

DOI: 10.20103/j.stxb.202211203359

汪荣, 李阳兵, 郑骆珊, 陈艳, 曾晨岑, 夏春华, 邵景安. 基于地貌差异的景观格局转型研究——以三峡库区奉节县为例. 生态学报, 2024, 44(1): 81-95.

Wang R, Li Y B, Zheng L S, Chen Y, Zeng C C, Xia C H, Shao J A. Landscape pattern transformation based on differences in topography: Taking Fengjie County in the Three Gorges Reservoir Area as an example. Acta Ecologica Sinica, 2024, 44(1): 81-95.

基于地貌差异的景观格局转型研究 ——以三峡库区奉节县为例

汪 荣¹, 李阳兵^{1, 2, *}, 郑骆珊¹, 陈 艳¹, 曾晨岑¹, 夏春华¹, 邵景安^{1, 2}

1 重庆师范大学地理与旅游学院, 重庆 401331

2 三峡库区地表过程与环境遥感重庆市重点实验室, 重庆 401331

摘要: 定量探讨影响因子对景观格局的驱动机理, 有助于厘清山区景观格局演变过程以及发展方向。基于地貌差异的景观格局转型研究框架, 从“全域-典型地貌区”的视角探究 1990—2020 年三峡库区腹地奉节县不同地貌下景观格局的时空演变规律, 归纳其转型模式。利用二元 Logistic 回归模型探讨不同地貌区影响因子与景观格局的相关性, 以阐释其驱动机理。结果表明: ①近30 年间耕地与草地缩减, 林地、果园以及撂荒地增长, 景观破碎度增加。其中, 河谷丘陵区耕地大幅缩减, 果园迅速扩张; 低山区耕地缩减速度减缓, 耕地撂荒现象明显; 中山区林地恢复性增长。河谷丘陵区趋于经济导向性, 而低山区与中山区趋于生态导向性。②研究区景观格局表现为传统农业型、农业主导型以及生态主导型 I 向生态经济型、生态主导型 II 以及生态型转变。根据不同地貌景观格局转型特点, 归纳总结为“河谷丘陵-生态经济型”、“低山-生态主导型 II”、“中山-生态型”3 种转型模式。③影响因子对研究区景观格局的解释作用具有差异性。从全域来看, 农业型与生态型景观格局主要受人为干扰因素的影响, 生态经济型景观格局主要受地形因素的影响, 自然景观格局主要受水热条件的影响; 从不同地貌区来看, 地形是影响河谷丘陵区景观格局的主导因素, 随着地貌梯度的增加, 地形对低山区与中山区景观格局的解释作用减弱, 人为干扰对其解释作用增强, 山地景观格局受到人为干扰与地形的共同影响。研究结果揭示了基于地貌差异的景观格局演变的独特性规律, 对三峡库区生态经济建设以及山区土地资源的合理规划具有重要意义。

关键词: 地貌差异; 景观格局转型; 驱动机理; 三峡库区

Landscape pattern transformation based on differences in topography: Taking Fengjie County in the Three Gorges Reservoir Area as an example

WANG Rong¹, LI Yangbing^{1, 2, *}, ZHENG Luoshan¹, CHEN Yan¹, ZENG Chencen¹, XIA Chunhua¹, SHAO Jing'an^{1, 2}

1 School of Geography and Tourism, Chongqing Normal University, Chongqing 401331, China

2 Chongqing Key Laboratory of Surface Process and Environmental Remote Sensing in Three Gorges Reservoir Area, Chongqing 401331, China

Abstract: Quantitatively exploring the driving mechanism of impact factors on landscape patterns, which is helpful for the clarification of the the evolution process and development direction of landscape patterns in mountainous areas. Based on the research framework of landscape pattern transformation under differences in topography, this paper explores temporal and spatial evolution laws of landscape patterns under different topographies in Fengjie County, the hinterland of the Three Gorges Reservoir Area from the perspective of the whole region to typical geomorphic regions from 1990 to 2020, and summarizes its transformation modes. To reveal the driving mechanism of landscape pattern transformation of different

基金项目: 国家社科重大项目 (20&ZD096)

收稿日期: 2022-11-20; **网络出版日期:** 2023-09-27

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: li-yapin@sohu.com

geomorphic types, the binary logistic regression model is used to analyze relationships between impact factors and landscape patterns. The results show that: (1) over the past 30 years, cultivated land and grassland have reduced, and forest, orchard and abandoned land have increased, and the fragmentation of the landscape has increased. In valley and hilly region (VHR), cultivated land has greatly reduced, and orchard has expanded rapidly. In low mountainous region (LMR), cultivated land has reduced slowly, and the phenomenon of abandonment was obvious, while in medium mountainous region (MMR), forest has showed restorative growth. Therefore the landscape pattern in VHR tended to be economically oriented, while landscape patterns in LMR and MMR tended to be ecologically oriented. (2) Landscape patterns of the study area were characterized by transformations from traditional agricultural type, agriculture-dominated type and ecology-dominated I type to ecology-economic type, ecology-dominated II type and ecological type. According to transformation characteristics of landscape patterns of different geomorphic regions, three transformation modes were summarized: ecology-economic type of VHR, ecology-dominated II type of LMR, and ecological type of MMR. (3) Impact factors had differences in the evolution of landscape patterns. From the perspective of the whole region, agricultural and ecological landscape patterns were mainly affected by human interference, and ecology-economic landscape pattern was mainly affected by terrain, and natural landscape pattern was mainly affected by water and heat conditions. However, from the perspective of different geomorphic regions, terrain was the dominant factor affecting landscape patterns in VHR, and with the increase of geomorphic gradient, the explanatory role of terrain in LMR and MMR was weakened, and the explanatory role of human interference was enhanced, and the mountainous landscape patterns were influenced by the combination of human interference and terrain. The results reveal the unique evolution laws of landscape patterns of different geomorphic types in Fengjie County, which is of great significance to ecological and economic construction in the Three Gorges Reservoir Area, as well as for the rational planning of land resources in mountainous areas.

Key Words: differences in topography; landscape pattern transformation; driving mechanism; Three Gorges Reservoir Area

景观格局指不同土地利用构成的镶嵌体的空间分布,包括景观组分类型、数目以及空间分布与配置^[1]。随着经济发展、工业化以及人口城镇化的推进,全球传统景观以越来越快的速度发生演变^[2-4]。地貌分异是景观格局形成的物理基础,景观格局在不同地形地貌下具有明显的梯度效应^[5]。中国是山地大国,山地占陆地国土总面积的 68.2%^[6]。山区包含山地、丘陵、河谷平坝等众多地貌类型,山区景观格局演变具有复杂性与独特性^[7]。在景观快速演变全球化的背景下,探讨山区地形分异对景观格局的影响,分析不同地貌景观格局的时空演变特征,对山区景观格局空间优化具有现实意义。

国内外学者从不同方面探讨了山区地形分异下景观格局的演变特征。从研究内容来看,已有学者从某一类景观格局^[8-10]或全局景观格局^[11-12]的角度研究了与地形的相关性;从研究尺度来看,已有学者基于区域尺度^[13-18]、流域尺度^[19-20]以及带域尺度^[21-23]等不同尺度进一步对山区景观格局的地形梯度效应及其驱动机制进行了研究;从研究方法来看,传统方法中常采用景观指数法与地形位指数相结合^[24-25]的研究方法,现代方法中运用地学信息图谱^[26]、景观格局转型理论^[27]以及景观模型构建^[28]等综合性方法。但已有研究大多局限于高程、坡度或者地形起伏度等独立地形因子探讨景观格局的变化,或从单一尺度下进行研究,而综合选择多个地形因子划分地貌类型,探讨全域与典型地貌区双尺度下景观格局的演变特征及差异的研究较少。

三峡库区是地貌复杂、生态环境脆弱的典型山区^[29]。库区山高坡陡、地形起伏大的地形特征造成景观格局的基本分异。在农业社会转型的背景下,受三峡库区生态移民、退耕还林还草生态工程以及产业扶持等人类活动的干预,不同地貌下景观格局发生潜移默化的转变。已有研究发现位于低地形位的景观格局趋于规模化与集约化,而位于较高地形位的景观格局趋于生态性,在空间上形成高度异质的景观垂直格局^[30]。但对三峡库区的研究大多数基于小流域尺度,而对典型地貌区下景观格局变化的研究较少。因此仍需深入探究三峡库区不同地貌类型下景观格局的演变特征。基于此,本文选择位于三峡库区腹地的奉节县作为研究对象,根

据高程、地形起伏度与坡度划分研究区地貌类型,利用二元 Logistic 回归模型分析影响因子与景观格局的直接关系,揭示研究区近 30 年景观格局的演变规律及其转型过程,厘清景观格局的驱动机制。研究结果旨在揭示三峡库区不同地貌景观格局转型模式,以期为山区景观格局优化以及土地多功能耦合协调发展提供理论与实践指导。

