



农业资源与环境学报

CSCD 核心期刊
中文核心期刊
中国科技核心期刊

JOURNAL OF AGRICULTURAL RESOURCES AND ENVIRONMENT

欢迎投稿 <http://www.aed.org.cn>

鄱阳湖生态经济区建设用地扩张对耕地景观破碎化的影响

郑希平, 陈竹安, 危小建

引用本文:

郑希平, 陈竹安, 危小建. 鄱阳湖生态经济区建设用地扩张对耕地景观破碎化的影响[J]. 农业资源与环境学报, 2024, 41(2): 280–291.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13254/j.jare.2023.0285>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

京津冀潮白河区域2001—2017年耕地利用变化时空特征分析

苏锐清, 曹银贵, 王文旭, 邱敏, 宋蕾

农业资源与环境学报. 2020, 37(4): 574–582 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2019.0266>

基于移动窗口法的半干旱生态脆弱区景观破碎化及驱动力分析

胡荣明, 杜嵩, 李朋飞, 姚燕子, 王睿哲, 滕坤阳

农业资源与环境学报. 2021, 38(3): 502–511 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2020.0490>

基于CA-Markov模型和MCE约束的白洋淀流域景观动态研究

张晨星, 徐晶晶, 温静, 杨新兵, 王佳欢, 赵波

农业资源与环境学报. 2021, 38(4): 655–664 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2020.0415>

黄河中下游地区耕地轨迹演变及驱动机制研究——以河南省为例

耿艺伟, 陈伟强, 张锋, 马月红

农业资源与环境学报. 2021, 38(2): 249–258 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2020.0216>

新时代广州市耕地多功能评价及时空演变分析

唐春云, 臧俊梅

农业资源与环境学报. 2021, 38(2): 332–343 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2020.0648>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

郑希平, 陈竹安, 危小建. 鄱阳湖生态经济区建设用地扩张对耕地景观破碎化的影响[J]. 农业资源与环境学报, 2024, 41(2): 280–291.

ZHENG X P, CHEN Z A, WEI X J. The impact of construction land expansion on the landscape fragmentation of cultivated land in the Poyang Lake ecological economic zone[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2024, 41(2): 280–291.



开放科学 OSID

鄱阳湖生态经济区建设用地扩张对耕地景观破碎化的影响

郑希平¹, 陈竹安^{1,2,3*}, 危小建^{1,2,3}

(1. 东华理工大学测绘与空间信息工程学院, 南昌 330013; 2. 东华理工大学自然资源部环鄱阳湖区域矿山环境监测与治理重点实验室, 南昌 330013; 3. 江西省测绘地理信息工程技术研究中心, 南昌 330013)

摘要:为分析鄱阳湖生态经济区耕地景观与建设用地扩张之间的关系,利用形态学空间格局分析法研究2000—2020年耕地景观破碎化的形态学特点,同时运用外溢效应分析、景观格局指数分析、地理加权回归等模型方法,探究建设用地扩张对耕地景观破碎化的影响。结果表明:2000—2020年间耕地景观破碎化程度加强,核心区面积减少强度由1.33%提高到6.27%,并表现出由平原地区向山地丘陵区加强的地域性差异,且建设用地扩张会导致耕地景观破碎化;建设用地占用耕地的面积由268.60 km²增加到1 003.26 km²,主要发生在路网成熟的地区;建设用地扩张对耕地的外溢效应逐渐增强,在路网成熟地区更显著;建设用地扩张对耕地景观破碎化有较强的正向影响,道路建设对这种影响有强化作用,同时,耕地景观破碎化表现出随道路缓冲距离的减小而加强的阶梯性差异。研究表明,耕地景观破碎化程度受地形和建设用地扩张的影响显著,耕地景观破碎化现象主要发生在地势起伏大或建设用地密集、路网成熟的地区。

关键词:景观破碎化;耕地;形态学空间格局;扩张;建设用地;道路网络;景观格局指数

中图分类号:F301.21;F323.211 文献标志码:A 文章编号:2095-6819(2024)02-0280-12 doi: 10.13254/j.jare.2023.0285

The impact of construction land expansion on the landscape fragmentation of cultivated land in the Poyang Lake ecological economic zone

ZHENG Xiping¹, CHEN Zhu'an^{1,2,3*}, WEI Xiaojian^{1,2,3}

(1. School of Surveying and Geoinformation Engineering, East China University of Technology, Nanchang 330013, China; 2. Key Laboratory of Mine Environment Monitoring and Improving around Poyang Lake of Ministry of Natural Resources, East China University of Technology, Nanchang 330013, China; 3. Jiangxi Province Engineering Research Center of Surveying, Mapping and Geographic Information, Nanchang 330013, China)

Abstract: This study took the Poyang Lake ecological economic zone as the research area, and using morphological spatial pattern analysis, explored the morphological spatial characteristics of the fragmentation of cultivated land from 2000 to 2020. Furthermore, based on land use transition matrix methods, spillover effect analysis, and landscape pattern index analysis, this study analyzed the spatiotemporal characteristics in which construction land expands by occupying cultivated land as well as the spatiotemporal response of the landscape pattern of the cultivated land. From 2000 to 2020, the degree of cultivated land fragmentation gradually strengthened and the reduction rate of the core area increased from 1.33% to 6.27%. At the same time, it was shown that the regional difference was gradually strengthened

收稿日期:2023-05-03 录用日期:2023-06-20

作者简介:郑希平(2000—),女,福建福清人,硕士研究生,从事土地景观生态研究。E-mail:zhengxp2000@139.com

*通信作者:陈竹安 E-mail:cza53@qq.com

基金项目:东华理工大学地质资源经济与管理研究中心开放基金项目(22GJDGL03);江西省研究生创新专项基金项目(YC2023-S585);国家自然科学基金项目(51708098)

Project supported: Research Center of Geological Resource Economics and Management Fund (22GJDGL03); Postgraduate Innovation Fund of Jiangxi Province (YC2023-S585); The National Natural Science Foundation of China(51708098)

<http://www.aed.org.cn>

from the plain around Poyang Lake to the mountainous and hilly areas, and the expansion of construction land led to the fragmentation of cultivated land. From 2000 to 2020, the area of cultivated land occupied by construction land increased from 268.60 km² to 1 003.26 km², and mainly occurred in areas with a mature road network. The spillover effect of construction land expansion is gradually increasing, and it is more significant in areas with a mature road network. The expansion of construction land has a strong positive effect on cultivated landscape fragmentation, and road construction strengthens this effect. Meanwhile, cultivated landscape fragmentation shows a greater difference with the reduction of road buffer distance. The degree of cultivated land fragmentation is significantly affected by topography and construction land expansion. In addition, the fragmentation of cultivated land mainly occurs in areas with large relief or dense construction land and a mature road network.

