

中国西南山区稻作梯田的时空演化 以苗岭西江镇和加榜乡为例

余梦¹, 李阳兵¹, 罗光杰², 张涵¹, 徐倩³, 余李敏¹

(1. 贵州师范大学地理与环境科学学院, 贵阳 550025; 2. 贵州师范学院 贵州省流域地理国情监测重点实验室, 贵阳 550018; 3. 贵州师范大学国际旅游文化学院, 贵阳 550025)

摘要: 稻作梯田是中国南方山区重要的土地利用方式, 分析其时空变化规律, 对区域土地资源利用、生态环境保护以及农村农业可持续发展具有重要意义。本文基于多源数据获取苗岭山区西江镇(1977—2020年)和加榜乡(1962—2020年)的土地利用分类图, 运用景观指数、空间分析和样带分析等方法, 研究稻作梯田时空格局与功能的演化特征, 以揭示稻田利用与人地关系演变过程及其特殊性变化。结果表明: ① 研究区稻田规模长期稳定发展, 但近年整体规模有所缩小, 斑块破碎化趋势逐渐凸显。在2000年前稻田分布表现出同时向高、低海拔及微坡至急陡坡扩展, 2000年后呈反向收缩趋势, 种植强度呈相同的变化规律。② 研究区稻田核密度的空间分布, 表现出小规模高密度集聚与大规模中低密度分布并存的格局。自2000年以来, 两地稻田核密度以小幅变化为主, 有明显的“东北-西南”向分布特性。③ 在生产用地导向阶段, 大面积林地转为稻田; 在生态-经济复合用地导向阶段, 稻田规模保持稳定。④ 聚田比指数显示研究区“人多田少型”占比不断上升, 这表明部分地区人地矛盾日渐凸显, 以西江镇的变化最为强烈。⑤ 依据“林-田-村-河”四素同构的样带分析, 稻田功能经历了“生产-生态-经济”的演变过程, 与旅游业发展关系密切。研究结果较全面反映了研究区稻作梯田的时空演化特征, 有助于促进山区传统稻田资源优化利用和保护传承, 在一定程度上为乡村振兴发展提供借鉴。

关键词: 稻作梯田; 时空演化; 景观生态; 苗岭山区; 黔东南

DOI: 10.11821/dlyj020210841

1 引言

梯田作为一种特殊的土地利用方式, 能极大提高山区土地生产力, 保障区域的粮食安全。中国因生存压力及山多平地少的原因, 形成了历史悠久的南水(稻作)北旱(旱作)梯田^[1,2]。其中, 稻作梯田作为重要的农业景观, 不仅具有较高的生产力和视觉吸引力, 还具有水土保持、生物多样性和美学等价值^[3,4], 同时多年的梯田农业管理经验和农耕文化对当今农业的可持续发展具有重要的借鉴意义^[5]。

在20世纪中期就有大量学者对国内外著名的古梯田展开了研究, 如国内著名的云南哈尼梯田、广西龙脊梯田、湖南紫鹊界梯田, 国外菲律宾伊富高梯田和巴厘岛梯田等。这些研究总体上围绕“梯田空间格局与生态系统”^[6-12]、“梯田农耕文化遗产”^[13-16]、“梯田景观旅游及可持续发展”^[17-21]等主题展开。针对梯田土地性质的研究, 多关注大尺度、

收稿日期: 2021-09-17; 录用日期: 2021-12-27

基金项目: 国家自然科学基金项目(42061035); 贵州省科技计划项目(黔科合平台人才[2021]A22)

作者简介: 余梦(1997-), 女, 贵州铜仁人, 硕士研究生, 主要研究方向为山地土地退化。

E-mail: yu_mengyuan219@163.com

通讯作者: 李阳兵(1968-), 男, 重庆潼南人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为山地人地关系与景观生态变迁。E-mail: li-yapin@sohu.com

典型区域梯田土地信息提取^[22]、空间分布格局^[23]、土地利用/覆被动态变化^[24,25]及驱动因素^[26]等方面展开。但基于小尺度山区梯田土地利用时空演化的过程,探究山区梯田生态系统中的多种人地关系同山区乡村发展的研究仍不够系统深入,需要深度挖掘。

世界各地的土地利用变化趋势总体上是由生计农业及小农用地向规模化的集约农业用地转型^[27]。受社会发展、劳动移民等因素驱动,中国的农业土地利用变化存在着集约化、非集约化两种类型^[28],其中山区土地利用转型演变呈现耕地收缩、林地恢复性增长的显性变化,及耕地边际化、生态功能恢复的隐性变化特征^[29]。在全球乡村衰退过程中,中国乡村自改革开放以来,受全球化、城市化和工业化的影响,乡村地区人口流失、产业转型及土地利用结构等各要素发生快速变化^[30,31]。长期因劳动力短缺、田地耕作固有困难及维护修缮成本高等因素,导致干旱经济作物取代水稻作物^[32],现代化、工业化景观取代传统农业景观,稻田景观遭受废弃、退化^[1,33-35];同时集约化农业中化肥、农药等的使用进一步加剧农业生产潜力和生态系统的弱化^[36],不断促使农民向兼农甚至非农转变,乡村稳定的自然和社会文化生态系统遭受巨大冲击,致使发展缓慢滞后。在经济发展显著落后的中国南方少数民族山区,传统的稻作梯田农业如何推动乡村发展成为一个重要的议题。因此关注其土地利用转型的特点,通过改变土地利用方式,充分整合农村、农业及土地利用的多功能性,合理管理有限的土地资源,对改善乡村面貌、实现乡村振兴具有一定的理论价值和意义^[37]。

中国南方少数民族聚居地——黔东南苗岭山区,广泛分布着稻作梯田,于1997年被联合国教科文组织列为世界十大“返璞归真,回归自然”的旅游胜地之一^[38]。因此,本文以苗岭山区典型乡镇(西江镇与加榜乡)的稻作梯田为例,基于多年土地利用动态变化与转型的背景,分析长时段内该区域稻田的时空分布格局与过程演化特征,并从“四素同构”的生态体系探讨人与自然相耦合的稻田生态系统功能与景观格局转变对当地生态与经济的影响,揭示南方山区稻作梯田长时间序列尺度的时空演变规律。为反映区域人地关系变化,以及优化利用土地资源,实现山区可持续发展,也为少数民族山区土地利用管理、景观发展等提供理论参考。

2 研究区概况

研究区为贵州省黔东南苗族侗族自治州所辖的两个乡镇,一个是雷公山腹地内的西江镇(26°23'N~26°34' N、108°5'E~108°14'E),面积为178.98 km²;另一个是月亮山腹地内的加榜乡(25°26'N~25°38'N、108°23'E~108°37'E),面积为216.96 km²(图1)。因研究所需,西江镇使用1992年撤区并乡建镇时的行政边界。两地均为亚热带季风气候区,降雨充足,境内林地、河流资源丰富,以山地为主。西江镇地势东南高西北低,镇政府距县城37 km;加榜乡境内多为狭窄山谷的中山景观,乡政府距县城123 km。截至2019年末,西江镇户籍人口为2.8万人,加榜乡户籍人口为1.1万人;两地均为多民族聚集区,苗族人口分别占两地总人口的89%和73%。西江镇因远近闻名的“千户苗寨吊脚楼”于2005年被列入首批国家级非物质文化遗产名录,加榜乡以其古老的“稻鱼鸭系统”于2011年入选“全球重要农业文化遗产”。

3 研究思路与研究方法

3.1 研究思路

黔东南苗岭山区的原住民,在山高坡陡、谷深河长的自然环境下建造了稻作梯田,

并形成了世代相传的耕作实践方式和区域“森林-河流-稻田-村落”管理维护的土著文化知识体系^[39]。而因自然环境千差万别、经济发展水平各异的地域差异，造就了各地土地利用模式和土地利用变化转型的复杂性和差异性。从整体看，研究区的稻作梯田存在三种自上而下的空间形态，即“林-田-村-河”（图2a）、“林-村-田-河”（图2b）、“林-田-村-田-河”（图2c）。山顶森林涵养水源，山腰村落、稻田相间分布，村落用于生产生活、稻田净水产粮、水系贯穿其中，形成“林-田-村-河”四素同构的独特垂直景观^[40,41]，生产、生活和生态空间交错分布的复合景观格局，对自然灾害的抵御能力较高。“四素同构”系统凭借一套完整的农业生态知识和农耕实践技术开展稻作农业，其和谐的“生产、生活、生态”三生关系是自然生态和人文传统的良好结合，也是稻田农耕文化历史的体现。

通过解译研究区稻作梯田土地利用矢量图层，围绕稻田的数量规模、空间格局、土地利用活动及功能转型4个方面，分析稻田土地利用活动的时空演化特征。并在多样化人地关系演变背景下，依托独特的稻田空间分布结构及旅游开发历程，探讨研究区稻田多样化、差异化的可持续发展路径，优化稻作梯田农业生态系统长期稳定发展的可持续管理途径。

3.2 数据来源

本文的研究数据来源包括：①基础矢量数据。基于ArcGIS 10.2软件对研究区多源影像进行几何校正、统一投影（将投影统一转换成计算面积比较精确的Albers投影）、地理配准及人机交互解译，依据《土地利用现状分类（GB/T21010-

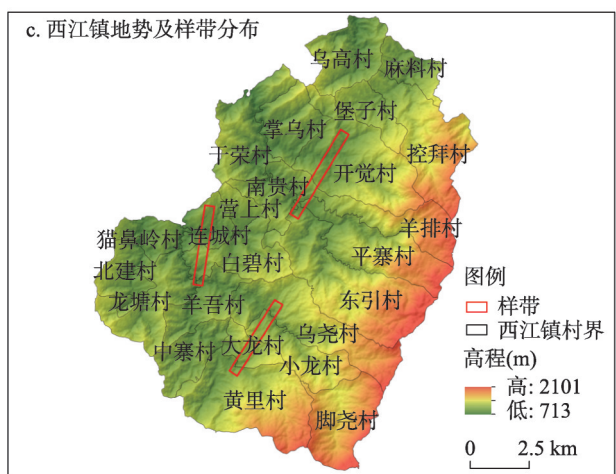
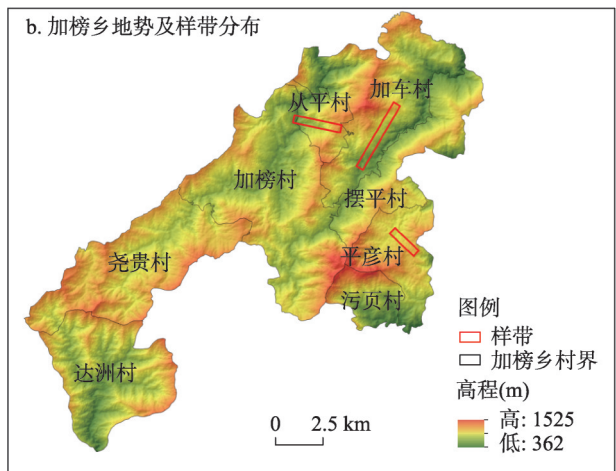
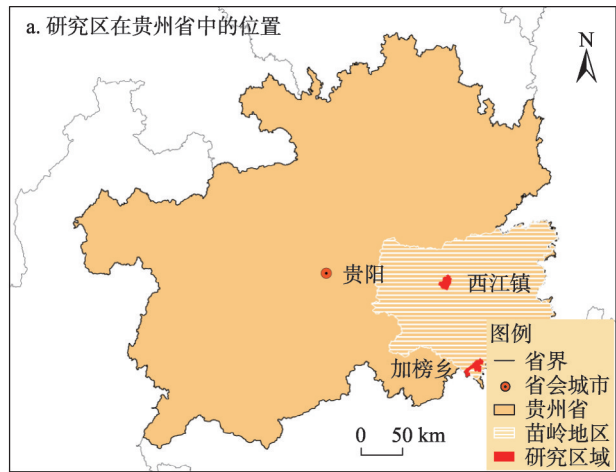


