

DOI:10.13869/j.cnki.rswc.2025.06.039; CSTR:32311.14.rswc.2025.06.039.

练仕舒, 兰安军, 范泽孟, 等. 贵州喀斯特山地流域耕地流转时空变化趋势及地形梯度效应[J]. 水土保持研究, 2025, 32(6):391-402.

Lian Shishu, Lan Anjun, Fan Zemeng, et al. Spatiotemporal evolution trends and topographic gradient effects of cultivated land transformation in river basins of karst mountainous areas in Guizhou Province[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2025, 32(6):391-402.

# 贵州喀斯特山地流域耕地流转时空变化趋势及地形梯度效应

练仕舒<sup>1</sup>, 兰安军<sup>1</sup>, 范泽孟<sup>2,3</sup>, 封炳丞<sup>1</sup>, 肖葵淞<sup>1</sup>

(1. 贵州师范大学地理与环境科学学院, 贵阳 550025; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 资源与环境信息系统国家重点实验室, 北京 100101; 3. 中国科学院大学资源与环境学院, 北京 100039)

**摘要:** [目的] 喀斯特山地流域生态环境敏感, 遭受水土流失和石漠化等问题的严重困扰, 人地关系紧张, 解析该地区耕地转型的时空特征及地形梯度效应, 对于流域的耕地保护和生态建设至关重要。[方法] 以贵州喀斯特典型流域(南北盘江流域)为案例区, 基于流域内 2000—2020 年的土地利用数据和数字高程模型(DEM), 在综合考虑核密度、耕地利用动态指标、地形位等模型构建参数的基础上, 构建该流域耕地转型的地形梯度效应模型, 结合流域社会经济发展, 对喀斯特山地流域耕地流转的内在驱动因素进行了探讨。[结果] (1) 2000—2020 年贵州南北盘江流域耕地呈“中部耕地分布多、西部较多、东南部少”的空间分布特点。耕地形态经历了“先增后减再增”的剧烈转型过程, 整体呈现减少趋势。(2) 流域内耕地集中分布于海拔 1 200~1 500 m、坡度 6°~15°、地形起伏 0~30 m 及地形位中低梯度范围内, 且在不同地形梯度范围内整体均呈收缩趋势;(3) 2000—2020 年流域耕地流转表现出明显的地形梯度效应, 低地形位范围内坡耕地变化面积最大, 整体以耕—草—林—耕间的流转为主。耕地变化呈现从陡坡向缓坡、从高海拔向低海拔的迁移趋势。[结论] 喀斯特山地流域耕地的时空演变过程中, 自然地理环境的特征决定了耕地分布的基本格局, 社会经济条件的变迁影响着耕地的利用方式和效率, 政策导向则在宏观层面调控和引导耕地的时空演变趋势。在不同地形梯度上, 影响坡耕地变化的主导因素有着显著的差异。

**关键词:** 耕地流转; 时空特征; 核密度分析; 地形梯度效应; 南北盘江流域

中图分类号: F323.4

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2025)06-0391-12

## Spatiotemporal evolution trends and topographic gradient effects of cultivated land transformation in river basins of karst mountainous areas in Guizhou Province

Lian Shishu<sup>1</sup>, Lan Anjun<sup>1</sup>, Fan Zemeng<sup>2,3</sup>, Feng Bingcheng<sup>1</sup>, Xiao Kuisong<sup>1</sup>

(1. School of Geography and Environmental Science, Guizhou Normal University, Guiyang 550025,

China; 2. State Key Laboratory of Resources and Environmental Information System, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101;

3. College of Resources and Environment, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039)

**Abstract:** [Objective] The ecological environment in the river basins of karst mountainous areas is sensitive, severely afflicted by issues such as soil erosion and rocky desertification, and characterized by tense human-land relationship. Analyzing the spatiotemporal characteristics and topographic gradient effects of cultivated land transformation in this region is crucial for cultivated land protection and ecological development of the river basins. [Methods] Using the Nanpan and Beipan River Basins, typical karst river basins in Guizhou, as the study area,

收稿日期: 2025-01-17

修回日期: 2025-02-10

接受日期: 2025-02-20

资助项目: 国家自然科学基金“生态过渡带土地覆盖变化情景模拟及归因研究”(41971358)

第一作者: 练仕舒(2000—), 女, 贵州遵义人, 硕士研究生, 主要研究方向为地理信息系统与遥感。E-mail: 2911449410@qq.com

通信作者: 兰安军(1974—), 男, 贵州黔南人, 硕士, 副教授, 主要从事喀斯特环境遥感研究。E-mail: 493486980@qq.com

<http://stbcyj.paperonice.org>

and based on land use data from 2000 to 2020 and Digital Elevation Model (DEM) within the river basins, a topographic gradient effect model for cultivated land transformation in the river basin was established by comprehensively considering parameters such as kernel density, dynamic indicators of cultivated land use, and topographic position. Combined with the socioeconomic development of the river basin, the intrinsic driving factors of cultivated land transformation in karst mountainous river basins were investigated. [Results] (1) From 2000 to 2020, cultivated land in the Nanpan and Beipan River Basins of Guizhou exhibited a spatial distribution pattern of ‘more cultivated land in central, relatively more in western, and less in southeastern regions’. The morphology of cultivated land underwent a drastic transformation process of ‘increase first, then decrease, and increase again’, but an overall decreasing trend was observed. (2) Cultivated land in the river basins was distributed within the elevations of 1 200~1 500 m, slope gradients of  $6^{\circ}$ ~ $15^{\circ}$ , terrain relief of 0~30 m, and low-to-medium topographic position ranges. Moreover, it generally showed shrinking trends across different topographic position ranges. (3) From 2000 to 2020, cultivated land transformation demonstrated a significant topographic gradient effect. The area of slope cultivated land changes was the largest within low topographic position ranges, involving transformation mainly between cultivated land, grassland, forest and back to cultivated land. Cultivated land changes showed a migration trend from steep to gentle slopes and from high to low elevations. [Conclusion] During the spatiotemporal evolution of cultivated land in karst mountainous river basins, the characteristics of natural geographical environment determine the basic distribution patterns of cultivated land. Changes in socioeconomic conditions affect the utilization mode and efficiency of cultivated land, while policies regulate and guide the spatiotemporal evolution trends of cultivated land at the macro level. The dominant factors influencing the change in slope cultivated land vary significantly across different topographic gradients.

**Keywords:** cultivated land transformation; spatiotemporal characteristics; kernel density analysis; topographic gradient effect; Nanpan and Beipan River basins

耕地资源作为确保国家粮食安全的基础性要素,其地位和作用不容忽视<sup>[1]</sup>。它不仅是农业生产和粮食供应的直接来源,更是支撑农民生计、促进农村经济发展和维持乡村社会稳定的关键。此外,耕地流转作为一种土地资源再配置的过程,其影响深远,不仅直接关联到粮食生产、农民的经济来源和农村经济的繁荣,还与生态系统的健康、生物多样性的维护以及区域的可持续发展紧密相关。近年来,随着城镇化进程的加快和工业用地的扩张,大量优质耕地被征用转换为非农用途,导致耕地资源流失的现象愈发严重<sup>[2-3]</sup>。这种趋势不仅减少了粮食生产的土地面积,还引发了耕地非粮化、粗放化和边际化等一系列问题<sup>[4]</sup>,这些问题对国家的粮食安全构成了潜在的威胁,并可能进一步加剧食品供应的不稳定性。耕地资源的流失和退化,不仅影响到粮食生产的自给自足,还可能导致农业生态环境恶化,削弱农业系统的抗风险能力,从而对整个社会的稳定和经济的持续增长造成负面影响。因此,耕地资源的合理利用与有效保护已经成为一个亟待解决的重要课题<sup>[5]</sup>。在全球粮食安全日益凸显的背景下,必须从战略高度认识到耕地资源的重要性,采取切实有效的措施,保护和提升耕地质量,确保耕地资源的可持续利用,以

保障国家的粮食安全和社会经济的长期稳定发展。

耕地利用转型基于土地利用转型理论,该理论由 Grainge 基于社会、政策及土地利用变化提出<sup>[6]</sup>,并由学者龙花楼引入中国<sup>[7]</sup>,其是指经济社会发展过程中区域土地利用由一种地类转换为另一种地类的过程。贵州省南北盘江流域位于中国西南部,是珠江流域的关键组成部分,该流域耕地保护对于维持生态平衡和水源地质量至关重要<sup>[8]</sup>。然而由于其独特的地质构造和地貌特征,流域内广泛分布喀斯特地貌使得有限的耕地资源尤为珍贵,流域内湿润的气候虽有利于农业却增加了水土流失风险,多样化的农业类型和丰富的农作物品种资源需要耕地保护来维持其生产多样性和稳定性<sup>[9]</sup>。此外,耕地是农民主要收入来源,对农村经济发展和区域协调发展至关重要。在国家层面,南北盘江流域的耕地保护对粮食安全战略和构建生态安全屏障具有不可替代的作用。因此,保护和管理这一区域的耕地对于当地及国家的农业生产、生态安全和可持续发展具有深远意义。在喀斯特地貌特征显著的山区流域,特殊的地质构造与不断增强的人类活动影响导致耕地系统出现了一系列退化现象,包括景观的破碎化<sup>[10]</sup>、耕地质量的下降<sup>[11]</sup>、土地利用效率的降低<sup>[12]</sup>以及生态承