1 研究区概况

奉节县地处三峡库区腹地核心地区(图 1),位于重庆市东北部($30^{\circ}29'19''\text{N}$ — $31^{\circ}22'33''\text{N}$, $109^{\circ}1'17''\text{E}$ — $109^{\circ}45'58''\text{E}$),面积约为 4098km^2 。境内地势南北高中部低,山地面积占总面积的 88.3%。奉节县辖 29 个乡镇、3 个街道办事处,2020 年城镇化率达 49.53%。奉节县属于亚热带湿润季风气候,河流众多,长江横穿境内中部,水利资源丰富。

三峡工程于 1994 年启动修建,2009 年完成全面移民^[31]。三峡移民项目的运行使得人类活动范围发生转移,研究区内土地利用方式与景观格局发生转变。由于地形因子与人类活动等社会因子的共同作用,研究区呈现“聚落耕地组合→耕地果园组合→林地”的景观垂直格局^[32]。综上,奉节县的地理位置、地形特征、土地利用方式等自然与社会背景使其具有代表性。本文以奉节县为研究对象,有助于揭示三峡库区景观格局的演变规律及其驱动机理。

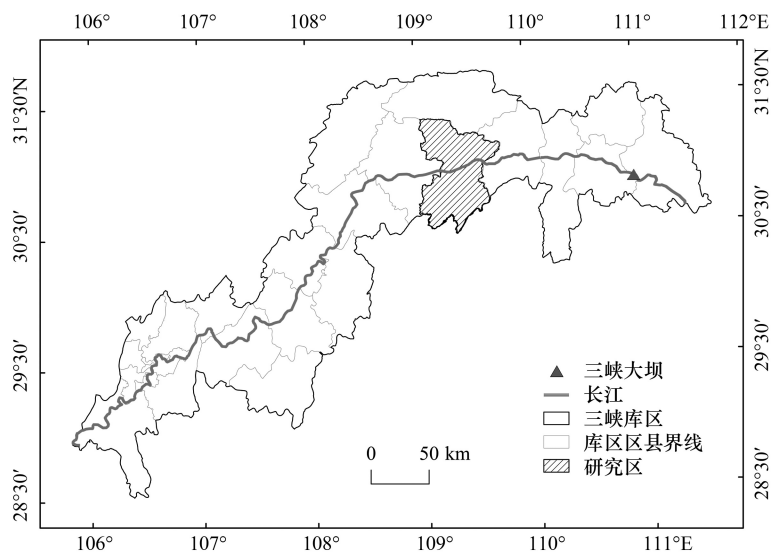


图 1 研究区概况

Fig.1 Study area

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

2.1.1 地形数据

1:1000 的数字高程模型(DEM)来源于地理空间数据云,分辨率为 30m。借助 ArcGIS 10.4 平台提取研究区的高程、地形起伏度与坡度,分别为 92—2123m、0—893m、0—87°。

2.1.2 景观类型

1990 年、2000 年、2010 年与 2020 年 4 期景观类型数据来源于 Google Earth 的遥感影像,分辨率为 0.51m。在 ArcGIS10.4 平台下进行人机交互式解译,将景观类型划分为耕地、撂荒地、果园、有林地、灌木林地、草地、水域、聚落、建设用地(公共服务用地、工矿用地等)以及未利用地 10 类。因 1990 年与 2000 年撂荒地斑块较

少,后文只对 2010 年与 2020 年的撂荒地进行分析。

2.2 研究框架与方法

2.2.1 基于地貌差异的景观格局转型研究框架

景观格局转型是指在土地利用转型^[33]、森林转型^[34]与传统农业生态系统转型^[35]的背景下,土地利用由于长期累积变化或突变引起景观组分及其空间分布发生转变,从而导致景观形态和功能发生转型。已有学者提出山区农业景观格局转型理论^[27],认为山区在地形梯度上呈现“综合型与耕-果转换型→部分撂荒型→撂荒型”的景观格局。本文在此理论基础之上,认为地貌分异促使山区内部景观格局转型有所差异,即山区山地与河谷丘陵等不同地貌下景观格局转型存在差异响应。因此,本文初步构建基于地貌差异的景观格局转型框架(图 2),通过探究不同地貌景观格局转型的内部机理,揭示山地与河谷丘陵景观格局转型的分异规律。

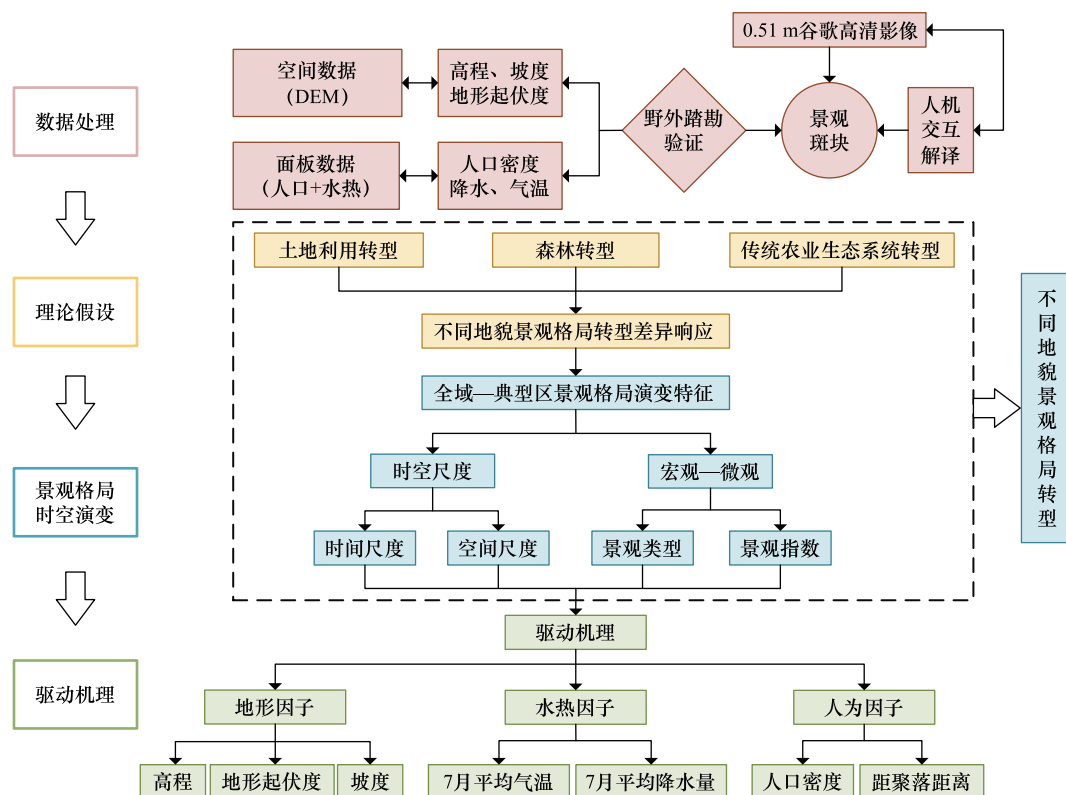


图 2 基于地貌差异的景观格局转型研究框架

Fig.2 Research framework of landscape pattern transformation under differences in topography

2.2.2 地貌类型的划分

目前对于山地类型划分方法较多,并未给出统一的标准。联合国环境规划署将高海拔地区界定为山地,中低海拔地根据坡度与地形起伏度等地形因子划分为不同的山地类型^[36]。《中国地貌区划》根据海拔高度把中国山地划分为丘陵、低山、中山、高山与极高山等 5 个类型^[37]。本文基于沈玉昌等^[38–39]的划分标准,根据高程将研究区划分为河谷丘陵、低山和中山 3 种地貌类型,并结合地形起伏度^[40]与坡度^[41]划分方法把不同地貌的地形特征细化为小起伏、中起伏、大起伏、缓坡、斜坡与陡坡(表 1,表 2)。基于乡镇行政区划单元,提取河谷丘陵区、低山区与中山区典型地貌区(图 3)。

2.2.3 景观指数法

景观指数能反映高度浓缩的景观格局信息,是分析景观结构组成与空间配置的定量指标。本文选取景观水平上的香浓多样性指数 (SHDI) 反映景观的多样性,选取蔓延度 (CONTAG) 与聚集度 (AI) 反映景观的破碎度。以上指数的计算公式及生态学意义详见文献^[42]。借助 ArcGIS 10.4 与 Fragstats 4.2 计算相应景观指数。

表 1 地貌类型的地形起伏度特征

Table 1 Topographic relief characteristics of geomorphic types

地貌类型及其高程 Geomorphic type and its elevation	地形起伏度 Relief amplitude/m		
	0—100	100—300	≥300
河谷丘陵 Valley and hill (0—500m)	小起伏	中起伏	大起伏
低山 Low mountain (500—1000m)	小起伏	中起伏	大起伏
中山 Medium mountain (≥1000m)	小起伏	中起伏	大起伏

表 2 地貌类型的坡度特征

Table 2 Slope characteristics of geomorphic types

地貌类型及其高程 Geomorphic type and its elevation	坡度 Slope/(°)		
	0—15	15—25	≥25
河谷丘陵 Valley and hill (0—500m)	缓坡	斜坡	陡坡
低山 Low mountain (500—1000m)	缓坡	斜坡	陡坡
中山 Medium mountain (≥1000m)	缓坡	斜坡	陡坡

