

# 川北地形过渡带地形因子对土地利用与景观格局变化的影响

刘涛, 侯兰功

(西南科技大学 土木工程与建筑学院, 四川 绵阳 621000)

**摘要:** [目的] 基于地形特征分析不同用地类型时空分布变化, 不仅能解释土地利用时空变化规律, 并能更进一步为优化土地利用结果, 生态环境保护奠定基础。[方法] 基于四川省北部江油市 2003, 2010, 2018 年 3 期遥感影像, 运用土地利用转移矩阵法, 分析不同用地类型之间的转化情况; 接着利用地形位指数法、分布指数法, 分析地形因子影响下不同用地类型分布指数变化特征; 之后利用移动窗口法, 探究景观格局中斑块密度与 Shannon 多样性指数时空变化规律; 最后结合双变量空间相关性分析, 分析地形因子与景观指数间的空间相关性特征。[结果] ①在 2003—2010 年期间, 水田面积减少最多(减少面积 2 238.98 hm<sup>2</sup>), 建设用地面积增加最多(面积增加 3 360.36 hm<sup>2</sup>); 在 2010—2018 年期间, 水田面积减少 1 175.84 hm<sup>2</sup>, 建设用地面积增加 1 614.78 hm<sup>2</sup>; 2003—2010 年期间江油市土地利用的变化量整体高于 2010—2018 年。②北部山区主要由旱地转移为林草地, 南部平原地区主要为水田转移为建设用地, 中部丘陵区域旱地和水田相互转化强烈。③随时间变化, 旱地和未利用地优势等级向中地形位等级靠拢; 低地形位等级上建设用地、水田和水域优势度逐渐降低, 并具有优势等级向较高地形位等级扩展趋势。④山区河流沿岸以及山地平原交汇处斑块密度与 Shannon 多样性指数较高, 且呈线性分布; 随时间变化, 丘陵区域斑块密度增加, 主城区附近 Shannon 多样性指数呈下降趋势。⑤高一高聚集区主要表现为向山地丘陵交汇处聚集; 城区附近景观指数因受其他因素影响较多, 导致该区域景观指数与地形位指数呈现出显著相关性。[结论] 在地形过渡带区域, 不同地貌对于各类用地变化的影响在时空上存在差异性, 其地形因子与景观指数的空间相关性差异明显。

**关键词:** 地形过渡带; 地形因子; 土地利用变化; 空间相关性; 四川省江油市

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-288X(2020)04-0075-08

**中图分类号:** F301.2, K93

**文献参数:** 刘涛, 侯兰功. 川北地形过渡带地形因子对土地利用与景观格局变化的影响[J]. 水土保持通报, 2020, 40(4): 75-82. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2020.04.011; Liu Tao, Hou Langong. Effects of terrain factors on land use and landscape pattern change in terrain transition zone of Northern Sichuan Province [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2020, 40(4): 75-82.

## Effects of Terrain Factors on Land Use and landscape Pattern Change in Terrain Transition Zone of Northern Sichuan Province

Liu Tao, Hou Langong

(School of Civil Engineering and Architecture, Southwest

University of Science and Technology, Mianyang, Sichuan 621000, China)

**Abstract:** [Objective] The temporal and spatial distribution changes of different land use types based on topographic characteristics were studied in order to provide the basis for optimizing land use and ecological environmental protection. [Methods] Based on the remote sensing images of Jiangyou City in Northern Sichuan Province in 2003, 2010, and 2018, the land-use transfer matrix method was used to analyze the conversion between different types of land use. The topographic index method and distribution index method was used to analyze different land uses under the influence of topographic factors. Then, the moving window

收稿日期: 2020-03-18

修回日期: 2020-05-18

资助项目: 国家自然科学基金项目“山地丘陵城市建成区时空扩展与城市韧性协调发展研究: 以绵阳市为例”(41701172); 四川省教育厅自然科学基金项目(15ZA0123)

第一作者: 刘涛(1997—), 男(羌族), 四川省绵阳市人, 硕士研究生, 研究方向为区域发展与规划。Email: 97593374@qq.com。

通讯作者: 侯兰功(1979—), 男(汉族), 安徽省淮南人, 博士, 副教授, 主要从事区域发展与规划研究。Email: soundskyhlg@163.com。

method was used to explore the spatial and temporal changes of patch density and Shannon's diversity index. Finally, the spatial and temporal changes between topographic factors and landscape indexes were analyzed by combining the two-variable spatial correlation analysis. [Results] ① From 2003 to 2010, the paddy field area decreased the most, with a reduction of 2 238.98 hm<sup>2</sup>, while the construction land area increased the most, with an increase of 3 330.36 hm<sup>2</sup> during 2010—2018. The paddy field area decreased by 1 175.84 hm<sup>2</sup>, and the construction land area increased by 1 614.78 hm<sup>2</sup>. The total amount of land use change in Jiangyou City during 2003—2010 was higher than that in 2010—2018. ② The land transfer in the northern mountainous areas was mainly from dry land to forest grassland, the southern plains were mainly from paddy fields to construction land, and the dry land and paddy fields in the central hilly region were strongly transformed. ③ Over time, the advantages of dry land and unused land had moved closer to the middle terrain level, the dominance of construction land, paddy fields, and water areas had gradually decreased on the low terrain level, and the advantage level had a tendency to expand to higher terrain level. ④ The patch density and Shannon diversity index were higher along mountain river banks and at the intersection of hills and plains, and showed a linear distribution. The patch density in hilly areas increased with time, and the Shannon diversity index near the main urban area showed a downward trend. ⑤ The high clustering area was mainly distributed at the intersection of hills and mountains, the landscape index near the urban area was affected by other factors, which causes the area's landscape index to show insignificant correlation with the topographical level index. [Conclusion] In the area of terrain transition zone, the impacts of different landforms on the changes of various land use types are different in time and space, and the spatial correlation between the terrain factor and the landscape index is obviously different.