Keywords: landscape fragmentation; cultivated land; morphological spatial pattern; expansion; construction land; road network; landscape pattern index

社会经济不断发展使人地矛盾越发突出,大量耕地被建设用地侵占,其中不乏高质量农田^[1]。建设用地占用耕地的过程迫使耕地景观出现破碎化,这种破碎化的现象不仅会导致耕地无法进行规模化经营,阻碍农业现代化发展,而且会导致耕地生态系统生物多样性下降^[2],严重影响我国的粮食安全。要保证社会可持续发展,保障粮食安全,就必须协调好建设用地与耕地之间的关系。

从景观生态学角度分析,耕地景观破碎化会表现出耕地斑块数量、密度等增大^[3],连接度、聚集性等降低^[4]。目前,众多学者借助景观格局指数法研究耕地景观破碎化^[5-7],该方法可以客观地定量表现出区域整体景观破碎化状况,但是对局部地区耕地景观的破碎化水平呈现效果较差,并且无法准确识别出耕地景观破碎化的空间模式。在生态网络构建的研究中可以发现,形态学空间格局分析(MSPA)对于景观的空间形态有较好的分析作用,可以实现景观破碎化的空间差异研究。史芳宁等^[8]、Jiang等^[9]和Zhang等^[10]将形态学空间格局法应用到景观破碎化的研究中,实现了对景观破碎化空间形态的快速直观识别。若结合MSPA在空间分析上的优势与景观格局指数在定量分析上的优势,可以实现耕地景观破碎化的细节性、准确性、多样性表达。

对于耕地景观破碎化原因的研究,学界目前主要利用地理探测器、SPSS等方法分析耕地景观与自然、经济等因素的关系^[11-12],但也有部分学者关注城市扩张对景观破碎化的影响,如虞文娟等^[13]、Chu等^[14]和Yuan等^[14]借助皮尔逊相关性分析、土地利用转移矩阵等研究得到,城市扩张是区域景观破碎化的重要原因。建设用地占用其他类型土地扩张的过程中,其本身的破碎度逐渐下降^[15],随着扩张强度不断提高,区域景观破碎化程度加剧^[16]。纵观以往的研究发现,关

于建设用地扩张对景观破碎化的影响研究多在区域尺度下开展,仍缺乏地理空间上的分析表达。

鄱阳湖流域是我国重要的粮食生产基地,自2009年鄱阳湖生态经济区规划上升为国家战略后,鄱阳湖生态经济区迅猛发展,道路网络加快建设,各类建设用地投入使用,大量耕地被占用。因此,本研究以鄱阳湖生态经济区为研究区,采用形态学空间格局分析、外溢效应分析、景观格局指数分析、地理加权回归等方法,探究鄱阳湖生态经济区耕地景观破碎化的形态学变化特征,并基于道路网络特征分析建设用地扩张对耕地景观破碎化的影响机理,以期对鄱阳湖生态经济区耕地资源保护和土地利用优化配置提供理论支撑。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

鄱阳湖生态经济区位于江西省北部(114°29′~117°42′E, 27°30′~30°06′N),国土面积51 200 km²。地貌以低山丘陵和平原为主,地势中间低四周高,中部为鄱阳湖平原,水网密布。2020年该地区土地利用类型主要为耕地和林地,分别占全域面积的39.09%和37.73%。鄱阳湖生态经济区是我国南方经济最活跃的地区之一,具有协调发展生态与经济的良好条件。然而,鄱阳湖生态经济区在快速发展的同时,建设用地对耕地的侵占越发严重,耕地面积和景观形态面临极大威胁。

1.2 数据来源

本研究使用的土地利用栅格数据是中国科学院发布的2000、2010、2020年三个时期的全球地表覆盖数据(GlobeLand30),空间分辨率为30 m。县级行政区划矢量数据来源于地理国情监测云平台(<http://www.dsac.cn/>)。DEM数据来源于地理空间数据云平

台 (<https://www.gscloud.cn/>), 空间分辨率是 30 m。2020 年路网数据来源于 Open Street Map (<https://www.openstreetmap.org>), 2000、2010 年的路网数据是在 2020 年数据的基础上, 借助 2000、2010 年《江西省交通基本情况图》(来源于《江西省交通年鉴》)反推获得。其他自然资源、社会经济、规划范围等文本资料来源于《鄱阳湖生态经济区规划》。

1.3 研究方法

1.3.1 形态学空间格局分析

形态学空间格局分析(Morphological Spatial Pattern Analysis, MSPA)是一种基于数学形态学原理度量、识别、分割二值图像的方法^[17]。通过对二值化的土地利用栅格图像进行处理,提取核心斑块,使核心要素与其他要素之间形成明确的空间拓扑关系^[18],实现栅格图像在空间格局上的精准分类^[19],从而直观地描述景观破碎化。MSPA 生成的 7 类景观要素及生态学含义如表 1 所示。

表 1 MSPA 景观要素及生态学含义

Table 1 Landscape elements and ecological implications of MSPA

景观类型 Landscape type	生态学含义 Ecological implication
核心区	耕地景观区域的内部片区
孤岛	面积太小不足以形成核心区的耕地区域,且孤立存在
孔隙	核心区内部斑块的边缘,即核心区与非耕地区域之间的过渡区域
边缘区	核心区与非耕地区域的交接线
环道	连接同一核心区的狭长区域
连接桥	连接至少两个不同核心区的狭长区域
支线	只有一端与边缘区、连接桥、环道或孔隙相连的区域

1.3.2 动态变化率

动态变化率表示一段时期内某要素相对于自身的变化情况,可以帮助预测要素变化的发展趋势,具体公式如下:

$$V = \frac{L_b - L_a}{L_a \times T} \times 100\% \quad (1)$$

式中: L_a 、 L_b 为某类要素在 a、b 时期的量; T 为 a、b 时期的时间间隔。 $V > 0$ 表示该要素的量增加, $V < 0$ 表示该要素的量减少。 V 的绝对值越大,要素的量的变化强度越大。

1.3.3 土地利用转移矩阵

土地利用转移矩阵表示不同土地利用类型在空间和时间上的变化特征,不仅可以描述某个时间内固定区域的土地利用数量特征,也可以动态展示某段时

间内土地利用类型的转移方向、数量和变化趋势,具体公式如下:

$$A_{ij} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & \cdots & A_{1n} \\ A_{21} & A_{22} & \cdots & A_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A_{n1} & A_{n2} & \cdots & A_{nn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中: A 为土地面积; n 为土地利用类型的数量; i 、 j 表示研究初期和末期的土地利用类型。

1.3.4 基于莫兰指数的外溢效应分析

利用莫兰指数进行建设用地扩张的外溢效应分析。全局莫兰指数可以揭示研究区区域尺度建设用地和耕地的空间相关性,局域莫兰指数可以识别局域尺度的建设用地和耕地是否具有空间关联^[20-21]。公式(3)为全局莫兰指数,公式(4)为局域莫兰指数:

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (y_i - \bar{y})(y_j - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (3)$$

$$I_i = \frac{(y_i - \bar{y})}{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (y_j - \bar{y})^2} \sum_{j=1}^n w_{ij} (y_j - \bar{y})^2 \quad (4)$$

式中: n 为斑块总数; y_i 、 y_j 分别表示第 i 、 j 个斑块的土地类型,耕地取值为 1,建设用地取值为 2; w_{ij} 为空间权重值。 $I > 0$ 为正相关, $I < 0$ 为负相关, I 的绝对值越大,相关性越强。若 $I_i > 0$ 则表现为空间聚集现象,即第 i 个斑块及周围的斑块均为建设用地(高-高聚集)或第 i 个斑块及周围的斑块均为耕地(低-低聚集)。若 $I_i < 0$ 则表现为空间分散或差异现象,即第 i 个斑块为建设用地而周围斑块为耕地(高-低离散),或第 i 个斑块为耕地而周围斑块为建设用地(低-高离散)。

1.3.5 基于非采样法的景观格局指数分析

景观格局指数用于描述景观格局的特征与变化,目前主要借助 Fragstats 实现,软件中主要分斑块、类型、景观三种不同的计算尺度。本研究结合以往的研究^[13,15,22]及研究区特点,从类型尺度选取 5 个指标进行分析(表 2),并利用熵权法^[23]确定各景观格局指数的评价权重,以计算耕地景观破碎度。

1.3.6 地理加权回归分析

地理加权回归(Geographically Weighted Regression, GWR)是对普通最小二乘线性回归模型(Ordinary Least Squares, OLS)的一种扩展,其考虑了空间

表2 景观格局指数具体描述

Table 2 Specific description of landscape pattern index

景观格局指数 Landscape pattern index	定义 Definition
斑块密度 PD	单位面积斑块数(个·hm ⁻²)。值越大,斑块分割越细
平均斑块面积 AREA_MN	各类型斑块面积算数平均值,描述景观粒度(hm ²)。值越小,破碎化程度越大
聚集指数 AI	描述景观斑块的聚合程度(%)。值越大,聚合越好
连通性指数 COHESION	表示斑块类型间物理连接程度(无量纲)。值越大,景观连接性越好
连接度 CONNECT	表示给定阈值内相同斑块之间的连通度(%)。值越大,景观连通性越好