图1 研究区概况

Fig. 1 Overview of the study area

注：基于自然资源部地图技术审查中心标准地图服务网站的标准地图（审图号：GS(2019)1822号）绘制，底图无修改。

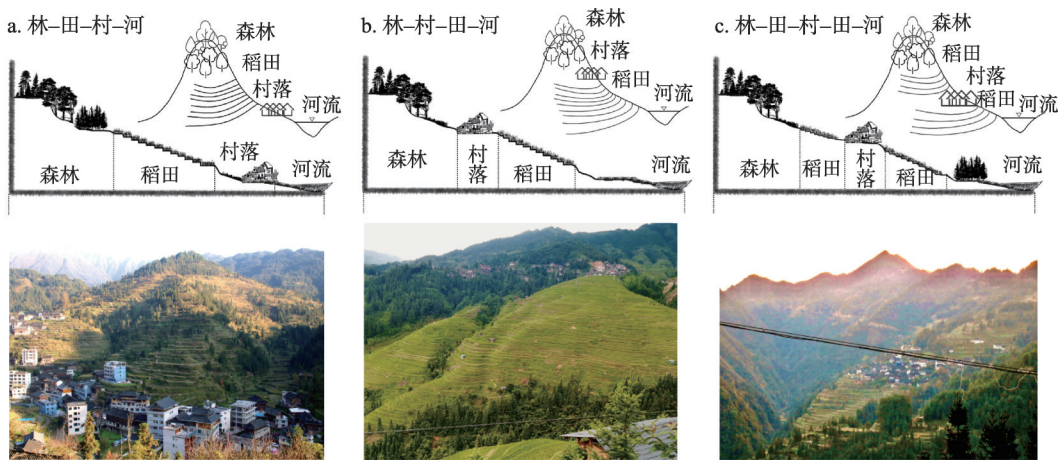


图2 研究区稻田村落空间组合类型

Fig. 2 Spatial combination types of rice field villages in the study area

注:照片均为2020年7月至2021年12月作者拍摄。

2017)》标准,结合具体情况将研究区土地利用分为在耕水田、在耕旱地、弃耕水田、弃耕旱地、园地、林地、草地、农村宅基地、商服用地、公共管理与公共服务设施用地、设施农用地、交通运输用地、河流水面、裸土地、特殊用地、坑塘水面16种类型,依次获得西江镇和加榜乡七期土地利用矢量数据。影像和地形图数据来源如表1所示,其中受影像数据可获取性影响,2015年影像部分缺失,因此以近似年份2013年作为补充。通过参考研究区乡镇土地利用资料、实地调查采样等进行精度验证,各时期总精度均达到83%以上,符合研究要求。从各时期土地利用数据中提取水田斑块作为本研究的主要数据。文中使用的DEM数据源于地理空间数据云,空间分辨率30 m,经计算后得到坡度图层。②人口数据。研究使用的人口数据源于研究区地形图资料、乡镇政府及统计局、《2015年中国县域统计年鉴(乡镇卷)》和第五、第六、第七次人口普查公报。通过对研究区多年耕地稻田及人口的统计发现,山区精耕细作型水稻梯田农业,受社会经济快速发展影响,土地利用变化明显。其中以水稻为主的耕地利用多年间呈现出波动变化特征,这与该区域的自然地理环境和人类活动干扰关系密切(图3)。

3.3 研究方法

3.3.1 景观格局指数 景观格局指数是定量化表达景观信息的工具。基于研究区稻田数据,选择景观指数中类型尺度上的斑块总数(NP)、斑块总面积(CA)、平均斑块面积(MPS)、景观形状指数(LSI)和平均分维指数(MPFD)5个指标,采用Fragstats 4.2软

表1 研究区不同时段影像源

Tab. 1 Image sources of different periods in the study area

研究区	时间(年)	影像来源	分辨率(m)
西江镇 加榜乡	1977(西江镇)、1962(加榜乡)	1:50000地形图	13
	1986	Landsat TM影像	30
	1991	Landsat TM影像	30
	2000	Landsat ETM、Aster影像	15
	2010	Rapid Eye影像	5
	2015(2013)	Google Earth影像	4
	2020	Google Earth影像	4

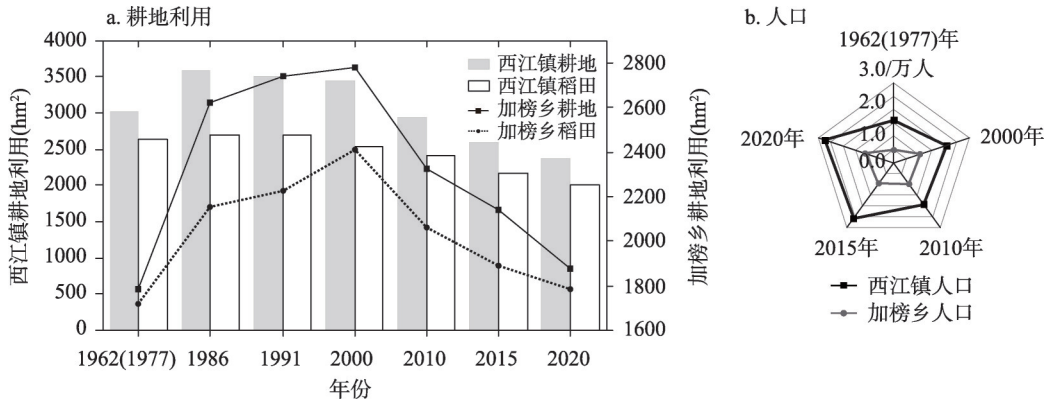


图3 研究区耕地利用及人口变化

Fig. 3 Arable land use and population change in the study area

件进行计算得出各指数值，具体的计算公式和生态学意义见参考文献^[42]。

3.3.2 核密度估计 核密度估计分析方法通常用来反映要素在空间的分布特征。研究区稻田核密度值的高低表示稻田在研究区内聚集与分散的情况，直观反映了稻田的空间分布与演化特征^[43]。公式如下：

$$F_n(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n k\left(\frac{x-x_i}{h}\right) \tag{1}$$

式中： $F_n(x)$ 为研究区稻田面积中心点的核密度估计值； h 为搜索半径； n 为稻田中心的样本数（个）； k 为核函数； $x-x_i$ 是两个中心点间的距离。

3.3.3 土地利用转移矩阵 土地利用转移矩阵能够定量反映出各种地类之间的相互转移量及方向^[44]。提取并绘制研究区稻田的转移矩阵图，可直观反映长时段内稻田的“源汇”变化情况。公式如下：

$$S_{ij} = \begin{pmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} & \dots & S_{1n} \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} & \dots & S_{2n} \\ S_{31} & S_{32} & S_{33} & \dots & S_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ S_{n1} & S_{n2} & S_{n3} & \dots & S_{nn} \end{pmatrix} \tag{2}$$

式中： S 代表面积； n 代表土地利用类型数； i 和 j 代表研究初期与末期的土地利用类型。

3.3.4 聚田比指数 为准确表现研究区稻田与聚落的空间组合关系，采用聚田比指数（ K ）分析两者间的耦合关系。依据前人对聚耕比指数（ K ）的计算方法及 K 阈值的划定，本文将 $K \leq 4.1$ 稻田资源紧缺的地区划为“人多田少型”， $4.1 \leq K \leq 23.1$ 稻田和聚落均衡的区域划为“人田均衡型”， $K \geq 23.1$ 稻田资源丰富的区域划分为“人少田多型”^[45]。公式如下：

$$K = S_{\text{稻}} / S_{\text{聚}} \tag{3}$$

式中： K 为稻田与聚落面积的比值； $S_{\text{稻}}$ 为稻田面积（ hm^2 ）； $S_{\text{聚}}$ 为聚落面积（ hm^2 ）。

3.3.5 种植强度 借鉴种植强度指数PI（Planted Intensity）^[46]，计算稻田在不同高程和坡度下的种植强度，以反映其时空变化规律。公式如下：

$$PI_i = PA_i / OA_i \tag{4}$$

式中： PI_i 为某一高程或坡度分级下稻田的种植面积与该高程或坡度分级下土地总面积的比重（%）； PA_i 为某一高程或坡度分级下稻田的种植面积（ hm^2 ）； OA_i 为某一高程或坡度分级下的土地总面积（ hm^2 ）； i 为高程或坡度的分级。

3.3.6 样带分析 样带是指具有明显差异特征的线状区域^[47]。为了展示研究区不同立体空间组合的稻作梯田模式在长时段内的演变特征,综合梯田的耕作半径、梯度差异等因素,分别选取了能代表研究区三种垂直结构演化特征的3条典型样带,宽度皆为400 m。

3.3.7 转型演变阶段划分 根据稻田前一时期向后一时期转移的主要地类、规模及驱动因素,将研究区稻田转移演变划分为两个阶段:一是受生产生活影响,以非农用地转稻田为主要特征的“生产用地导向阶段”;二是在维护生态安全、经济发展需求的推动下,将稻田转变为经果林等经济用地的“生态-经济复合用地导向阶段”。

4 结果分析

4.1 稻作梯田景观格局演化

表2显示了研究区稻田景观格局指数在类型尺度上的变化情况,各指数均处于动态变化过程,呈现出从研究初期显著变化至后期景观格局总体稳定的特征。西江镇和加榜乡的稻田斑块总数、景观形状指数及平均分维指数表现出“稳定增加”,平均斑块面积“稳定下降”的趋势,其中NP分别增加了2571个、2053个,LSI扩大了59.96、48.13,MPFD减少了21.97、7.43。NP和LSI的快速增长既反映出人类对稻田的作用强度增大,也表明斑块形状的复杂度和破碎度加深。MPFD虽长期来都比较接近1,但随时间推移持续小幅增长,表明稻田的人为干扰影响程度有所降低。斑块总面积呈“波动变化”,稻田规模整体保持稳定,但面积缩小、斑块形状破碎化趋势逐渐凸显。西江镇稻田面积由1977年2635.04 hm²增长至1986年2706.28 hm²后逐期减少,加榜乡稻田面积在1962—2000年增加了693.33 hm²后面积持续减少。

