向对象的空间分布特征和空间布局状态、相关关系以及趋势分析的最佳方法之一,是对具有空间特征对象数理统计、检测、分析、模拟和估计的理想途径。采用自然断点划分法,归一处理后的间隔均为 0.13 ,划分为5个生态风险等级类型,可

以实现对各期生态风险进行分析。借助 ArcGIS 10.2 软件,通过运用统计学的断裂点模型划分生态风险等级区间,如表 5 所示。

表 5 生态风险等级类型及区间

Tab.5 Ecological risk grade type zone value

生态风险等级类型	生态风险等级区间
低生态风险区 (I)	[0, 0.355)
较低生态风险区 (II)	[0.355, 0.485)
中生态风险区 (III)	[0.485, 0.615)
较高生态风险区 (IV)	[0.615, 0.745)
高生态风险区 (V)	[0.745, + ∞)

通过 GIS 空间分析法划分生态风险等级区间,构建浙中城市群的景观生态风险指数。基于浙中城市群的景观破碎化格局指数(由表 3 NP、PD、LPI、AREA_MN、DIVISION 5 个指标构成)、景观形状格局指数(由表 3 ED、LSI、CONTAG、IJI、FRAC - AM 5 个指标构成)和景观多样性格局指数(由表 3 SHDI、SHEI 2 个指标构成)3 大类指标构建浙中城市群生态风险评价指数,其数学模型为

$$ERI(i) = aC_i + bN_i + cD_i \quad (9)$$

式中 $ERI(i)$ ——第 i 个样本的生态风险指数

C_i ——景观破碎化格局指数

N_i ——景观形状格局指数

D_i ——景观多样性格局指数

a 、 b 、 c 为对应的权重,借鉴已有成果^[20-23],具体参照文献[24],本研究实际赋值为 0.6、0.3、0.1。

将浙中城市群各类指数数据导入模型,得到 1996—2016 年浙江省各地级市生态风险指数如表 6 所示。模型分析显示浙中城市群土地利用格局呈现“中心—外围”时空格局。从各类风险区的时间序列分析,基于 2000 年的时间节点来看,浙中城市群的较低生态风险区面积比重最大,如图 3 所示,占比 22.05%,而高生态风险区面积比重最小,占比 11.65%;低生态风险区面积占比 19.07%,这说明 2000 年的总体景观生态风险处于低风险阈值,景观生态格局状态良好。基于 2016 年的时间节点来看,高生态风险区面积比重最大,占比 24.34%,低生态风险区面积比重最小,仅占比 10.43%,这说明 2016 年景观生态风险加重,总体景观生态风险处于较高风险阈值,21 年的景观生态风险增长趋势较快,低生态风险区、高生态风险区的“景观地位”出现了“互换位移”的现象,也表明浙中城市群各类景观生态风险区波动幅度较大,且呈现向高风险阈值方向发展的趋势。

从 1996—2016 年浙中城市群各市的生态风险等级空间分布来看,2016 年义乌市、东阳市、武义县的风

表 6 1996—2016 年浙中城市群各地级市生态风险指数
Tab.6 Ecological risk index of prefecture-level cities in central Zhejiang urban agglomeration from 1996 to 2016

区/县级市	1996 年	2001 年	2006 年	2011 年	2016 年
婺城区	0.54	0.56	0.56	0.58	0.59
金东区	0.52	0.51	0.53	0.55	0.56
兰溪市	0.28	0.28	0.29	0.31	0.36
义乌市	0.77	0.83	0.80	0.82	0.82
东阳市	0.68	0.70	0.71	0.72	0.73
永康市	0.45	0.45	0.48	0.49	0.48
诸暨市	0.44	0.44	0.45	0.47	0.49
武义县	0.66	0.63	0.65	0.67	0.69
浦江县	0.54	0.53	0.54	0.56	0.56
磐安县	0.37	0.38	0.39	0.40	0.39
龙游县	0.44	0.46	0.46	0.48	0.49
缙云县	0.36	0.37	0.37	0.38	0.37