对象的局部效应,通过建立相邻空间要素的局部回归方程来探索研究对象的空间变化和驱动因素^[24],具体公式如下:

$$y_i = \beta_0(\mu_i, \vartheta_i) + \sum_{k=1}^P \beta_k(\mu_i, \vartheta_i) \times x_{ik} + \varepsilon_i \quad (5)$$

式中: y_i 为因变量,本研究为2000—2010年和2010—2020年的耕地景观破碎度变化值; (μ_i, ϑ_i) 为第*i*个样点的地理坐标; $\beta_0(\mu_i, \vartheta_i)$ 为样点*i*截距; $\beta_k(\mu_i, \vartheta_i)$ 为样点*i*的解释变量待估系数,是地理位置函数; x_{ik} 是*k*×*k*矩阵的解释变量;*P*为自变量*x*的数量; ε_i (*i*=1,2,⋯,*k*)为第*i*个样点的随机误差。

1.3.7 缓冲区分析

缓冲区分析可以量化道路网络的影响范围,从而研究耕地景观破碎化在不同道路缓冲区内的的梯度效应。本研究根据研究区的范围,参考李双成等^[25]的缓冲区设置规律,确定鄱阳湖生态经济区高速公路的缓冲距离为5 000 m,在1 000~5 000 m范围内每隔1 000 m设置缓冲区,国道和省道的缓冲距离为2 500 m,在500~2 500 m范围内每隔500 m设置缓冲区,由此形成5个缓冲区。

2 结果与分析

2.1 耕地破碎化的形态学空间格局

以耕地为前景进行MSPA分析,将边缘宽度设置为1 pixel以获得最大的耕地核心区,生成7类互相冲突的景观要素图像,最后根据各核心区的面积采用自然断点法中断值的均值进行分级,颜色由浅到深分别为小核心区(0~<68.911 5 km²)、中核心区(68.911 5~<262.395 3 km²)、大核心区(262.395 3~<681.694 8 km²)、超大核心区(≥681.694 8 km²) (图1)。面积较大的核心区主要分布在赣江流域和环鄱

阳湖平原地区,其中超大核心区主要分布在鄱阳湖南部,即赣江流域附近;而地形起伏较大的地区,耕地景观破碎化较严重,经MSPA分析多识别为小面积核心区,甚至被识别为孤岛、连接桥、支线等非核心区要素。总之,研究区耕地破碎化程度表现为由环鄱阳湖和赣江平原地区向山地丘陵区加强的地域性差异。

根据MSPA分析结果,计算7类景观要素面积的动态变化率,结果如图2所示。由图2可知:核心区面积逐渐减少,减少的强度由1.33%升高至6.27%。研究区耕地景观破碎化程度呈加剧趋势,面积较大的耕地核心区逐渐被分割为细小耕地,且细小耕地与大面积耕地之间的连接度不高,导致孤岛大幅度增加;不同核心区之间的连接度降低,连接桥表现为减少趋势。耕地的外部形状趋于复杂化,导致边缘区增加;同时,位于核心区内部的建设用地不断向外扩张,侵占周边耕地,导致耕地核心区分裂,从而表现为孔隙和环道面积减少。

4类核心区的数量、面积及各级核心区面积占总核心区面积的比例如表3所示。小核心区的数量远大于其他各级核心区的数量,小核心区和中核心区的面积及占比逐年上升,其总面积占比在2010年和2020年分别达到52.06%和64.83%。大核心区和超大核心区的数量、面积及占比大体上表现为下降趋势,但是在2010年,超大核心区的面积有所提升,结合图1可知在鄱阳湖南部(赣江东部)面积较小的核心区与南端超大核心区在2000—2020年间逐渐连接,使得该超大核心区面积增加,但是抚河东部以及赣江西部的两块超大核心区在后十年被分割为多个面积较小的核心区,因此超大核心区的总面积在2020年大幅度下降。总之,研究区面积较大的核心区不断分割为面积较小的核心区,耕地景观趋于破碎化。

由图1发现,2020年鄱阳湖北部地区较多中核心区破碎为小核心区,因此借助2000—2020年土地利用覆被图对其变化原因进行分析,结果如图3所示。2000年、2010年鄱阳湖北部和西部地区建设用地较少,且没有明显扩张;而2020年该地区大量耕地被建设用地占用,割裂了耕地核心区,导致中核心区破碎为小核心区。由此表明,建设用地扩张对耕地核心区状态具有显著影响,建设用地扩张会导致耕地景观破碎化。