载力的减弱<sup>[13]</sup>,这些变化加剧了人地之间的矛盾<sup>[14]</sup>。现有研究主要聚焦于喀斯特山区耕地的时空动态变化<sup>[15]</sup>、生态环境影响<sup>[16]</sup>、耕地质量评估<sup>[17]</sup>、耕地保护策略<sup>[18]</sup>、水土流失问题<sup>[19]</sup>以及土壤侵蚀状况等<sup>[20]</sup>方面。然而,以流域为研究单元,针对耕地利用的综合性研究,尤其是定量分析耕地在不同地形梯度区域的流转特征及其变化规律的研究仍相对不足。

基于以上讨论,本文以典型的喀斯特山地流域地貌区——贵州南北盘江为例,从耕地利用转型的显性形态视角构建耕地流转测度模型,揭示喀斯特山地流域耕地流转的特征,并结合流域的海拔、坡度、地形起伏度、地形位等地形因子以及流域相关政策、经济发展情况探究贵州喀斯特山地流域耕地流转的内在规律,旨在为喀斯特山区流域的耕地可持续利用及生态环境保护提供一定科学依据,同时为我国相似地理环境下耕地资源的保护与科学利用提供理论参考。

## 1 研究区概况和数据来源

### 1.1 研究区概况

贵州境内南、北盘江流域地处珠江水系西江上游,海拔高度在1 200 m以上,相对高差400~600 m,大部分地区山高坡陡,地面起伏较大,地形复杂<sup>[21]</sup>。地势自西北向东南递减,以山地、丘陵地貌为主,河谷、盆地、台地等地貌类型亦有所分布。碳酸盐最大厚度占覆盖层厚度的85%,坡度大于25°的面积占比约45%,属于典型喀斯特山地流域<sup>[22]</sup>,流域是西南经济开发与珠江三角洲等南部沿海开发区域之间关键区域,经济地理位置极为突出。海拔高度和坡度对耕地的利用效率具有显著影响,不同地形坡度条件下,耕地面积的分布存在明显差异。然而,由于流域内人口增长、经济贫困,加之地形高峻、坡度陡峭,耕作制度相对落后,陡坡开荒现象严重,导致生态环境明显恶化,引发了一系列生态与经济问题,人地矛盾明显。

### 1.2 数据收集与预处理

在探究南北盘江流域耕地流转的时空特征及其定量识别与解析过程中,本研究收集并使用了以下基础地理数据:2000—2020年的土地利用数据以及数字高程模型(Digital Elevation Model, DEM)数据。土地利用数据来源于中国科学院资源环境科学数据中心(网址: <http://www.resdc.cn>),该数据集的空间分辨率为30 m,覆盖了1980—2020年共11期,该数据集已在众多研究中得到广泛应用。为了满足本研究的需求,依据《土地利用现状分类 GB/T21010-

2007》标准,并结合南北盘江流域的具体情况,对土地利用数据进行重分类,将其划分为耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用地六大类别。DEM数据则来源于地理空间数据云网站(网址: <http://www.gscloud.cn/>),其空间分辨率同样为30 m。通过对DEM数据进行处理,计算研究区的坡度、高程、地形起伏度和地形位数据。将计算所得数据结合矢量土地利用图层,获得不同土地利用类型在不同海拔、坡度、地形起伏度及地形位下的面积分布。

## 2 研究方法

### 2.1 核密度分析

核密度分析(KDE)作为一种非参数统计手段,通过构建连续的密度曲线来描绘随机变量的分布特征<sup>[23]</sup>。其函数表达式为:

$$f(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x-x_i}{h}\right) \quad (1)$$

式中: $f(x)$ 为点处 $x$ 的密度估计; $n$ 为样本量; $h$ 为带宽; $K$ 为核函数; $x_i$ 为样本数据点; $x-x_i$ 表示估计点 $x$ 到 $x_i$ 之间的距离。

### 2.2 耕地利用转移矩阵

土地利用转移矩阵是土地利用变化分析中的一个关键工具,可以清晰展示土地利用的动态变化,主要记录和展示在特定时间段内,不同土地利用类型之间的转换情况。其表达式为:

$$S_{ij} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & \cdots & S_{1n} \\ S_{21} & S_{22} & \cdots & S_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ S_{m1} & S_{m2} & \cdots & S_{mn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中: $S$ 表示耕地面积; $n$ 表示土地利用的类型数; $i, j$ 分别表示转移前后耕地利用类型。

### 2.3 耕地流转地形梯度效应的综合判定模型

地形位是综合表征海拔变化和坡度信息的复合地形因子,能综合反映区域地形条件对土地利用空间格局的影响<sup>[24]</sup>,计算公式为:

$$T = \ln \left[ \left( \frac{E}{E_0} + 1 \right) \times \left( \frac{S}{S_0} + 1 \right) \right] \quad (3)$$

式中: $T$ 为地形位; $E, E_0$ 分别表示任意一点的海拔和该区域内的平均海拔; $S, S_0$ 分别表示任意一点的坡度和该区域内的平均坡度。海拔较高、坡度较陡的区域地形位的数值较大,反之则较小。

单个因子难以全面反映地形特征的复杂性,因此,本研究选取海拔、坡度、地形起伏度和地形位这4个因子,以综合描述地形特征,并定量探讨这些因子对贵州南北盘江流域耕地利用转型的地形梯度影响。贵州南

北盘江流域最低海拔 233 m, 最高海拔 2 856 m, 相对高差大, 因此将流域海拔划分为 233~900 m, 900~1 200 m, 1 200~1 500 m, 1 500~2 000 m 及 2 000 m 以上 5 个级别, 以较好体现耕地分布随海拔变化的特征; 坡度分级参考相关的划分标准<sup>[25]</sup>, 并结合流域实际地形地貌特征, 按 0°~2°, 2°~6°, 6°~15°, 15°~25°, >25° 分为 5 个级别; 参照中国 1:1 000 000 数字地貌制图规范<sup>[26]</sup>, 将地形起伏度划分为 0~30 m, 30~70 m, 70~200 m 及 200~500 m 共 4 个等级; 地形位采用自然间断法进行分级, 共分为 15 级地形位, 之后以每 3 级为一类, 得到 1~5 级地形位等级<sup>[27]</sup>。

### 3 结果与分析

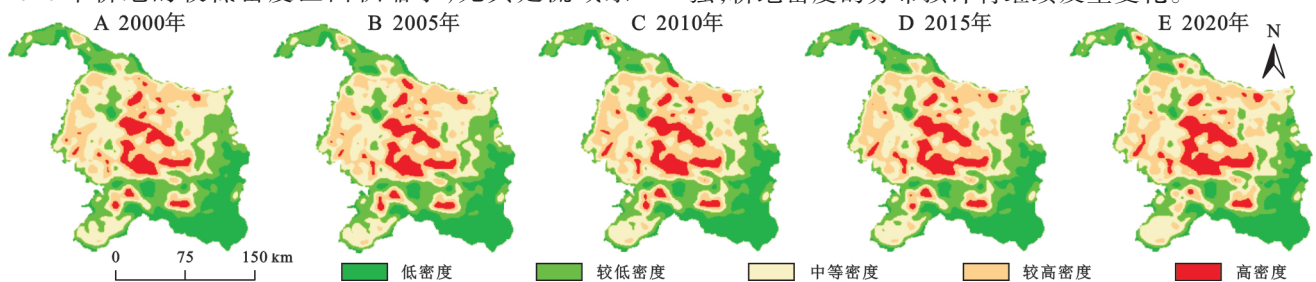
#### 3.1 耕地时空分布和演变分析

3.1.1 耕地空间分布集散动态变化特征 使用核密度分析对南北盘江流域 2000—2020 年耕地分布密度进行计算, 运用自然断点法将其划分为低密度、较低密度、中等密度、较高密度和高密度等 5 个等级(图 1)。

由图 1 与表 1 可知, 在 2000—2020 年间, 南北盘江流域的耕地主要集中在流域的中部, 其空间表现为“中部多、西部较多、东南部少”的分布特点。耕地核密度分布具有明显的差异性, 特别是在流域中部, 耕地核密度斑块分布变化显著, 耕地聚集程度表现出明显增加(图 1)。2000—2005 年耕地整体呈现收缩现象, 在流域的东北部, 耕地密度有所降低。2005—2010 年耕地的较低密度区面积缩小, 尤其是流域东