4.2 稻作梯田核密度演变

西江镇稻田核密度呈东侧低,中西侧高的空间分布特点,长期来形成了“以中部为

表2 1962 (1977) 2020年研究区稻作梯田的景观格局指数

Tab. 2 Landscape pattern index of rice terraces in the study area from 1962 (1977) to 2020

研究区	时间(年)	景观格局指数 (类型尺度上)				
		斑块总数 (NP/个)	斑块总面积 (CA/hm ²)	平均斑块面积 (MPS/ hm ²)	景观形状指数 (LSI)	平均分维指数 (MPFD)
西江镇	1977	116	2635.04	22.7159	27.4645	1.1109
	1986	2385	2706.28	1.1347	79.0019	1.1224
	1991	2518	2689.77	1.0682	81.8285	1.1226
	2000	2649	2537.52	0.9579	84.4802	1.1234
	2010	2720	2419.52	0.8895	88.1972	1.1259
	2015	2740	2176.69	0.7944	88.0300	1.1262
	2020	2687	2011.39	0.7486	87.4236	1.1275
加榜乡	1962	209	1717.84	8.2193	25.3269	1.0878
	1986	1582	2154.49	1.3619	59.3380	1.1093
	1991	1675	2228.71	1.3306	61.8508	1.1111
	2000	1930	2411.17	1.2493	66.2319	1.1110
	2010	2125	2064.20	0.9714	71.1045	1.1133
	2015	2133	1888.98	0.8856	71.1713	1.1136
	2020	2262	1787.48	0.7902	73.4551	1.1140

核心,北上南进、西拓东扩”的演化格局(图4a~图4g)。西江镇大部分区域稻田分布处于次低-次高核密度区,低密度区分布最少(图5a),并呈现4个显著集聚区,由北至南分别为:乌高-麻料-堡子分布区、开觉-羊排-东引一带分布区、营上-连城一圈及中寨-黄里分布区。其稻田核密度在2000年前由4个集聚区不断向东西两侧扩散发展,2000年后由东西两侧向中部反向集中收缩变化。整体上稻田逐渐退缩于北部较偏远山区,其重心也由白碧、连城、羊吾村等西南方向北方开觉、堡子一带主要发展区北移。

加榜乡稻田核密度由北至南集聚度不断降低(图4h~图4n),形成东、东北密度高,中部次之,南、西南部密度低的三段分布模式,大部分区域同样处于次低-次高密度区(图5b)。2015年前受加榜村、尧贵村及达洲村稻田面积扩张的影响,稻田核密度及重心往西南方扩散、微偏;2015年后西南部稻田逐渐萎缩退居于东北加车村、摆平村一带,重心往东北部回移,主要分布在东北交通便利、宜于发展乡村旅游的几个村。总体上

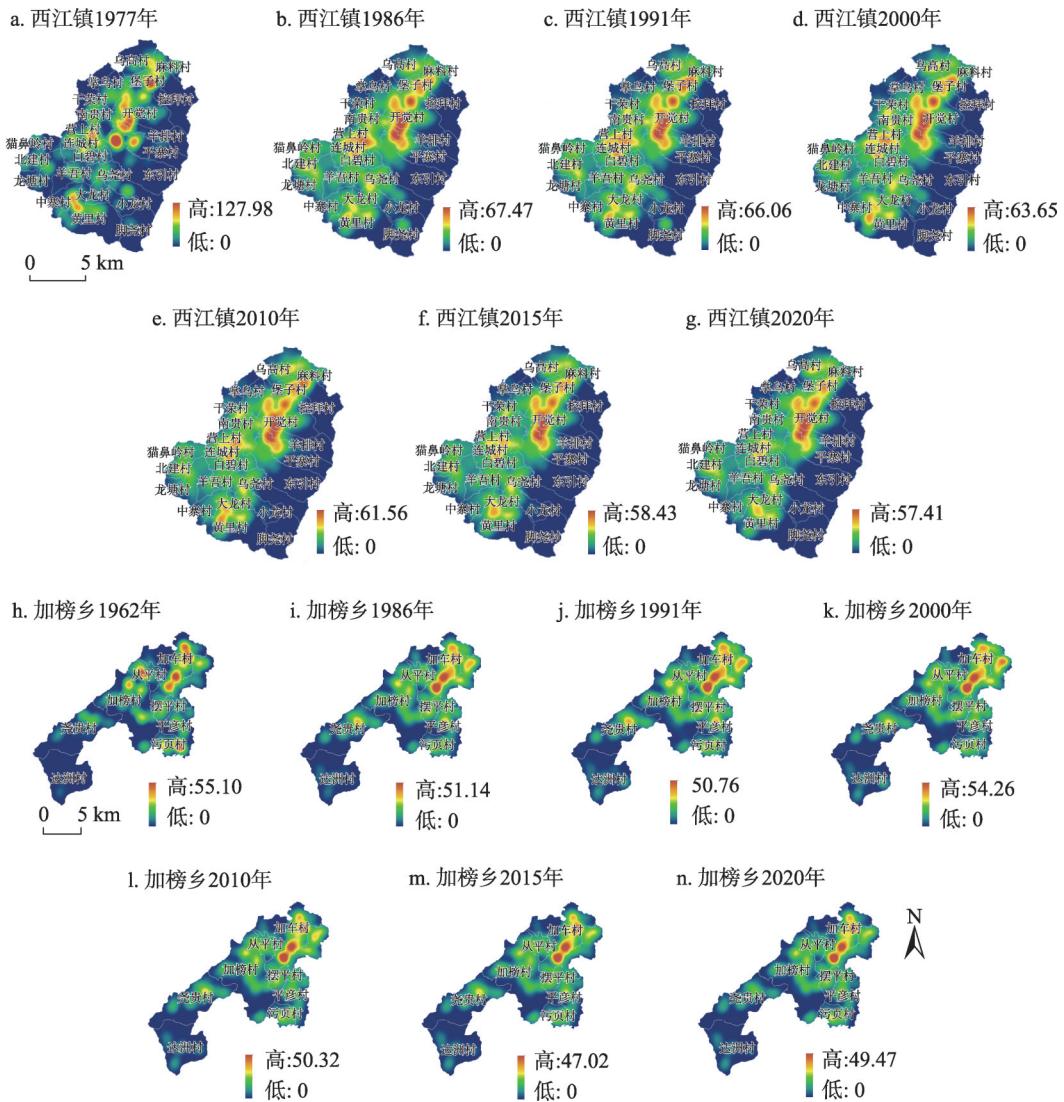


图4 研究区稻田核密度空间分布

Fig. 4 Spatial distribution of kernel density in rice fields in the study area

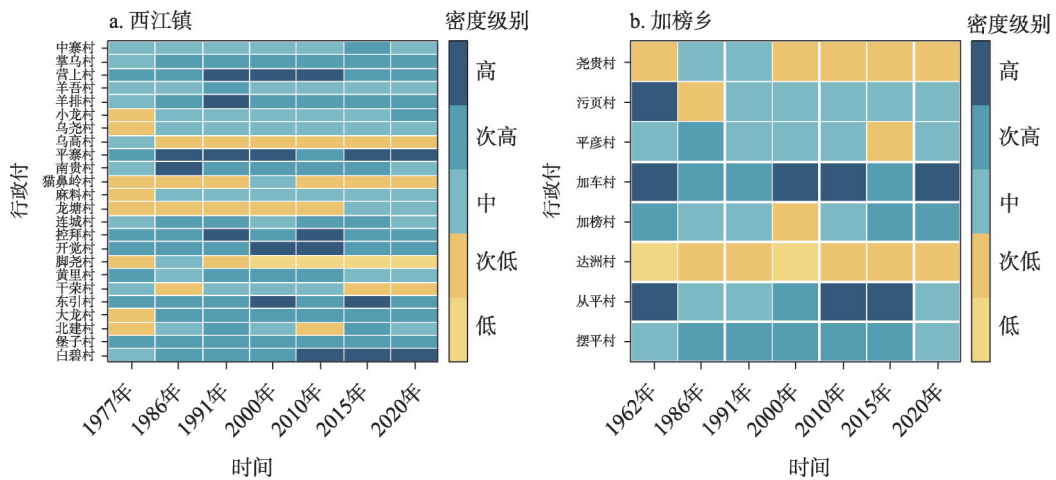


图5 研究区村域稻田核密度级别统计

Fig. 5 Statistics on kernel density level of rice fields for the village in the study area

言,两地稻田分布均呈“东北-西南”走向,受区域开发建设及稻田规划的影响大。如受西江镇西南部修建凯雷高速等交通建设影响,稻田向西南区扩展,而区域规划及稻田适应性等因素导致西江镇稻田逐渐集中在东北的开觉村一带,加榜乡则退居于东北的加榜村和加车村核心稻田区。

4.3 稻作梯田在不同高程与坡度上的分布演变

根据研究区的高程情况,以200 m为梯度间隔,将高程分为6个等级;同时依据SL 190—2007《土壤侵蚀分类分级标准》^[48],将研究区坡度分为6个等级:微坡($<5^\circ$)、较缓坡($5^\circ\sim 8^\circ$)、缓坡($8^\circ\sim 15^\circ$)、较陡坡($15^\circ\sim 25^\circ$)、陡坡($25^\circ\sim 35^\circ$)、急陡坡($>35^\circ$)^[46],并统计分析不同高程坡度下稻田的分布情况及种植强度(图6)。由图6可知,西江镇稻田有89%以上集中在713~1113 m的适宜种植区,加榜乡整体海拔比西江镇稍低,92%以上的稻田集中在562~1162 m内。长期以来两地稻田种植高度均呈现出先往上下两头扩展,海拔区间拓宽,再由高处向低处收缩变化的趋势,同时各高程下的种植强度也呈现一致的发展趋势。

两地均有90%以上的稻田分布在 $8^\circ\sim 35^\circ$ 的坡度上。1986年之前,西江镇 $0^\circ\sim 25^\circ$ 间稻田面积呈弱增加趋势,种植强度持续上升;在1986年后,各坡度上稻田面积及种植强度呈弱减少趋势,其中受生产转移影响 $0^\circ\sim 25^\circ$ 间的种植强度明显降低。加榜乡稻田种植面积和强度从微坡至陡坡由2000年前强扩张,向2000年后弱减少转变;其中微坡至较陡坡上种植强度与急陡坡差异明显,如2000年微坡上的种植强度为26%,而急陡坡上的种植强度仅为3%。这主要受区域高强度生计需求的影响,在山高坡陡的地区开垦大量田地,之后由于城镇化发展,出现生产活动区间下移、农业活动多样化等变化,因此使得各高程和坡度上的稻田种植强度由显著加强向显著减弱转变。

4.4 稻作梯田转型演变阶段分析

在长期土地利用转移变化中,占主导的是同类型间的稳定演变,因此不考虑同一地类间的转移变化,仅考虑稻田与其他地类间的转移情况。经研究发现,西江镇稻田经历了由“生产用地导向阶段”(1977—2000年)向“生态-经济复合用地导向阶段”(2000—2020年)的变化过程,其转移变化类型由复杂转向简单(图7)。“生产用地导向阶段”,稻田与林地间转出(1202.05 hm^2)和转入(1300.99 hm^2)的面积相差不大,但