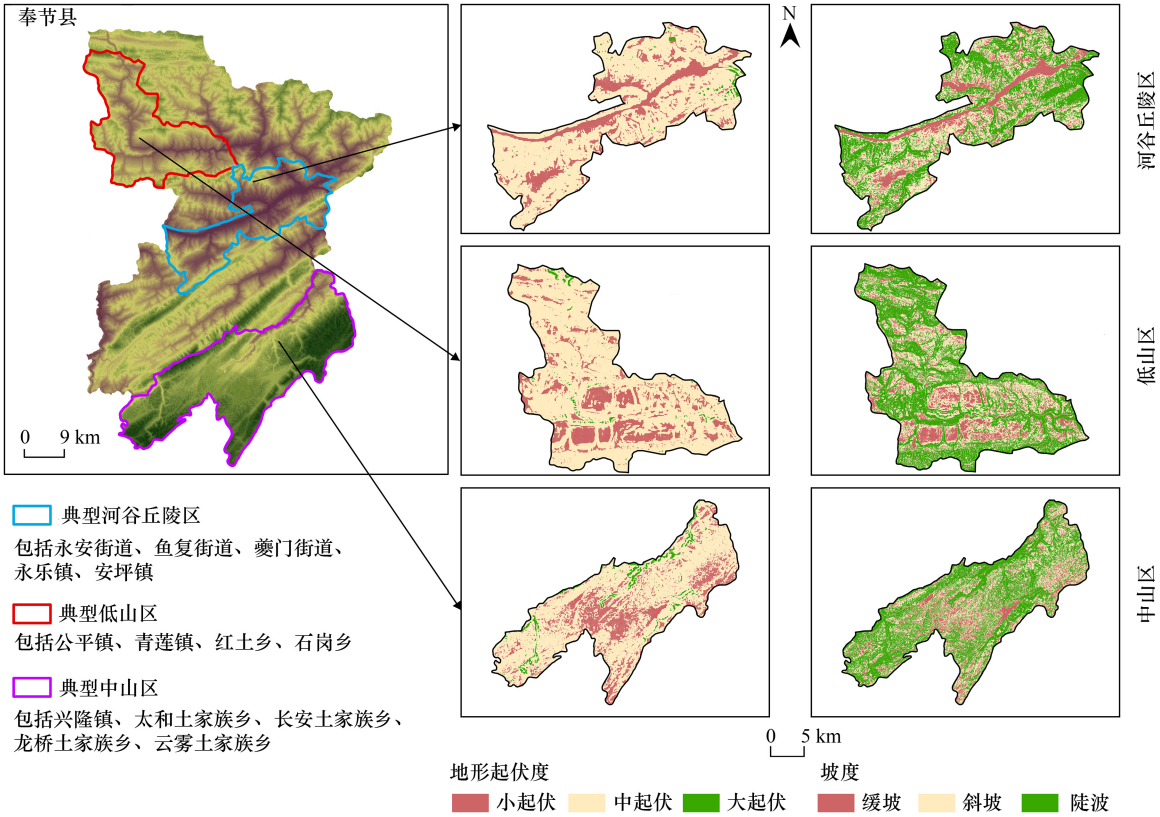


图 3 典型地貌区的提取

Fig.3 Extraction of typical geomorphic regions

2.2.4 二元 Logistic 回归模型

二元 Logistic 回归模型是针对二值响应变量建立的回归模型,在景观格局的驱动机理研究中应用广泛^[43]。本文采用二元 Logistic 回归模型探讨不同地貌区景观格局与驱动因子的关系,利用 Hosmer-Lemeshow 检验对实验结果进行通过性检验,从而解释景观格局演变的影响机制。

$$p = \exp(\alpha + \sum \beta_i x_i) / [1 + \exp(\alpha + \sum \beta_i x_i)] \tag{1}$$

$$\ln[p/(1 - p)] = \alpha + \sum \beta_i x_i \tag{2}$$

式中, p 表示分布概率, p 值介于 0—1 之间,且 p 值越大表示该事件发生的可能性越大。 x 为解释变量, α 表示参数, β 表示解释变量系数, $\exp(\beta)$ 衡量解释变量对因变量的影响程度。本文中, p 为某一景观类型的分布概率, x 为影响该景观的驱动因子。

3 结果分析

3.1 全域景观格局演变特征

研究区以林地(有林地、灌木林地)分布最广(图 4)。除了河谷区,其他区域均有分布;其次为耕地、果园以及撂荒地。耕地分布较为破碎,一般分布在中、小起伏地带。果园成片分布于海拔较低的河谷区。撂荒地在西北部低山区呈聚集分布;聚落、草地以及水域等景观分布较少。聚落在主要分布于河谷平坝区与丘陵区。

1990—2020 年,各景观演变具有差异性(表 3)。其中,林地、草地、耕地、撂荒地与果园景观变化较为显著,呈现耕地与草地明显缩减,林地、果园与撂荒地迅速增长的特征。30 年间研究区香浓多样性指数 SHDI 总体保持不变,蔓延度 CONTAG 与聚集度 AI 总体减小,表明景观斑块的连通性逐渐减弱,景观聚集性逐渐减弱,斑块趋于破碎化,这与耕地和草地缩减、林地和果园等景观扩张有关。

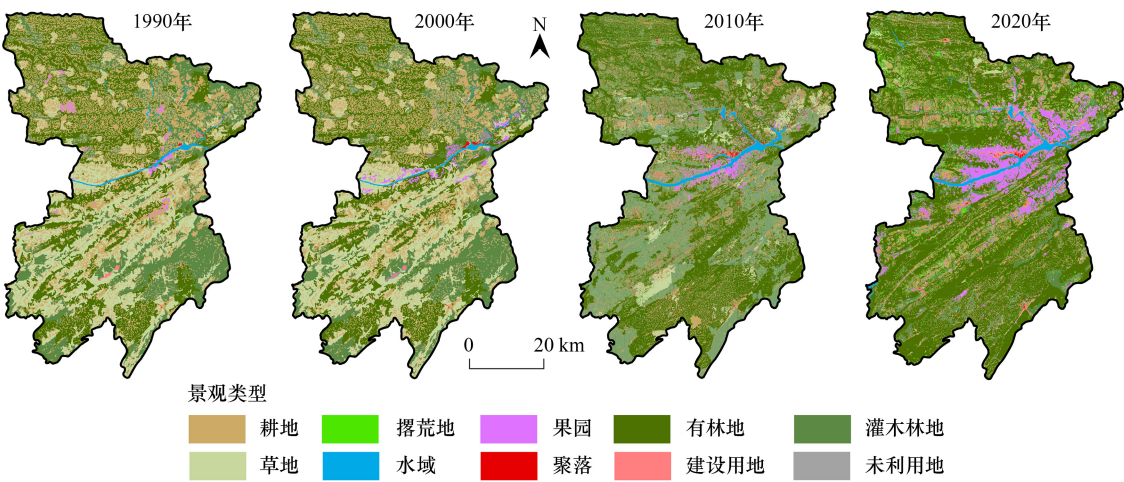


图 4 1990—2020 年全域景观类型演变
Fig.4 Evolution of landscape types in Fengjie County from 1990 to 2020

表 3 1990—2020 年全域景观指数演变
Table 3 Evolution of landscape indices in Fengjie County from 1990 to 2020

年份 Year	香浓多样性指数 Shannon's diversity index	蔓延度/% Contagion	聚集度/% Aggregation	年份 Year	香浓多样性指数 Shannon's diversity index	蔓延度/% Contagion	聚集度/% Aggregation
1990	1.11	63.42	89.05	2010	0.94	63.10	77.62
2000	1.14	62.63	88.70	2020	1.12	58.64	78.93

3.2 不同地貌景观格局时间演变特征

1990—2020 年,河谷丘陵区、低山区与中山区之间的景观格局演变具有明显的异质性(图 5)。根据景观的演变幅度,将其概括为“递增型”、“递减型”、“速增型”与“速减型”。近 30 年间,在河谷丘陵区,果园占据优势。库区蓄水导致河谷水域面积迅速增长,未被淹没的河谷与丘陵缓坡地带果园大幅扩张,水域与果园演变表现为“速增型”。耕地大幅缩减,表现为“速减型”。聚落、建设用地与林地匀速增长,表现为“递增型”;在低山区,以林地为主。耕地大幅缩减,表现为“速减型”。撂荒地迅速扩张,表现为“速增型”,耕

地撂荒现象明显。林地匀速增长,为“递增型”,生态质量得以改善;在中山区,林地占据主导。在退耕还林还草政策的响应下,中山区耕地匀速缩减,表现为“递减型”。林地大幅扩张,表现为“速增型”。中山区存在耕地撂荒,生态环境有所好转。