**Keywords:** terrain transition zone; topographic factors; spatial-temporal changes in land use; spatial correlation; Jiangyou City of Sichuan Province

自1995年国际地圈生物圈计划(IGBP)和国际全球环境变化人文因素计划(IHDP)首次提出了“土地利用/土地覆盖变化(LUCC)”研究计划,此后LUCC成为环境变化问题的研究热点<sup>[1]</sup>。地形因影响光、水和热量的差异性分布导致土地利用变化约为水平异变度的1 000倍<sup>[2]</sup>。尤其在山地丘陵过渡带,土地利用地形梯度变化对经济建设和农业生产活动具有深远的影响,其土地资源的可持续性利用关系到区域的粮食安全和生态安全<sup>[3]</sup>。早期国内学者更多从一级地形等级<sup>[4]</sup>(如高程、坡度和坡向<sup>[5-6]</sup>)出发探究土地利用梯度变化,主要采用转移概率矩阵<sup>[7]</sup>、土地利用变化速度指标<sup>[8]</sup>和土地利用程度综合指数<sup>[9]</sup>等方法定量分析土地利用时空变化。近几年,研究发现地形位指数更简洁直观地体现出地貌特征<sup>[10]</sup>,并且在此基础上深入探究二级地形等级<sup>[4]</sup>如地形起伏度<sup>[11]</sup>、坡形<sup>[12]</sup>、坡位<sup>[13]</sup>等,其研究方法更趋于分析土地利用时空的差异性,例如土地利用图谱法<sup>[14]</sup>、移动窗口法<sup>[15]</sup>等方法。其研究区域主要涵盖行政区划<sup>[16]</sup>、流域<sup>[17]</sup>、农牧交错带<sup>[18]</sup>和特殊地形区<sup>[19]</sup>等。

四川省江油市处于川北地区成都平原和秦岭山地间的过渡地带,其地形复杂多样,包含丰富的生态资源与地理信息。深入探究此类地形过渡带土地利用类型的时空变化能够清晰的展现出不同地貌下土

地利用时空分布特征以及地形梯度变化下的土地利用变化规律。有学者从时间序列出发,定量分析江油市土地利用变化程度<sup>[20]</sup>,亦有学者利用元胞自动机—马尔可(CA-Markov)模型预测2020年江油市土地利用分布格局<sup>[21]</sup>,并取得较好的研究成果。然而,对于复杂地理单元,从时间角度横向对比其土地利用变化程度往往会忽略地形对土地利用格局所造成的空间差异性。因此,本文基于地形位指数,利用土地利用转移矩阵法以及分布指数法分析四川省江油市土地利用时空分布及变化特征,旨在深入探究地形因子与土地利用变化之间的关系,以及在不同地形条件下人类活动对于土地利用时空变化的影响。选取景观生态学中部分景观指数,利用移动窗口法以及双变量空间相关性分析法探讨土地景观时空异质性,并分析地形因子与土地利用景观指数的空间相关性,为进一步了解该区域空间分布规律与时间变化规律提供基础数据,可为土地利用空间优化、生态环境保护等方面提供参考。

## 1 研究区概况

江油市作为绵阳市下辖的县级市,位于四川盆地西北部,龙门山东南部,介于31°32'26"—32°19'18"N和104°31'35"—105°17'30"之间,幅员面积2 719 km<sup>2</sup>,年均气温15.9℃,全年平均降雨量1 113.21 mm,属

于亚热带季风气候。至 2018 年末,全市生产总值达 428.03 亿元,第一产业占 19.5%,是国家重要的商品粮食基地。研究区属于典型的地形过渡带地区,其地貌类型主要包括山地、丘陵和平坝。其中,山地面积占 51.2%,丘陵面积占 26.5%,平坝面积仅占 22.2%。其主要用地类型以林草地为主,面积占 60.6%;其次为水田,面积占 31.0%。

## 2 数据来源与研究方法

### 2.1 数据来源

本研究用到的基础数据均来自地理空间数据云 (<http://www.gscloud.cn/>), DEM 为 ASTER GDEM30 m 分辨率影像。土地利用数据是利用分辨率为 30 m×30 m,云量小于 8% 的 2003 年 9 月、2010 年 9 月 Landsat 5 TM 以及 2018 年 8 月 Landsat 8OLI 三期遥感影像,经 ENVI 5.3 中辐射定标、大气矫正、裁剪等步骤,利用最大似然法对假彩色影像进行监督分类后得到。利用 Google Earth 的高分辨率影像对分类结果进行修正处理,并随机选取 400 个样本点对修正后分类结果进行精度验证,总体精度均大于 85%,检验结果表明分类结果能够为这次研究提供数据支持。

### 2.2 研究方法

2.2.1 土地利用变化转移矩阵 本研究引入土地利用变化转移矩阵来分析土地利用类型间的相互转换情况,进而分析土地利用变化的内在过程和趋势。土地利用变化转移矩阵的表达形式为:

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

式中: $S$  为土地面积; $n$  为土地利用的类型数; $i, j$  为研究期初与研究期末的土地利用的类型序号。

2.2.2 地形位指数 地形位指数是高程和坡度两个因素的综合体现,能够宏观体现不同地形条件下土地利用类型的分布特征和变化规律<sup>[22]</sup>。计算公式为:

$$T = \ln[E/(\bar{E}+1) \times S/(\bar{S}+1)] \quad (2)$$

式中: $T$  为地形位指数; $E, S$  分别为某点的高程和坡度; $\bar{E}, \bar{S}$  分别为区域的平均高程和坡度。

2.2.3 地形分布指数 为消除各地行为梯度上土地利用类型分布面积差异的影响,引进分布指数这个标准无量表征不同地类在地形梯度上的分布情况。计算公式为:

$$P = (S_{ij}/S_i) \times (S_j/S) \quad (3)$$

式中: $P$  为景观类型分布指数; $j$  为地形因子(高程、坡

度和地形起伏度); $i$  为景观类型; $S_{ij}$  为在特定等级下地形因子  $j$  的第  $i$  类景观类型的面积; $S_i$  为  $i$  类景观类型的面积; $S$  为整个区域的面积; $S_j$  为整个区域在特定等级下地形因子  $j$  的景观类型总面积。其中分布指数  $p=1$  时,代表某种景观类型在该种地形上的比重与研究区内该景观的比重相等。 $p>1$  时,某地类在该地形上的比重大于该地类总面积在研究区域的比重。因此,将  $p>1$  设定为该景观类型的优势位。