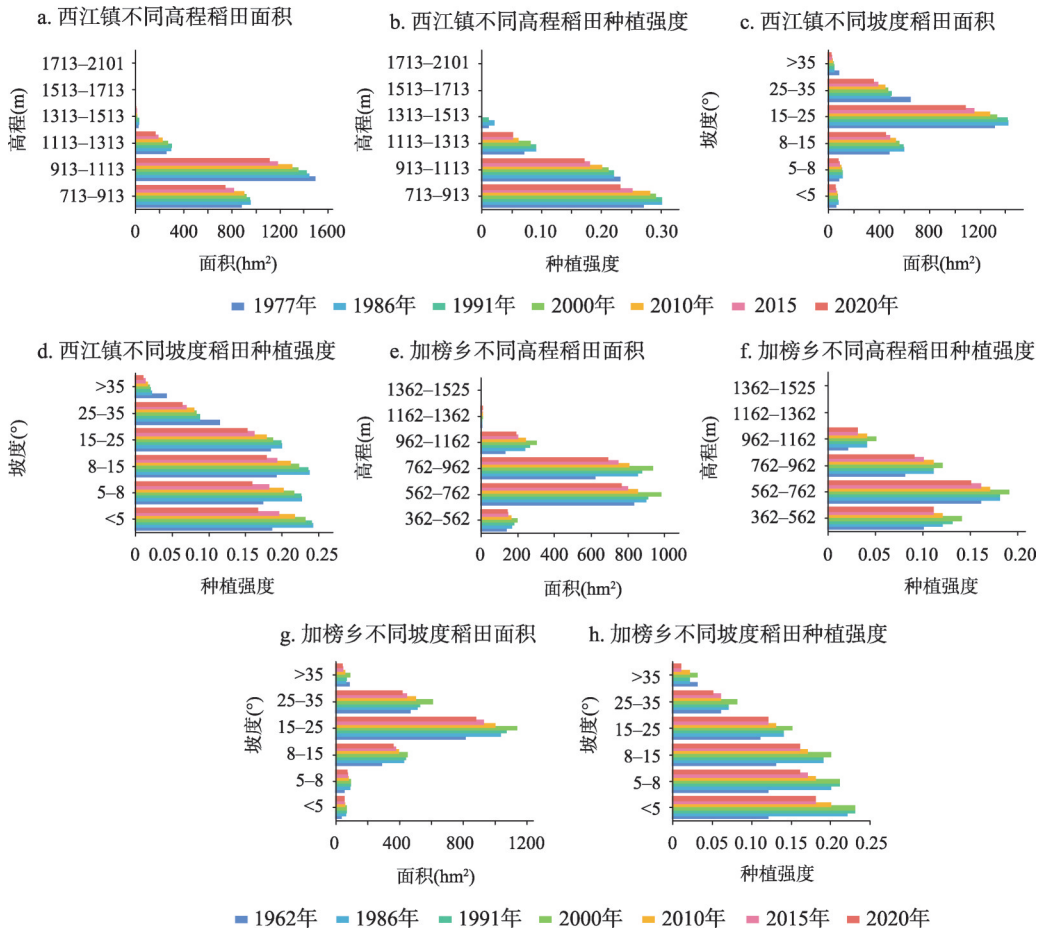


图6 研究区不同高程和坡度下稻田种植面积及强度

Fig. 6 Rice field planting area and intensity at different elevations and slopes in the study area

转换程度剧烈；稻田与旱地转出转入的面积分别为 396.39 hm²、250.11 hm²；其他地类与稻田的转移面积均小于 50 hm²，变化较平缓，总体上稻田面积缓慢减少。“生态-经济复合用地导向阶段”，稻田发生转移的总面积大幅下降，流失的稻田主要转变为林地 (308.18 hm²)、园地 (106.78 hm²)、建设用地 (116.29 hm²) 和撂荒地 (107.74 hm²)。这一阶段受研究区经济快速发展的影响，新增的稻田开始减少对生态用地的占用，多是稻田与旱地之间的转换。

在加榜乡两个阶段中，稻田转移类型依然表现出由复杂向简单的变化过程 (图8)。“生产用地导向阶段”(1962—2000年)，稻田向林地的转变最为突出，转出 683.44 hm²，转入 1366.41 hm²；其次是稻田转为旱地 (126.54 hm²) 及草地 (101.90 hm²)；其他地类与稻田的转入和转出之间的面积均小于 45 hm²，转换程度较平缓，总体上稻田面积不断扩张。“生态-经济复合用地导向阶段”(2000—2020年)，稻田转出的面积持续增加 (793.43 hm²)、转入的面积大幅下降 (-1278.16 hm²)。流失的稻田主要转变为林地 (443.64 hm²)、弃耕地 (141.07 hm²) 以及建设用地 (17.22 hm²)，林地转为稻田的面积在不断减少，多是弃耕地及草地新增为稻田。

如图9所示，不同高程和海拔中，西江镇稻田随着时间推移呈现出由“生产用地导向阶段”大面积变化，向“生态-经济复合用地阶段”小幅稳定转变的特征。“生产用地

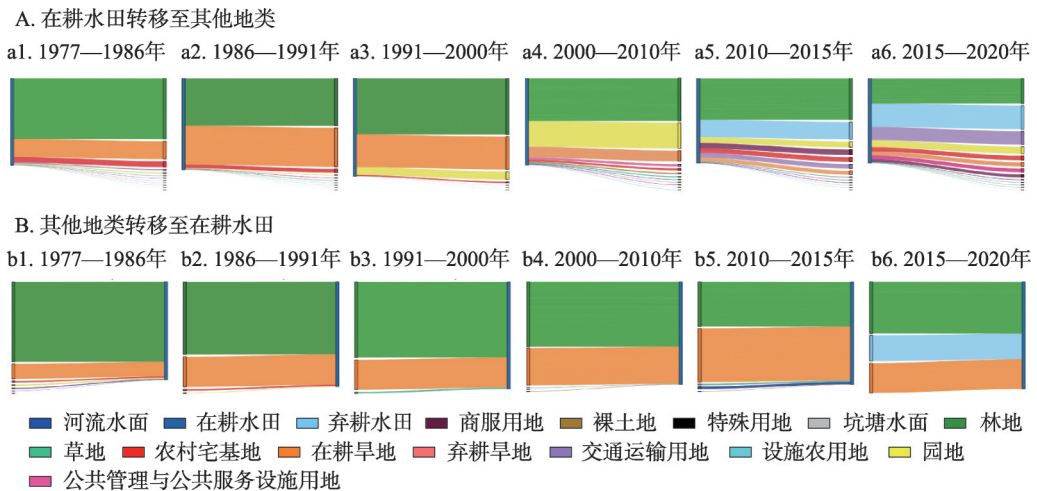


图7 西江镇稻田转移矩阵

Fig. 7 Transfer matrix of rice field in Xijiang Township

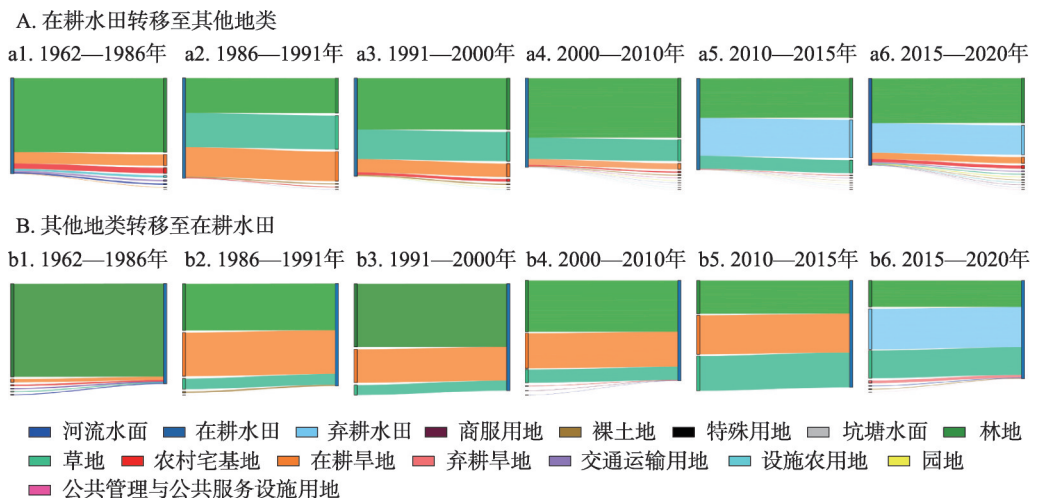


图8 加榜乡稻田转移矩阵

Fig. 8 Transfer matrix of rice field in Jiabang Township

导向阶段”, 转移变化集中在高程 1113 m 以下、坡度 8~35° 之间, 其中转入量高于转出量的区域集中在高程 713~913 m、1113~1313 m 和坡度 25° 以下, 陡坡和急陡坡上不合理的耕作现象仍然较严重。“生态-经济复合用地阶段”, 整体上各高程坡度段内稻田的转移量减少、整体面积无明显变化。

加榜乡中稻田各时期的转移变化程度较西江镇稍平缓, 且面积变化差距较小。“生产用地导向阶段”, 稻田转移主要发生在海拔 1162 m 以下、坡度 8~35° 之间, 且转入量均高于转出量。“生态-经济复合用地阶段”, 各坡度上稻田以转出变化较为显著。虽然总体上加榜乡的稻田变化程度较西江镇缓和, 但在坡度 35° 以上的区域稻田转出面积比西江镇多, 说明加榜乡急陡坡度上的稻田退耕强度高于西江镇。

4.5 稻作梯田演变的人地关系响应

采用 1 km × 1 km 的格网为基本单元, 分别计算每个格网内稻田面积与聚落面积的比值, 得出研究区长时段内的稻田聚落耦合类型的空间分布及各类型占总面积的比例。