2.2 建设用地扩张对耕地景观破碎化的影响

2.2.1 建设用地占用耕地扩张的时空特征

为探究建设用地占用耕地扩张的时空特征,借助

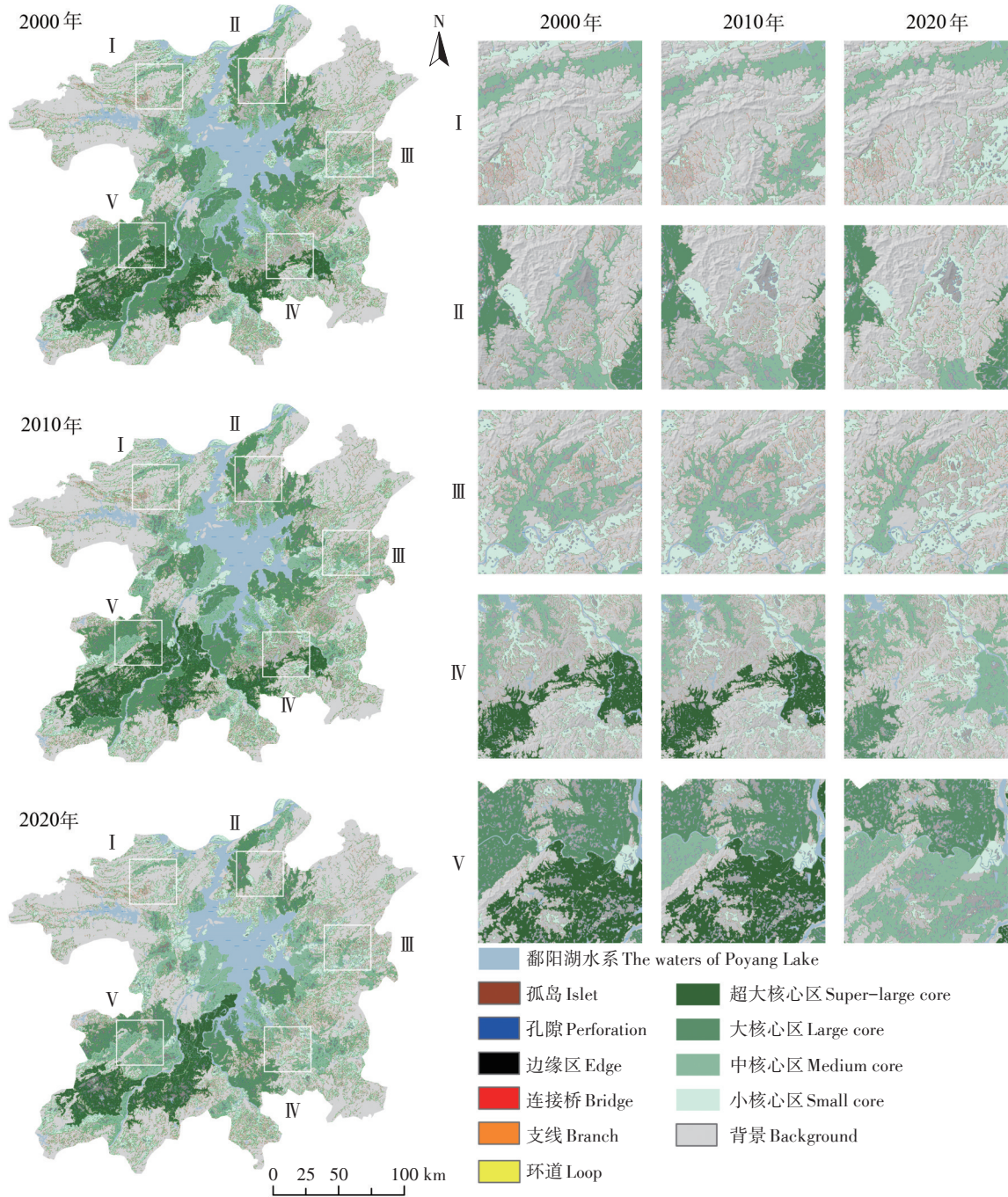


图1 研究区耕地的形态学空间格局分析

Figure 1 The morphological spatial pattern analysis of cultivated land

土地利用转移矩阵分析耕地与建设用地之间的转移方向、数量 and 变化趋势。

时间特征方面(表4),2000—2020年建设用地扩张的速度加快,由于2009年《鄱阳湖生态经济区规划》的批复,研究区建设用地在后十年迅速扩张,建设用地占用耕地的面积显著增加,且耕地是建设用地扩张的主要来源。虽然后十年占用耕地扩张的建设用

地面积相对于建设用地转入总面积的比例有所下降,但是从耕地转出的角度来看,建设用地占用耕地的面积占耕地转出总面积的比例在后十年有所增加,由31.54%提高到38.83%。

空间特征方面(图4),2000—2010年建设用地占用耕地主要发生在路网相对成熟的地区,如南昌市、新余市、九景高速附近等。2010—2020年,研究区交

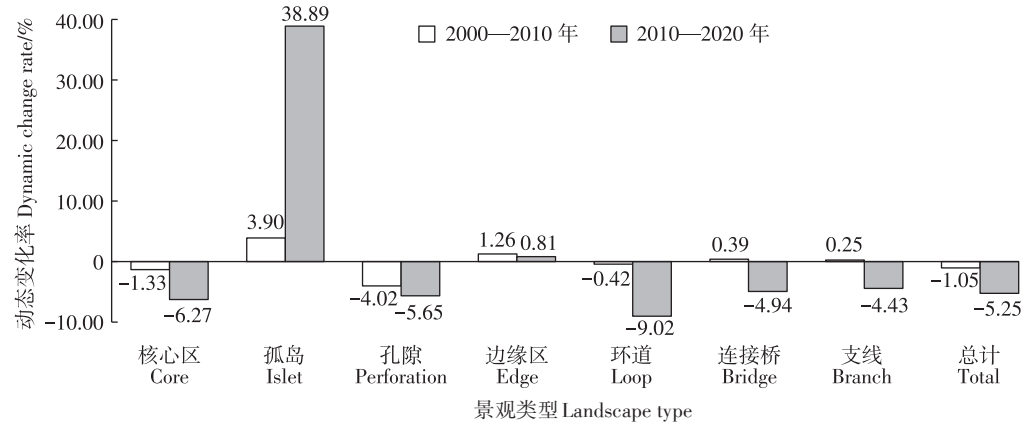


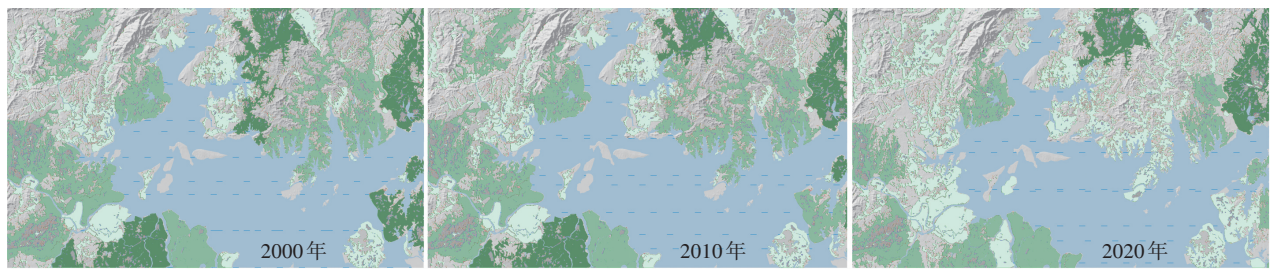
图2 景观要素面积的动态变化率

Figure 2 Dynamic change rate of landscape element area

表3 各类核心区数量、面积及占比

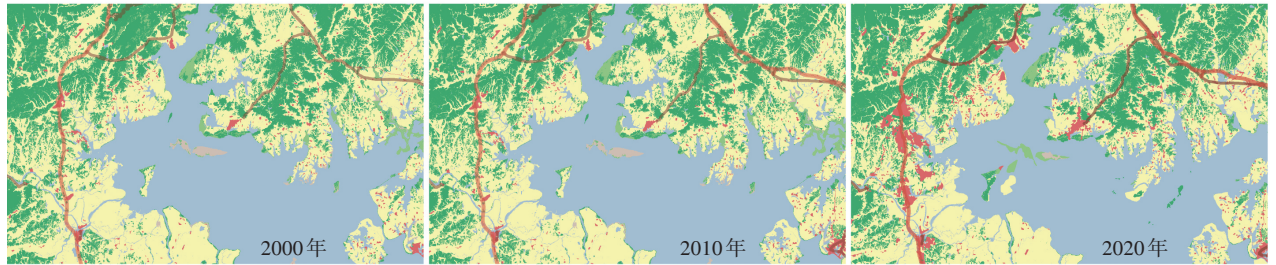
Table 3 The number, area and proportion of each grade core

各级核心区 Each grade core	2000年			2010年			2020年		
	数量 Number	面积 Area/km ²	占比 Proportion/%	数量 Number	面积 Area/km ²	占比 Proportion/%	数量 Number	面积 Area/km ²	占比 Proportion/%
小核心区	54 108	4 991.81	29.46	54 729	5 293.40	31.66	54 305	5 647.25	36.04
中核心区	23	3 158.44	18.64	24	3 410.19	20.40	30	4 511.50	28.79
大核心区	14	5 732.81	33.83	12	4 619.46	27.63	8	2 977.25	19.00
超大核心区	3	3 060.40	18.06	3	3 395.48	20.31	2	2 534.31	16.17



(a)2000—2020年鄱阳湖北部中核心区演变情况

Evolution of the medium core in the north Poyang Lake from 2000 to 2020



(b)2000—2020年鄱阳湖北部土地覆被演变情况

Land cover evolution in northern Poyang Lake from 2000 to 2020

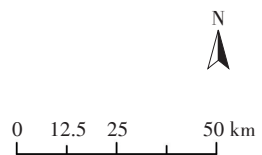


图3 2000—2020年鄱阳湖北部中核心区演变情况

Figure 3 Evolution of the medium core in the north of Poyang Lake from 2000 to 2020

表4 2000—2020年建设用地占用耕地数量统计

Table 4 Statistics of cultivated land occupied by construction land from 2000 to 2020

年份 Year	建设用地占用耕地面积 The area of cultivated land occupied by construction land/km ²	建设用地转入 The increase of construction land		耕地转出 The decrease of cultivated land	
		面积 Area/km ²	占比 Proportion/%	面积 Area/km ²	占比 Proportion/%
2000—2010年	268.60	366.47	73.29	851.57	31.54
2010—2020年	1 003.26	1 454.34	68.98	2 583.72	38.83