南部的耕地收缩最为明显。至 2015 年, 南北盘江流域的耕地分布更加集中, 中高密度耕地区域更为密集, 耕地集聚度有所提高。2020 年耕地分布进一步集聚, 中高密度耕地主要向流域中部集中, 耕地连片分布的趋势进一步加强, 流域西南部耕地也有进一步集聚的态势。

2000—2020 年低密度耕地与较低密度耕地的占比有明显下降, 耕地分布有所聚集。2000—2020 年南北盘江流域的耕地密度经历了显著的变化。具体而言, 低密度耕地的面积在 2000—2010 年由 880.29 km<sup>2</sup> 增至 1 039.86 km<sup>2</sup>, 占比从 29.67% 上升至 35.05%, 但随后在 2020 年降至 759.6 km<sup>2</sup>, 占比下降至 25.60%, 显示出先增后减的趋势, 这可能反映了农业结构的调整或土地利用方式的改变。与此相反, 高密度耕地的面积则呈现持续增长的趋势, 从 2000 年的 227.16 km<sup>2</sup> 增至 2020 年的 240.12 km<sup>2</sup>, 占比从 7.66% 增至 8.09%, 这一变化可能与集约化农业的发展及市场需求增加有关。同时, 其他密度级别的耕地面积也呈现出波动, 如较低密度耕地总体上先增后减, 中等密度耕地面积增加但增幅不高, 而较高密度耕地面积略有下降, 暗示了部分地区向更集约化种植模式的转变。总体而言, 研究期间内, 高密度耕地的比例提高, 而低密度耕地的比例下降, 这些变化受多种因素影响, 包括农业技术进步、政策导向和市场需求等。展望未来, 随着经济社会的持续发展和环境保护意识的增强, 耕地密度的分布预计将继续发生变化。



注: 基于标准地图服务系统下载的审图号 GS(2019)3333 号的标准地图制作, 底图未做修改, 下图同。

图 1 2000—2020 年南北盘江流域耕地核密度分布

Fig. 1 Distribution of kernel density of cultivated land in Nanpan and Beipan River Basins (2000—2020)

表 1 2000—2020 年南北盘江流域耕地密度面积占比分布

Table 1 Distribution of cultivated land density by area proportion in Nanpan and Beipan River Basins (2000—2020)

km<sup>2</sup>

耕地密度	2000 年		2005 年		2010 年		2015 年		2020 年	
	面积	占比/%	面积	占比/%	面积	占比/%	面积	占比/%	面积	占比/%
低密度	880.29	29.67	1035.9	34.92	1039.86	35.05	787.77	26.55	759.6	25.60
较低密度	834.77	28.14	755.82	25.48	816.66	27.53	861.66	29.04	825.03	27.81
中密度	594.58	20.04	571.95	19.28	565.56	19.06	622.98	21.00	701.73	23.65
较高密度	429.87	14.49	384.66	12.97	355.05	11.97	440.91	14.86	440.28	14.84
高密度	227.16	7.66	218.34	7.36	189.63	6.39	253.44	8.54	240.12	8.09

3.1.2 不同地形条件耕地分布变化 由于南北盘江独特的喀斯特山地流域地理条件,耕地主要分布在山间盆地、河谷平原及丘陵地带。受地形地势影响,这些耕地常呈现出碎片化、分散化的特点,地块大小不一,形状各异。且耕地在不同海拔、坡度、地形起伏度及地形位范围内耕地分布存在显著差异,2000—2020年南北盘江流域的耕地总面积整体出现明显的缩减(图2)。

2000—2020年南北盘江流域的耕地分布表现出显著的地形特征。具体而言,耕地面积在海拔1 200~1 500 m、坡度6~15°、地形起伏度0~30 m的区域达到峰值。在海拔超过2 000 m、坡度0~2°、地形起伏度200~500 m的区域,耕地面积分布最低。据统计,2000

年该流域耕地面积为6 330.32 km<sup>2</sup>,而到2020年降至6 076.85 km<sup>2</sup>,耕地总面积减少了253.47 km<sup>2</sup>,表现出明显的耕地面积收缩现象(图3)。研究区域位于典型的喀斯特山区,整体海拔较高,在空间上由东南部向西北部海拔渐增呈现阶梯状分布,在不同海拔高度上,耕地面积分布存在显著差异(图3)。耕地在流域西部及中部,海拔900~2 000 m的范围内占据最大比例,同时在此范围内耕地的动态流转也较为突出。在2000—2005年期间,海拔高于2 000 m的耕地略有增加,而其他海拔带的耕地变化较小。然而2005—2020年除海拔1 200~1 500 m的耕地面积基本保持稳定外,其他海拔带的耕地面积均呈现明显收缩趋势。

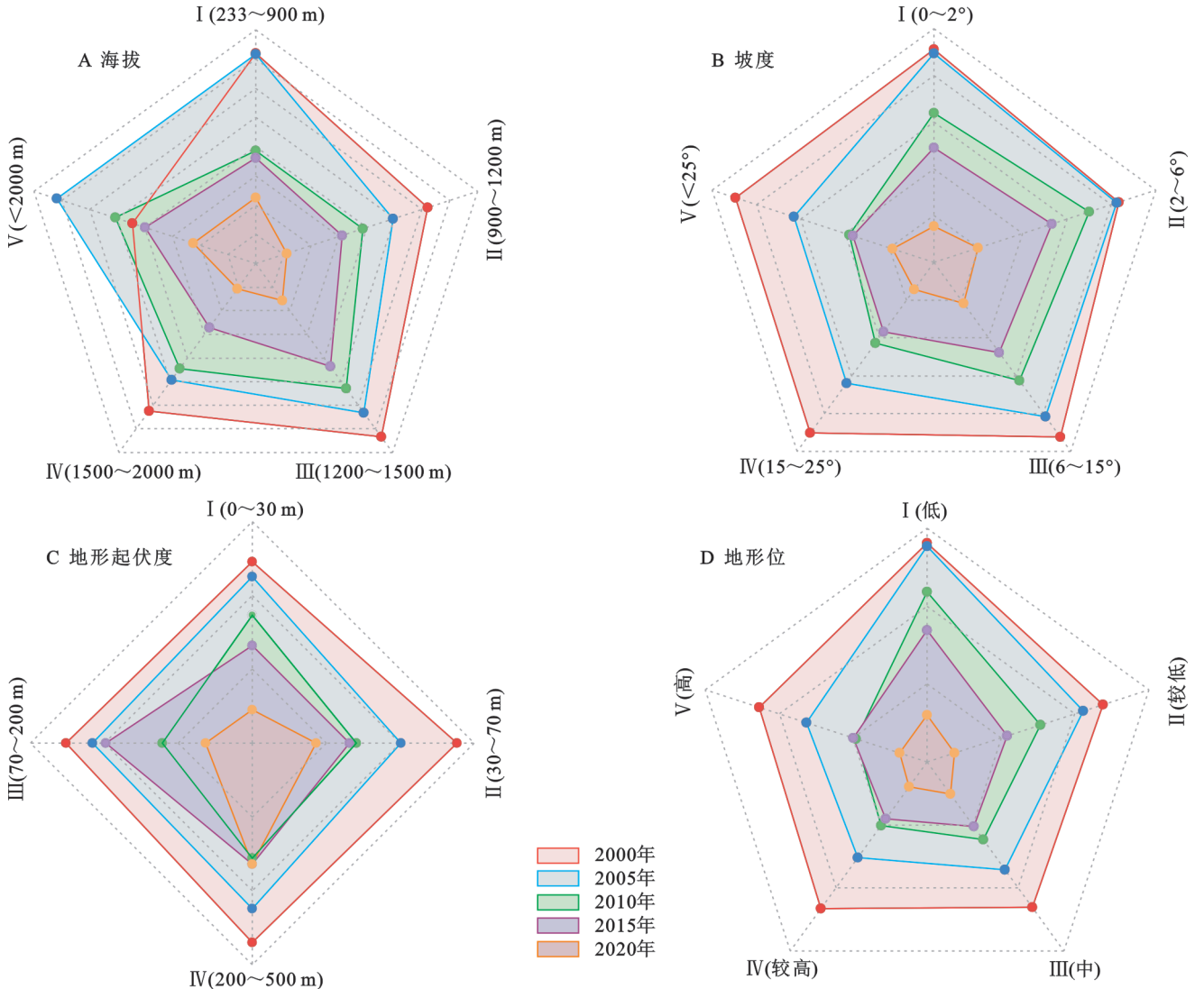


图 2 2000—2020年南北盘江流域耕地动态分布雷达图

Fig. 2 Radar charts of dynamic distribution of cultivated land in Nanpan and Beipan River Basins (2000—2020)