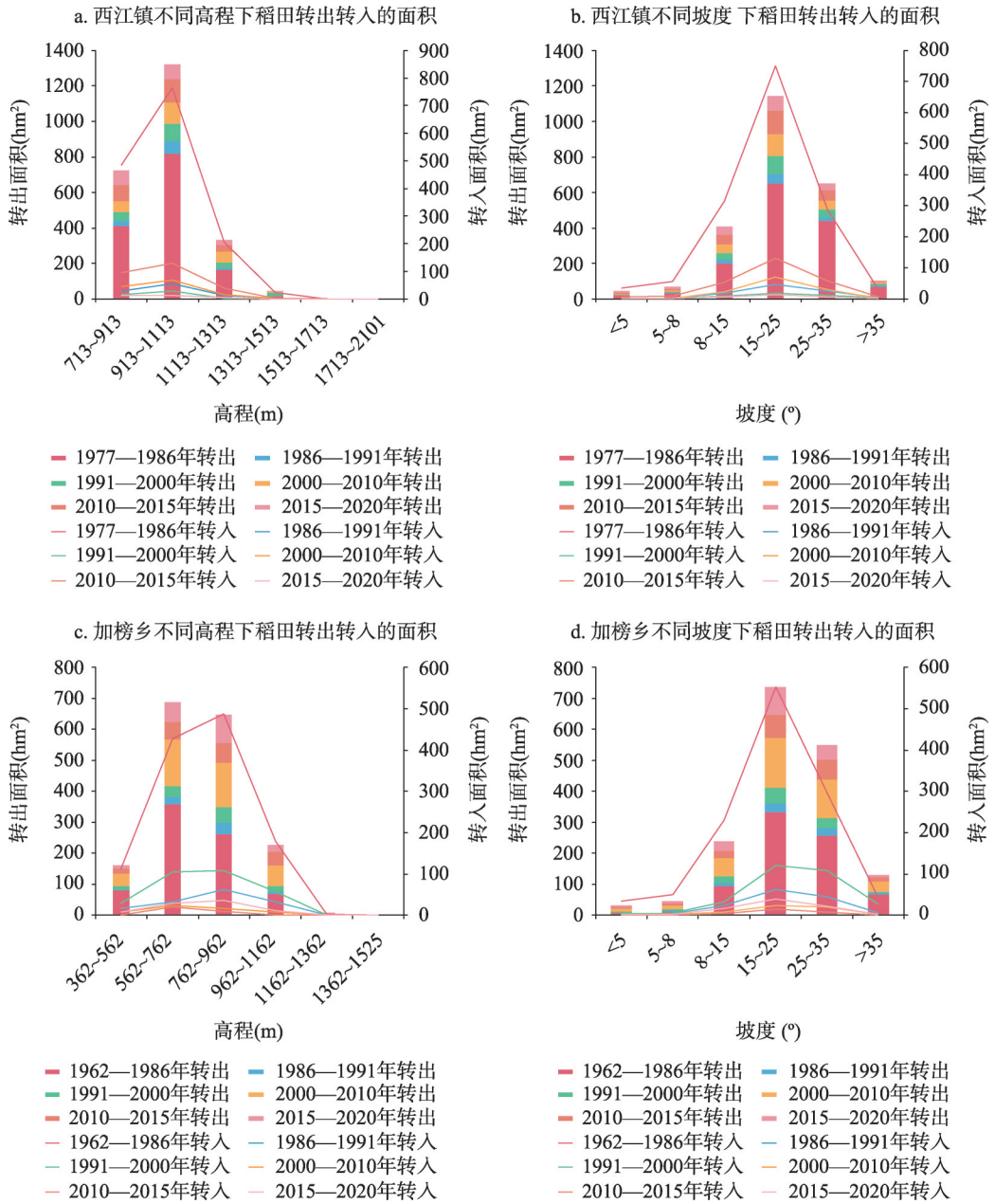


图9 研究区稻田在不同高程和坡度上转出转入的面积

Fig. 9 Area of rice field converted to and from other types of land at different elevations and slopes in the study area

据研究区乡村总人口及耕地利用情况(图3)的长期变化发现,在2000年前因人口迅速增长的压力,导致对粮食的需求日益增加,而农业变革加速生产力的解放,同时加剧了开山种粮现象。这一时期,加榜乡呈现“人田同增”,西江镇稻田虽由“人田同增”向“人增田减”过渡但长期变化微弱,且主要为旱地波动增长。自2000年以后,农村劳动人口大量外出务工,总人口数下降,但在近期受全域旅游开发、新农村建设等政策的影响,推动经济发展同时吸引大批人口返乡务农经商。西江镇及加榜乡分别在2010年和2015年表现出由“人田同减”向“人增田减”的转变。

由表3聚田比占比可知,在西江镇的三种人地耦合关系类型中,人多田少型占比由1977年2.79%上升至2020年9.89%,扩张趋势明显;从图10各耦合类型的空间分布中可看出,该类型主要以中部南贵村和东引村为核心向南北两侧扩张。西江镇人地关系较为紧张的区域显著增加,局部人地矛盾逐渐凸显。相比西江镇,加榜乡中以人田均衡型变化突出,由1962年的13.63%上升至2020年的22.12%。人多田少型呈波动减少的特点,至2020年仅下降了0.26%,且该类型整体占比及变化幅度都不如西江镇强烈,在空间分布上先由东北、西南往中部集中,再由中部往东北、东南的区域扩张。总体而言,加榜乡以人少田多型向人田均衡型变化为主,区域内长期人地关系较西江镇更为缓和。

4.6 稻作梯田在垂直空间上的转型演化

为深入分析苗岭山区不同四素同构类型在垂直空间结构上的演化特征,本文分别选择了三种类型的典型样带(图11),并据前人^[43,49]对“三生空间”分类标准,统计了各样带“三生空间”的面积占比,发现两地三种四素同构类型的演化特征存在共性和差异性。

4.6.1 共性 ① 两地整体稻田面积减少,远离村落的稻田易被遗弃并由林地取代,靠近村落的部分稻田多占用为建设用地或转为其他地类。农业生产空间逐步缩小,生活、生态空间日趋扩大,生产功能向生活、生态功能转变。② 从景观尺度上看,景观指数的长期变化情况表明,稻田景观朝破碎化、面积缩小及形状复杂化方向发展,景观类型由单

表3 研究区稻田-聚落各耦合类型面积占土地总面积比值

Tab. 3 Ratio of rice-settlement coupling type area to the total land area in the study area

(单位 %)

研究区	耦合类型	时间(年)						
		1962 (1977)	1986	1991	2000	2010	2015	2020
西江镇	人多田少型	2.79	3.18	2.63	7.65	7.09	8.77	9.89
	人田均衡型	15.43	21.23	20.94	18.48	19.04	20.16	21.20
	人少田多型	9.97	22.48	23.32	20.76	20.03	19.47	18.43
加榜乡	人多田少型	3.17	1.51	3.74	0.92	1.52	1.39	2.91
	人田均衡型	13.63	19.60	20.71	15.16	15.65	17.94	22.12
	人少田多型	14.50	25.79	22.26	17.05	17.22	15.06	15.22

注:西江镇的研究起始年为1977年,加榜乡的研究起始年为1962年。

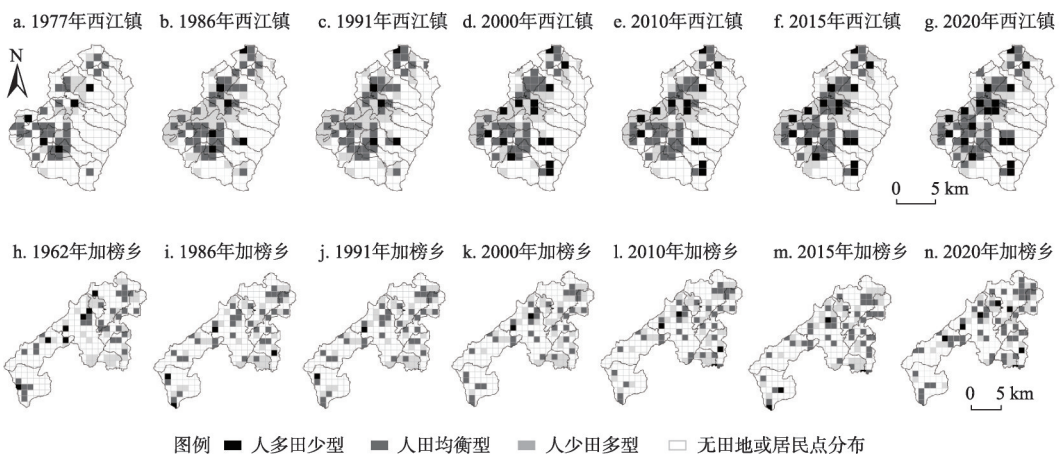


图10 研究区稻田-聚落耦合类型空间分布

Fig. 10 Spatial distribution of rice-settlement coupling types in the study area

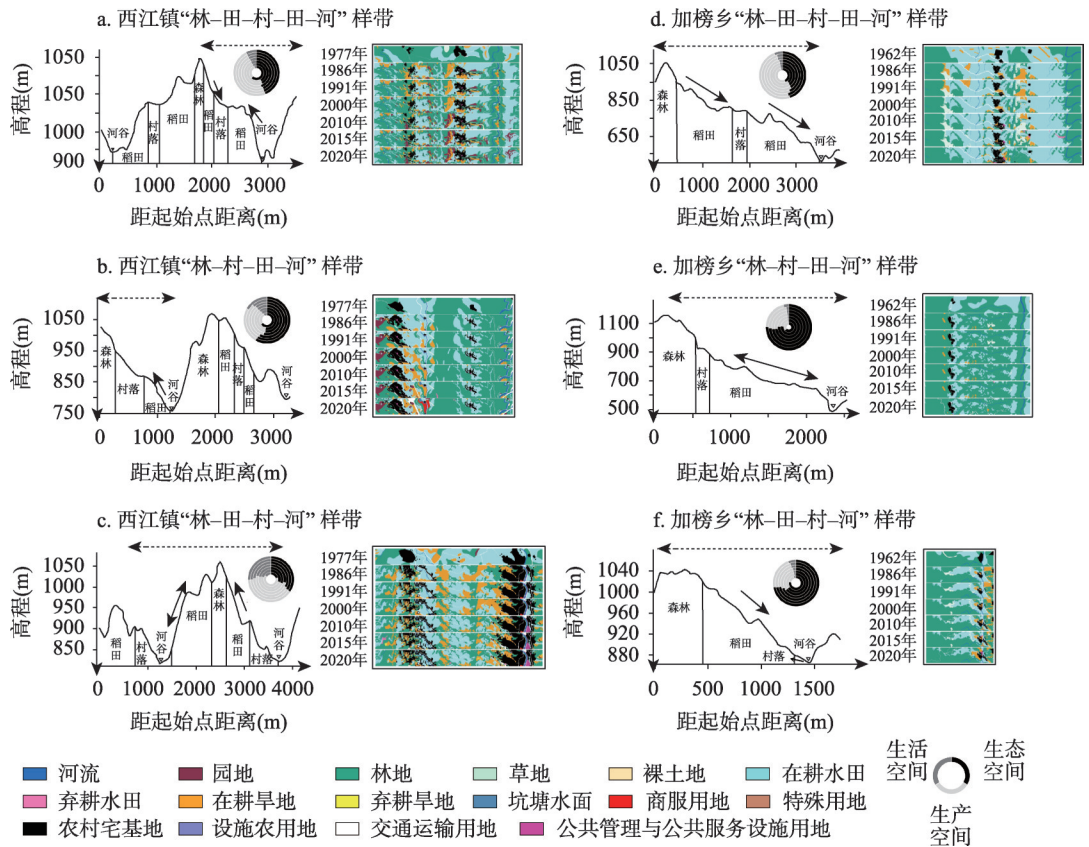


图 11 典型“林-田-村”组合类型样带图

Fig. 11 Transect of typical forest-terraces-village combination type

注：“三生空间”面积占比环形圈由内至外分别为1962年（西江镇1977年）、1986年、1991年、2000年、2010年、2015年及2020年7个研究时期。

一景观向复杂景观转变。稻田的连续性遭到破坏，以“林-村-田-河”组合类型的破碎化发展最明显，“林-田-村-田-河”“林-田-村-河”两个类型的稻田在一定范围内仍能保持良好的团聚性。③从立体空间上看，稻田分布整体由高海拔区域向低海拔区域下移；在坡度较陡的地区，稻田退耕或是撂荒后经自然演替转为林地等生态空间，具有明显的地形影响特征。