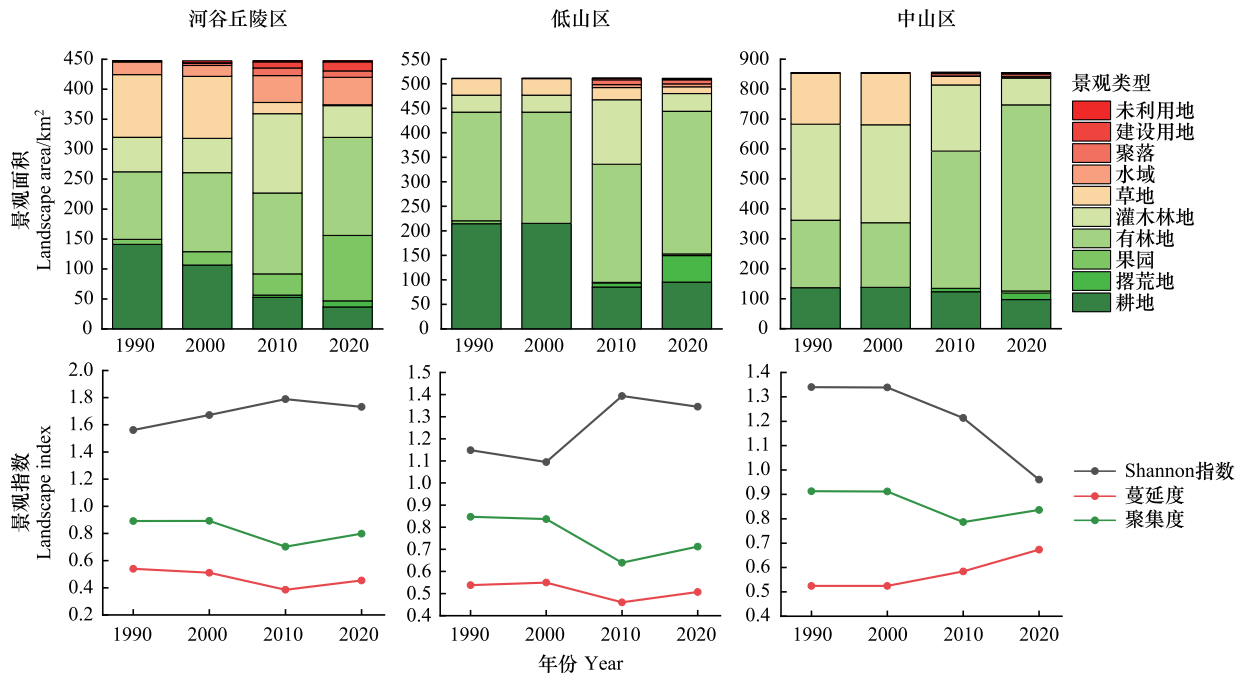


图5 1990—2020年不同地貌景观格局时间演变

Fig.5 Temporal evolution of landscape patterns in different geomorphic regions from 1990 to 2020

根据景观指数的演变可知,河谷丘陵区与低山区香浓多样性指数 SHDI 总体增加,中山区 SHDI 逐年减小,且河谷丘陵区的 SHDI 明显高于低山区与中山区 SHDI,表明河谷丘陵区的景观较为丰富,景观异质性较高。其中,河谷丘陵区 1990—2010 年 SHDI 匀速增加,2010—2020 年出现缓慢减小的变化。表明在 2010 年前后,河谷丘陵区景观格局由多元化向同质化转变,这与果园规模化种植、耕地和林地优势度被削弱有关;低山区 SHDI 随时间推进呈现总体增加的波动变化,景观多样性呈现“缓慢降低—快速上升—缓慢降低”的变化特征;中山区 SHDI 在 1990—2020 年呈减少趋势,表明景观多样性逐年降低,景观趋于同质化。河谷丘陵区和低山区的景观蔓延度 CONTAG 变化趋势大体一致,呈总体减小的波动变化。而中山区 CONTAG 逐年增加。1990—2000 年,河谷丘陵区 CONTAG 略微增加,低山区变化不明显;2000—2010 年,河谷丘陵区与低山区 CONTAG 减小,景观破碎度增加;2010—2020 年,河谷丘陵区与低山区斑块破碎化程度得以改善。而中山区 CONTAG 逐年增加,斑块连通性逐渐增强。各个地貌区的聚集度 AI 变化趋势一致,呈现总体减小的波动变化。1990—2000 年,各地貌区景观聚集性略微增加,2000—2010 年,AI 急剧下降,斑块趋于破碎化;2010—2020 年,各个地貌区景观聚集性增强。

综上,近 30 年间河谷丘陵区景观演变最为剧烈,景观趋于多元化,斑块连通性与景观聚集性总体减弱;低山区景观演变较为剧烈,景观多样性整体增强,斑块连通性与景观聚集性总体减弱;低山区景观演变最为平缓,景观趋于同质化,斑块连通性逐渐增强,景观多样化总体减弱。

3.3 不同地貌景观格局空间演变特征

1990—2020 年奉节县以有林地、灌木林地、耕地与草地转出为主,以有林地、灌木林地与果园转入为主。其中,有林地、灌木林地、耕地与草地转为其他景观类型的面积分别为 743.63 km²、726.60 km²、632.87 km²、383.70 km²。其他景观类型转为有林地、灌木林地与果园的面积分别为 1094.85 km²、492.18 km²、147.19 km²。

30 年间不同地貌景观格局的空间演变存在差异性(图 6)。

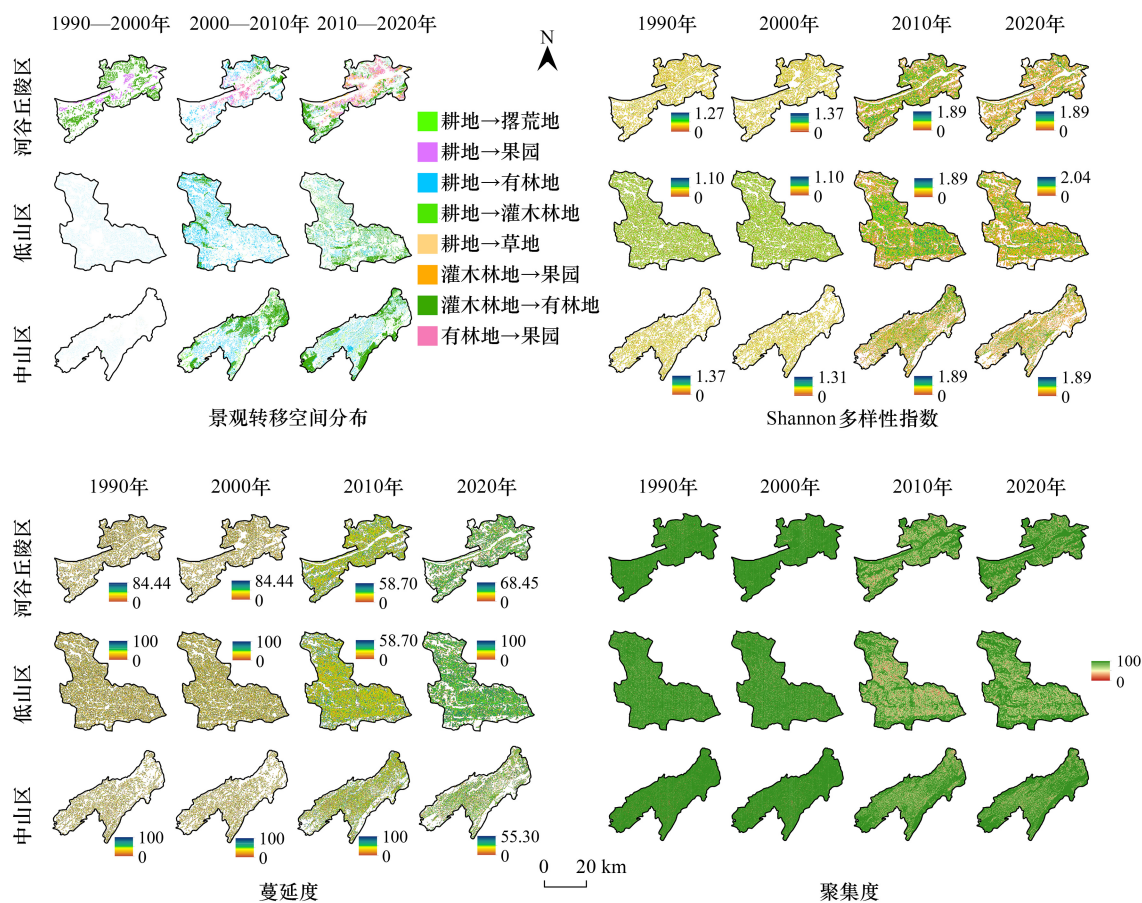


图 6 1990—2020 年不同地貌景观格局空间演变

Fig.6 Spatial evolution of landscape patterns in different geomorphic regions from 1990 to 2020

