

DOI: 10.20103/j.stxb.202311162490

赵雯欣, 陈艳, 李阳兵, 王清荣, 邵景安. 三峡库区乡村坡耕地长时间序列动态演变与转型. 生态学报, 2024, 44(16): 6907-6922.

Zhao W X, Chen Y, Li Y B, Wang Q R, Shao J A. Long-term dynamic evolution and transformation of rural sloping farmland in the Three Gorges Reservoir area. Acta Ecologica Sinica, 2024, 44(16): 6907-6922.

三峡库区乡村坡耕地长时间序列动态演变与转型

赵雯欣¹, 陈艳¹, 李阳兵^{1,2,*}, 王清荣¹, 邵景安^{1,2}

¹ 重庆师范大学三峡库区地表过程与生态修复重庆市重点实验室, 重庆 401331

² 三峡库区地表生态过程重庆市野外科学观测研究站, 重庆 401331

摘要: 研究山区坡耕地动态演变与利用转型, 对中国西南山区传统乡村的粮食安全和农业可持续发展具有一定指导意义。以三峡库区腹地草堂河流域为研究对象, 利用 ArcGIS 10.2 软件并结合 Fragstats、土地利用转移矩阵等技术手段对坡耕地的演变和驱动机制进行分析。结果表明: (1) 坡耕地面积持续减少, 与 1965 年相比, 2020 年坡耕地面积减少 8004.7 hm², 整体动态度达 7.21%, 随着社会经济的发展坡耕地动态演变更趋活跃; 坡耕地面积随高程级、坡度级的增加而先增后减, 随聚落距离的增加而迅速减少。 (2) 坡耕地 LPI、MPS、AI 呈减小的趋势, MNN 不断增加; 坡耕地规模减小、破碎化程度加剧, 斑块连片集中化程度减弱。 (3) 坡耕地主要向果园、林地和草地等转换, 坡耕地生产功能主要转换为生态经济功能和生态功能, 部分转换为生活功能。 (4) 山区坡耕地动态演变和利用转型可以归纳为生态经济型、撂荒型和生态型 3 种模式, 其演变主要受到自然、社会经济、政策等多种因素的共同作用。研究结果揭示了 50 多年来三峡库区坡耕地的动态演变及转型特征, 对库区山区农村土地利用、乡村可持续发展以及人地关系的改善具有启示意义。

关键词: 土地利用; 坡耕地; 动态演变; 三峡库区

Long-term dynamic evolution and transformation of rural sloping farmland in the Three Gorges Reservoir area

ZHAO Wenxin¹, CHEN Yan¹, LI Yangbing^{1,2,*}, WANG Qingrong¹, SHAO Jing'an^{1,2}

¹ Chongqing Key Laboratory of Surface Process and Ecological Restoration in the Three Gorges Reservoir Area, Chongqing Normal University, Chongqing 401331, China

² Chongqing Field Observation and Research Station of Surface Ecological Process in the Three Gorges Reservoir Area, Chongqing 401331, China

Abstract: The study of the dynamic evolution and utilization transition of sloping farmland in mountainous areas has guiding significance for food security and sustainable agricultural development in Southwest China. Taking Caotangxi Basin in the hinterland of the Three Gorges Reservoir area as the research object, the evolution and driving mechanism of sloping farmland were analyzed by using ArcGIS 10.2 software, and combining with Fragstats, land use transfer matrix, and other technical means. The results show that: (1) Compared with 1965, the area of sloping farmland in 2020 decreased by 8004.7 hm², with the overall dynamic degree of 7.21%. With the development of social economy, the change of slope cultivated land area has become more active. The area of sloping farmland increased first, and then decreased with the increasing elevation class and slope class, and decreased rapidly with increasing distance from the settlement. (2) The largest patch index (LPI), mean patch size (MPS), and aggregation index (AI) of sloping farmland showed a decreasing trend, while the mean nearest neighbor distance (MNN) increased continuously. In regions with poor geographic conditions, sloping cropland decreased and patches were gradually fragmented. In areas with better geographic conditions,

基金项目: 国家社科重大项目 (20&ZD096)