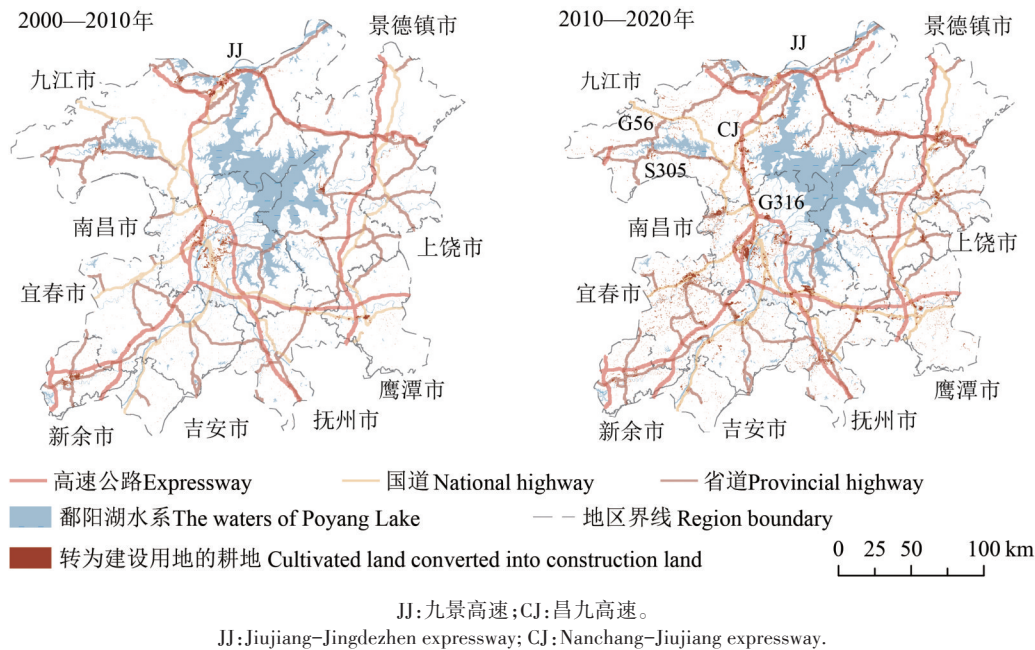


图4 2000—2020年建设用地占用耕地的空间分布状况

Figure 4 Spatial distribution of the cultivated land occupied by construction land from 2000 to 2020

通网络逐渐成熟,加速了建设用地对耕地的占用,建设用地聚集性扩张主要发生在道路交汇处,亦有多处呈明显的线性扩张趋势,如昌九高速、九景高速、G56、G316、S305附近。2010年部分道路刚竣工不久,路网相对不成熟,经过十年发展,道路网络得到充分使用,从而推动周边地区经济发展,使得2020年路网成熟的地区建设用地扩张显著。

2.2.2 建设用地扩张对耕地的外溢效应

对研究区三期的建设用地和耕地进行全局莫兰指数分析,莫兰指数均值为0.27,置信度为99%,因此研究区建设用地与耕地具有正向的空间关联性,即建设用地对耕地具有外溢效应,再对建设用地和耕地进行局域莫兰指数分析,结果如图5所示。

研究区建设用地的外溢效应在2000—2020年间逐渐增强,高-高聚集的地区逐渐增多。研究区的高-高聚集地区主要分布在鄱阳湖以南的路网密集地区。赣江西北部耕地分布较广但地势相对较高,建

设用地扩张受限,对耕地的外溢效应不显著;赣江东南部以平原居多,建设用地扩张对耕地的外溢效应有所显现,但是该地区水网密布,耕地相对集聚,受水系影响,建设用地外溢效应不高,多表现为低-高类型;鄱阳湖东南部多山地丘陵,耕地分布相对分散,2000年该地区建设用地扩张对耕地的外溢效应不显著,但是随着时间的推移,道路网络逐渐成熟,推动建设用地扩张,其外溢效应逐渐加强。

2.2.3 景观格局指数分析

利用非采样法计算耕地和建设用地的景观格局指数,再根据景观格局指数结果计算其动态变化率,结果如表5所示。虽然研究期间耕地和建设用地的斑块密度均表现为增加的趋势,但是耕地和建设用地表现出完全不同的景观格局演变特征。建设用地在20年间不断扩张,建设用地斑块数量增加的同时,其面积也不断增大,连接周边建设用地,因此建设用地平均斑块面积、聚集指数、连通性指数不断增加,建设

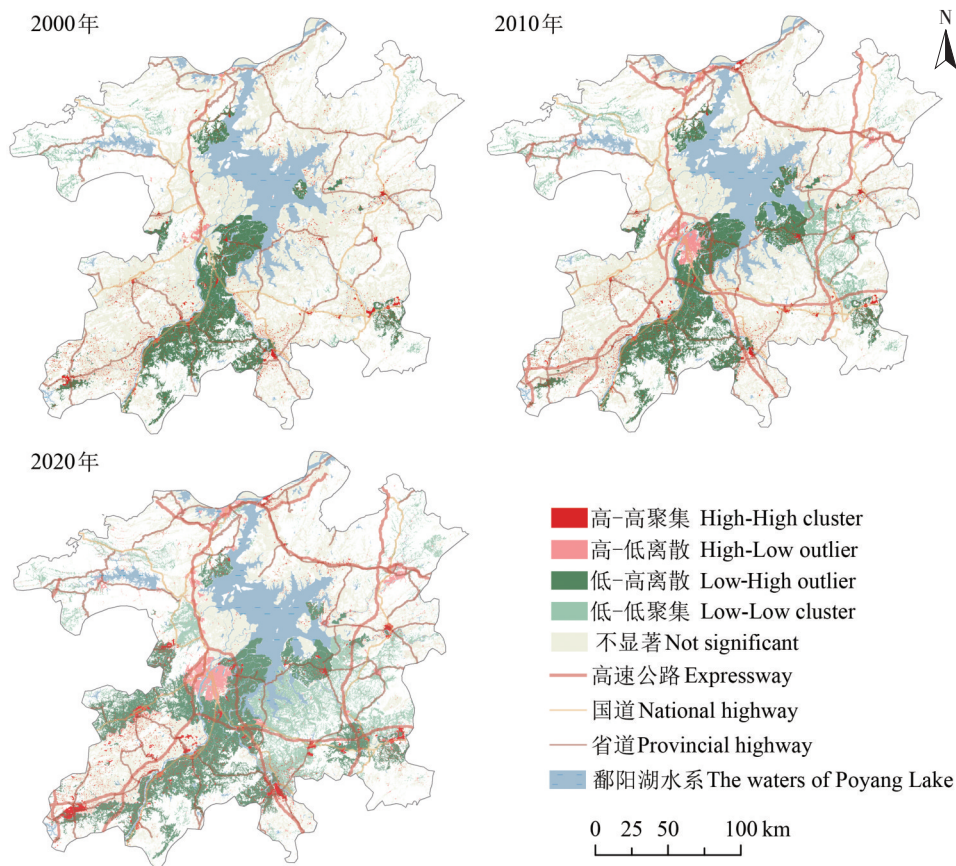


图5 建设用地和耕地的空间关联类型

Figure 5 Spatial interaction types of the construction land and cultivated land

表5 2000—2020年耕地和建设用地景观格局指数的动态变化率(%)

景观格局指数 Landscape pattern index	耕地 Cultivated land		建设用地 Construction land	
	2000—2010年	2010—2020年	2000—2010年	2010—2020年
斑块密度 PD	4.94	42.04	0.31	26.25
平均斑块面积 AREA_MN	-5.69	-33.31	23.00	44.38
聚集指数 AI	-0.07	-0.29	1.03	1.97
连通性指数 COHESION	0	-0.02	1.37	0.11
连接度 CONNECT	-3.05	-18.12	0	-17.54