2.2.4 移动窗口法 移动窗口法可以直观清晰地呈现出区域景观的空间异质性,由于景观格局指数受空间尺度的影响较大,经 300, 600, 900, 1 200 m 边长的窗口调试,最终确定最佳分析尺度为边长 900 m 的矩形移动窗口。本文景观指数分别为斑块密度(PD) Shannon 多样性指数(SHDI)。

2.2.5 空间相关性分析 传统数量统计分析在表达空间关系上存在不足,空间统计分析则可研究与地理位置相关的具有空间依赖、空间关联或空间自相关的数据<sup>[23]</sup>。为更直观地表达地形因子与景观指数空间分布关联模式,本文采用空间相关方法来测度两者的空间格局相关性。运用双变量空间相关模型,此模型能准确地把握局部空间要素的集聚与分异特征。计算公式为:

$$I_{kl} = \frac{X_k^i - \bar{X}_k}{\sigma_k} \sum_{j=1}^n W_{ij} \frac{(X_l^j - \bar{X}_l)}{\sigma_l} \quad (4)$$

式中: $I_{kl}$  为双变量空间相关系数; $X_k$  为空间单元  $i$  属性  $k$  的值; $X_l$  为空间单元  $j$  属性  $l$  的值; $\bar{X}_k, \bar{X}_l$  为属性  $k, l$  的平均值; $\sigma_k, \sigma_l$  为属性  $k, l$  的方差; $W_{ij}$  为空间单元  $i, j$  之间的空间权重矩阵。

## 3 结果与分析

### 3.1 土地利用时空变化

3.1.1 土地利用结构变化 由表 1 可知,江油市在 2003—2018 年土地利用变化较为明显。在 2003—2018 年期间,江油市林草地、水田以及旱地面积呈现减少的趋势,其中水田面积减少最大,减少面积 3 414.82 hm<sup>2</sup>,大多发生在南部城区附近;其次为林草地,面积减少 2 242.07 hm<sup>2</sup>;北部山区旱地面积减少量为 1 732.96 hm<sup>2</sup>。在 2003—2018 年水域面积和建设用地面积呈现增加趋势,其中建设用地面积增加较快,增加面积 4 975.14 hm<sup>2</sup>;水域面积对于建设用地而言相对较小,增加面积 1 765.25 hm<sup>2</sup>;其他用地由于基数较小,面积仅增加 203 hm<sup>2</sup>。

分阶段来看,林草地、水田和旱地在 2003—2010 年以及 2010—2018 年两个时段都呈现减少的状态,而建设用地、水域和其他用地都呈现出增加的状态。

在 2003—2010 年期间,林草地、水田和旱地分别减少了 969.2, 2 238.98, 1 161.36  $\text{hm}^2$ ; 建设用地、水域和其他用地面积分别增加了 3 360.36, 842.74, 122.15  $\text{hm}^2$ 。在 2010—2018 年期间,林草地、水田和旱地分别减少了 672.87, 1 175.84, 571.6  $\text{hm}^2$ ; 建设用地、水域和其他用地面积分别增加了 1 614.78, 922.51,

81.52  $\text{hm}^2$ 。通过两个时段进行对比,发现 2003—2010 年期间江油市土地利用的变化量整体高于 2010—2018 年,这是由于 2003—2010 年期间城市化速度以及城市扩张度高于 2010—2018 年,其中“退耕还林、还草”、“城市开发边界的划定”等相关政策亦会影响江油市土地利用变化强度。

表 1 江油市 2003—2018 年土地利用变化

$\text{hm}^2$

地类	2003 年	2010 年	2018 年	2003—2010 年	2010—2018 年
旱地	26 201.83	25 040.47	24 468.87	-1 161.36	-571.60
建设用地	2 058.82	5 419.18	7 033.96	3 360.36	1 614.78
林草地	149 735.97	148 766.77	147 493.90	-969.20	-672.87
水田	85 945.49	83 706.51	82 530.67	-2 238.98	-1 175.84
水域	4 364.62	5 207.36	6 129.87	842.74	922.51
其他用地	390.69	512.84	594.36	122.15	81.52

3.1.2 土地利用转移变化 依据三期土地利用分类矢量数据,经过 ArcMap 10.2 中数据融合与叠置分析法,利用 Excel 中数据透视表得到土地利用转移数据。由表 2 可以看出,2003—2010 年期间旱地向林草地转移面积最大,转移面积为 10 800.36  $\text{hm}^2$ ,大多发生在研究区北部、西北部等山地区域,主要是由于“退耕还林、还草”等政策使不适宜耕种的旱地转化为林草地。平原地区主要表现为水田向建设用地转移,转移面积为 2 916.27  $\text{hm}^2$ ,是建设用地扩张占用水田用地所导致。水田与旱地相互转化主要发生在研究区中部,该区域以丘陵为主。由表 3 可知,2010—

2018 年期间,旱地向林草地转移最为剧烈,转移面积为 9 889.20  $\text{hm}^2$ ;水田向建设用地转移 2 632.58  $\text{hm}^2$ ;水域用地向建设用地转移 589.23  $\text{hm}^2$ 。结合 2003—2010 年与 2010—2018 年两期江油市土地利用转移矩阵可以看出,2003—2010 年期间土地利用变化强度高于 2010—2018 年,具体表现为,2003—2010 年期间旱地转林草地面积、水田转建设用地面积、水域转建设用地的面积比 2003—2010 年期间所对应的转移面积分别少了 911.16, 283.69 和 457.38  $\text{hm}^2$ ,说明相对于 2003—2010 年期间的土地利用变化,2010—2018 年土地利用呈现出相对稳定状态。