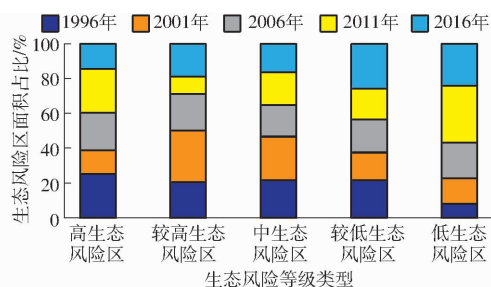


图 3 浙中城市群的生态风险区面积占比变化
Fig.3 Change map of ecological risk area of central Zhejiang city cluster

险指数远高于其他县(区),主要是其 21 年经济快速发展,城市化水平高,人口集聚对耕地、林地、水域等用地强度加深,加之更细致的保护措施跟进较慢,导致生态风险等级最高;1996 年婺城区、金东区、浦江县的风险指数均在 0.54 左右,2016 年达到 0.59 左右,其生态风险指数较稳定,主要是其自然生态空间用途管制办法(试行)落实扎实到位和城市土地利用管制措施的作用;兰溪市、永康市、诸暨市、磐安县、龙游县和缙云县生态风险指数最低,但随着经济发展加快,建设用地增加,其生态风险指数也在增加,但相对于浙中城市群其他县(区)来说,其土地利用变化对生态系统的稳定性影响较小,其经济开发增加引起的生态风险也相对较小。从各类风险区的空间角度来看,1996—2016 年浙中城市群各市生态风险等级在空间分布上呈现“趋同俱乐部”现象和“集中—分散”现象,如图 4 所示,即较高生态风险区和高生态风险区在空间上出现集聚和“邻近现象”;较低生态风险区和低生态风险区在空间上分散在较高生态风险区和高生态风险区的“外围”,具有明显的“中心—外围”格局和发展态势。

如图 4 所示,在时间序列上,1996—2016 年浙

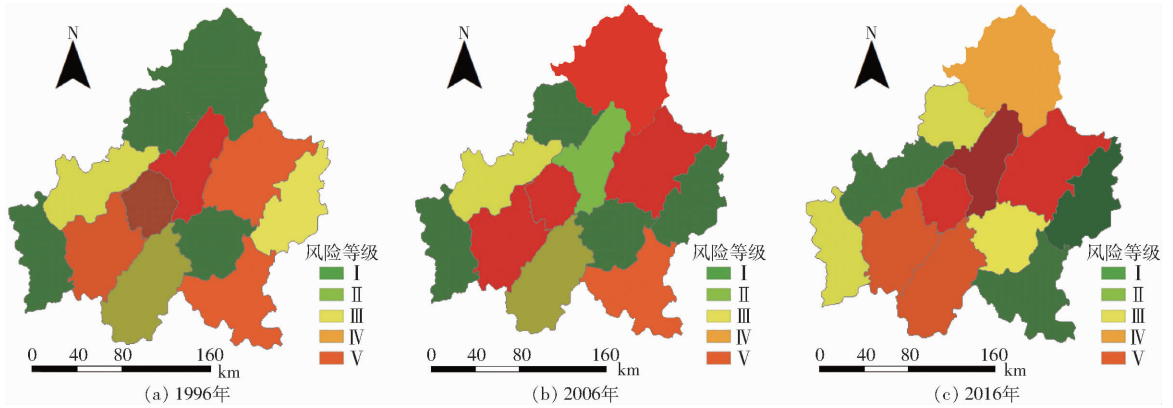


图4 1996—2016年浙江省各地级市生态风险空间分异图

Fig. 4 Ecological risk spatial differentiation map of prefecture-level cities in Zhejiang Province in 1996—2016

中城市群各地级市土地利用的生态风险均呈现上升趋势,且城市群内部的风险转移较大。从浙中城市群生态风险空间分异发现,研究区各市生态风险指数的IV和V等级区主要集聚在东阳市、义乌市、武义县、浦江县、金东区和婺城区。这6个县市(区)在空间上分布在浙中城市群的“中心”方位;I等级区主要是兰溪市;II等级区主要是磐安县和缙云县;I和II等级区分散在浙中城市群的西北和东南方位。这种生态风险等级格局的差异明显,在空间上呈现出了“中心—外围”格局和发展态势。III等级区分布在浙中城市群东北、西南和东南方位,并且由永康市、诸暨市、龙游县3个市县的建设用地趋势分析,生态风险指数未来有可能增加,转向IV或V等级区。