河谷丘陵区在 1990—2000 年以耕地转出为主,2000—2010 年与 2010—2020 年以有林地转入与果园转入为主,景观转换情况具有空间聚集性特点。1990—2000 年 39.02km²的耕地转为其他景观类型。其中,21.53 km²的耕地转为果园,占 55.18%。12.69 km²的耕地转为有林地,占 32.51%。这一时期景观转移现象在空间上广泛分布;2000—2000 年 86.53 km²的其他景观类型转为有林地。转为有林地的耕地、灌木林地面积分别为 30.23 km²、24.28 km²,占比分别为 34.94%、28.06%。31.01 km²的其他景观类型转为果园。其中,转为果园的有林地、耕地面积分别为 15.72 km²、7.43 km²,占比分别为 50.69%、23.97%。这一时期景观转移呈现东北部聚集分布的特点;2010—2020 年 91.17 km²的其他景观类型转为有林地,其中,灌木林地转为有林地的面积为 58.17 km²,占为 63.81%。81.72 km²的其他景观类型转为果园。转为果园的有林地、灌木林地与耕地面积分别为 25.62 km²、25.15 km²、19.63 km²,占比分别为 31.35%、30.77%、24.02%。这一时期在空间上呈现西南部聚集分布的特点。

低山区与中山区在 1990—2000 年未见明显的景观转换,存在少量的林地转入。2000—2010 年与 2010—2020 年以有林地转入和灌木林地转入为主,有林地呈恢复性增长态势,在空间上具有聚集性分布的特点。1990—2000 年,低山区与中山区分别有 15.93 km²、5.33 km²的其他景观类型转为有林地。其中,低山区耕地、果园转为有林地的面积分别为 9.91 km²、5.78 km²,占比分别为 62.24%、36.29%。中山区耕地转为有林地的面积为 5.33 km²,占 60.50%;2000—2010 年,低山区其他景观类型分别转为有林地与灌木林地的面积为 119.89 km²、126 km²。其中,转为有林地的耕地、灌木林地面积分别为 82.80 km²、23.04 km²,转为灌木林地的耕地、有

林地面积分别为 63.45 km²、54.04 km²。在空间上呈现西北部聚集性分布的特征;中山区分别有 334.84 km²、113.51 km²的其他景观类型转为有林地与灌木林地,其中转为有林地的灌木林地、耕地面积分别为 170.64 km²、73.21 km²,转为灌木林地的草地、林地、耕地面积分别为 45.24 km²、38.07 km²、29.91 km²。景观转移呈现东北部聚集分布的特点;2010—2020 年,低山区以林地转入为主。其中,转为有林地的其他景观类型的面积为 129.62 km²,主要来源于灌木林地转入 68.87 km²、耕地转入 34.12 km²。转为灌木林地的其他景观类型面积为 23.94 km²,主要来源于林地转入 13.26 km²、耕地转入 5.67 km²。在空间上呈现南部聚集性分布的特征。中山区在这一时期景观转移情况同低山区一致,转为有林地的其他景观类型为 289.33 km²。其中,灌木林地转入为 170.76 km²,耕地转入为 80.66 km²。转为灌木林地的其他景观类型为 69.54 km²,其中有林地转入为 49.72 km²,耕地转入为 14.77 km²。景观转移的空间聚集性由东北部向南部转移的分布特点。

由不同地貌景观指数的空间演变可知(图 6),河谷丘陵区香浓多样性指数 SHDI 在长江两岸大幅增加,蔓延度 CONTAG 在区内全域范围内有所增加,聚集度 AI 在区内南北部明显减小。表明江岸区域人类活动频繁,景观多样性明显增强。全域景观聚集性逐渐增强。南北部景观斑块趋于破碎化;低山区 SHDI 低值位于边缘,并向中部逐渐扩张,CONTAG 在区内呈现全域增长,AI 在区域中部明显减小。表明区内景观多样性逐渐减弱,斑块连通性逐渐增强,斑块趋于破碎化;中山区全域范围内 SHDI 逐渐减小,CONTAG 逐渐增加,AI 在逐渐减小。表明区内趋于同质化,斑块连通性逐渐增强,斑块破碎化程度增大。

3.4 景观格局驱动机理

通过对 2020 年全域与典型地貌区的景观格局进行二元 Logistic 回归分析,探究景观空间分布格局与驱动因子的定量关系,从而揭示不同地貌下景观分布格局的内部机理。经过模拟显示选取的因子通过 Hosmer-Lemeshow 检验。表明所选因子对景观格局具有较好的解释作用,模拟结果具有一定的可靠性与合理性。

通过对奉节县全域景观格局进行驱动模拟,显示景观格局受地形因子、人为因子以及水热因子三者的共同作用(图 7)。其中,距离因素是影响耕地、撂荒地、有林地以及聚落空间分布的主导因素,耕地、撂荒地、聚落与距聚落距离呈负相关,有林地与之呈正相关。高程是决定果园与水域分布的主导因素,随着高程的增加,果园与水域面积明显减少。降水量对灌木林地与草地分布具有显著影响。此外,景观格局受人为因子、地形因子以及水热因子的共同作用。影响耕地分布的因子为距聚落距离>地形起伏度>高程>月均降水量>人口密度>月均温。其中,耕地与地形起伏度、月均降水量呈负相关,与高程、月均温、人口密度呈正相关;影响撂荒地分布的因子为距聚落距离>高程>月均降水量>人口密度>月均温,撂荒地与高程、人口密度、月均温呈正相关,与月均降水量呈负相关;影响有林地空间分布的因子为距聚落距离>高程>地形起伏度>坡度>月均温,有林地与其呈正相关;聚落受人为因子与地形因子的共同作用,依次为距聚落距离>地形起伏度>坡度;地形与水热因子对果园分布具有较大影响,人为因子影响较弱,依次为高程>月均降水量>月均温>距聚落距离>地形起伏度>人口密度。其中,果园分布与高程、月均温、距聚落距离以及地形起伏度呈负相关,与月均降水量、人口密度呈正相关;灌木林地与草地受地形、水热以及人为因子的共同影响。

由于河谷丘陵区的主导景观类型为耕地与果园,低山区与中山区的主导景观类型为有林地与耕地,而撂荒地在地貌区均有分布,本文将对上述景观进行回归分析。结果表明不同地貌下驱动因子对景观格局的解释作用具有分异性(图 7)。在河谷丘陵区,景观分布受地形因子、水热因子与人为因子共同影响,高程是影响景观分布的主导因素。其中,耕地受高程、月均降水量以及人口密度的共同作用,耕地与高程呈负相关,与月均降水量、人口密度呈正相关。撂荒受高程、地形起伏度以及距聚落距离的影响,并与该影响因子呈正相关。果园受高程、月均降水量以及地形起伏度的共同影响,并与该因子呈负相关;在低山区,高程不再成为影响景观分布的因素,距离逐渐转变为主导因素,地形起伏度与坡度成为影响因子。其中,耕地受距聚落距离与地形起伏度的影响,与其呈负相关。撂荒地受地形起伏度、月均降水量与坡度的影响,与其呈负相关;有林地受距聚落距离、地形起伏度与人口密度的共同作用,与距聚落距离、地形起伏度呈正相关,与人口密度呈负相关;在中山区,距离与地形起伏度成为景观分布的主导因素。耕地受距聚落距离、地形起伏度、坡度以及月均降水量

的影响,耕地与其呈负相关;撂荒地与距聚落距离、地形起伏度、高程以及月均温具有相关性,与距聚落距离、地形起伏度以及月均温呈负相关,与高程呈负相关;林地受距聚落距离、地形起伏度以及坡度的影响,与其呈正相关。

综上,不同地貌下影响因子对景观格局的解释作用有所差别。在河谷丘陵区,耕地与果园分布于利于种植的低海拔河谷区,撂荒地分布于高海拔丘陵区,高程是解释景观分布的主导因素;在低山与中山山地区域,山高坡陡的地形条件增加了农户的耕作半径,距离与地形因子成为限制耕地与撂荒地分布的主导因素。而距离的增长、地形起伏度的增大共同作用使得人为干扰减弱,促进了有林地的增长,使得生态环境得以恢复。