表 2 江油市 2003—2010 年土地利用变化转移矩阵

$\text{hm}^2$

项目	2010 年					
	旱地	建设用地	林草地	水田	水域	其他用地
旱地	—	891.09	10 800.36	6 069.69	136.08	54.99
建设用地	106.2	—	57.69	208.8	50.49	11.16
林草地	7 515.90	522.90	—	3 704.58	476.55	155.79
水田	7 752.24	2 916.27	1 716.27	—	494.28	53.91
水域	511.38	1 046.61	726.39	1 427.58	—	8.01
其他用地	93.06	17.01	171.18	75.69	5.22	—

表 3 江油市 2010—2018 年土地利用变化转移矩阵

$\text{hm}^2$

项目	2018 年					
	旱地	建设用地	林草地	水田	水域	其他用地
旱地	—	1 215.27	9 889.20	5 723.19	95.13	322.20
建设用地	158.67	—	19.872	1 354.14	295.38	49.32
林草地	4 209.21	148.98	—	1 426.63	295.74	190.89
水田	4 520.43	2 632.58	1 422.36	—	256.23	384.39
水域	91.53	589.23	74.52	266.85	—	27.72
其他用地	40.32	50.76	4.14	3.36	0.36	—

3.1.3 土地利用在地形位梯度上的分布变化 利用分布指数得到 2003, 2010 和 2018 年 3 期用地类型在地形位梯度上的分布变化(见图 1)。由图 1 可见, 在地形位低于 7 梯度时, 林草地呈劣势分布, 并且 2003 年林草地分布指数大于 2018 年; 大于 7 梯度时, 林草地为优势分布, 且 2018 年优势度整体高于 2003 与 2010 年。这表明随着低地形位地区林地面积减少以及高地形位地区的“退耕还林、还草”政策的实施, 使林草地面积向高地形位地区集中。2003 年旱地分布优势位于 2~12 梯度间, 且 6 梯度最具优势( $p=1.4$ ); 2018 年旱地分布优势在 3~10 之间, 且最高为 6 梯度( $p=1.52$ )。可知, 研究区旱地类型呈现出向地形位指数为 6 的区域集中趋势。2003 年水田用地在地形位等级为 9 时  $p=1$ , 2018 年当  $p=1$  时, 地形位等级

为 11, 随地形位等级增加, 2003 年水田分布指数下降趋势快于 2018 年。这表明受人类活动以及经济建设的影响, 水田用地优势度呈现出向较高等级发展的态势。随着建设用地的增加, 低地形位指数的建设用地优势度逐渐提高, 从 2003 年  $p=5.08$  增加至 2018 年  $p=5.72$ , 且建设用地呈现出向较高等级扩张趋势。水域用地在低地形位等级上呈优势分布, 然而从 2003 年的最高分布指数( $p=4.13$ )下降到 2018 年( $p=3.14$ ), 呈现出低地形位等级的水域面积下降趋势。未利用地优势分布于 0~5 以及 9~13 等级上; 在 0~5 等级上 2018 年分布指数低于 2003 和 2010 年; 在 9~13 等级上, 2018 年分布指数高于其他两年, 可以看出, 该区域未利用地呈现出向中地形位指数等级集中趋势。