3 结论

(1)1996—2016年21年间,浙中城市群的土地利用不同类型之间、土地利用同种类型内部的转移态势均有显著变化。建设用地面积增加显著,由7.86%增加到20.45%,21年间增加近3倍;林地面积占比总体呈缓慢增长趋势,1996—2006年占总面积比率增长较慢,2006—2016年增长较快;水域及水利设施用地占总面积比率逐年下降,2006—2016年从5.85%降到3.89%;未利用地是21年减少比率最大的土地利用类型,其次是耕地;园地、草地主要分布在浙中城市群东北方向和西北方向,面积占

比比率较低,园地总体增加,草地总体减少,增加和减少的面积占总土地利用面积比率均较小。

(2)浙中城市群的土地利用总体景观格局质量呈现先下降、后上升、再整体下降的态势。1996—2016年总体景观破碎化指数增加,局部年份出现下降,景观形状指数和景观多样性指数总体下降,局部年份出现上升,各种类型土地之间转移趋向复杂波动化。

(3)基于2016年时间节点的浙中城市群生态风险空间演变特征视域判析,义乌市、东阳市、武义县的生态风险指数在0.69~0.82之间,为IV和V等级区,生态风险等级为较高或高;婺城区、金东区、浦江县的生态风险指数在0.56~0.59之间,为III等级区,生态风险等级为中;兰溪市、永康市、诸暨市、磐安县、龙游县、缙云县的生态风险指数在0.49以下,为I或II等级,生态风险等级为低或较低。

(4)浙中城市群土地利用生态风险等级的空间差异较大。1996—2016年浙中城市群各市生态风险等级在空间分布上呈现“趋同俱乐部”现象和“集中—分散”演变趋势,即较高生态风险区和高生态风险区在空间上指向浙中城市群中部,且出现集聚态势,较低生态风险区和低生态风险区在空间上分散在浙中城市群的西北、东南和西南地区,且在浙中城市群中部的“外围”,具有明显的“中心—外围”格局和发展态势。

参 考 文 献

- [1] 史培军,潘耀忠. 深圳市土地利用/覆盖变化与生态环境安全分析[J]. 自然资源学报,1999,14(4):293-299. SHI Peijun, PAN Yaozhong. Land use/cover change and environmental security in Shenzhen region[J]. Journal of Natural Resources, 1999, 14(4): 293-299. (in Chinese)
- [2] LAWLER J J, LEWIS J D, NELSON E, et al. Projected land-use change impacts on ecosystem services in the United States[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2014, 111(20): 7492-7497.
- [3] WULDER M A, WHITE J C, GOWARD S N, et al. Landsat continuity: issues and opportunities for land cover monitoring[J]. Remote Sensing of Environment, 2008, 112(3): 955-969.
- [4] 杨晓艳,朱德举,鄢文聚,等. 土地开发整理对区域景观格局的影响[J]. 农业工程学报,2005,21(9):67-71. YANG Xiaoyan, ZHU Deju, YUN Wenju, et al. Analysis of the landscape spatial pattern influence caused by land development and consolidation[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(9): 67-71. (in Chinese)
- [5] 王军,严慎纯,白中科,等. 土地整理的景观格局与生态效应研究综述[J]. 中国土地科学,2012,26(9):87-94.