由于南北盘江流域山地广泛分布,自然条件相对较差,平原和盆地较少,整体坡度较大,导致坡耕地占比偏高(图3)。面积占比最高的坡耕地于在坡度>6°的坡地上在流域内各区域分散分布,其中在流域中部6~15°坡度的耕地面积分布最为广泛。

2000—2020年流域内各区域各坡度带的耕地面积均有所减少,除坡度大于25°部分坡耕地减少面积较小外,其余各坡度上的坡耕地均有明显缩减。

地形起伏度是影响喀斯特山地流域耕地分布的重要因素之一。在地势起伏度过低的区域,农作物

的种植和机械作业相对便利,这些区域的耕地分布相对较广(图3)。实验计算结果表明,地形起伏度在0~30 m的区域,耕地分布最为集中,其主要分布于流域内西南部,一级及二级地形起伏度,地形起伏差值在0~30 m的区域,耕地分布最为集中,其主要分布于流域内西北部和中部,其耕地面积约占所有不同地形起伏度耕地总面积的70%。在这一区域,耕地的利用效率较高,但在研究期间,这一区域的耕地退化问题也尤为严重,其退化面积在所有地形起伏度区域中占据了最大比例。

南北盘江流域地形地势复杂,2000—2020年贵州南北盘江流域耕地分布在不同地形梯度条件下呈

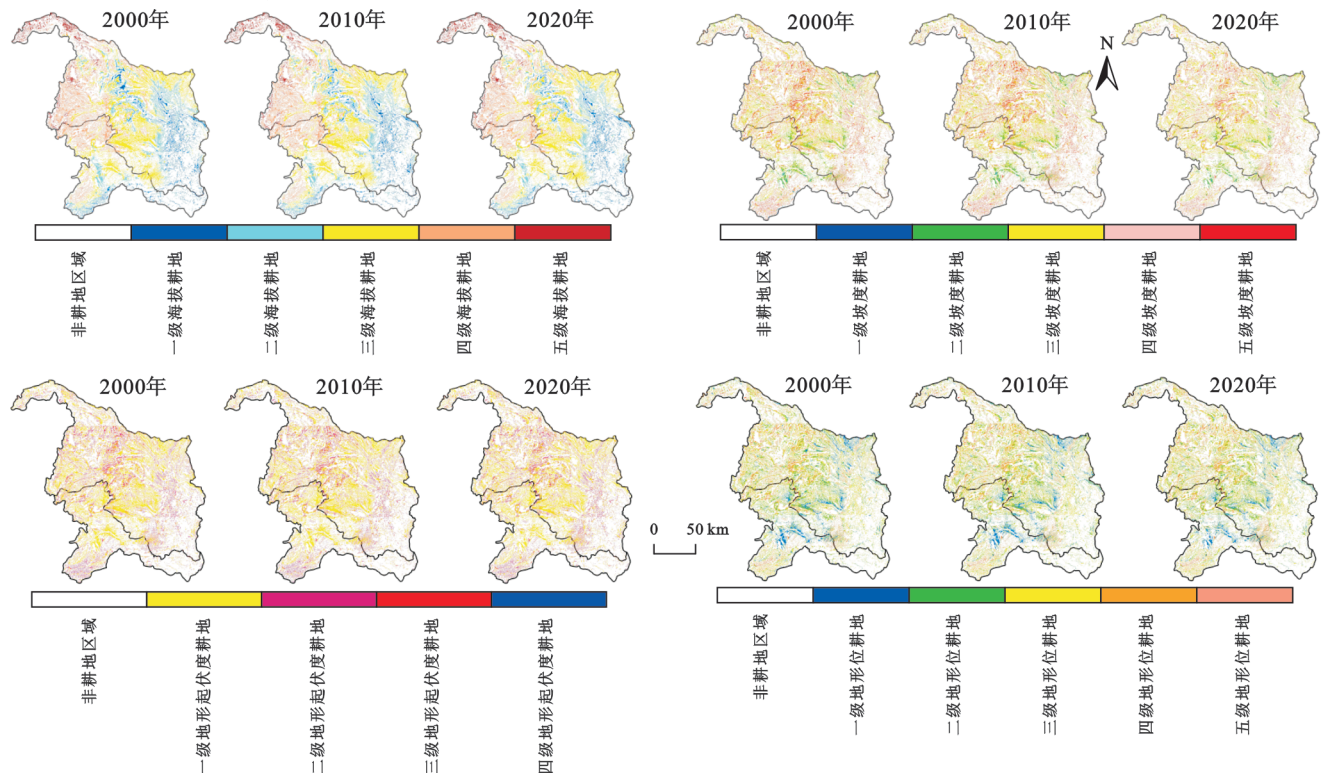


图3 2000—2020年南北盘江流域耕地时空分布图

Fig. 3 Spatiotemporal distribution of cultivated land in Nanpan and Beipan River Basins (2000—2020)

3.1.3 不同地形条件耕地流转动态情况 (1) 不同海拔梯度带耕地利用流转特征。2000—2020年南北盘江流域耕地表现出明显的收缩现象,在不同海拔梯度上整体表现为三级与四级海拔高度上耕地流转动态最为显著(图4),耕地流出部分主要转变为林地与草地,同期耕地的更新流入占比最高的同样也为草地与林地。根据不同海拔等级的耕地转移分析结果(图4),2015—2020年耕地的流转变最为显著(图4D),主要流转为森林—草地—耕地间的流转。在第一至第五级海拔高度上,耕地转移为林地的面积分别为38.37, 57.71, 80.15, 84.68, 24.78 km<sup>2</sup>,在所有海拔等级中,第三级海拔上的耕地转移为草地的面积占比最高,约为110.70 km<sup>2</sup>。同时,耕地的补充流入主

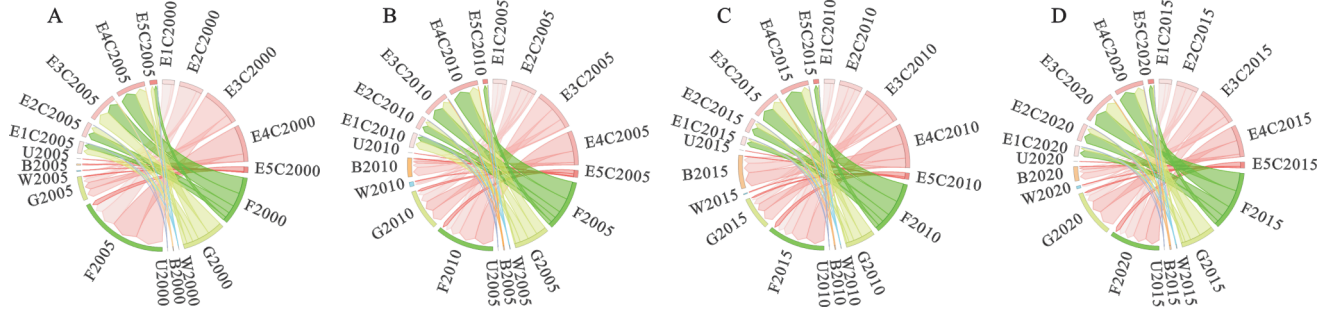
现显著差异,且在不同地形梯度范围内整体呈现收缩趋势(图3)。低等级地形位通常表现为坡度平缓 and 海拔较低,而高等级地形位则表现为坡度陡峭 and 海拔较高,中等地形位可能表现为海拔较高但坡度较小,或海拔较低但坡度较大。在流域内,四级高地地形位耕地分布较少,其余地形位上的耕地分布较为广泛,其中中地形位的耕地面积占比最高。一级地形位耕地主要分布于流域西南部,二级、三级地形位与四级地形位上的耕地在流域中部交替分散分布。2000—2020年各地形位上的耕地面积均呈现退减趋势,其中低地形位的耕地面积收缩最为显著,减少面积占总退减面积的43.55%。

要来源于林地和草地,表明在研究区域内,森林、草地和耕地之间的空间分布可能发生了明显调整。除了森林至草地再到耕地的流转路径外,在2005—2020年期间,各海拔等级上的耕地向建设用地的流转面积也相对较大,特别是在中低海拔区域,耕地向建设用地的转移成为一种明显的趋势。

(2) 不同坡度梯度带耕地利用流转特征。南北盘江流域的喀斯特山地地形复杂,耕地流转随坡度变化呈现出较为明显的分异特征。2000—2020年在陡坡地区,耕地动态流转明显。在不同坡度梯度上表现为第三与第四坡度阶梯上耕地流转动态最为显著(图5),耕地主要与林地及草地间发生流转。2015—2020年耕地的流转变最为显著(图5D),主