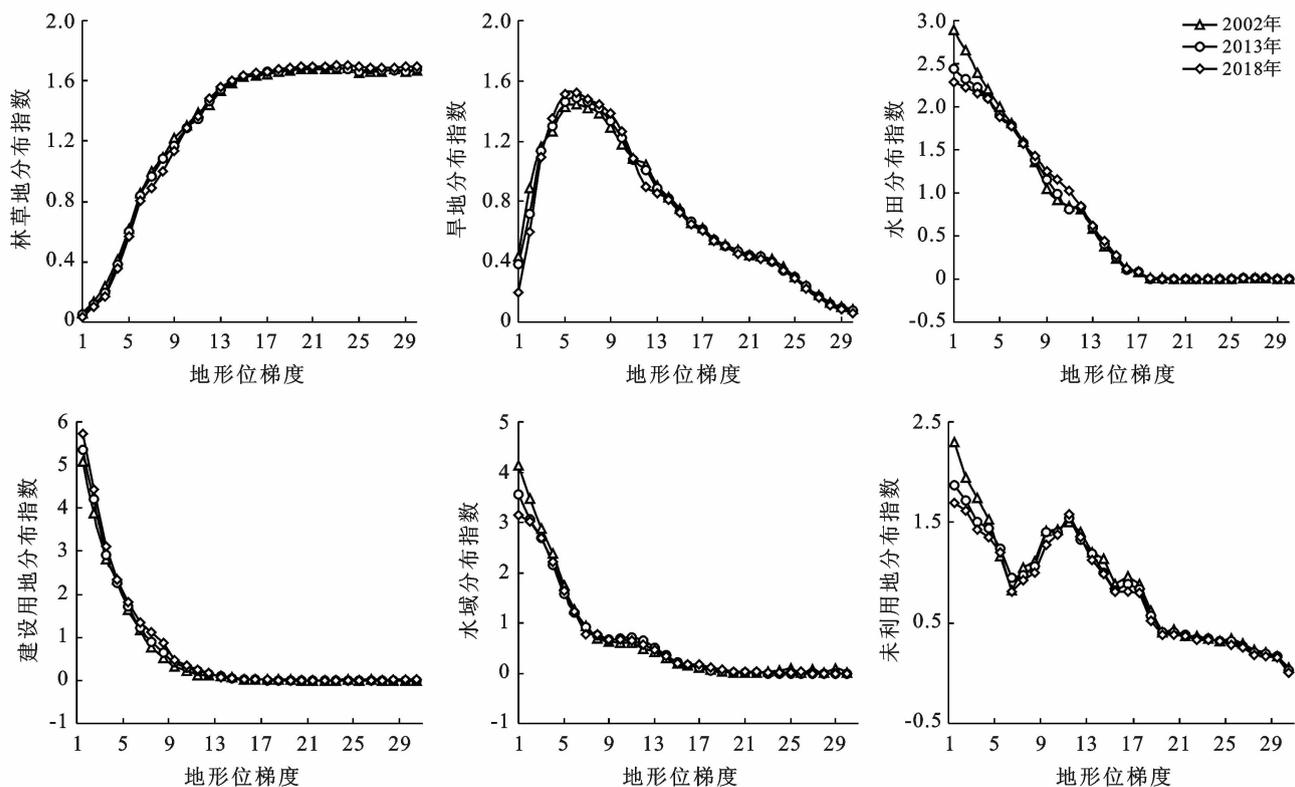


图 1 研究区不同土地利用类型在不同地形位梯度等级上的分布指数

### 3.2 景观格局时空变化

3.2.1 斑块密度时空变化 将 3 期土地利用数据栅格数据导入 fragstats 软件, 利用移动窗口法得到研究区斑块密度时空变化特征(见图 2)。

由图 2 可见, 研究区景观格局整体呈现出北部、西北部斑块密度较低, 中部、东南部斑块密度较高的形态。斑块密度较低区域主要分布在地形位较高的山地地区; 斑块密度较高的地区地形位指数较低, 主

要位于平原、丘陵地区。从时间变化来看, 研究区北部山区延河两侧斑块密度呈现下降趋势, 是由于河流两侧耕地面积减小所导致; 中部以及东南部主要作为低山丘陵区域, 斑块密度呈现出增加趋势, 表明该区域耕地、水田的破碎化程度加剧。研究区城市区域斑块密度主要表现为下降趋势, 是由于建设用地的扩张侵占了外围大量的水田、林草地等用地, 导致该区域用地类型趋于单一化。

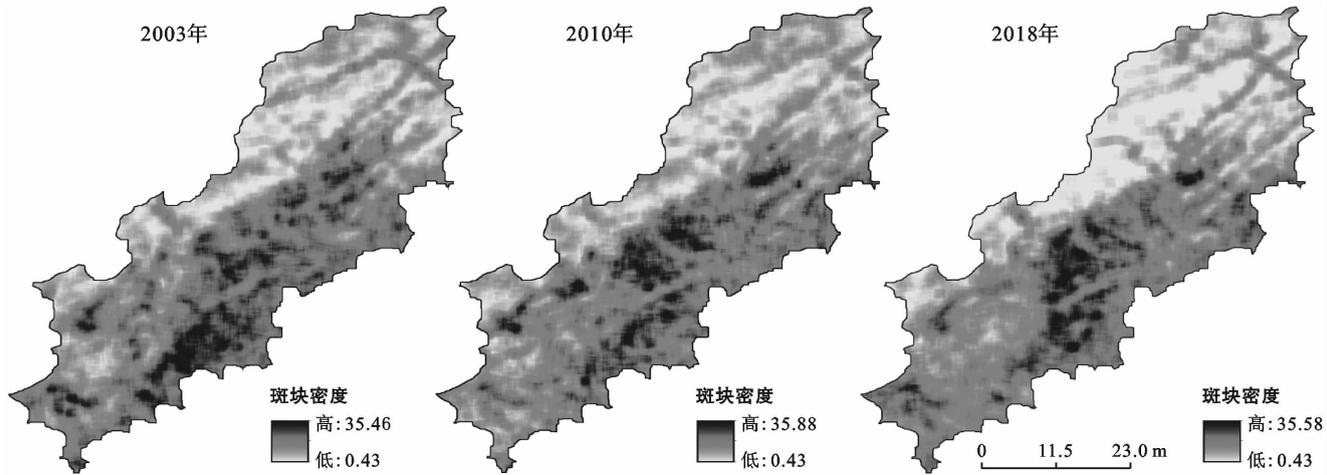


图 2 2003—2018 年研究区景观格局的斑块密度时空变化

3.2.2 Shannon 多样性指数时空变化 Shannon 多样性指数能够反映出景观的多样性与异质性<sup>[24]</sup>。利用移动窗口法得到 Shannon 多样性指数空间分布图(图 3)。由图 3 可知,研究区整体呈现出北部山区 Shannon 多样性指数较低,而南部丘陵平原区域相对较高,表明了丘陵平原区域土地利用类型丰富多样性,以及在空间上的复杂性和不均匀性。从时间变化来看,山地区域河流沿岸受耕地减少的影响,景观多

样性呈现出向河流集中的趋势;平原地区的河流受人类活动的影响,景观丰富度逐渐降低。中部丘陵区域 Shannon 多样性指数呈现为上升趋势,表明该区域土地利用类型较为丰富和复杂。平原丘陵与山地地貌类型的交汇处 Shannon 多样性指数较高并且呈线性分布,这是由于不同地貌交汇处拥有林草地、旱地、水田等多种不同用地类型,其景观类型的复杂性和不均匀性导致该区域拥有多样性景观。