4.6.2 差异性 ①西江镇各组合类型的变化程度比加榜乡更剧烈，且景观类型的演变更为复杂。加榜乡三种组合类型长时段内仅以稻田面积缓慢减少为最大的变化特征，整体保持大规模的稳定耕作；西江镇中村落附近的稻田利用较明显，以转为园地、改成旱地或占用为建设用地为主。如北建村以发展“养殖业为经济生产主线”，开展“茶叶、青钱柳、朝天椒等特色蔬菜、土烟、黑毛猪等养殖产品”，脚尧村生态茶园、堡子村大棚蔬菜、龙塘村稻田养鱼等产业村、稻田村分化趋势明显的多样化稻田利用。②受强烈的人类活动如交通等基础设施建设等的影响，割裂了稻田生产空间的连续性，其中西江镇的稻田破碎化程度较高。加榜乡稻田条带状、连片性景观突出，更有利于梯田发展，其中“林-田-村-田-河”“林-田-村-河”两种组合类型中稻田的连片性更高，“森林-稻田-村落-河流”四素同构的景观能得到良好的维持。

5 结论与讨论

5.1 结论

本文以黔东南少数民族山区西江镇和加榜乡山地稻作梯田为例,利用多年土地利用数据,从定性定量的景观指数、空间格局特征及生态系统功能变化等方面来研究稻作梯田景观的时空发展过程。结论如下:

(1) 研究区稻田呈现规模小幅缩减,分布由高海拔、陡坡度向低海拔、缓坡度移动的特点。长期以保持大面积传统稻田耕作,局部逐渐演变为经果林、撂荒地、林地等景观为主要趋势,细碎化程度加深,景观连续性受损。

(2) 稻田不同阶段土地利用方式的差异,促使稻田生态系统功能从“生产用地导向阶段”的生产生活保障功能,向“生态-经济复合用地导向阶段”的生态环境维护、社会经济发展多功能转变。

(3) 西江镇和加榜乡人地关系变化复杂,总体上西江镇人地关系变化比加榜乡更剧烈。随着人口压力的增加,西江镇内“人多田少型”占比扩张的趋势显著,部分地区人地矛盾凸显。

(4) 农旅一体化发展下“林-田-村-田-河”与“林-田-村-河”这两种组合类型稳定性较强。通过加大对稻田的管理修缮力度,并采取正确措施引导相应区域稻作梯田的旅游发展,以促进当地经济的可持续发展。

5.2 讨论

与中国山区土地利用转型中,由耕地扩张、林地收缩向耕地收缩、林地恢复的显性变化,及伴随而来的土地边际化和生态功能恢复的隐性转型相比^[50,51],研究区稻作梯田在长期演变中仅呈现弱衰退性。其发展演变存在两个阶段,一是生产用地导向阶段(2000年前),受人口迅速增加、生计需求扩大的影响,不断加大对高山陡坡区的垦殖,导致生态系统退化,同时劳动力外迁造成土地资源浪费,进一步激化了区域的人地矛盾。二是在生态-经济复合用地导向阶段(2000年后),两地抓住“全域旅游、乡村振兴及生态文明建设”等政策契机,依托独特的山地稻田资源及少数民族文化发展生态旅游,推动区域由传统稻田种植农业不断向农旅复合型的多元化产业体系分化。出现农业生产用地破碎、萎缩,农业生产功能逐渐向生态^[52,53]、经济功能转型的特点,农户生计多元化、兼业现象普遍,收入水平有显著提升。如2008年以前西江镇人均收入不足2000元,在全域旅游推进后,2017年旅游接待达600万人次、人均年收入达2.2万元,全寨90%的人口从事旅游服务^[54],劳动人口的回流既促进区域经济发展也解决了村落的“空心化”特征。在山区稻田普遍经历劳动人口流失、土地抛荒、斑块破碎化及景观转型的过程中^[55,56],与研究区出现的建设用地挤占稻田现象相比,云南中寨村近50年发展中建设用地从未挤占梯田^[57];菲律宾的伊副高梯田区存在因旅游发展加剧森林砍伐的现象^[58],而研究区水源涵养林长期得到较好的维护,如2017年,从江加榜百里梯田被列入贵州省首批12个森林康养基地^[59];与哈尼梯田分布海拔(101~2745.8 m)及坡度(0~75°)均达到区域环境极限的形式而言^[60],研究区稻田的垂直分布格局对生态环境的压力相对较小。

在乡村土地利用转型发展过程中,西江镇侧重发展传统村落及少数民族文化,通过大力修缮传统建筑、修建基础设施等挤占稻田空间,种植生态茶叶改变农耕属性等,从多个层面瓦解山区“四素同构”的生态系统,弱化了稻田文化生态系统的价值。加榜乡作为古老的“稻鱼鸭”共生体系、全球重要文化遗产地,立足农耕稻田发展梯田农业旅游,但由于发展晚、开发程度低等原因,目前仍依赖于梯田景观的观光旅游,而对传统

稻田农耕文化、民族特征和传统村落等方面的融合开发不足, 有较大的发展空间。同时, 面对稻作梯田景观结构的破坏萎缩、传统农耕文化遗失、生态农产品产业链短缺及景观维护等生态系统问题^[61-64], 需要结合物质、精神及制度三维度上的鲜明文化特征综合治理^[65]。由此, 本文基于研究区的土地利用转型特点及区域发展特征的研究, 总结了山区稻作梯田可持续发展路径(图12)。通过加强稻田的管理维护以及农旅文化的深度开发, 建立“以农生旅, 以旅带农”的长效发展路径, 制定多利益主体和需求的社区发展策略, 强化梯田社区的生态管理, 多业态融合发展以维持“四素同构”生态系统的优势, 充分发挥土地资源的多元价值, 有效结合活态农耕文化与乡村振兴发展, 实现乡村可持续发展目标。

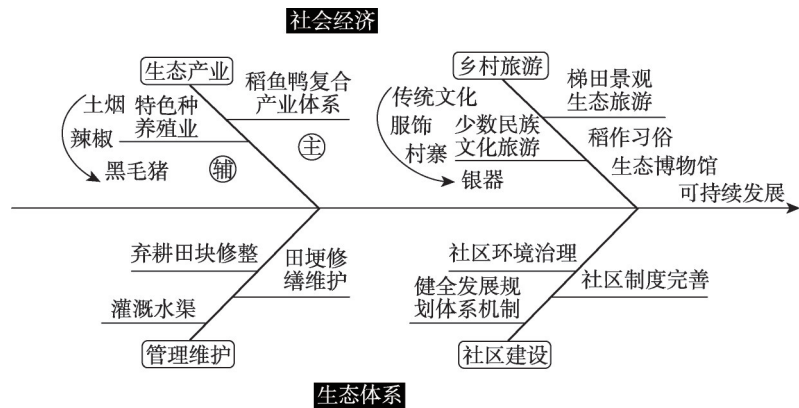


图12 稻作梯田可持续发展路径

Fig. 12 Sustainable development path of rice terraces

致谢: 真诚感谢匿名评审专家在论文评审中所付出的时间和精力, 专家对文中引言、研究思路、结果分析、结论与讨论方面均提出了宝贵的修改建议, 使本文获益匪浅。

参考文献(References)

- [1] 陈蝶, 卫伟, 陈利顶. 梯田景观的历史分布及典型国际案例分析. 应用生态学报, 2017, 28(2): 689-698. [Chen Die, Wei Wei, Chen Liding. History and distribution of terraced landscapes and typical international cases analysis. The Journal of Applied Ecology, 2017, 28(2): 689-698.] DOI: 10.13287/j.1001-9332.201702.010.
- [2] 马倩. 层登横削高为梯 举手扞之足始跻: 话说我国的梯田. 文史杂志, 2001, (2): 12-15. [Ma Qian. Climbing the heights horizontally and turning the heights into the ladders, and you start to rise with your hands and feet: Talking about the terraced fields of our country. Journal of Literature and History, 2001, (2): 12-15.] DOI: 10.3969/j.issn.1003-6903.2001.02.005.
- [3] Arnáez J, Lana-Renault N, Lasanta T, et al. Effects of farming terraces on hydrological and geomorphological processes. Arreview. Catena, 2015, 128: 122-134. DOI: 10.1016/j.catena.2015.01.021.
- [4] Wei W, Chen D, Wang L, et al. Global synthesis of the classifications, distributions, benefits and issues of terracing. Earth-Science Reviews, 2016, 159: 388-403. DOI: 10.1016/j.earscirev.2016.06.010.
- [5] 闵庆文. 哈尼梯田的农业文化遗产特征及其保护. 学术探索, 2009, (3): 12-14, 23. [Min Qingwen. Remarks on the application for world cultural heritage of the Hani Paddy-Rice terraces. Academic Exploration, 2009(3): 12-14, 23.] DOI: 10.3969/j.issn.1006723X.2009.03.003.
- [6] 王清华. 哀牢山自然生态与哈尼族生存空间格局. 云南社会科学, 1998, (2): 74-77. [Wang Qinghua. The natural ecology of Ailao Mountain and the living space pattern of the hani nationality. Yunnan Social Sciences, 1998, (2): 74-77.] DOI: CNKI: SUN: YSHX.0.1998-02-012.
- [7] Iiyama N, Kamada M, Nakagoshi N. Ecological and social evaluation of landscape in a rural area with terraced paddies in southwestern Japan. Landscape and Urban Planning, 2005, 70(3-4): 301-313. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2003.10.024.
- [8] Li J, Jiao W J, Min Q W, et al. Effects of Traditional Ecological Knowledge on the Drought-Resistant Mechanisms of the hani Rice Terraces System. Journal of Resources and Ecology, 2016, 7(3): 211-217. DOI: 10.5814/j.issn.1674-764x.2016.03.009.
- [9] 陈蝶, 卫伟, 陈利顶, 等. 梯田生态系统服务与管理研究进展. 山地学报, 2016, 34(3): 374-384. [Chen Die, Wei Wei,