要为森林—草地—耕地间的流转,向建设用地的流出面积也相对较大。在第一至第五级坡度高度上,耕地转移为林地的面积分别为 4.52, 23.17, 90.09, 99.13 及 68.79 km<sup>2</sup>。同时期,耕地向草地的流出缩减面积也较大,在第一至第五级坡度高度上,耕地转移为草地的面积分别为 7.98, 32.81, 94.05, 81.09,

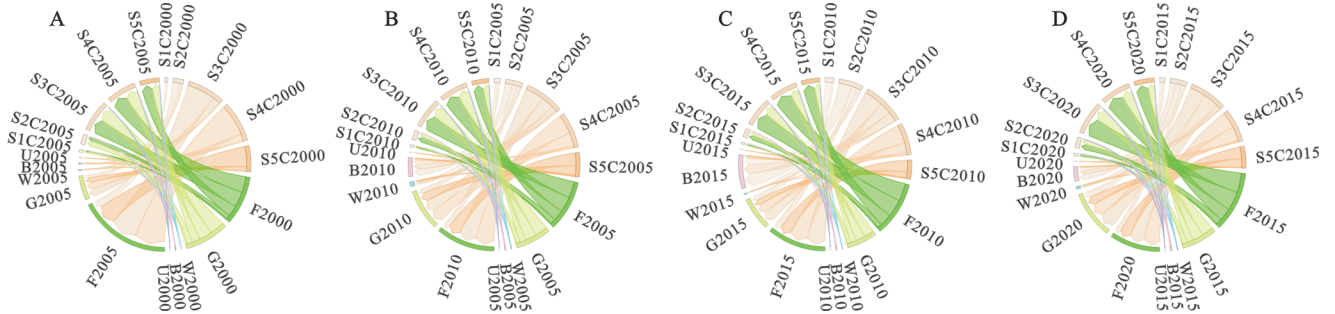
51.34 km<sup>2</sup>。此外,耕地的补充流入主要源自于林地和草地的转换,在 2015—2020 年期间,林地与草地向各坡度等级耕地流入面积约 339.08 km<sup>2</sup> 及 200.62 km<sup>2</sup>,表明在区域内,森林、草地与耕地之间的空间配置可能经历了显著变动。2005—2020 年第一到第三坡度等级上耕地向建设用地转移成为一种明显趋势。



注: E1C, E2C, E3C, E4C, E5C 分别代表一级海拔坡耕地、二级海拔坡耕地、三级海拔坡耕地、四级海拔坡耕地、五级海拔坡耕地, F, G, B, W 和 U 分别代表林地、草地、建设用地、水域和未利用地, 后缀数字表示相应年份。不同色调的线条箭头代表特定时间段内某类别土地的流转方向, 线的宽度则象征着转变的规模, 转变量越大, 线越粗。

图 4 2000—2020 年南北盘江流域不同海拔土地利用弦

Fig. 4 Chord diagrams of land use types at different elevations in Nanpan and Beipan River Basins (2000—2020)



注: S1C, S2C, S3C, S4C, S5C 代表一级坡度坡耕地、二级坡度坡耕地、三级坡度坡耕地、四级坡度坡耕地、五级坡度, F, G, B, W 和 U 分别代表林地、草地、建设用地、水域和未利用地, 后缀数字表示相应年份。不同色调的线条箭头代表特定时间段内某类别土地的流转方向, 线的宽度则象征着转变的规模, 转变量越大, 线越粗。

图 5 2000—2020 年南北盘江流域不同坡度土地利用弦

Fig. 5 Chord diagrams of land use types at different slope gradients in Nanpan and Beipan River Basins (2000—2020)

(3) 不同地形起伏度梯度耕地利用流转特征。在 2000—2020 年期间, 在不同地形起伏度梯度上整体表现为第一、二级地形起伏度梯度上耕地流动动态最为显著(图 6), 耕地流出部分主要转变为林地、草地与建设用地, 同期耕地的更新流入占比最高为草地与林地。2015—2020 年耕地的流转变最为显著(图 6D), 流出面积最大的为第一至第三级地形起伏度梯度上的林地, 面积分别为 164.71, 110.05, 10.91 km<sup>2</sup>。同期, 耕地转为草地面积占比也较多, 在第一及第二梯度上, 其面积分别为 175.77, 83.73 km<sup>2</sup>。在 2015—2020 年期间, 在不同地形起伏度梯度等级上耕地更新流入主要集中在第一与第二梯度上, 以林地和草地的流入面积最多, 在第一、二梯度上, 林地与草地流入耕地面积总计约 335.12 km<sup>2</sup> 与 185.74 km<sup>2</sup>。除 2000—2005 年流域内耕地向建设用地的流入面积不是很大外, 2005—2020 年第一地形起伏度梯度上的耕地均有较明显地向建设用地流出。地势起伏较为平缓的地

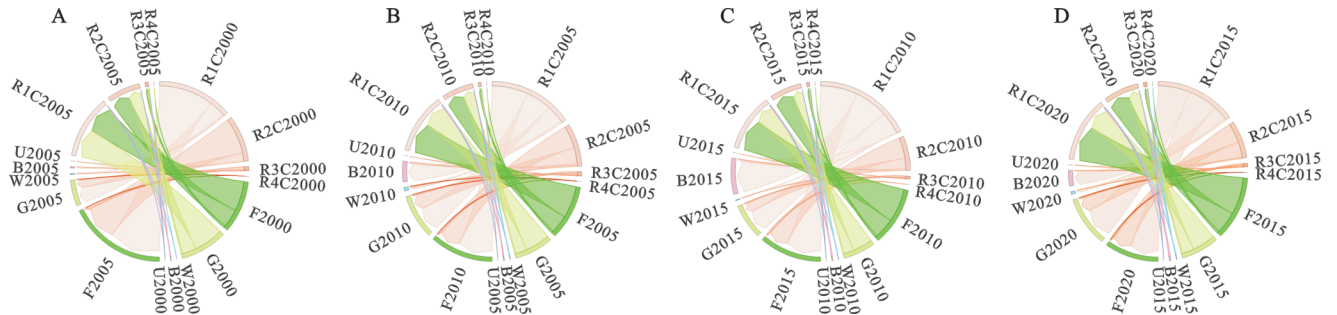
带更适宜人类生产生活, 坡耕地质量相对较好, 建设用地是其主要的转变方向之一。

(4) 不同地形位梯度耕地利用流转特征。2000—2020 年耕地流转的活跃度在不同的地形位梯度上呈现明显差异, 其流动动态在第三级地形位梯度上表现较为突出(图 7)。在这一过程中, 耕地的更新流入主要来源为林地与草地, 耕地的流失转向主要为林地与草地, 除林—草—耕间发生流转外, 其流失在不同地形位梯度上主要表现为建设用地。

在中等地形梯度区域, 由于其地形地势特性, 相对更适宜于人类居住和生活活动, 因此研究区 2000—2020 年在此地形梯度期间耕地动态流转最为明显。根据地形位梯度等级对耕地流转的分析(图 7), 2000—2005 年耕地向林地的流转面积比率最高, 同时林地和草地也显著转化为不同地形位梯度等级的耕地。2005—2020 年耕地与林地、草地间的流转显著, 尤以 2015—2020 年最为剧烈, 其间林地和草地分别向耕

地流转约 339.08 km<sup>2</sup>和 200.62 km<sup>2</sup>,而耕地向林地和草地的流转面积分别约为 285.70 km<sup>2</sup>和 267.27 km<sup>2</sup>,耕地流入面积超过流出部分面积。此外,耕地向建

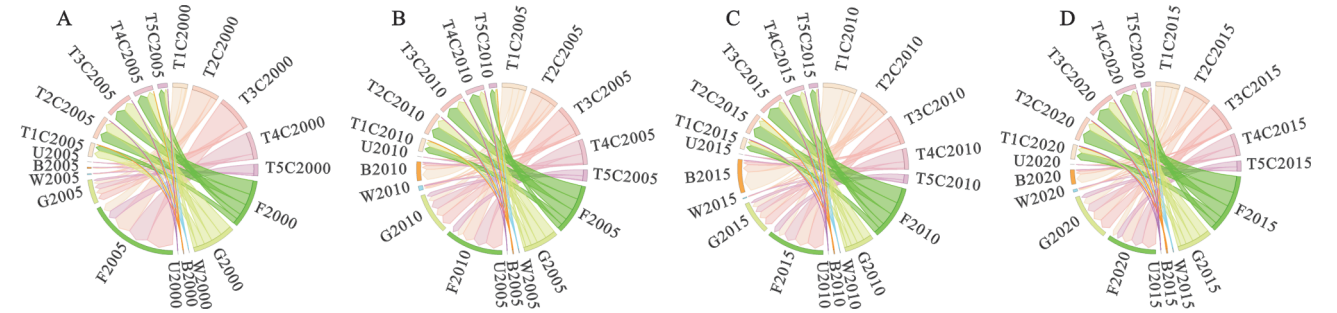
设用地的流转面积达 82.25 km<sup>2</sup>。综合区域耕地流转情况,结果表明各地形位梯度上耕地面积整体有所缩减。