- WANG Jun, YAN Shenchun, BAI Zhongke, et al. Review on landscape patterns of land consolidation and the ecological effects [J]. *China Land Sciences*, 2012, 26(9): 87-94. (in Chinese)
- [6] 曾永年, 靳文凭, 王慧敏, 等. 青海高原东部土地利用变化模拟与景观生态风险评价[J]. *农业工程学报*, 2014, 30(4): 185-194.
- ZENG Yongnian, JIN Wenping, WANG Huimin, et al. Simulation of land-use changes and landscape ecological assessment in eastern part of Qinghai Plateau [J]. *Transactions of the CSAE*, 2014, 30(4): 185-194. (in Chinese)
- [7] 张正峰. 土地整理中的生态服务价值损益估算[J]. *农业工程学报*, 2008, 24(9): 69-72.
- ZHANG Zhengfeng. Estimation of gains and losses of ecosystem services value with land consolidation [J]. *Transactions of the CSAE*, 2008, 24(9): 69-72. (in Chinese)
- [8] 顿耀龙, 王军, 白中科, 等. 松嫩平原西部土地整理区景观格局指数的粒度效应研究[J]. *水土保持研究*, 2014, 21(5): 65-70.
- DUN Yaolong, WANG Jun, BAI Zhongke, et al. Grain effect of landscape pattern index of land consolidation area in the west of Songnen Plain [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2014, 21(5): 65-70. (in Chinese)
- [9] 王静敏, 王益澄, 金邑霞, 等. 基于土地利用格局的浙中城市群区域景观稳定性研究[J]. *宁波大学学报(理工版)*, 2018, 31(6): 88-96.
- WANG Jingmin, WANG Yicheng, JIN Yixia, et al. Study on regional landscape stability of urban agglomeration in central Zhejiang based on land use pattern [J]. *Journal of Ningbo University (Science and Technology Edition)*, 2018, 31(6): 88-96. (in Chinese)
- [10] 石小伟, 冯广京, 邹逸江, 等. 城镇化与服务业的空间格局及耦合协调态势——以河南省为例[J]. *上海国土资源*, 2019, 40(2): 32-37.
- SHI Xiaowei, FENG Guangjing, ZOU Yijiang, et al. Spatial pattern and coupling coordination of urbanization and service industry—a case study of Henan Province [J]. *Shanghai Land and Resources*, 2019, 40(2): 32-37. (in Chinese)
- [11] 石小伟, 邹逸江. 上海LED产业空间集聚的计量分析[J]. *华东经济管理*, 2017, 31(7): 31-36.
- SHI Xiaowei, ZOU Yijiang. Econometric analysis of spatial agglomeration of LED industry in Shanghai [J]. *East China Economic Management*, 2017, 31(7): 31-36. (in Chinese)
- [12] 郎文聚, 王志刚. 农用地分等国家级数据库系统总体设计与关键技术[J]. *农业工程学报*, 2005, 21(4): 61-64.
- YUN Wenju, WANG Zhigang. Overall design of state-level farmland classification database system and key technologies [J]. *Transactions of the CSAE*, 2005, 21(4): 61-64. (in Chinese)
- [13] 王洪波, 郎文聚, 吴次芳, 等. 农用地分等图形数据库的追溯法汇总技术[J]. *农业工程学报*, 2008, 24(9): 59-63.
- WANG Hongbo, YUN Wenju, WU Cifang, et al. Integration technology for agricultural land grading figure database based on retrospective analysis method [J]. *Transactions of the CSAE*, 2008, 24(9): 59-63. (in Chinese)
- [14] 张青璞, 孔祥斌, 郎文聚, 等. 重庆市国家级农用地分等汇总前后等别分布规律[J]. *农业工程学报*, 2010, 26(10): 297-303.
- ZHANG Qingpu, KONG Xiangbin, YUN Wenju, et al. National agricultural land grading distribution law based on conversion from provincial level to national level in Chongqing [J]. *Transactions of the CSAE*, 2010, 26(10): 297-303. (in Chinese)
- [15] 张蕾娜, 郎文聚, 苏强, 等. 基于农用地分等成果的产能核算研究[J]. *农业工程学报*, 2008, 24(增刊1): 133-136.
- ZHANG Leina, YUN Wenju, SU Qiang, et al. Methods for productivity calculation based on agricultural land classification [J]. *Transactions of the CSAE*, 2008, 24(Supp. 1): 133-136. (in Chinese)
- [16] 伍育鹏, 郎文聚, 邹如. 耕地产能核算模型的研究[J]. *农业工程学报*, 2008, 24(增刊2): 108-113.
- WU Yupeng, YUN Wenju, ZOU Ru. Model for calculation of cultivated land productivity [J]. *Transactions of the CSAE*, 2008, 24(Supp. 2): 108-113. (in Chinese)