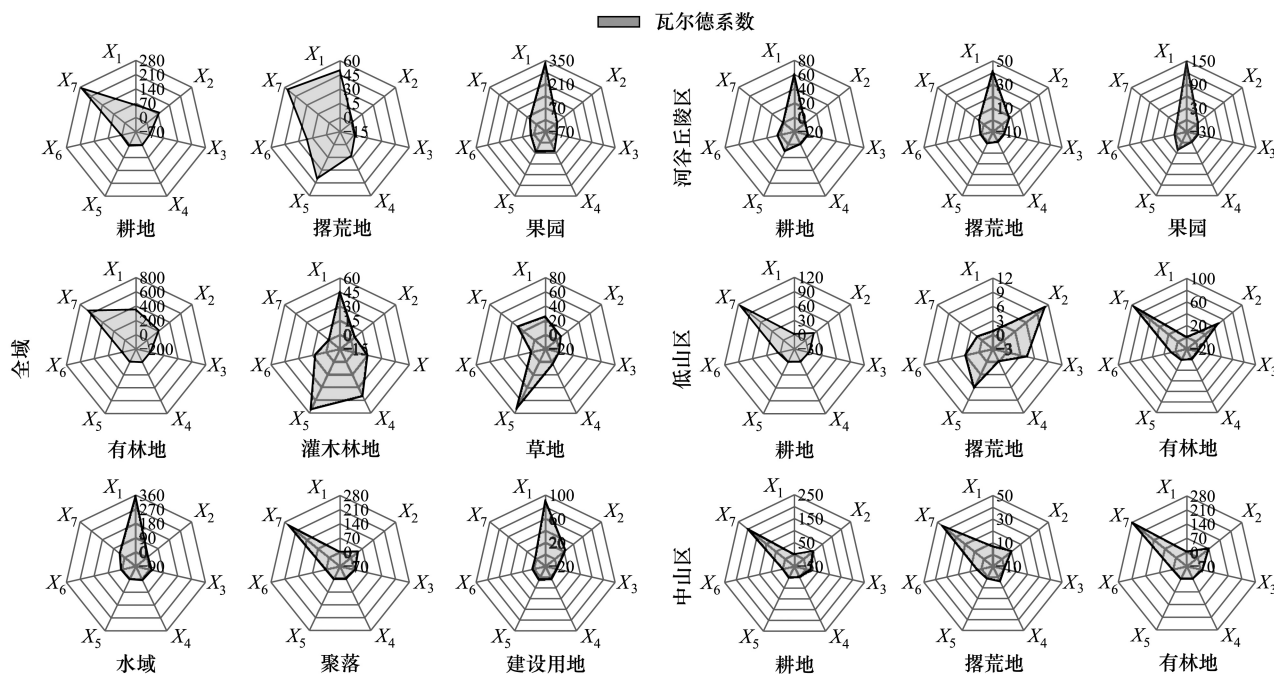


图7 景观格局的二元 Logistic 回归分析

Fig.7 Binary logistic regression analysis of landscape patterns

Wald: 瓦尔德系数; X_1 : 高程, X_2 : 地形起伏度, X_3 : 坡度, X_4 : 7月平均气温, X_5 : 7月平均降水量, X_6 : 人口密度, X_7 : 距聚落距离

4 讨论

4.1 基于地貌差异的景观格局转型过程及其模式

4.1.1 奉节县不同地貌下景观格局转型过程

从三峡工程建设以来,在地形条件、社会经济与政策等众多因素的驱动作用下,研究区经历了从传统农业社会向现代农业社会转型的过程,土地利用发生了转型,景观格局也随之转型。

1990—2000年三峡工程建设初期,研究区处于传统农业发展阶段。这一时期,各个地貌区以林地、耕地、草地传统景观为主,景观结构稳定,未见明显转换。农户主要通过扩大耕地面积提高粮食产量,以维持生计。这一时期可见河谷丘陵区与低山区耕地明显扩张,中山区耕地小幅增长;2000—2010年三峡工程建设中期,研究区处于传统农业向现代农业过渡阶段,农户逐渐转变其传统生计模式,河谷丘陵区出现成片果园,“耕-果转换”活跃,低山区与中山区退耕还林,“耕-林转换”活跃。由此呈现出“耕地收缩、果园扩张、林地恢复性增长”的过渡型景观格局;2010—2020年,三峡工程全面运营,研究区处于现代农业转型阶段,农户生计重心从耕地向果园转型,河谷丘陵区耕地大幅缩减,果园快速扩张。低山区林地缓慢增长,耕地退耕形成撂荒地。中山区林地恢复性增长,恢复其主导地位。这一时期呈现“果园扩张、耕地撂荒”的转型格局。由于不同地貌类型受人类活动的干扰程度有所不同,不同地貌景观格局转型呈现分异性特征(表4)。

河谷丘陵区近 30 年间的景观格局表现为“传统农业型”转变为“生态经济型”。1990—2000 年,河谷丘陵区以传统景观为主。景观结构稳定,表现为“传统农业型”景观格局;2000—2010 年,景观转化较为活跃。耕地与草地大面积转化为果园与灌木林地,果园呈现扩张态势,聚落与建设用地增加,这一时期表现为“生态+农业组合型”的景观格局;2010—2020 年,耕地与草地持续缩减,果园与林地大幅扩张,景观格局向以果园为优势的“生态经济型”景观格局转变。

低山区近 30 年间的景观格局表现为“农业主导型”转变为“生态主导型 II”。1990—2000 年,低山区以林地与耕地为主,为“农业主导型”格局;2000—2010 年,耕地大幅转化为有林地与灌木林地,生态环境有所改善,表现为“生态恢复型 I”格局;2010—2020 年,耕地持续缩减,林地扩张,耕地撂荒明显,转变为“生态主导型 II”景观格局。

中山区近 30 年以林地为主。1990—2000 年,中山区以林地、耕地以及草地组成,景观格局为“生态主导型 I”;2000—2010 年,灌木林地与耕地转化为有林地,林地迅速恢复,景观格局为“生态恢复型 II”;2010—2020 年,耕地和灌木林地持续缩减,有林地大幅扩张,耕地轻度撂荒,景观格局向“生态型”转变。

表 4 景观格局类型的归纳依据

Table 4 The inductive basis of landscape patterns types

发展阶段 Development stage	景观格局特征 Characteristics of landscape patterns	景观格局类型 Type of landscape patterns
传统农业发展阶段 Development stage of traditional agriculture	以传统景观林灌草、农业景观耕地为主,存在耕地转化为林地与果园的现象,景观异质性较低,斑块连通性较大。	传统农业型
	主导景观为林地与耕地,农户以农业活动为主,农业景观占据一定比重。景观异质性较低,斑块连通性较大。	农业主导型
	以传统景观林地、耕地、草地构成,生态景观占据主导。景观异质性较高,斑块连通性较小。	生态主导型 I
过渡阶段 Transitional stage	传统农业景观耕地与草地大幅转化为果园与灌木林地,生态景观逐渐占据优势;兼具生态与经济效益的果园扩张,聚落增加。景观异质性增强,斑块连通性减小。	生态+农业组合型
	农业景观耕地大幅转化为生态景观有林地与灌木林地,生态景观恢复性增长,生态环境有所改善。景观异质性降低,斑块连通性增大。	生态恢复型 I
	农业景观耕地转化为有林地,灌木林地转化为有林地,生态景观快速增长。景观异质性降低,斑块连通性增大。	生态恢复型 II
现代农业发展阶段 Development stage of modern agriculture	传统农业型景观耕地、草地持续缩减,“生态+经济”景观果园与生态景观林地大幅扩张,果园为优势景观。景观异质性较强,斑块破碎化程度较大。	生态经济型
	农业景观耕地持续缩减,并呈现中度撂荒,生态景观林地扩张。景观异质性较低,斑块连通性较大。	生态主导型 II
	耕地与灌木林地持续缩减,出现耕地轻度撂荒现象,有林地大幅扩张。景观异质性较低,斑块连通性较大。	生态型

4.1.2 基于地貌差异的景观格局转型模式

基于“全域-典型区”的视角分析研究区近 30 年的景观格局演变规律,探究不同地貌下景观格局转型特征,总结其转型模式。研究表明地貌分异是景观格局转型的物理基础,不同地貌景观格局转型具有分异性特点(图 8),可归纳为以下三种模式:①“河谷丘陵-生态经济型”。河谷丘陵区受生态移民、产业扶持等人类活动的影响,景观格局变化剧烈。30 年间,耕地大幅缩减,果园大幅扩张,景观多样性增强,斑块破碎度减弱,景观连通性增强。该区域优势景观由耕地向果园转变,形成“生态经济型”的景观格局;②“低山-生态主导型 II”。低山区在退耕还林还草生态工程的影响下,林地恢复性增长,部分坡耕地退还形成撂荒地。景观多样性降低,形成林地恢复、退耕撂荒为主要特征的“生态主导型 II”格局;③“中山-生态型”。中山区由于地形条件的限制,受人类活动的干扰程度较弱,景观结构单一,形成以林地为主的“生态型”景观格局。这与三峡库区腹地山区农业景观格局转型中的“综合型”、“耕-果转换型”、“部分撂荒型”、“撂荒型”4 种模式基本

一致^[27]。

相比于华北平原“杨上粮下”景观演变模式^[44]、黄土丘陵区“川地耕地-沟谷荒草-陡坡林地”的景观梯度演变模式^[45]以及青藏高原“耕地过渡为林草地”的景观梯度演变模式^[46],山区景观格局演变具有相似性以及自身的独特性。由于社会经济发展与城镇化进程的加快,在平原、丘陵、山地以及高原地区出现自然景观退化、人为景观演替的格局,导致景观异质性增强、破碎度增加;但山区地形结构复杂,景观格局具有梯度分异性,呈现“河谷丘陵-生态经济型”、“低山-生态主导型Ⅱ”以及“中山-生态型”的梯度空间格局。在垂直方向上,随着地形梯度的增加,山区景观多样性降低,景观同质性增强,破碎度增加,景观经济导向性减弱,生态导向性增强^[47];在水平方向上,随着农业现代化的发展,土地利用方式由粗放型向集约型转变,景观格局呈现逐渐集约化的过程^[48]。上述转型模式进一步证实了山区不同地貌景观格局演变差异性的科学性。该转型模式对山区景观格局转型理论进行了补充,揭示了不同地貌下景观格局转型空间分异的特点。