注: R1C, R2C, R3C, R4C, R5C 分别代表一级地形起伏度耕地、二级地形起伏度耕地、三级地形起伏度耕地、四级地形起伏度耕地、五级地形起伏度耕地, F, G, B, W 和 U 分别代表林地、草地、建设用地、水域和未利用地, 后缀数字表示相应年份。不同色调的线条箭头代表特定时间段内某类别土地的流转方向, 线的宽度则象征着转变的规模, 转变量越大, 线越粗。

图 6 2000—2020 年南北盘江流域不同地形起伏度梯度土地利用弦图

Fig. 6 Chord diagrams of land use types at different terrain relief gradients in Nanpan and Beipan River Basins (2000—2020)



注: T1C, T2C, T3C, T4C, T5C 分别代表一级地形位耕地、二级地形位耕地、三级地形位耕地、四级地形位耕地、五级地形位耕地, F, G, B, W 和 U 分别代表林地、草地、建设用地、水域和未利用地, 后缀数字表示相应年份。林地、草地、建设用地、水域和未利用地, 后缀数字表示相应年份。不同色调的线条箭头代表特定时间段内某类别土地的流转方向, 线的宽度则象征着转变的规模, 转变量越大, 线越粗。

图 7 2000—2020 年南北盘江流域不同地形位梯度土地利用弦图

Fig. 7 Chord diagrams of land use types at different topographic positions in Nanpan and Beipan River Basins (2000—2020)

## 4 讨论与结论

### 4.1 讨论

4.1.1 地形梯度对耕地流转的影响 耕地流转的时空演变是一个受多重因素影响的复杂过程, 具有明显的地域特性<sup>[27]</sup>。在喀斯特山地流域地区, 其独特的地质结构和地形特征使得耕地流转的时空动态变得尤为复杂。在地形梯度的制约下, 自然因素、社会经济因素以及区域政策因素交织在一起, 共同塑造了耕地流转的动态过程, 形成了该地区特有的耕地流转模式和特征(图 8)。

地形梯度在喀斯特山地流域耕地流转过程中扮演着关键角色。地形梯度制约着喀斯特山地流域的经济发展、资源承载力以及地区政策实施等, 影响着喀斯特山地流域耕地流转的动态变化。本文及相关研究显示耕地随时间推移倾向于向低地形起伏区域转移, 尤其在低海拔区域, 耕地主要转变为建设用地和林地<sup>[27]</sup>。而在高海拔区域, 耕地主要转换为林地和草地。岩溶槽谷区的平坦坡耕地

逐渐转为居民用地, 而山坡则转变为茶园和林地。低地形位区域的坡耕地减少, 经济林和建设用地增加, 而高地形位区域因人口迁移等因素, 坡耕地减少, 撂荒林草地增加<sup>[18]</sup>。

(1) 自然环境因素。喀斯特地貌的特殊自然条件是耕地流转动态变化的基础。地形地势的深刻影响在海拔较高但地形坡度平缓的区域, 以及地形坡度较大但海拔较低的地区尤为突出。耕地流转在坡度介于 15°~25°、海拔位于 1 200~2 000 m 的区域最为显著。在高海拔区域, 尽管气候条件严酷, 平缓坡度使得土地开垦成为可能, 而在低海拔陡坡区域, 较好的水文气候条件促进了农业多样化经营。

(2) 社会经济因素。社会经济条件是驱动耕地变化的关键力量<sup>[15]</sup>。在喀斯特山地流域, 人地矛盾突出, 通过诱导性生产替代策略促进坡耕地转型。人口增长加剧了耕地开垦压力, 而经济发展水平影响着农民的收入和产业结构调整。城市扩张导致低地形位耕地被建设用地占用, 经济增长成为推动耕地流转的关键因素。

(3) 区域政策因素。政策在坡耕地演变中起到指导和限制作用<sup>[28]</sup>。退耕还林还草、石漠化整治、高标准农田建设等政策促进了农村人口向城镇转移,导致高地形位坡耕地退出农业生产。政策引导下的水土保持规划和生态建设管理,加速了耕地资源的优化配置,对坡耕地的流转和演变产生了深远影响。

在喀斯特山地流域地形梯度的显著影响下,不同地形位上的坡耕地流转呈现出显著的差异化演变路

径:低地形位的坡耕地主要经历了“产业结构调整—耕地流转”的演变过程,其中农业多样化经营模式的推广和土地利用效率的提升构成了主要驱动力。中地形位的耕地流转则主要遵循“政策推动—劳动力迁移—耕地流转”的路径,政策导向和人口迁移在此过程中发挥了关键作用。而高地形位的坡耕地则主要通过“资源禀赋—坡耕地撂荒”的路径演变,资源限制和环境脆弱性共同导致了耕地流转变化。

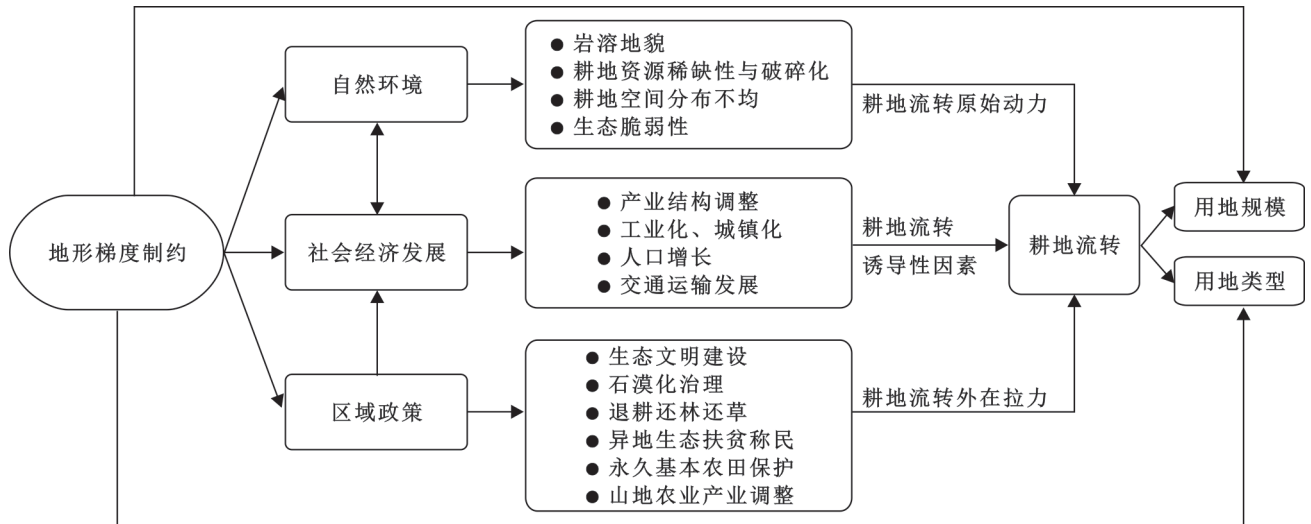


图 8 喀斯特山地流域耕地流转驱动模型

Fig. 8 Driving model of cultivated land transformation in river basins of karst mountainous areas

4.1.2 耕地流转的生态效益与社会经济效益 喀斯特山地流域因其独特的地质地貌条件,耕地资源在空间分布上呈现出稀缺性、破碎化及分布不均的特征,其耕地资源的动态流转不仅显著提升土地利用效率,还通过生态覆盖的演替性恢复,带来了显著的生态效益和社会经济效益。

(1) 生态效益。耕地流转通过地类间的空间置换,将零散地块集中连片,实现了土地资源的合理配置与规模经营。据统计,喀斯特山地流域内耕地集中连片后,机械化作业率提高了约 30%,农业生产成本降低了 15%~20%,农业产值提升了 25% 以上<sup>[29]</sup>。这种土地利用效率的提升,不仅优化了农业生产结构,还为区域农业现代化奠定了基础。耕地流转在一定程度上缓解了过度开垦和乱占耕地的现象,促进了生态环境的保护与恢复。通过实施生态补偿政策,引导农户采用生态友好型种植方式(如梯田耕作、混农林业等),土壤侵蚀率降低了约 40%,水资源利用率提高了约 20%<sup>[30]</sup>。此外,高海拔和陡坡区域的耕地退耕还林还草,显著增加了植被覆盖率,减轻了喀斯特山地流域的水土流失和石漠化问题。