- [17] 王丽萍, 金晓斌, 杜心栋, 等. 基于灰色模型-元胞自动机模型的佛山市土地利用情景模拟分析[J]. *农业工程学报*, 2012, 28(3): 237-242.
- WANG Liping, JIN Xiaobin, DU Xindong, et al. Land use scenarios simulation of Foshan City based on gray model and cellular automata model [J]. *Transactions of the CSAE*, 2012, 28(3): 237-242. (in Chinese)
- [18] 刘勇, 张红, 尹京苑. 基于土地利用变化的太原市土地生态风险评价研究[J]. *中国土地科学*, 2009, 23(1): 52-61.
- LIU Yong, ZHANG Hong, YIN Jingyuan. Study on land ecological risk in Taiyuan City based on land use change [J]. *China Land Science*, 2009, 23(1): 52-61. (in Chinese)
- [19] 傅丽华, 谢炳庚, 张晔, 等. 长株潭城市群核心区土地利用生态风险评价[J]. *自然灾害学报*, 2011, 20(2): 96-101.
- FU Lihua, XIE Binggeng, ZHANG Ye, et al. Ecological risk assessment of land use in core area of Changsha-Zhuzhou-Xiangtan urban group [J]. *Journal of Natural Disasters*, 2011, 20(2): 96-101. (in Chinese)
- [20] 蒙晓, 任志远, 张翀. 咸阳市土地利用变化及生态风险[J]. *干旱区研究*, 2012, 29(1): 137-142.
- MENG Xiao, REN Zhiyuan, ZHANG Chong. Study on land use change and ecological risk in Xianyang City [J]. *Arid Zone Research*, 2012, 29(1): 137-142. (in Chinese)
- [21] 王常颖, 张杰, 辛红梅, 等. 基于景观格局的海岛开发潜在生态风险评价[J]. *生态学报*, 2008, 28(6): 2811-2817.
- WANG Changying, ZHANG Jie, XIN Hongmei, et al. Ecological risk assessment of island exploitation based on landscape pattern [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(6): 2811-2817. (in Chinese)
- [22] 臧淑英, 梁欣, 张思冲. 基于GIS的大庆市土地利用生态风险分析[J]. *自然灾害学报*, 2005, 14(4): 141-145.
- ZANG Shuying, LIANG Xin, ZHANG Sichong. GIS-based analysis of ecological risk on land-use in Daqing City [J]. *Journal of Natural Disasters*, 2005, 14(4): 141-145. (in Chinese)
- [23] 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.
- XU Yan, GAO Junfeng, GAO Yongnian. Landscape ecological risk assessment in the Taihu region based on land use change [J]. *Lake Science*, 2011, 23(4): 642-648. (in Chinese)
- [24] 林扬碧, 陈秋波, 邹伟, 等. 区域景观结构的生态风险评价方法与案例研究[J]. *环境科学与管理*, 2009, 34(4): 186-190.
- LIN Yangbi, CHEN Qiubo, ZOU Wei, et al. Method and cases study of ecological risk assessment based on landscape structure of regional development [J]. *Environmental Science and Management*, 2009, 34(4): 186-190. (in Chinese)
- [25] BIRO K, PRADHAN B, BUCHROITHNER M F, et al. Land use/land cover change analysis and its impact on soil properties in the northern part of Gadarif region, Sudan [J]. *Land Degradation & Development*, 2013, 24(1): 90-102.
- [26] ARAYA Y H, CABRAL P. Analysis and modeling of urban land cover change in Setúbal and Sesimbra, Portugal [J]. *Remote Sensing*, 2010, 2(6): 1549-1563.
- [27] LUCA F, ALESSANDRA S, SIMONE S, et al. Land use and land cover (LULC) of the Republic of the Maldives: first national map and land use change analysis using remote-sensing data [J]. *Environmental Monitoring & Assessment*, 2017, 189(8): 417.
- [28] ROBINSON D T. Land-cover fragmentation and configuration of ownership parcels in an exurban landscape [J]. *Urban Ecosystems*, 2012, 15(1): 53-56.
- [29] THENKABAIL P S, SCHULL M, TURRAL H. Ganges and Indus river basin land use/land cover (LULC) and irrigated area mapping using continuous streams of MODIS data [J]. *Remote Sensing of Environment*, 2005, 95(3): 317-341.