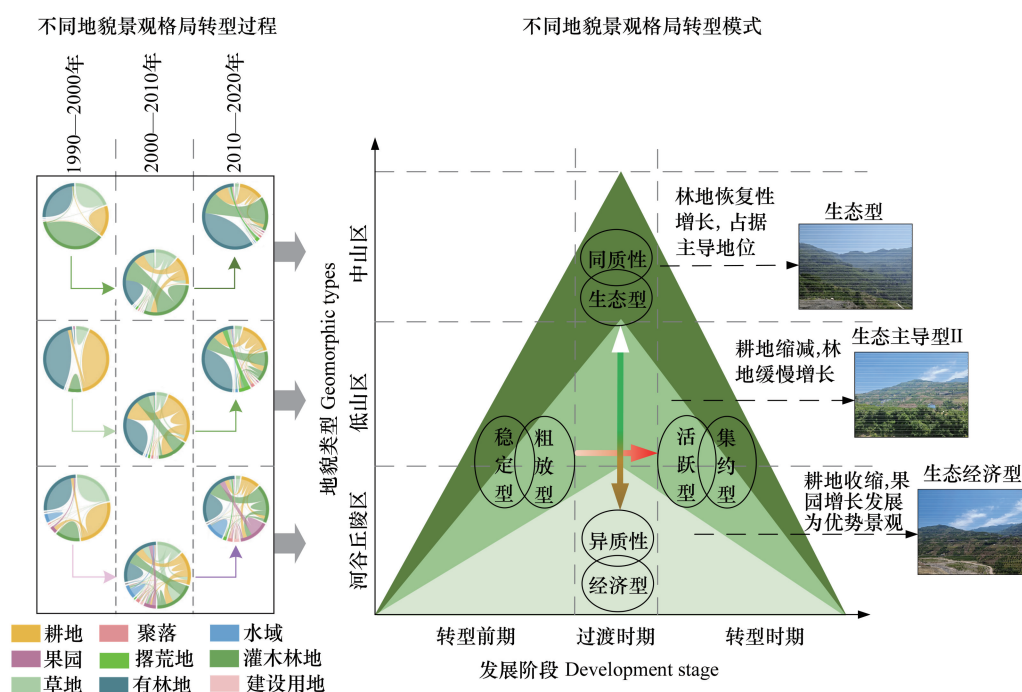


图8 基于地貌差异的景观格局转型过程及其模式

Fig.8 Landscape pattern transformation process and its model based on differences in topography

4.2 启示

基于地貌差异的景观格局转型揭示了山区内部不同地貌景观格局演变的独特规律,为促进山区土地资源合理利用以及协调不同地貌区的人地关系提供范式。由图9可知,位于不同地貌区的乡镇社会经济发展水平与农业发展水平具有明显的差异性。

永安街道、鱼复街道与夔门街道位于长江北岸河谷丘陵区,永乐镇与安坪镇位于南岸河谷丘陵区,地势平坦、地形起伏度小的地形优势使其成为人口密集、交通便利的城区中心及邻近乡镇。位于河谷丘陵区的乡镇社会经济与城镇化率处于高值水平,粮食总产量处于中等水平。表明该区域经果林的种植带来了经济效益,而果园的扩张使得耕地空间受到挤压,区域内粮食供给短缺,极易构成粮食威胁。

公平镇、青莲镇、红土乡与石岗乡位于县内西北部低山区,地处大巴山南脉末端,地势西北高东南低。该区域经济发展水平低于河谷丘陵区,镇与乡之间经济发展水平有所差距。粮食总产量处于较高水平,表明该区域以粮食供给为主,城镇化对其影响不明显,人地关系较协调。

兴隆镇、太和土家族乡、长安土家族乡、龙桥土家族乡与云雾土家族乡处于县内东南部中山区,该区域位

于七曜山脉余脉,地势高、地形起伏大。该区域由于中山地形的制约,人口稀疏,经济发展缓慢,且耕地分布破碎,不利于耕作区存在轻度撂荒,粮食产量较少。该区域以林草地等自然景观为主,生态性导向较强。

综上所述,位于河谷丘陵区与低山区的乡镇应当优化景观布局。河谷丘陵区所在乡镇因发展经果林导致耕地面积缩减。在保护耕地的前提下,可提倡耕果兼种的种植方法,保障粮食供给,从而促进农业生产、经济发展与生态保护协调发展;低山区乡镇与乡村之间人均可支配收入上存在较大差距,可通过打造乡村旅游生态型景观提高农户经济收入,以缩小二者之间的收入差距;中山区所在乡镇受地形因子的制约,经济发展缓慢。农户可通过栽培适应高海拔山地气候的经济作物,以提高其经济收入。耕地撂荒使得土地休养生息,林地恢复可改善区域的水土流失。

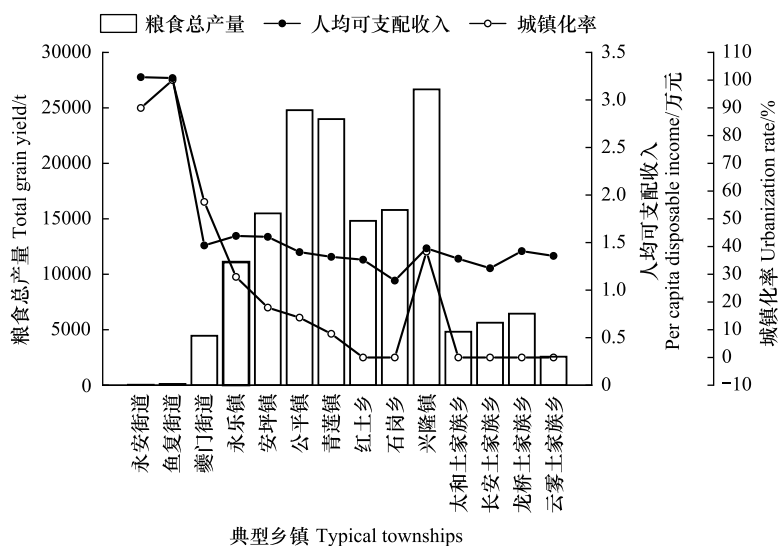


图9 不同地貌区社会经济与农业发展水平

Fig.9 Socioeconomic and agricultural development levels of different geomorphic regions in Fengjie County

5 结论

通过构建基于地貌差异的景观格局转型研究框架,从“全域-典型地貌区”的科学视角分析了研究区近 30 年的景观格局演变及其转型模式。利用二元 Logistic 回归模型揭示影响因子与景观格局的定量关系,探讨了景观格局驱动机理。结论如下:

(1) 不同地貌景观格局演变具有显著差异。随着三峡工程的修建,受生态移民、退耕还林以及农户生计模式转型等影响,海拔较低的河谷丘陵区演变最为剧烈,景观转换活跃,“耕-果转换”为其显著特征;海拔较高的低山区林地恢复性增长,伴随着耕地撂荒的现象;海拔最高的中山区景观结构较为稳定,林地恢复性增长,生态趋于好转。

(2) 随着农业社会的发展,研究区景观结构与形态随之转变,景观格局发生转型,景观格局转型具有地貌分异性特点。其中,在空间上,景观格局随着地貌升高呈现“异质性”向“同质性”、“经济型”向“生态型”转型的过程。在时间上,景观呈现“稳定型”结构向“活跃型”结构、“粗放型”利用向“集约型”利用转型的过程。河谷丘陵区形成“生态经济型”格局,低山区形成“生态主导型Ⅱ”格局,中山区形成“生态型”格局。

(3) 影响因子对不同景观格局的解释作用有所不同。从全域来看,人为干扰对解释农业型景观格局与生态型景观格局具有主导作用,地形对于生态经济型景观格局的解释占据主导地位,水热条件对解释自然景观格局具有主导作用;从不同地貌区来看,地形是影响河谷丘陵区农业型景观格局与生态经济型景观格局的主导因素,随着地貌梯度的增加,低山区与中山区地形的解释作用减弱,人为干扰的解释作用占据主导,山地农业型景观格局与生态型景观格局受到人为干扰与地形的共同影响。

本文选取三峡库区奉节县典型地貌区进行探讨,缺乏山区大尺度的研究,但研究区囊括河谷丘陵、低山、中山等众多地貌,符合山区地貌结构,因此研究结果仍能反映以奉节县为代表的山区不同地貌景观格局的演变规律以及转型模式。

参考文献 (References):