(2) 社会经济效益。耕地流转推动了农业产业结构的优化升级。在较高海拔和陡坡区域,部分不适宜耕作的坡耕地转向高效益产业,如经济林种植

和生态养殖业。据统计,喀斯特山地流域内经济林面积的增加使得农户年均收入提高了 20%~30%。这种产业结构调整不仅提高了农民收入,还促进了农村经济的多元化发展。耕地流转隐性地带动了农村劳动力的转移,促进了城乡一体化发展。通过土地流转,农户获得了稳定的租金收入,部分劳动力转向非农产业,农村居民人均可支配收入显著增长。此外,耕地流转还推动了农村基础设施的改善和社会服务的提升,进一步促进了社会和谐与稳定。

喀斯特山地流域的地形梯度效应显著影响了耕地流转的时空演变。低地形位区域由于地势平缓、交通便利,耕地流转主要表现为向经济效益更高的作物转型;中地形位区域受政策推动和劳动力迁移的影响,耕地流转以退耕还林和生态修复为主;而高地形位区域则因资源禀赋限制和环境脆弱性,耕地流转多表现为撂荒和生态恢复。这种差异化的流转特征充分体现了地形梯度对耕地利用模式的深刻影响。

4.1.3 政策建议与对策 在南北盘江这一喀斯特山地流域,耕地的动态流转受到多种因素的共同作用,提高山地流域内土地利用合理性,加强区域内部土壤保水能力,减少山地区域水土流失,持续探索一种既能实现经济效益又能保护生态环境的坡耕地演变模式,以促进生态与经济的双重提升。为充分发挥

耕地流转的正面效应,建议采取以下措施:

在南北盘江流域的中低地形位区域,针对坡耕地的利用,应采取积极引导策略,促进其向经济效益更显著的作物转型。例如大力推广经果林种植,扩大其规模,选择适应当地土壤和气候条件的水果树种,提升果品产量和品质,提高农户经济收益,并辅以政府政策支持、税收优惠、补贴发放和技术指导;同时保障永久基本农田,合理安排粮食作物种植面积,确保国家粮食安全;在考虑生态环境承载能力的基础上实施生态友好型农业技术,如等高耕作、梯田建设,减少水土流失,保护土壤肥力;通过政策支持和技术指导,优化农业产业结构,改良创新农业技术,提升农产品市场竞争力,加强农业知识培训,提高农户对现代农业技术的掌握和应用能力,提高土地利用效率,实现农业可持续发展。

在中高地形位区域,喀斯特山地流域土地资源合理利用的关键在于坚决巩固退耕还林还草的成果,并严格禁止新开垦坡耕地的行为,以防止生态环境的进一步退化。此举不仅有助于保护土地资源,而且对于保障生态环境的持续改善,为后代营造绿色家园具有重要意义。为了激励农户积极参与生态保护,建议实施生态补偿机制,通过经济补偿和政策扶持等手段,鼓励农户投身于生态修复项目,如植树造林和草地恢复,以促进生态系统的恢复与保护。生态补偿机制的建立,不仅能够保障农户的经济利益,同时也能提升他们保护生态环境的自觉性和积极性。此外,为确保生态修复措施的有效执行和生态效益的充分发挥,有必要加强对退耕还林还草成果的监管与评估。通过定期的监测和评估,可以及时发现并解决问题,适时调整策略,从而确保中高地形位区域生态环境的长期有效保护。综上所述,采取这些综合措施,有望在中高地形位区域实现生态环境与农业生产的和谐共生,为区域的可持续发展奠定坚实的基础。

此外,在喀斯特山地流域发展生态型农业。在发展经济的同时,注重生态环境保护,推动生态型农业发展,确保农业生态系统可持续发展,满足国家对生态环境的高标准要求。通过推广生态农业技术,如有机农业和混农林业,实现经济效益与生态效益的双赢。

#### 4.2 结论

本文通过构建山地流域耕地利用流转模型,结合海拔、坡度、地形起伏度及地形位等地形因子,对典型喀斯特山地流域——贵州南北盘江流域2000—2020年耕地在不同地形地势梯度上的时空流转分布特征及地形梯度效应分析探讨,主要得出以下结论:

(1) 在2000—2020年这20年间,南北盘江流域

的耕地空间分布呈现出显著的特点,即“中部多、西部较多、东南部少”的空间分布格局。从耕地核密度分布来看,南北盘江流域的耕地呈现出团状分布的特征,这种分布模式表明,耕地主要集中在某些特定区域。在这些区域中,耕地核密度较高,显示出农业活动的高集中度。南北盘江流域的耕地在2000—2020年面积呈现出缩减的趋势。这一现象可能与多种因素有关,如城市化进程加快、生态环境保护政策实施、农业产业结构调整等。

(2) 2000—2020年贵州南北盘江流域内耕地整体呈现收缩,耕地空间结构调整明显,主要在林地—草地—耕地间发生动态流转,耕地转出部分主要调整为建设用地、林地和草地,可能主要受退耕还林、石漠化治理等政策及人口增长、城市化进程加快的影响。

(3) 贵州南北盘江流域耕地整体较为集中分布于海拔第Ⅲ梯度(1 200~1 500 m)、坡度第Ⅲ—Ⅳ梯度( $6^{\circ}$ ~ $25^{\circ}$ )、地形起伏度第Ⅰ梯度(0~30 m)的区域。2000—2020年流域内耕地在不同地形梯度上整体呈现收缩趋势,耕地有向中高海拔、缓坡、低地形起伏及中高地形位区域转移趋势,耕地在空间上倾向逐步聚集。自然因素、社会经济因素相互作用对流域内耕地的时空动态流转影响最大,各因素在地形梯度上的作用表现存在明显的差异性。

#### 参考文献(References):

- [1] 罗翔,曾菊新,朱媛媛,等.谁来养活中国:耕地压力在粮食安全中的作用及解释[J].地理研究,2016,35(12):2216-2226.  
Luo X, Zeng J X, Zhu Y Y, et al. Who will feed China: The role and explanation of China's farmland pressure in food security[J]. Geographical Research, 2016, 35(12): 2216-2226.
- [2] Martellozzo F, Ramankutty N, Hall R J, et al. Urbanization and the loss of prime farmland: a case study in the Calgary-Edmonton corridor of Alberta [J]. Regional Environmental Change, 2015, 15(5): 881-893.
- [3] 范泽孟,李赛博.1990年来中国城镇建设用地占用耕地的效率和驱动机理时空分析[J].生态学报,2021,41(1):374-387.  
Fan Z M, Li S B. Spatio-temporal analysis of the economic benefit and driving mechanism of urban build-up land occupying the cultivated land in China since 1990 [J]. Acta Ecologica Sinica, 2021, 41(1): 374-387.
- [4] Long H L, Tu S S, Ge D Z, et al. The allocation and management of critical resources in rural China under restructuring: Problems and prospects [J]. Journal of Rural Studies, 2016, 47: 392-412.
- [5] 杜国明,薛濡壕,于凤荣.耕地集约利用转型的理论解析