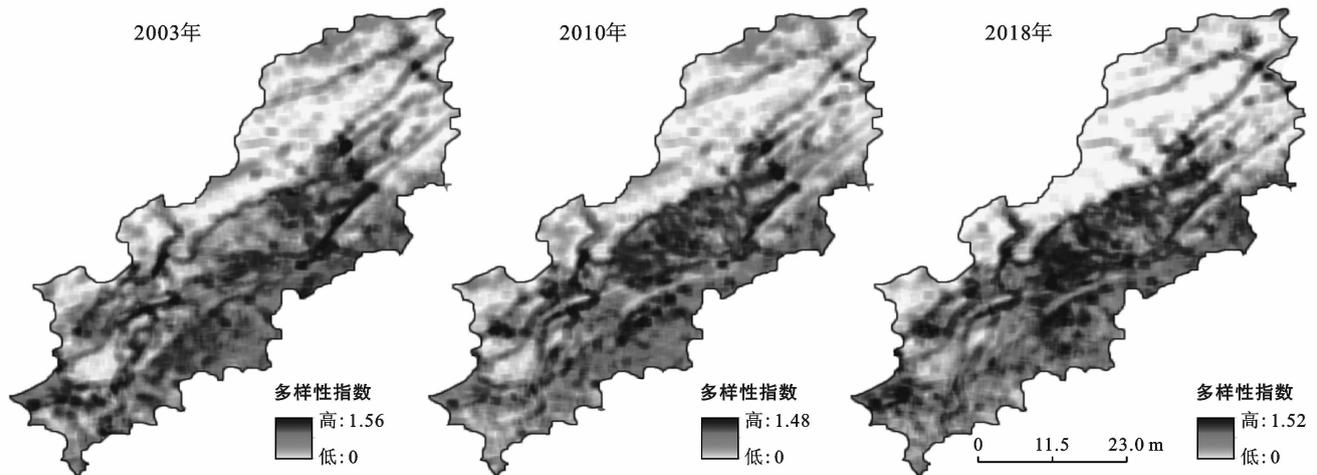


图 3 2003—2018 年研究区景观格局的 Shannon 多样性指数时空变化

3.2.3 景观指数与地形因子空间相关性 通过 GeoDa 软件的 Multivariate LISA 工具可以得到研究区域内地形位指数与斑块密度的 LISA 聚类图(图 4)。

由图 4 可见,研究区地形位指数与斑块密度的空间耦合存在 5 种类型的聚集区,其中高一低聚集区大多分布于研究区北部山区;低一高聚集区大多位于研究区东南部,该地区以低山丘陵为主;高一高聚集区大多集中在研究区中部山地丘陵交汇区域;不显著聚

集区面积最大,主要位于河流交汇处以及主城区所在区域。从变化情况来看高一高聚集区从散乱分布到集中于山地丘陵交汇处,表明随着人类活动以及自然环境的变化,地形位变化较快的地区地形因子与斑块密度具有较强的正相关性;在山地区域,不显著区域大多位于河流沿岸,并呈现出面积下降的趋势;在研究区主城区附近,不显著聚集区面积逐渐增大,是由于人类聚集区域的地形位指数与斑块密度因受其他外来因素影响较大从而表现为两者相关性不显著。

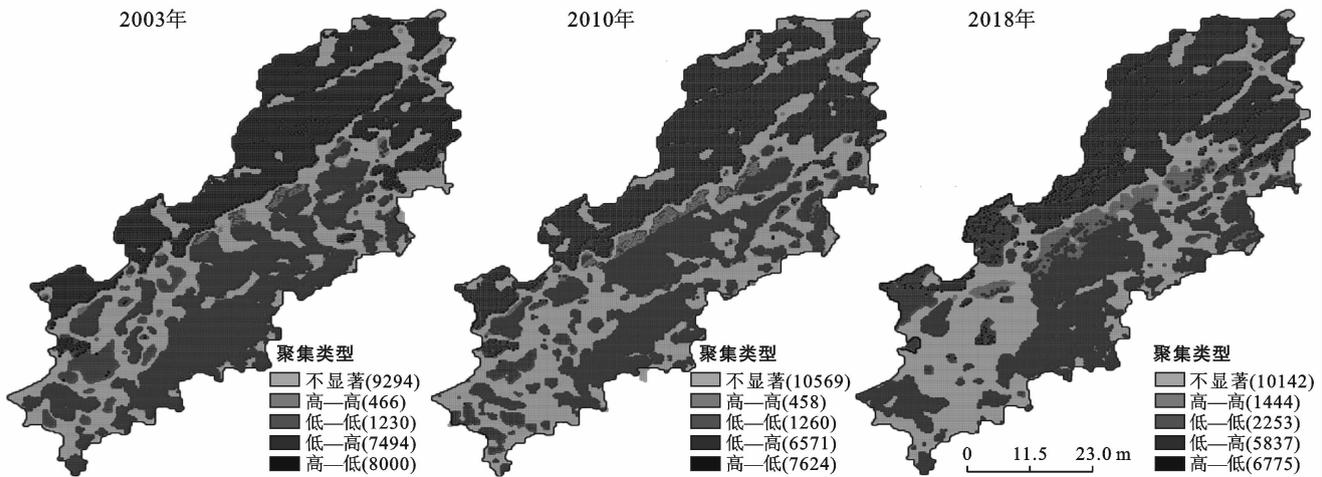


图 4 2003—2018 年研究区景观格局的斑块密度与地形位指数的双变量 LISA 聚类结果

地形位指数与 Shannon 多样性指数的双变量空间相关性如图 5 所示。山地区域大多为高一低聚集区,位于研究区北部。低一高聚集区位于研究区东南部,该地区为平原丘陵地貌。LISA 聚类图中高一高聚集区大多位于研究区中部,该区域主要为山地平原交汇处。山地地貌不显著聚集区大多位于河流两侧,是人类和旱地集中的区域;平原丘陵区域不显著聚集区大多位于人口密度较高的区域。从变化来看,高一

高聚集区呈现出向研究区中部集中的趋势,该地区为丘陵和山地交汇处。山地地貌下高一低聚集区面积呈现出增加的趋势,主要是由于人类活动减弱导致山地区域耕地面积减小,从而使不显著聚集区转化为高一低聚集区。研究区丘陵平原区域不显著聚集区呈现出从中部向南部扩张态势,表明南方平原地形因子与多样性景观的相关性受其他因素影响逐渐增大。