用地不断聚集,连通性逐渐增强;但是建设用地的连接度表现为下降趋势,其内部的连接度有所下降。而耕地的平均斑块面积、聚集指数、连通性指数、连接度均表现为下降趋势,且2010—2020年变化强度均大于2000—2010年。结合图1、表3可知研究期间大面积耕地核心区逐渐被分割,虽然耕地的斑块数量增多,但是由于建设用地的占用,耕地斑块的面积大幅度下降,耕地的分裂导致其聚集度减弱,连接性降低,景观粒度增强,耕地景观呈现破碎化趋势,且有加剧的态势。

为了量化建设用地扩张对耕地景观破碎化的影响,根据鄱阳湖生态经济区的范围,分别设置2.5 km×2.5 km、3 km×3 km和5 km×5 km的格网进行耕地景观破碎度计算。利用熵权法得到耕地景观破碎度的景观格局指数评价权重,结果见表6。将耕地景观破碎度设置为因变量,解释变量为建设用地扩张面积。

研究发现3 km×3 km的格网可以相对更好地反映耕地景观破碎化水平,因此本研究选取3 km×3 km的格网为研究单元对建设用地和耕地的景观格局进行OLS和GWR分析。OLS和GWR模型的拟合结果

表6 耕地的景观格局评价指标权重

Table 6 The weight of landscape pattern evaluation of cultivated land

斑块密度 PD	平均斑块面积 AREA_MN	聚集度 AI	连通性指数 COHESION	连接度 CONNECT
0.221 5	0.197 4	0.181 2	0.200 2	0.199 7

表7 OLS和GWR模型的拟合优度和性能比较

Table 7 Comparison of the goodness of fit and performance of OLS and GWR models

项目 Item	2000—2010年		2010—2020年	
	OLS	GWR	OLS	GWR
<i>AICc</i>	-9 717.143 624	-10 310.457 780	-9 233.751 474	-9 878.196 919
<i>R</i> ²	0.000 069	0.244 550	0.000 434	0.227 468

(表7)表明GWR模型的 R^2 相对于OLS模型较高,即拟合结果较优;同时,GWR模型的 $AICc$ 值低于OLS模型,即GWR模型的性能优于OLS模型。综上,GWR模型更为准确。但是GWR模型的 R^2 均小于0.5,模型解释强度不高,因此对解释变量和因变量进行显著性检验,在 F 检验中,2000—2010年和2010—2020年的 P 值均小于0.01,置信度大于99%,通过 F 检验。模型解释度较低主要是由于只考虑了建设用地面积变化对耕地景观破碎度的显著影响,缺少对其他自然因素和社会经济因素(如坡度、人口和GDP)等关键解释变量的考虑。

GWR模型分析结果如图6所示,2000—2010年和2010—2020年表现为正向影响的格网分别占32.70%、37.74%,主要集中于环鄱阳湖周边地区以及赣江流域地区,同时,建设用地扩张对耕地景观破碎度的正向影响由城区中心向外逐渐减弱。总体上,建设用地扩张对耕地景观破碎化的影响强度和范围都

在逐渐增大。在南昌市区,2000—2020年间建设用地扩张对耕地景观破碎化的影响范围逐渐向四周扩大,影响强度较大的区域逐渐向东部和南部偏移。在景德镇市,后十年建设用地扩张的影响强度相对于前十年有所减弱。鄱阳湖北部流域,前十年建设用地扩张对耕地景观破碎化的影响强度大,后十年虽然有所减弱,但是正向影响的范围有较大幅度的增加。在九江市西部,建设用地扩张的正向影响强度和范围都有所增大,结合图4可知建设用地扩大主要发生于水域以及道路附近,这些区域地形以山地丘陵为主,随着道路网络的成熟,建设用地的扩张加剧,因此对耕地景观破碎化的正向影响有所加强。

为量化道路网络对耕地景观破碎化影响的梯度差异,对道路缓冲区进行分析,道路缓冲区按缓冲距离由近到远依次表示为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ区(表8)。2000—2020年5种道路缓冲区内耕地景观破碎度均逐年增强,2020年的破碎度远高于2000年和2010

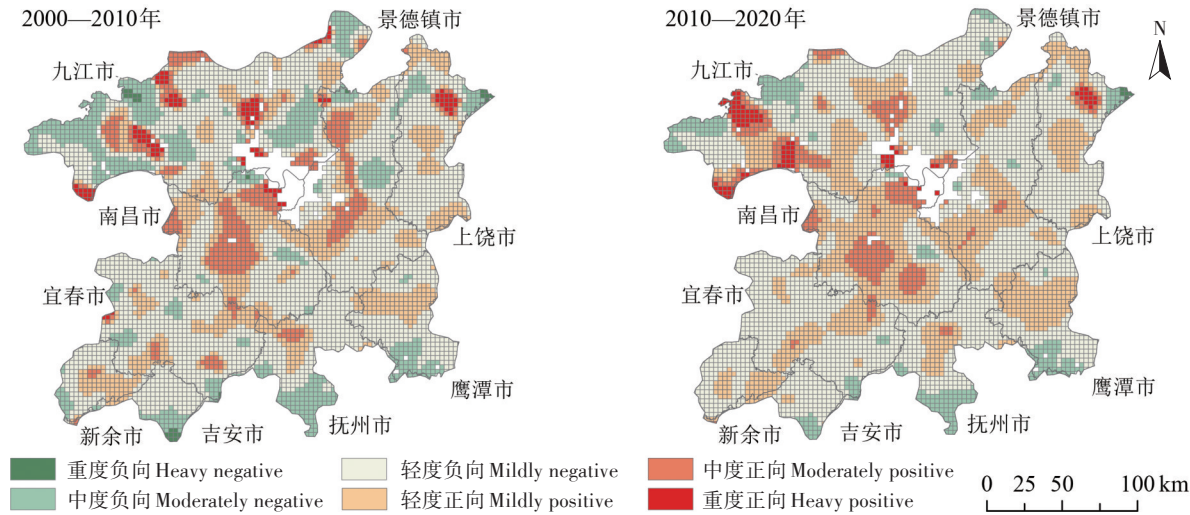


图6 2000—2020年建设用地扩张对耕地景观破碎化的影响

Figure 6 The influence of construction land expansion on cultivated land landscape fragmentation from 2000 to 2020

表8 2000—2020年各个道路缓冲区内耕地景观破碎度(%)

Table 8 Landscape pattern index of cultivated land in each road buffer from 2000 to 2020(%)

道路缓冲区 Road buffer	2000年	2010年	2020年
I	65.96	66.45	93.28
II	24.54	29.49	56.82
III	15.90	21.11	48.74
IV	14.11	19.38	45.67
V	11.86	16.14	43.18

年。另外,3个时期的耕地景观破碎度均表现为 I > II > III > IV > V,即耕地破碎化程度表现为随道路缓冲距离的增加而减弱的阶梯性差异,在 I 类缓冲区内耕地景观破碎化状况远比其他缓冲区严重。

3 讨论

学者们在通过 MSPA 进行生态源地提取、生态网络构建时会对核心区进行分级^[19],但在研究景观破碎化时很少对核心区进行划分,然而不同地区的耕地核心区数量、面积等存在很大的差异,因此本研究尝试对耕地核心区按照面积进行分级,其结果可以很好地反映出耕地景观破碎化的空间特点,有利于分析不同地理空间内耕地景观破碎化的原因。目前,关于建设用地扩张对耕地景观破碎化的影响研究多利用统计学方法从行政区域尺度进行^[13-14],而基于地理空间尺度的研究更有利于区域合理配置耕地和建设用地。因此,本研究从地理空间角度出发,首先基于莫兰指数在图斑尺度上分析建设用地对耕地的外溢效应,而后借助地理加权回归模型从格网尺度分析建设用地扩张与耕地景观破碎化的空间相关性。