- [J].资源科学,2022,44(3):425-435.
- Du G M, Xue R H, Yu F R. Theoretical analysis of farmland intensive use transition[J]. Resources Science, 2022,44(3):425-435.
- [6] Grainger A. National land use morphology: Patterns and possibilities[J]. Geography, 1995,80(3):235-246.
- [7] 龙花楼.论土地利用转型与乡村转型发展[J].地理科学进展,2012,31(2):131-138.
- Long H L. Land use transition and rural transformation development[J]. Progress in Geography, 2012, 31(2): 131-138.
- [8] 安和平,金小麒.南、北盘江流域(贵州部分)土地利用现状与土地退化研究[J].贵州林业科技,1997,25(3):12-17.
- An H P, Jin X Q. Study on the present situation of land use and land degradation in the south and north Panjiang River basins (part of Guizhou)[J]. Guizhou Forestry Science and Technology, 1997,25(3):12-17.
- [9] 苏新宇,吴镇宇,刘霞,等.基于CSLE模型的区域水土流失风险分析[J].中国水土保持科学(中英文),2021,19(5):27-36.
- Su X Y, Wu Z Y, Liu X, et al. Regional soil erosion risk analysis based on CSLE model[J]. Science of Soil and Water Conservation, 2021,19(5):27-36.
- [10] 彭文君,舒英格.喀斯特山区县域耕地景观生态安全及演变过程[J].生态学报,2018,38(3):852-865.
- Peng W J, Shu Y G. Analysis of landscape ecological security and cultivated land evolution in the Karst mountain area[J]. Acta Ecologica Sinica, 2018,38(3):852-865.
- [11] 任红玉,赵宇鸾,李秀彬,等.基于不同分辨率影像的山区耕地细碎化评价及其尺度效应[J].地理研究,2020,39(6):1283-1294.
- Ren H Y, Zhao Y L, Li X B, et al. Cultivated land fragmentation in mountainous areas based on different resolution images and its scale effects[J]. Geographical Research, 2020,39(6):1283-1294.
- [12] 祖健,张蚌蚌,孔祥斌.西南山地丘陵区耕地细碎化特征及其利用效率:以贵州省草海村为例[J].中国农业大学学报,2016,21(1):104-113.
- Zu J, Zhang B B, Kong X B. Characteristic of cultivated land fragmentation and land use efficiency in southwest mountainous region: A case study of Caohai Village in Guizhou Province[J]. Journal of China Agricultural University, 2016,21(1):104-113.
- [13] 王雅敬,谢炳庚,李晓青,等.喀斯特地区耕地生态承载力供需平衡[J].生态学报,2017,37(21):7030-7038.
- Wang Y J, Xie B G, Li X Q, et al. Ecosystem carrying capacity balance of the Karst region in China, based on the supply and demand of cultivated land[J]. Acta Ecologica Sinica, 2017,37(21):7030-7038.
- [14] 李阳兵,罗光杰,白晓永,等.典型峰丛洼地耕地、聚落及其与喀斯特石漠化的相互关系:案例研究[J].生态学报,2014,34(9):2195-2207.
- Li Y B, Luo G J, Bai X Y, et al. The correlations among arable land, settlement and Karst rocky desertification cases study based on typical peak-cluster depression[J]. Acta Ecologica Sinica, 2014,34(9):2195-2207.
- [15] 张扬,周忠发,黄登红,等.喀斯特山区耕地时空演变与影响因子分析[J].农业工程学报,2020,36(22):266-275.
- Zhang Y, Zhou Z F, Huang D H, et al. Spatio-temporal evolution of cultivated land and analysis of influence factors in Karst mountainous areas[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2020, 36(22):266-275.
- [16] Rao E M, Xiao Y, Ouyang Z Y, et al. Changes in ecosystem service of soil conservation between 2000 and 2010 and its driving factors in southwestern China[J]. Chinese Geographical Science, 2016,26(2):165-173.
- [17] 陈光银.基于样地法的喀斯特山区县域耕地质量等别变化监测评价:以重庆市秀山县为例[J].水土保持通报,2017,37(2):126-130.
- Chen G Y. Monitoring and evaluation on level changes of cultivated land quality in Karst Mountain Counties based on sample plot method: a case study at Xiushan County of Chongqing City [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017,37(2):126-130.
- [18] 余霜,李光,冉瑞平.基于Logistic-ISM模型的喀斯特地区农户耕地保护行为影响因素分析[J].地理与地理信息科学,2014,30(3):140-144,149.
- Yu S, Li G, Ran R P. Factors affecting household behavior to protect cultivated land based on logistic-ISM model in Karst area: a case study in Guizhou Province [J]. Geography and Geo-Information Science, 2014,30(3):140-144,149.
- [19] 朱青,王兆骞,尹迪信.贵州坡耕地水土保持措施效益研究[J].自然资源学报,2008,23(2):219-229.
- Zhu Q, Wang Z Q, Yin D X. A study on effects of soil and water conservation measurements on sloping land in Guizhou [J]. Journal of Natural Resources, 2008, 23(2):219-229.
- [20] 史东梅,金慧芳,蒋光毅.土壤侵蚀对坡耕地耕层质量退化作用及其评价趋势展望[J].农业工程学报,2019,35(18):118-126.
- Shi D M, Jin H F, Jiang G Y. Degradation effect of soil erosion on tillage-layer quality of slope farmland and its evaluation trend [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2019,35(18):118-126.
- [21] 安和平.南、北盘江流域(贵州境内)土地利用现状遥感调查和分析[J].贵州地质,1996,13(4):344-349.
- An H P. Remot sensing survey and analysis of current land utilization in the drainage area of Nanpanjiang and Baipanjiang rivers in Guizhou Province [J]. Guizhou Geology, 1996,13(4):344-349.
- [22] 孙泉忠,宁茂岐.贵州省南北盘江石灰岩地区水土保持工程对农村社会经济的影响[J].贵州林业科技,2016,

- 44(3):35-38,45.  
Sun Q Z, Ning M Q. Effect of soil and water conservation engineering on rural social economy in limestone area of north and south pan river region, Guizhou[J]. Guizhou Forestry Science and Technology, 2016, 44(3):35-38,45.
- [23] 陈万旭,李江风,曾杰,等.中国土地利用变化生态环境效应的空间分异性与形成机理[J].地理研究,2019,38(9):2173-2187.  
Chen W X, Li J F, Zeng J, et al. Spatial heterogeneity and formation mechanism of eco-environmental effect of land use change in China[J]. Geographical Research, 2019,38(9):2173-2187.
- [24] Li M Y, Zhou Y, Xiao P N, et al. Evolution of habitat quality and its topographic gradient effect in northwest Hubei province from 2000 to 2020 based on the InVEST model[J]. Land, 2021,10(8):857.
- [25] Chong G S, Hai Y, Zheng H, et al. Characteristics of changes in Karst rocky desertification in southern and western China and driving mechanisms [J]. Chinese Geographical Science, 2021,31(6):1082-1096.
- [26] Cheng W M, Zhou C H, Chai H X, et al. Research and compilation of the geomorphologic atlas of the people's republic of China (1: 1 000 000) [J]. Journal of Geographical Sciences, 2011,21(1):89-100.
- [27] 余李敏,李阳兵,罗光杰,等.贵州中部岩溶山区坡耕地时空演变特征及驱动因素分析[J].农业工程学报,2022,38(11):289-298.  
Yu L M, Li Y B, Luo G J, et al. Spatiotemporal evolution and driving factors of slope cultivated land in Karst mountainous areas of central Guizhou Province, China [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2022,38(11):289-298.
- [28] Liang X Y, Jin X B, Yang X H, et al. Exploring cultivated land evolution in mountainous areas of Southwest China, an empirical study of developments since the 1980s[J]. Land Degradation & Development, 2021,32(2):546-558.
- [29] 谷保静,段佳堃,任琛琛,等.规模化经营推动中国农业绿色发展[J].农业资源与环境学报,2021,38(5):709-715.  
Gu B J, Duan J K, Ren C C, et al. Large-scale farming promotes agricultural green development in China [J]. Journal of Agricultural Resources and Environment, 2021,38(5):709-715.
- [30] 石晓艺.我国耕地生态保护补偿制度优化研究[J].合作经济与科技,2024(17):190-192.  
Shi X Y. Optimization Research on the Ecological Protection Compensation System for Cultivated Land in China [J]. Co-Operative Economy & Science, 2024(17):190-192.
- 
- (上接第 390 页)
- [18] 柯善淦,崔海莹,卢新海,等.耕地利用绿色转型的时空格局及其驱动机制研究:以湖北省为例[J].中国土地科学,2021,35(12):64-74.  
Ke S G, Cui H Y, Lu X H, et al. Research on the spatial-temporal pattern and mechanisms of green transition of farmland use: a case of Hubei Province [J]. China Land Science, 2021,35(12):64-74.
- [19] 张笑楠,王克林,张伟,等.桂西北喀斯特区域生态环境脆弱性[J].生态学报,2009,29(2):749-757.  
Zhang X N, Wang K L, Zhang W, et al. The quantitative assessment of eco-environment vulnerability in karst regions of Northwest Guangxi[J]. Acta Ecologica Sinica, 2009,29(2):749-757.
- [20] 史洋洋,吕晓,郭贯成,等.基于GIS和空间计量的耕地利用转型时空格局及其驱动机制研究[J].中国土地科学,2019,33(11):51-60.  
Shi Y Y, Lyu X, Guo G C, et al. Temporal-spatial pattern and driving mechanism of cultivated land use transition based on GIS and spatial econometric model [J]. China Land Science, 2019,33(11):51-60.
- [21] 宋小青,李心怡.区域耕地利用功能转型的理论解释与实证[J].地理学报,2019,74(5):992-1010.  
Song X Q, Li X Y. Theoretical explanation and case study of regional cultivated land use function transition [J]. Acta Geographica Sinica, 2019,74(5):992-1010.
- [22] 司锦锦,王世东.基于组合赋权法的焦作矿区生态安全评价与时空分异[J].水土保持研究,2021,28(3):348-354.  
Si J J, Wang S D. Ecological security evaluation and spatiotemporal differentiation of Jiaozuo mining area based on combined weighting method [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2021,28(3):348-354.
- [23] Fischer G, Heilig G K. Population momentum and the demand on land and water resources [J]. Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B: Biological Sciences, 1997,352(1356):869-889.
- [24] 戈大专,龙花楼,杨忍.中国耕地利用转型格局及驱动因素研究:基于人均耕地面积视角[J].资源科学,2018,40(2):273-283.  
Ge D Z, Long H L, Yang R. The pattern and mechanism of farmland transition in China from the perspective of per capita farmland area [J]. Resources Science, 2018,40(2):273-283.
- [25] Liu Y Q, Long H L. Land use transitions and their dynamic mechanism: the case of the Huang-Huai-Hai Plain [J]. Journal of Geographical Sciences, 2016, 26(5):515-530.