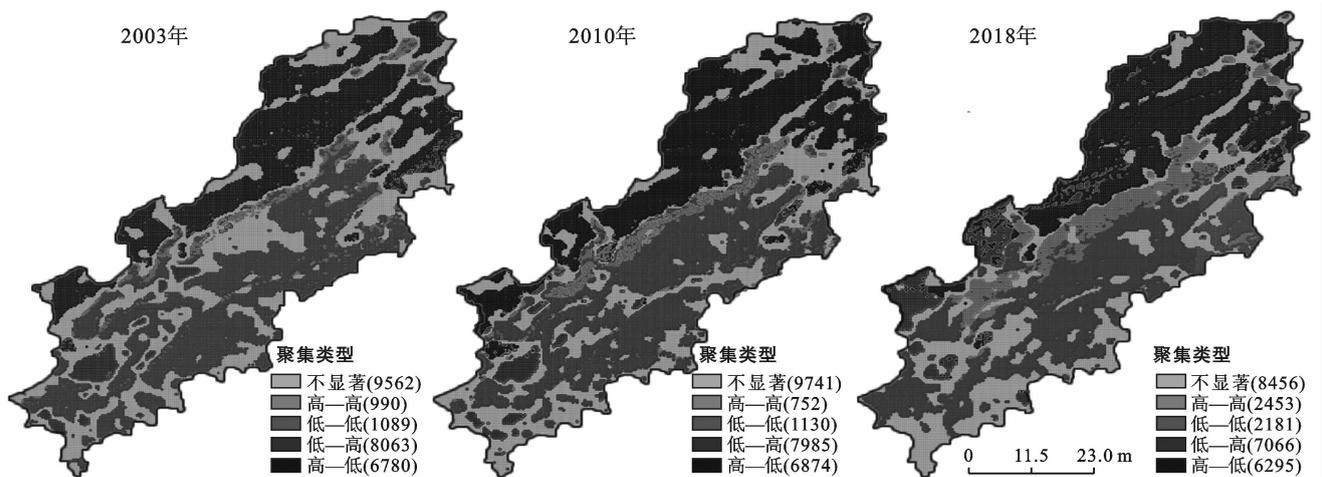


图 5 2003—2018 年研究区景观格局的 Shannon 多样性指数与地形位指数的双变量 LISA 聚类结果

## 4 结论与讨论

### 4.1 结论

(1) 在 2003—2018 年期间,江油市林草地、水田以及旱地面积呈现减少的趋势,其中水田面积减少最大,减少面积 3 414.82 hm<sup>2</sup>;建设用地面积增加较快,增加面积 4 975.14 hm<sup>2</sup>;发现 2003—2010 年期间江油市土地利用的变化量整体高于 2010—2018 年。

(2) 旱地向林草地转化最为剧烈,主要发生在研

究区北部、西北部等山地的区域。南部平原地区主要表现为水田向建设用地转化;水田与旱地相互转化主要发生在研究区中部。

(3) 旱地和未利用地优势梯度向中地形位梯度集中,且优势度增加;低地形位等级上建设用地、水田和水域优势度逐渐降低,并具有优势梯度向较高地形位梯度扩展趋势;低地形位地区林草地劣势分布趋于明显,而在高地形位地区分布优势度逐渐上升。

(4) 研究区整体呈现出北部、西北部斑块密度、

Shannon 多样性指数较低,中部、东南部斑块密度、Shannon 多样性指数较高的空间形态。河流沿岸以及山地丘陵交汇处斑块密度与 Shannon 多样性指数较高,且呈线性分布。从变化来看,北部山区延河两侧斑块密度与 Shannon 多样性指数呈现下降趋势;中部以及东南部主要为低山丘陵区域,其斑块密度与 Shannon 多样性指数呈现出增加趋势;城市区域斑块密度主要表现为下降趋势。

(5) 研究区高一高聚集区向山地丘陵交汇处集中,丘陵平原地区不显著聚集区呈现出从中部向南部扩张态势,山地地貌下高一低聚集区面积呈现出增加的趋势,而低一高聚集区面积逐渐减少,在主城区附近不显著聚集区面积逐渐增大。

#### 4.2 讨论

在 2003—2018 年期间,水田面积减少 3 414.82 hm<sup>2</sup>,建设用地面积增加 4 975.14 hm<sup>2</sup>,表明人类活动是土地利用变化最主要的因素,其中“退耕还林还草”、“城市开发边界的划定”等相关政策亦会影响江油市土地利用变化强度。旱地向林草地转移大多发生在西北山区,其“退耕还林、还草”政策以及山区人口数量下降是影响该转移的主导因素;主城区周边大量水田转移为建设用地,需控制城市无序蔓延,以保证江油市粮食安全。2018 年高地形等级地区林地优势度最高,这是由于低地形等级地区林地面积减少以及高地形地区旱地转化为林地所导致;低地形等级上建设用地、水田和林地优势度呈现下降趋势,且  $p=1$  的地形等级逐渐增加,说明建设用地正在向较高地形等级扩张。山地人类活动主要集中在河流附近,致使山区河流沿岸以及山地丘陵交界处景观破碎化程度较高,景观类型较为丰富,而山地丘陵交界处由于景观类型的多样性导致该区域呈现出出多样化态势。是由于城市扩张形成单一景观类型,致使主城区周围斑块密度以及 Shannon 多样性指数逐渐下降。高一高聚集区向山地丘陵交界处聚集,说明地形因子变化较大的地区景观指与地形之间具有较强的相关性;因城区附近影响景观指数变化的其他因素较多,特别是人类活动的影响,导致城区附近不显著区域持续增加。

本研究受限于数据的可获取性,仅仅从地形因素来探讨研究区土地利用的时空分布特征,研究结果尚不够全面。在后续工作中,可从地形、气候和人类活动这 3 个维度去开展研究,从而更加全面地揭示土地利用分布与演化的特点与规律。

#### [ 参 考 文 献 ]

[1] 万炜,魏伟,钱大文,等.土地利用/覆被变化的环境效应

研究进展[J].福建农林大学学报(自然科学版),2017,46(4):361-372.