- Chen Liding, et al. Progress of the ecosystem services and management of terraces. *Journal of Mountain Research*, 2016, 34(3): 374-384. DOI: 10.16089/j.cnki.1008-2786.000141.
- [10] Rahman M A , Kang S C, Nagabhatla N, et al. Impacts of temperature and rainfall variation on rice productivity in major ecosystems of Bangladesh. *Agriculture and Food Security*, 2017, 6(1): 10. DOI: 10.1186/s40066-017-0089-5.
- [11] 缪建群, 王志强, 马艳芹, 等. 崇义客家梯田生态系统可持续发展综合评价. *生态学报*, 2018, 38(17): 6326-6336. [Miao Jianqun, Wang Zhiqiang, Ma Yanqin, et al. Comprehensive evaluation of sustainable development of the hakka terrace ecosystem of Chongyi. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, 38(17): 6326-6336.] DOI: 10.5846/stxb201706281165.
- [12] 杨艳芬, 角媛梅, 刘澄静, 等. 全球水稻梯田生态系统服务研究进展. *生态学杂志*, 2021, 40(3): 876-886. [Yang Yanfen, Jiao Yuanmei, Liu Chengjing, et al. Research progress and prospects on ecosystem services of global rice terrace. *Journal of Ecology*, 2021, 40(3): 876-886.] DOI: 10.13292/j.1000-4890.202103.031.
- [13] 角媛梅, 程国栋, 肖笃宁. 哈尼梯田文化景观及其保护研究. *地理研究*, 2002, 21(6): 733-741. [Jiao Yuanmei, Chen Guodong, Xiao Duning. A study on the cultural landscape of Hani's terrace and its protection. *Geographical Research*, 2002, 21(6): 733-741.] DOI: 10.3321/j.issn: 1000-0585.2002.06.009.
- [14] 张永勋, 闵庆文. 稻作梯田农业文化遗产保护研究综述. *中国生态农业学报*, 2016, 24(4): 460-469. [Zhang Yongxun, Min Qingwen. A review of conservation of rice terraces as agricultural heritage systems. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2016, 24(4): 460-469.] DOI: CNKI: SUN: ZGTN.0.2016-04-006.
- [15] Zhang Y X, Min Q W, Jiao W J, et al. Values and conservation of Honghe hani rice terraces system as a GIAHS Site. *Journal of Resources and Ecology*, 2016, 7(3): 197-204. DOI: 10.5814/j.issn.1674-764x.2016.03.007.
- [16] Ma N, Yang L, Min Q W, et al. The significance of traditional culture for agricultural biodiversity-experiences from GIAHS. *Journal of Resources and Ecology*, 2021, 12(4): 453-461. DOI: 10.5814/J.ISSN.1674-764X.2021.04.003.
- [17] 王浩, 叶文, 薛熙明. 遗产视角下的元阳哈尼梯田旅游开发: 基于国内外梯田旅游发展模式的研究. *旅游研究*, 2009, 1(3): 23-26, 32. [Wang hao, Ye Wen, Xue Ximing. Yuanyang Hani terrace's tourism development in the view of heritage: Based on the model research on domestic and foreign terraces' tourism development. *Tourism Research*, 2009, 1(3): 23-26, 32.] DOI: 10.3969/j.issn.1674-5841.2009.03.004.
- [18] Geoffrey Wall, 孙业红, 吴平. 梯田与旅游: 探索梯田可持续旅游发展路径. *旅游学刊*, 2014, 29(4): 12-18. [Geoffrey Wall, Sun Yehong, Wu Ping. Terraces and tourism: Exploring sustainable tourism development of rice terraces. *Journal of Tourism*, 2014, 29(4): 12-18.] DOI: 10.3969/j.issn.1002-5006.2014.04.06.
- [19] Chen B X, Qiu Z M, Nakamura K. Tourist preferences for agricultural landscapes: a case study of terraced paddy fields in Noto Peninsula, Japan. *Journal of Mountain Science*, 2016, 13(10): 1880-1892. DOI: 10.1007/s11629-015-3564-0.
- [20] Sakellariou M, Psiloglou B E, Giannakopoulos C, et al. Integration of abandoned lands in sustainable agriculture: The case of terraced landscape re-cultivation in mediterranean island conditions. *Land*, 2021, 10(5): 457. DOI: 10.3390/LAND10050457.
- [21] 卫伟, 陈蝶, 角媛梅. 加强梯田景观综合研究, 促进山地系统可持续发展: 第十届全国景观生态学学术研讨会梯田景观专场述评. *生态学报*, 2021, 41(8): 3325-3329. [Wei Wei, Chen Die, Jiao Yuanmei. Strengthen the comprehensive research on terraced landscape and promote the sustainable development of mountain system: Comment on the terraced landscape of the 10th National Symposium on Landscape Ecology. *Acta Ecologica Sinica*, 2021, 41(8): 3325-3329.] DOI: 10.5846/stxb202101100100.
- [22] Luo L H, Li F Y, Dai Z Y, et al. Terrace extraction based on remote sensing images and digital elevation model in the loess plateau, China. *Earth Science Informatics*, 2020, 13(2): 433-446. DOI: 10.1007/s12145-020-00444-x.
- [23] 胡文英, 角媛梅, 范弢. 哈尼梯田土地利用空间格局及其变化的信息图谱研究. *地理科学*, 2008, 28(3): 419-424. [Hu Wenyi, Jiao Yuanmei, Fan Tao. Research on information Tupu of land use spatial pattern and its change in Hani terraces fields. *Geographical Sciences*, 2008, 28(3): 419-424.] DOI: 10.3969/j.issn.1000-0690.2008.03.021.
- [24] Kladnik D, Geršič M Pipan P, et al. Land-use changes in Slovenian terraced landscapes. *Acta Geographica Slovenica*, 2019, 59(2): 119-141. DOI: 10.3986/AGS.6988.
- [25] Pepe G, Mandarino A, Raso E, et al. Investigation on farmland abandonment of terraced slopes using multitemporal data sources comparison and its implication on hydro-geomorphological processes. *Water*, 2019, 11(8): 1552. DOI: 10.3390/w11081552.
- [26] 杨荣娟, 刘洋, 闵庆文, 等. 河北涉县旱作石堰梯田农业文化遗产景观特征及演变. *中国农业信息*, 2019, 31(6): 61-73. [Yang Rongjuan, Liu Yang, Min Qingwen, et al. Landscape characteristics and evolution of agricultural heritage of dryland stone-ridge terraced field in Shexian, Hebei province. *China Agricultural Information*, 2019, 31(6): 61-73.] DOI: CNKI: SUN: NXTS.0.2019-06-009.
- [27] Foley J A . Global consequences of land use. *Science*, 2005, 309(5734): 570-574. DOI: 10.1126/science.1111772.
- [28] Wang X, Li X B. China's agricultural land use change and its underlying drivers: A literature review. *Journal of Geographical Sciences*, 2021, 31(8): 1222-1242. DOI: 10.1007/S11442-021-1894-0.

- [29] Zhang B L, Sun P L, Jiang G H, et al. Rural land use transition of mountainous areas and policy implications for land consolidation in China. *Journal of Geographical Sciences*, 2019, 29(10): 1713-1730. DOI: 10.1007/s11442-019-1687-x.
- [30] Ma W Q, Jiang G H, Li W Q, et al. How do population decline, urban sprawl and industrial transformation impact land use change in rural residential areas? A comparative regional analysis at the peri-urban interface. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 205: 76-85. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.08.323.
- [31] Liu Y S, Li Y H. Revitalize the world's countryside. *Nature*, 2017, 548(7667): 275-277. DOI: 10.1038/548275a.
- [32] Zhang Y X, Min Q W, Li H Y, et al. A conservation approach of Globally Important Agricultural Heritage Systems (GIAHS): Improving traditional agricultural patterns and promoting scale-production. *Sustainability*, 2017, 9(2): 295. DOI: 10.3390/su9020295.
- [33] Cots-Folch R, Martínez-Casasnovas JA, Ramos MC. Land terracing for new vineyard plantations in the north-eastern Spanish Mediterranean region: Landscape effects of the EU Council Regulation policy for vineyards' restructuring. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2005, 115(1-4): 88-96. DOI: 10.1016/j.agee.2005.11.030.
- [34] García-Ruiz J M, Lana-Renault N. Hydrological and erosive consequences of farmland abandonment in Europe, with special reference to the Mediterranean region: A review. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2011, 140(3-4): 317-338. DOI: 10.1016/j.agee.2011.01.003.
- [35] Khanal N R, Watanabe T. Abandonment of agricultural land and its consequences. *Mountain Research and Development*, 2006, 26(1): 32-40. DOI: 10.1659/0276-4741(2006)026[0032:AOALAI]2.0.CO;2.
- [36] Evenson R E, Gollin D. Assessing the impact of the green revolution, 1960 to 2000. *Science*, 2003, 300(5620): 758-762. DOI: 10.1126/science.1078710.
- [37] 房艳刚, 刘继生. 基于多功能理论的中国乡村发展多元化探讨: 超越“现代化”发展范式. *地理学报*, 2015, 70(2): 257-270. [Fang Yangang, Liu Jisheng. Diversified agriculture and development in China based on multifunction theory: Beyond modernization paradigm. *Acta Geographica Sinica*, 2015, 70(2): 257-270.] DOI: 10.11821/dlxb201502007.
- [38] 吴寿昌, 黄婧. 贵州黔东南稻作梯田的历史文化及生态价值. *贵州农业科学*, 2011, 39(5): 81-84, 6. [Wu Shouchang, Huang Jing. Historical culture and ecological value of rice terraces in Southeast Guizhou. *Guizhou Agricultural Sciences*, 2011, 39(5): 81-84, 6.] DOI: 10.3969/j.issn.1001-3601.2011.05.024.
- [39] Wang N, Fang M, Beauchamp M, et al. An indigenous knowledge-based sustainable landscape for mountain villages: The Jiabang rice terraces of Guizhou, China. *Habitat International*, 2021, 111(1-3): 102360. DOI: 10.1016/J.HABITATINT.2021.102360.
- [40] 姚敏, 崔保山. 哈尼梯田湿地生态系统的垂直特征. *生态学报*, 2006, 26(7): 2115-2124. [Yao Min, Cui Baoshan. The vertical characteristics of ecosystem of Hani's terrace paddyfield in Yunnan, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(7): 2115-2124.] DOI: CNKI: SUN: STXB.0.2006-07-008.
- [41] Xu H, Wang Q, Bai J, et al. Changes of phosphate and ammonium nitrogen in irrigated waters of hani terrace wetlands along the elevation gradients. *Procedia Environmental Sciences*, 2010, 2(1): 1368-1373. DOI: 10.1016/j.proenv.2010.10.148.
- [42] 邬建国. 景观生态学: 格局、过程、尺度与等级 (第二版). 北京: 高等教育出版社, 2007: 1-230. [Wu Jianguo. *Landscape Ecology: Pattern, Process, Scale and Level (Second Edition)*. Beijing: Higher Education Press, 2007: 1-230.]
- [43] 焦庚英, 杨效忠, 黄志强, 等. 县域“三生空间”格局与功能演变特征及可能影响因素分析: 以江西婺源县为例. *自然资源学报*, 2021, 36(5): 1252-1267. [Jiao Gengying, Yang Xiaozhong, Huang Zhiqiang, et al. Evolution characteristics and possible impact factors for the changing pattern and function of “Production-Living-Ecological” space in Wuyuan County. *Journal of Natural Resources*, 2021, 36(5): 1252-1267.] DOI: 10.31497/zrzyxb.20210513.
- [44] 朱会义, 李秀彬. 关于区域土地利用变化指数模型方法的讨论. *地理学报*, 2003, 58(5): 643-650. [Zhu Huiyi, Li Xiubin. Discussion on the index method of regional land use change. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(5): 643-650.] DOI: 10.3321/j.issn: 0375-5444.2003.05.001.
- [45] 陈永林, 谢炳庚, 李晓青, 等. 长株潭地区聚落空间演化及其与耕地的空间关系研究. *人文地理*, 2015, 30(6): 106-112. [Chen Yonglin, Xie Binggeng, Li Xiaoqing, et al. Study on settlement spatial evolution and its space relationship with arable land in Chang-Zhu-Tan region. *Human Geography*, 2015, 30(6): 106-112.] DOI: CNKI: SUN: RWDL.0.2015-06-018.
- [46] 封志明, 刘晓娜, 姜鲁光, 等. 中老缅交界地区橡胶种植的时空格局及其地形因素分析. *地理学报*, 2013, 68(10): 1432-1446. [Feng Zhiming, Liu Xiaona, Jiang Luguang, et al. Spatial-temporal analysis of rubber plantation and its relationship with topographical factors in the border region of China, Laos and Myanmar. *Acta Geographica Sinica*, 2013, 68(10): 1432-1446.] DOI: CNKI: SUN: DLXB.0.2013-10-013.
- [47] 刘彦随, 杨忍. 中国县城城镇化的空间特征与形成机理. *地理学报*, 2012, 67(8): 1011-1020. [Liu Yansui, Yang Ren. The spatial characteristics and formation mechanism of the county urbanization in China. *Acta Geographica Sinica*, 2012, 67(8): 1011-1020.] DOI: CNKI: SUN: DLXB.0.2012-08-003.