- [1] 傅伯杰, 陈利顶, 马克平, 王仰麟. 景观生态学原理及应用. 北京: 科学出版社, 2001.
- [2] Eetvelde V V, Antrop M. Analyzing structural and functional changes of traditional landscapes—two examples from Southern France. *Landscape and Urban Planning*, 2004, 67(1): 79-95.
- [3] Lambin E F, Meyfroidt P. Land use transitions: Socio-ecological feedback versus socio-economic change. *Land Use Policy*, 2010, 27(2): 108-118.
- [4] Jiang P H, Cheng Q W, Zhuang Z Z, Tang H Q, Li M C, Cheng L, Jin X L. The dynamic mechanism of landscape structure change of arable landscape system in China. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2018, 251: 26-36.
- [5] 管华. 秦岭-黄淮平原交界带自然地理边际效应. 北京: 科学出版社, 2006.
- [6] 敬博, 李同昇, 朱依平, 成文浩. 我国山区人地系统研究进展. *世界地理研究*, 2021, 30(6): 1230-1240.
- [7] 孙然好, 陈利顶, 张百平, 傅伯杰. 山地景观垂直分异研究进展. *应用生态学报*, 2009, 20(7): 1617-1624.
- [8] 孔繁花, 李秀珍, 尹海伟, 王绪高, 解伏菊. 地形对大兴安岭北坡林火迹地森林景观格局影响的梯度分析. *生态学报*, 2004, 24(9): 1863-1870, 2092.
- [9] 梁国付, 韩艳, 丁彦彦. 伏牛山北坡森林景观变化的地形梯度特征分析. *地理科学*, 2010, 30(2): 242-247.
- [10] Garbarino M, Lingua E, Weisberg P J, Bottero A, Meloni F, Motta R. Land-use history and topographic gradients as driving factors of subalpine *Larix decidua* forests. *Landscape Ecology*, 2013, 28(5): 805-817.
- [11] 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. *自然资源学报*, 2019, 34(7): 1391-1404.
- [12] 龚熊波, 杨波, 刘雨先, 王守梅. 湘西州山区土地利用类型的地形梯度效应与景观格局分析. *生态科学*, 2020, 39(4): 137-144.
- [13] Tasser E, Ruffini F V, Tappeiner U. An integrative approach for analysing landscape dynamics in diverse cultivated and natural mountain areas. *Landscape Ecology*, 2009, 24(5): 611-628.
- [14] 哈凯, 丁庆龙, 门明新, 许皞. 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. *地理研究*, 2015, 34(5): 909-921.
- [15] 国巧真, 宁晓平, 王志恒, 蒋卫国. 地形地貌对半山区土地利用动态变化影响分析——以天津市蓟县为例. *国土资源遥感*, 2015, 27(1): 153-159.
- [16] Yu H, Luo Y, Liu S Q, Wang Y, Yang Y, Liu W D. The influences of topographic relief on spatial distribution of mountain settlements in Three Gorges Area. *Environmental Earth Sciences*, 2015, 74(5): 4335-4344.
- [17] 王权, 李阳兵, 刘亚香, 胡先培. 基于地形梯度的岩溶槽谷区土地利用空间格局分析. *生态学报*, 2019, 39(21): 7866-7880.
- [18] Birhanu L, Hailu B T, Bekele T, Demissew S. Land use/land cover change along elevation and slope gradient in highlands of Ethiopia. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 2019, 16: 100260.
- [19] Bicudo T C, Sacek V, Almeida R. Reappraisal of the relative importance of dynamic topography and Andean orogeny on Amazon landscape evolution. *Earth and Planetary Science Letters*, 2020, 546: 116423.
- [20] 李佩君, 左德鹏, 徐宗学, 高晓曦. 基于地形梯度的雅鲁藏布江流域土地利用及景观格局分析. *山地学报*, 2022, 40(1): 136-150.
- [21] 王金亮, 黄志霖, 邵景安, 李阳兵. 林地景观格局的样带梯度分布与空间聚集特征——以重庆三峡库区生态屏障区为例. *地理科学进展*, 2013, 32(2): 308-317.
- [22] Zhang J J, Zhu W B, Zhao F, Zhu L Q, Li M J, Zhu M, Zhang X D. Spatial Evolutions of terrain and their impacts on landscape patterns in the transition zone from mountains to Plains—a case study of Qihe River Basin in the Taihang Mountains. *Science China*, 2018, 61(4): 450-461.
- [23] 田鹏, 李加林, 叶梦姚, 史小丽, 王丽佳, 刘瑞清, 王中义, 汪海峰, 高扬. 基于地貌类型的中国东海大陆海岸带景观动态分析. *生态学报*, 2020, 40(10): 3351-3363.
- [24] 喻红, 曾辉, 江子瀛. 快速城市化地区景观组分在地形梯度上的分布特征研究. *地理科学*, 2001, 21(1): 64-69.
- [25] 黄木易, 岳文泽, 冯少茹, 张嘉晖. 基于 InVEST 模型的皖西大别山区生境质量时空演化及景观格局分析. *生态学报*, 2020, 40(9): 2895-2906.
- [26] Wang Q M, Yang K, Li L X, Zhu Y H. Assessing the Terrain Gradient Effect of Landscape Ecological Risk in the Dianchi Lake Basin of China Using Geo-Information Tupu Method. *International Journal of Environment Research and Public Health*, 2022, 19(15): 9634.

- [27] Huang M Q, Li Y B, Ran C H, Li M Z. Dynamic changes and transitions of agricultural landscape patterns in mountainous areas: a case study from the hinterland of the Three Gorges Reservoir Area. *Journal of Geographical Sciences*, 2022, 32(6): 1039-1058.
- [28] Bertassello L E, Rao P S C, Jawitz J W, Aubeneau A F, Botter G. Wetlandscape hydrologic dynamics driven by shallow groundwater and landscape topography. *Hydrological Processes*, 2020, 34(6): 1460-1474.
- [29] 常直杨, 王建, 白世彪, 张志刚. 基于 SRTM DEM 数据的三峡库区地貌类型自动划分. *长江流域资源与环境*, 2014, 23(12): 1665-1670.
- [30] 夏春华, 李阳兵, 黄孟勤, 陈爽, 张冰, 曾晨岑. 山区社会-生态系统转型测度——以三峡典型库区为例. *生态学报*, 2023, 43(1): 274-289.
- [31] 周晓艳, 何依依, 黄欣, 张苗苗. 三峡库区生境质量的地形梯度效应及对土地利用变化的响应. *农业工程学报*, 2021, 37(11): 259-267.
- [32] 曾晨岑, 李阳兵, 夏春华. 基于聚落-坡耕地-果园空间耦合的三峡库区腹地人-地-业多样性分析. *中国农业资源与区划*, 2022, 6: 1-19.
- [33] 龙花楼. 论土地利用转型与乡村转型发展. *地理科学进展*, 2012, 31(2): 131-138.
- [34] 李秀彬, 赵宇鸾. 森林转型、农地边际化与生态恢复. *中国人口·资源与环境*, 2011, 21(10): 91-95.
- [35] Liang X Y, Li Y B, Shao J A, Ran C H. Traditional agroecosystem transition in mountainous area of Three Gorges Reservoir Area. *Journal of Geographical Sciences*, 2020, 30(2): 281-296.
- [36] Schuler M, Stucki E, Roque O, Perlik M. Mountain Areas in Europe: analysis of mountain areas in EU member states, acceding and other European countries. Brussels: European Commission, 2004: 2-3.
- [37] 周成虎, 程维明, 钱金凯, 李炳元, 张百平. 中国陆地 1: 100 万数字地貌分类体系研究. *地球信息科学学报*, 2009, 11(6): 707-724.
- [38] 沈玉昌, 苏时雨, 尹泽生. 中国地貌分类、区划与制图研究工作的回顾与展望. *地理科学*, 1982, 2(2): 97-105.
- [39] 范建容, 张子瑜, 李立华. 四川省山地类型界定与山区类型划分. *地理研究*, 2015, 34(1): 65-73.
- [40] Wu L, Xie B G, Xiao X, Xue B, Li J Z. Classification Method and Determination of Mountainous Area Types at Township Scales: A Case Study of Yuxi City, Yunnan Province. *Hindawi Complexity*, 2020, 1-13.
- [41] 王永艳, 李阳兵, 甘彩红, 李源. 基于地形因子的三峡库区腹地耕地演变——以草堂溪流域为例. *生态学杂志*, 2013, 32(7): 1903-1911.
- [42] 邬建国. 景观生态学: 格局、过程、尺度与等级. 2 版. 北京: 高等教育出版社, 2007.
- [43] 荣子容, 马安青, 王志凯, 周凯. 基于 Logistic 的辽河口湿地景观格局变化驱动力分析. *环境科学与技术*, 2012, 35(6): 193-198.
- [44] 赵宇鸾, 李秀彬, 辛良杰, 郝海广. 华北平原“杨上粮下”现象的驱动机制——以河北省文安县为例. *地理研究*, 2012, 31(2): 323-333.
- [45] 邱扬, 傅伯杰, 王军, 陈利顶. 黄土丘陵小流域土地利用的时空分布及其与地形因子的关系. *自然资源学报*, 2003, 18(1): 20-29.
- [46] 侯兰功, 王晶, 刘涛, 邓莹佳. 青藏高原东缘川西地区土地利用与景观格局演化研究——以岷江流域为例. *西南科技大学学报*, 2022, 37(3): 29-37, 82.
- [47] Monteleone M, Cammerino A R B, Libutti A. Agricultural “greening” and cropland diversification trends: potential contribution of agroenergy crops in Capitanata (South Italy). *Land Use Policy*, 2018, 70: 591-600.
- [48] Shao J A, Zhang S C, Li X B. Farmland marginalization in the mountainous areas: characteristics, influencing factors and policy implications. *Journal of Geographical Sciences*, 2015, 25(6): 701-722.