- [2] 陈亚宁,杨青,罗毅,等.西北干旱区水资源问题研究思考[J].干旱区地理,2012,35(1):1-9.
- [3] 臧玉珠,刘彦随,杨园园.山区县域土地利用格局变化及其地形梯度效应:以井冈山市为例[J].自然资源学报,2019,34(7):1391-1404.
- [4] 梁发超,刘黎明.基于地形梯度的土地利用类型分布特征分析:以湖南省浏阳市为例[J].资源科学,2010,32(11):2138-2144.
- [5] 钟德燕,常庆瑞,宋丰骥.黄土丘陵沟壑区土地利用空间分布与地形因子关系研究[J].干旱区资源与环境,2012,26(6):102-107.
- [6] 吴楠,高吉喜,苏德毕力格,等.长江上游不同地形条件下的土地利用/覆盖变化[J].长江流域资源与环境,2010,19(3):268-275.
- [7] 蔺小虎,姚顽强,邱春霞.黄土丘陵沟壑区退耕驱动下土地利用变化:以陕西省安塞县纸坊沟流域为例[J].山地学报,2015,33(6):759-769.
- [8] 肖思思,吴春笃,储金宇.1980—2005 年太湖地区土地利用变化及驱动因素分析[J].农业工程学报,2012,28(23):1-11,293.
- [9] 许宁,张广录,刘紫玉.基于地形梯度的河北省太行山区土地利用时空变异研究[J].中国生态农业学报,2013,21(10):1284-1292.
- [10] 陈永林.基于 3S 技术的土地利用研究进展与展望[J].赣南师范学院学报,2014,35(3):121-124.
- [11] 哈凯,丁庆龙,门明新,等.山地丘陵区土地利用分布及其与地形因子关系:以河北省怀来县为例[J].地理研究,2015,34(5):909-921.
- [12] 蒲罗曼,张树文,李飞,等.基于地形因子的吉林西部地区土地利用变化研究[J].东北师大学报(自然科学版),2016,48(2):133-140.
- [13] 黄奕龙,陈利顶,傅伯杰,等.黄土丘陵小流域地形和土地利用对土壤水分时空格局的影响[J].第四纪研究,2003,23(3):334-342.
- [14] 路昌,雷国平,周浩,等.挠力河流域土地利用变化及地形梯度效应分析[J].中国土地科学,2017,31(8):53-60,97.
- [15] 刘世梁,安南南,侯笑云,等.澜沧江下游景观破碎化时空动态及成因分析[J].生态环境学报,2018,27(7):1351-1358.
- [16] 朱小莉,王三,谢德体.山地城市土地利用地形分异特征及功能分区研究[J].浙江农业学报,2016,28(12):2090-2097.
- [17] 傅家仪,臧传富,吴铭婉.1990—2015 年海河流域土地利用时空变化特征及驱动机制研究[J].中国农业资源与区划,2020,41(5):131-139.

(下转第 90 页)

- [19] 任岩岩,武继承. 保水剂对土壤性质及土壤微生物的影响研究进展[J]. 河南农业科学, 2009(4):13-15.
- [20] 杨永辉,武继承,吴普特,等. 保水剂对小麦生长及生理特性的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2011, 29(3): 133-137.
- [21] 杨永辉,武继承,何方,等. 保水剂用量对冬小麦光合特性及水分利用的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2009, 27(4):131-135.
- [22] 武继承,郑惠玲,史福刚,等. 不同水分条件下保水剂对小麦产量和水分利用的影响[J]. 华北农学报, 2007, 22(5):40-42.
- [23] 武继承,杨永辉,郑惠玲,等. 不同水分条件对小麦—玉米两熟制作物生长和水分利用的影响[J]. 华北农学报, 2010, 25(1):126-130.
- [24] 武继承,管秀娟,杨永辉. 地面覆盖和保水剂对冬小麦生长和降水利用的影响[J]. 应用生态学报, 2011, 22(1):86-92.
- [25] 杨永辉,武继承,李宗军,等. 保水剂对冬小麦生长及水分利用效率的影响[J]. 华北农学报, 2011, 26(3): 173-178.
- [26] 雷巧,韩燕来,谭金芳,等. 不同水分条件下保水剂对冬小麦产量及水分利用效率的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2014(3):78-83.
- [27] 杨永辉,武继承,张洁梅,等. 不同保墒耕作措施对小麦、玉米耗水特征及周年水分利用的影响[J]. 华北农学报, 2017, 32(3):103-110.
- [28] 李中阳,吕谋超,樊向阳,等. 不同类型保水剂对冬小麦水分利用效率和根系形态的影响[J]. 应用生态学报, 2015, 26(12):3753-3758.
- [29] 马燕会,尹宝重,郭丽果,等. 河北省麦田保水剂筛选及其节水效果评价[J]. 作物杂志, 2015(2):111-117.
- [30] 张艳,马洪义. 不同剂量保水剂对小麦光合及产量的影响[J]. 青岛农业大学学报(自然科学版), 2008, 25(4): 265-267.

(上接第82页)

- [18] 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.
- [19] 王权,李阳兵,刘亚香,等. 基于地形梯度的岩溶槽谷区土地利用空间格局分析[J]. 生态学报, 2019, 39(21): 7866-7880.
- [20] 赵浩舟,王卫红,武锋强,等. 基于土地利用变化的江油市生境质量时空变化分析[J]. 西南科技大学学报, 2018, 33(1):49-54.
- [21] 罗娜,张廷斌,易桂花,等. 四川省江油市 2004—2020 年土地利用动态分析及预测[J]. 测绘与空间地理信息, 2017, 40(1):70-74.
- [22] 陈斌,王宏志,李仁东. 鄂西南山地土地利用时空格局的梯度效应研究[J]. 湖北大学学报(自然科学版), 2019, 41(2):109-117.
- [23] 周志光,石晨,史林松,等. 地理空间数据可视分析综述[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2018, 30(5):747-763.
- [24] 刘世梁,安南南,尹艺洁,等. 广西滨海区域景观格局分析及土地利用变化预测[J]. 生态学报, 2017, 37(18): 5915-5923.