- [48] 中华人民共和国水利部. SL190-2007土壤侵蚀分类分级标准. 北京: 中国水利水电出版社, 2007. [Ministry of Water Resources of the People's Republic of China. SL190-2007 Classification Standard of Soil Erosion. Beijing: China Water Power Press, 2007.]
- [49] 刘继来, 刘彦随, 李裕瑞. 中国“三生空间”分类评价与时空格局分析. 地理学报, 2017, 72(7): 1290-1304. [Liu Jilai, Liu Yansui, Li Yurui. Classification evaluation and spatial-temporal analysis of “production-living-ecological” spaces in China. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(7): 1290-1304.] DOI: 10.11821/dlxb201707013.
- [50] 张佰林, 高江波, 高阳, 等. 中国山区农村土地利用转型解析. 地理学报, 2018, 73(3): 503-517. [Zhang Bailin, Gao Jianguo, Gao Yang, et al. Land use transition of mountainous rural areas in China. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(3): 503-517.] DOI: 10.11821/dlxb201803009.
- [51] 李升发, 李秀彬. 中国山区耕地利用边际化表现及其机理. 地理学报, 2018, 73(5): 803-817. [Li Shengfa, Li Xiubin. Economic characteristics and the mechanism of farmland marginalization in mountainous areas of China. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(5): 803-817.] DOI: 10.11821/dlxb201805002.
- [52] Wang D, Higgitt D, Tang Y T, et al. Landscape change and the sustainable development strategy of different types of ethnic villages driven by the grain for green program. *Sustainability*, 2018, (10): 3485. DOI: 10.3390/su10103485.
- [53] Ryo K, Koji I, Yoshitaka M, et al. Cultural ecosystem services from the afforestation of rice terraces and farmland: Emerging services as an alternative to monoculturalization. *Forest Ecology and Management*, 2021, 497: 119481. DOI: 10.1016/J.FORECO.2021.119481.
- [54] 李天翼, 麻勇斌. 西江模式: 贵州民族文化旅游产业发展的样本. 新西部, 2018, (19): 39-43. [Li Tianyi, Ma Yongbin. Xijiang Model: A sample of the development of Guizhou National Cultural Tourism Industry. *New West*, 2018, (19): 39-43.] DOI: 10.3969/j.issn.1009-8607(s).2018.07.008.
- [55] 周宗俊, 保继刚, 翁时秀. 梯田保护利用的演化逻辑及外力影响因素: 以元阳哈尼梯田为例. 热带地理, 2021, 41(2): 388-397. [Zhou Zongjun, Bao Jigang, Weng Shixiu. Evolution of terrace farming and external factors of terrace protection measures: A case study of Hani terraces. *Tropical Geography*, 2021, 41(2): 388-397.] DOI: 10.13284/j.cnki.rddl.003326.
- [56] 王臣立, 徐丹, 林文鹏. 红河哈尼梯田世界文化景观遗产的遥感监测与土地覆盖变化. 生态环境学报, 2021, 30(2): 233-241. [Wang Chenli, Xu Dan, Lin Wenpeng. Remote sensing monitoring and land cover change of the world cultural landscape heritage in Honghe Hani terrace, China. *Acta Eco-Environmental Sciences*, 2021, 30(2): 233-241.] DOI: 10.16258/j.cnki.1674-5906.2021.02.002.
- [57] 宗路平, 角媛梅, 李石华, 等. 哈尼梯田遗产区乡村聚落景观及其演变: 以云南元阳全福庄中寨为例. 热带地理, 2014, 34(1): 66-75. [Zong Luping, Jiao Yuanmei, Li Shihua, et al. The rural settlement landscape and its evolution in the Hani rice terrace culture landscape areas: A case study of Quanfuzhuang Middle Village, Yuanyang County, Yunnan. *Tropical Geography*, 2014, 34(1): 66-75.] DOI: 10.13284/j.cnki.rddl.000009.
- [58] 侯惠珺, 罗丹, 赵鸣. 基于生态恢复和文化回归的梯田景观格局重建: 以菲律宾科迪勒拉高山水稻梯田景观复兴为例. 生态学报, 2016, 36(1): 148-155. [Hou Huijun, Luo Dan, Zhao Ming. Reconstruction of landscape pattern on terraces based on the theory of ecological restoration and cultural regression for mountain rice terraces in the Philippines Cordillera region. *Acta Ecologica Sinica*, 2016, 36(1): 148-155.] DOI: 10.5846/stxb201502060300.
- [59] 程纪香, 关文涛. 黔东南森林康养与体育旅游融合的PEST分析. 体育科技, 2020, 41(1): 93-94. [Cheng Jixiang, Guan Wentao. PEST analysis of the integration of forest health and sports tourism in Southeast Guizhou. *Sports Science and Technology*, 2020, 41(1): 93-94.] DOI: CNKI: SUN: TYKJ.0.2020-01-037.
- [60] 尹绍亭. 哈尼梯田垦殖生态极限的当代意义探讨. 原生态民族文化学刊, 2021, 13(3): 18-26, 153. [Yin Shaoting. Study on the contemporary significance of ecological cultivation limit of Hani terraces. *Journal of Original Ecological and Ethnic Culture*, 2021, 13(3): 18-26, 153.]
- [61] Lesschen J P, Cammeraat L H, Nieman T. Erosion and terrace failure due to agricultural land abandonment in a semi-arid environment. *Earth Surface Processes and Landforms*, 2010, 33(10): 1574-1584. DOI: 10.1002/esp.1676.
- [62] Moreno-de-las-Heras M, Lindenberger F, Latron J, et al. Hydro-geomorphological consequences of the abandonment of agricultural terraces in the Mediterranean region: Key controlling factors and landscape stability patterns. *Geomorphology*, 2019, 333: 73-91. DOI: 10.1016/j.geomorph.2019.02.014.
- [63] Wang N, Li J H, Zhou Z X. Landscape pattern optimization approach to protect rice terrace Agroecosystem: Case of GI-AHS site Jiache Valley, Guizhou, Southwest China. *Ecological Indicators*, 2021, 129(1): 107958. DOI: 10.1016/J.ECOLIND.2021.107958.
- [64] Zuazo V H D, Ruiz J A, Raya A M, et al. Impact of erosion in the taluses of subtropical orchard terraces. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2005, 107(2-3): 199-210. DOI: 10.1016/j.agee.2004.11.011.
- [65] 付广华. 环太平洋梯田文化圈论. 广西民族研究, 2008, (1): 132-138. [Fu Guanghua. On the terrace cultural cycle around the Pacific. *Guangxi Ethnic Studies*, 2008(1): 132-138.] DOI: 10.3969/j.issn.1004-454X.2008.01.021.

Spatio-temporal evolution of rice terraces in mountainous areas of Southwest China: A case study of Xijiang and Jiabang townships, Miaoling

YU Meng¹, LI Yangbing¹, LUO Guangjie², ZHANG Han¹, XU Qian³, YU Limin¹

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

2. Guizhou Provincial Key Laboratory of Geographic State Monitoring of Watershed, Guizhou Education University, Guiyang 550018, China; 3. School of International Tourism and Culture, Guizhou Normal

University, Guiyang 550025, China)

Abstract: Rice terraces are an important land use way in mountainous areas of southern China, so analyzing its spatio-temporal change law is of great significance to regional land resource utilization, eco-environmental protection, and sustainable agricultural development. Based on multi-source data, we obtain the land use classification maps of Xijiang Township (1977-2020) and Jiabang Township (1962-2020) in the Miaoling Mountains. We use landscape index, spatial analysis and sample transect analysis methods to examine the spatio-temporal pattern and function evolution of rice terraces, and to reveal the evolution and particularity of rice field use and human-land relationship. The results show that: (1) The scale of the rice fields in the study area has been developing steadily for a long time, but the overall scale has decreased in recent years, and the trend of patch fragmentation has gradually become prominent. Before 2000, the distribution of rice fields expanded to high and low altitudes, from a slight slope to a sharp slope. After 2000, the distribution of rice fields showed a shrinking trend, and the planting intensity presented the same change pattern. (2) The spatial distribution of rice field kernel density showed a pattern of co-existence of small-scale high-density cluster area and large-scale medium-low density distribution. Since 2000, the kernel density of the rice fields has changed slightly, and the distribution of the rice fields is from northeast to southwest. (3) In the productive land-oriented stage, a large area of forest land is converted into rice fields; in the ecological-economic compound land-oriented stage, the rice field scale remains stable. (4) The ration index shows that the proportion of “more people and fewer fields” type is increasing, indicating that the human-land contradiction in some areas is increasingly prominent, especially in Xijiang Township. (5) According to the analysis of the four-element isomorphic transect of “forest-terraces-village-river”, the function of the rice fields has undergone a process of “production-ecology/economy,” which is closely related to the development of tourism. The research results comprehensively reflect the spatio-temporal evolution characteristics of rice terraces in the study area, which is helpful in promoting the optimal utilization, protection and inheritance of traditional rice field resources in mountainous areas as well as the revitalization and development of rural areas.

Keywords: rice terraces; spatio-temporal evolution; landscape ecology; Miaoling Mountains; Qiandongnan Miao and Dong Autonomous Prefecture