通过研究可知,耕地核心区的面积和分布受地形地貌的影响很大。小面积核心区主要分布在地势起伏较大的地区,而面积较大的核心区多分布在地势平坦、水网密集的平原地区,该地区农业生产适宜性高,耕地相对集中连片。本研究表明平原地区耕地景观破碎化的重要原因是建设用地扩张,与此同时,建设用地扩张对耕地景观破碎化的正向影响也主要集中在平原地区。2000—2010年,建设用地扩张主要发生在平原地区,受经济和技术水平的影响,耕地成为建设用地扩张的主要来源,建设用地不断侵占周边耕地,使得平原地区的耕地景观愈发破碎化。随着城镇化进程不断推进和《鄱阳湖生态经济区规划》的批复,鄱阳湖生态经济区的经济发展水平在2010—2020年大幅度提升,地形地貌对城市建设的限制逐渐减弱,

建设用地扩张对耕地的依赖在一定程度上有所下降,但是建设用地扩张仍然是造成耕地流失的重要原因,二者之间的矛盾依旧突出。在今后的城市发展中,应合理控制建设用地扩张规模,并积极开展城市更新,对现有建设用地进行存量优化;在毗邻山水等自然风貌的城市地区,应合理规划,以塑造更具特色的城市风貌,从而实现城市与“山水林田湖草”生命共同体的和谐共存。

景观完整性对生态系统服务价值有重要影响,现有研究表明景观破碎化会对生态系统服务供给产生负面影响^[26],并且不利于自然生态系统中的物种迁移^[27],从而降低生物多样性。研究区的耕地景观破碎化在二十年间逐渐加剧,尤其是环鄱阳湖平原和赣江流域(该地区耕地景观破碎化受建设用地扩张影响较大),这无疑会降低其生态系统服务价值。因此,在未来的农用地综合整治中应注重对破碎的耕地景观进行布局调整,合理引导耕地集中连片,充分发挥其生态价值。有学者发现道路对建设用地扩张有很强的刺激作用^[28],道路对景观的分割、破坏也是景观破碎的重要原因^[29-31],本研究结果同样佐证了这一点,即在道路网络密集的地区,建设用地扩张对耕地景观破碎化的影响更为显著。道路建设会促进周边地区经济发展和建设用地扩张,从而降低耕地景观的聚集性并加剧其破碎化趋势;同时,道路网络对建设用地扩张和耕地景观破碎化的影响存在滞后效应,会随着时间的推移而不断加强。因此,在道路建设过程中应充分考虑其对耕地的影响,尽量减少占用耕地,特别是避让永久基本农田。

耕地破碎化兼具资源、空间、利用、权属等多种内涵^[32],其破碎化程度的度量还未明确界定。由于数据限制,本研究对耕地破碎化的研究仅着眼于耕地的资源禀赋和空间格局等方面,今后可以结合生产需求和产权安排等对耕地破碎化进行深入研究。同时,耕地破碎化在一定程度上会降低其经济、自然属性^[7],今后可以从耕地的功能、质量等多方面研究建设用地扩张对耕地破碎化的影响。除此之外,耕地破碎化程度在不同空间尺度上存在较大差异,本研究仅分析了单一尺度的耕地破碎化,且研究尺度相对较大,不适用于详细规划,未来可根据需要开展多尺度的耕地破碎化研究,并模拟未来土地利用变化趋势,以更好地满足耕地保护的实践需求,从而提出合理的管控建议。另外,目前基于 GlobeLand30 数据开展的研究多以全国、城市群或流域等大尺度区域为研究区,而对于本

研究区域和研究内容来说,其分辨率可能会产生一定的局限性和误差,因此,在今后的研究中需合理选取分辨率更高的数据,以得到更为准确的研究结果。

4 结论

本研究从经济社会快速发展与粮食安全的角度出发,基于2000、2010、2020年研究区土地利用数据,研究耕地景观破碎化的形态学变化特征及建设用地扩张对其的影响机理,得到以下结论:

(1)地形对耕地景观格局影响很大,耕地景观破碎化程度表现为由环鄱阳湖和赣江平原地区向山地丘陵区逐渐加强的地域性差异。由于建设用地的扩张,面积较大的耕地核心区逐渐分解为小面积的核心区,耕地景观呈现破碎化趋势。

(2)耕地是建设用地扩张的主要来源,在2000—2010年、2010—2020年,建设用地转入总量中来源于耕地的比例分别达到73.29%、68.98%。同时,建设用地占用耕地扩张的面积显著增加,主要发生在道路网络成熟地区。

(3)2000—2020年建设用地对耕地的外溢效应逐渐增强,同时这种外溢效应在地形起伏大或水系附近的地区较弱,而在道路网络成熟地区十分显著,这会促使周边地区建设用地占用耕地。

(4)建设用地占用耕地使其自身的聚集性逐渐增强,加剧了耕地景观的破碎化,2000—2020年建设用地扩张对耕地景观破碎度的正向影响强度和范围均逐渐增加,道路网络的成熟会加强正向影响的强度。同时,耕地景观破碎化在不同道路缓冲区存在差异,表现为随道路缓冲距离减小而加强的阶梯性差异。

参考文献:

- [1] 于昊辰,曾思燕,王庆宾,等.多情景模拟下新时代中国耕地保护底线预测[J].资源科学,2021,43(6):1222-1233. YU H C, ZENG S Y, WANG Q B, et al. Forecast on China's cultivated land protection baseline in the new era by multi-scenario simulations[J]. *Resources Science*, 2021, 43(6): 1222-1233.
- [2] 熊昌盛,张永蕾,王雅娟,等.中国耕地多功能评价及分区分管[J].中国土地科学,2021,35(10):104-114. XIONG C S, ZHANG Y L, WANG Y J, et al. Multi-function evaluation and zoning control of cultivated land in China[J]. *China Land Science*, 2021, 35(10): 104-114.
- [3] 张永生,欧阳芳,袁哲明.华北农田生态系统景观格局的演变特征[J].生态科学,2018,37(4):114-122. ZHANG Y S, OUYANG F, YUAN Z M. Change characteristics of landscape pattern in farmland ecosystems in north China[J]. *Ecological Science*, 2018, 37(4): 114-122.
- [4] YUAN Z F, ZHOU L, SUN D Q, et al. Impacts of urban expansion on the loss and fragmentation of cropland in the major grain production areas of China[J]. *Land*, 2022, 11(1): 130.
- [5] 陈帷胜,冯秀丽,马仁锋,等.耕地破碎度评价方法与实证研究:以浙江省宁波市为例[J].中国土地科学,2016,30(5):80-87. CHEN W S, FENG X L, MA R F, et al. Method of cultivated land fragmentation evaluation and empirical research: a case of Ningbo City in Zhejiang Province[J]. *China Land Sciences*, 2016, 30(5): 80-87.
- [6] 王伟华.基于县域尺度的浙江省耕地破碎化空间分异研究[J].环境生态学,2021,3(11):15-21. WAN W H. Evaluation of cultivated land fragmentation and its spatial heterogeneity based on county level of Zhejiang Province[J]. *Environmental Ecology*, 2021, 3(11): 15-21.
- [7] 韩逸,郭熙,江叶枫,等.南方丘陵区耕地质量与景观格局指数相关性分析[J].江苏农业学报,2018,34(5):1057-1065. HAN Y, GUO X, JIANG Y F, et al. Correlation analysis between cultivated land quality and landscape pattern index in south hilly areas[J]. *Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*, 2018, 34(5): 1057-1065.
- [8] 史芳宁,刘世梁,安毅,等.城市化背景下景观破碎化及连接度动态变化研究:以昆明市为例[J].生态学报,2020,40(10):3303-3314. SHI F N, LIU S L, AN Y, et al. Changes of landscape fragmentation and connectivity with urbanization: a case study of Kunming City[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2020, 40(10): 3303-3314.
- [9] JIANG P H, CHEN D S, LI M C. Farmland landscape fragmentation evolution and its driving mechanism from rural to urban: a case study of Changzhou City[J]. *Journal of Rural Studies*, 2021, 82: 1-18.
- [10] ZHANG Y L, SHEN W J, LI M S, et al. Assessing spatio-temporal changes in forest cover and fragmentation under urban expansion in Nanjing, eastern China, from long-term Landsat observations (1987—2017)[J]. *Applied Geography*, 2020, 117: 102190.
- [11] 常玉珣,张天柱,张凤荣,等.赣东山地丘陵区耕地细碎化时空变异与驱动因子探析:以江西省万年县为例[J].水土保持研究,2021,28(3):264-271. CHANG Y S, ZHANG T Z, ZHANG F R, et al. Analysis on the spatiotemporal variability and driving factors of cultivated land fragmentation in the hilly region of eastern Gansu: a case of Wannian County of Jiangxi Province[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2021, 28(3): 264-271.
- [12] 梁鑫源,李阳兵.三峡库区规模农地时空变化特征及其驱动机制[J].地理学报,2018,73(9):1630-1646. LIANG X Y, LI Y B. Spatio-temporal features of scaling farmland and its corresponding driving mechanism in Three Gorges Reservoir Area[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(9): 1630-1646.
- [13] 虞文娟,任田,周伟奇,等.区域城市扩张对森林景观破碎化的影响:以粤港澳大湾区为例[J].生态学报,2020,40(23):8474-8481. YU W J, REN T, ZHOU W Q, et al. Forest fragmentation and its relationship with urban expansion in Guangdong-Hong Kong-Macao Great Bay Area, China[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2020, 40(23): 8474-8481.
- [14] CHU M R, LU J Y, SUN D Q. Influence of urban agglomeration expansion on fragmentation of green space: a case study of Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration[J]. *Land*, 2022, 11(2): 275.
- [15] 王玉营.南京都市区城市扩张时空格局及其对生态安全的影响

- [D]. 南京:南京大学, 2019:34-40. WANG Y Y. Spatial-temporal pattern of urban expansion in Nanjing metropolitan zone and its impact on ecological security[D]. Nanjing: Nanjing University, 2019:34-40.
- [16] 李广东, 戚伟. 中国建设用地扩张对景观格局演化的影响[J]. 地理学报, 2019, 74(12): 2572-2591. LI G D, QI W. Impacts of construction land expansion on landscape pattern evolution in China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2019, 74(12): 2572-2591.
- [17] ZHANG R, ZHANG Q P, ZHANG L, et al. Identification and extraction of a current urban ecological network in Minhang District of Shanghai based on an optimization method[J]. *Ecological Indicators*, 2022, 136: 108647.
- [18] 李怡欣, 李菁, 陈辉, 等. 基于 MSPA 和 MCR 模型的贵阳市 2008—2017 年景观连通性评价与时空特征[J]. 生态学杂志, 2022, 41(6): 1240-1248. LI Y X, LI J, CHEN H, et al. Landscape connectivity evaluation and temporal-spatial characteristics of Guiyang City from 2008 to 2017 based on MSPA and MCR models[J]. *Chinese Journal of Ecology*, 2022, 41(6): 1240-1248.
- [19] 陈竹安, 况达, 危小建, 等. 基于 MSPA 与 MCR 模型的余江县生态网络构建[J]. 长江流域资源与环境, 2017, 26(8): 1199-1207. CHEN Z A, KUANG D, WEI X J, et al. Developing ecological networks based on MSPA and MCR: a case study in Yujiang County[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2017, 26(8): 1199-1207.
- [20] 刘钰, 余卓芮, 李登辉, 等. 福建省建设用地空间差异与溢出效应的耦合特征[J]. 复旦学报(自然科学版), 2020, 59(4): 449-459. LIU Y, YU Z R, LI D H, et al. The coupling characters of spatial inequality and spillover effect of construction lands in Fujian Province[J]. *Journal of Fudan University(Natural Science)*, 2020, 59(4): 449-459.
- [21] 卢新海, 唐一峰, 匡兵. 长江中游城市群城市土地利用效率空间溢出效应研究[J]. 长江流域资源与环境, 2018, 27(2): 252-261. LU X H, TANG Y F, KUANG B. Research on the spatial spillover effects of the urban land use efficiency for the urban agglomeration in the middle reaches of the Yangtze River[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2018, 27(2): 252-261.
- [22] 冯祥瑞, 陈竹安, 危小建, 等. 南昌市建设用地适宜性扩展路径研究[J]. 测绘通报, 2019(12): 116-121. FENG X R, CHEN Z A, WEI X J, et al. Study on suitability expansion path of construction land in Nanchang City[J]. *Bulletin of Surveying and Mapping*, 2019(12): 116-121.
- [23] 蒋策. 环渤海地区耕地破碎化及影响因素研究[D]. 保定: 河北大学, 2022: 18-19. JIANG C. Study on cultivated land fragmentation and its influential factors in Bohai Rim region[D]. Baoding: Hebei University, 2022: 18-19.
- [24] 常媛媛, 刘俊娜, 马静, 等. 干旱半干旱区耕地非粮化空间格局及驱动因素[J]. 农业资源与环境学报, 2023, 40(2): 333-344. CHANG Y Y, LIU J N, MA J, et al. Spatial pattern and driving factors of non-grain conversion on cultivated land in arid and semi-arid regions[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2023, 40(2): 333-344.
- [25] 李双成, 许月卿, 周巧富, 等. 中国道路网与生态系统破碎化关系统计分析[J]. 地理科学进展, 2004, 23(5): 78-85. LI S C, XU Y Q, ZHOU Q F, et al. Statistical analysis on the relationship between road network and ecosystem fragmentation in China[J]. *Progress in Geography*, 2004, 23(5): 78-85.
- [26] MITCHELL M G, SUAREZ-CASTRO A F, MARTINEZ-HARMS M, et al. Reframing landscape fragmentation's effects on ecosystem services[J]. *Trends in Ecology & Evolution*, 2015, 30(4): 190-198.
- [27] SPANOWICZ A G, JAEGER J A. Measuring landscape connectivity: on the importance of within-patch connectivity[J]. *Landscape Ecology*, 2019, 34(10): 2261-2278.
- [28] 赵燕, 骆磊, 万红, 等. 近 30 年巴音布鲁克遗产地景观格局遥感监测与分析[J]. 遥感学报, 2021, 25(12): 2488-2506. ZHAO Y, LUO L, WAN H, et al. Remote sensing monitoring and analysis of landscape pattern in Bayanbulak Heritage Site for nearly 30 years[J]. *National Remote Sensing Bulletin*, 2021, 25(12): 2488-2506.
- [29] 宋冰洁, 周忠学. 西安都市圈道路网络化对景观格局的影响[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2017, 47(5): 1521-1532. SONG B J, ZHOU Z X. Influence of road network on landscape pattern in Xi'an metropolitan zone[J]. *Journal of Jilin University(Earth Science Edition)*, 2017, 47(5): 1521-1532.
- [30] 杨星晨, 雷少刚, 徐军, 等. 道路对草原景观破碎化的影响研究[J]. 干旱区资源与环境, 2021, 35(11): 149-156. YANG X C, LEI S G, XU J, et al. Influence of roads on the fragmentation of grassland landscape[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2021, 35(11): 149-156.
- [31] 黄梦娜, 马廷. 中国道路网引起的景观破碎格局及其对保护区的影响[J]. 地球信息科学学报, 2019, 21(8): 1183-1195. HUANG M N, MA T. Assessing the impacts of China's road network on landscape fragmentation and protected areas[J]. *Journal of Geo-information Science*, 2019, 21(8): 1183-1195.
- [32] 刘晶, 金晓斌, 徐伟义, 等. 耕地细碎化对可持续集约利用的影响机理与治理框架[J]. 地理学报, 2022, 77(11): 2703-2720. LIU J, JIN X B, XU W Y, et al. Influence mechanism of cultivated land fragmentation on sustainable intensification and its governance framework[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2022, 77(11): 2703-2720.