收稿日期: 2023-11-16; 网络出版日期: 2024-06-18

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

the slope farmland has high agglomeration and large area. (3) Sloping farmland was mainly transferred to forest land, garden land, grassland, settlements, and abandoned land. The transfer area of slope farmland to forest land was 4426.85 hm^2 , and the transfer area to garden land was 3810.33 hm^2 . In the area of low elevation, slope and close to the settlement, the sloping farmland was mainly transferred to orchards, and in the area of high elevation, slope and farther from the settlement, the sloping farmland was mainly transferred to forest and grassland. The production function of sloping farmland was mainly converted to ecological economic functions and ecological functions, and partially converted to living functions. (4) In different topographic gradients, the dynamic evolution and utilization transformation of sloping farmland in mountainous areas could be summarized into three modes: ecological-economic model, abandoned model, and ecological model. Its evolution was mainly affected by a combination of natural, scio-economic, and policy. This paper reveals the dynamic evolution and transformation characteristics of sloping farmland in the Three Gorges Reservoir Area over the past 50 years, which has certain academic value. The results of the study are instructive for the utilization of rural land in the mountainous areas, the sustainable development of the countryside, and the improvement of human-land relations.

Key Words: land use; sloping farmland; dynamic evolution; Three Gorges Reservoir Area

耕地是人类赖以生存的基本条件和资源,其在数量和质量上的变化必将使粮食生产产生波动,从而影响到粮食有效供给及粮食安全水平^[1]。十分珍惜、合理利用土地和切实保护耕地是中国的根本国策^[2]。而坡耕地是指分布于山坡上,地面平整度较差的耕地,也是山区进行农业生产的基础性资源^[3]。随着社会经济的发展,以及工业化、城镇化进程的加快,中国乡村社会经历了从传统农业社会向工业社会转型过渡的过程^[4],城乡要素的互动与转移导致山区坡耕地撂荒、质量退化、空间破碎、生态破坏等问题频发^[5],坡耕地的利用方式也不断发生转型。因此,深入探究坡耕地在不同地形梯度上的动态演变及其利用转型对山区坡耕地优化利用、粮食安全和生态环境保护具有重要意义。

随着山区耕地去农化、边际化趋势加剧^[6],坡耕地时空变化及影响机制、生态保护、功能演变等也成为山区土地利用研究的热点议题。在坡耕地的时空变化及影响机制方面,大量学者通过运用空间计量模型、多元统计分析等方法,从坡耕地的时空动态演变^[7]、坡耕地利用效率空间变化^[8]、以及坡耕地资源的驱动机制及影响因子^[9]等方面开展了大量研究。如罗光杰等人^[10]认为,作为人地系统耦合的结果,坡耕地在不同社会、生态及历史条件下,形成了显著的差异性演变格局,基于时空演变视角对坡耕地进行分析,可为山区农业发展政策制定提供参考价值。在坡耕地生态保护方面,学者们的研究主要集中在坡耕地的生态效应^[11]、土壤侵蚀^[12]、水土流失^[13]等方向。Liao 等人通过对中国岩溶山区坡耕地的研究发现,生态政策的实施对坡耕地利用产生了极大影响,区域生态环境改善,坡耕地面积显著收缩^[14]。在功能演变方面,大部分学者通过对坡耕地利用多功能权衡与协同关系^[15]、功能转型与影响^[16]等方向的研究证实,山区坡耕地功能不断由生产功能向生计功能转变,“非粮化”现象明显^[17]。然而,现有研究多从省域、县域、大流域等较大尺度对坡耕地进行相关研究,从小流域微观尺度出发,综合探讨坡耕地在不同高程、坡度及距聚落不同距离区域内的长时间序列空间格局演变及利用转型路径的研究则较为缺乏。

三峡库区是集农村贫困区、丘陵山区和移民库区为一体的重点生态功能区^[18]。受地形限制,山地多平地少,坡耕地在耕地结构中所占比重超过 70%^[19],是区域农业活动和粮食生产最重要的基础性资源^[20]。在社会经济、环境、政策等诸多因素的共同驱动下,近几十年来三峡库区土地利用发生着显著变化^[21],其中以坡耕地的变化最为显著。库区内坡耕地演变逐渐由以粮食需求为主导的粮食生产阶段向以生态安全需求为主导的生态恢复阶段,以及以政府和农户发展需求为主导的坡耕地多样化利用阶段转换^[22]。因此,揭示三峡库区山区传统乡村长时间序列下坡耕地的动态演变过程与转型模式,及其反映的人地关系,对于推动库区山区耕地资源系统协调发展具有重要意义。基于此,本文以三峡库区腹地草堂溪流域为研究对象,通过构建“理论分析-实证研究-趋势预测”的研究范式,从整体-微观的角度探究库区典型山区 50 多年来坡耕地数量动态变

化、时空格局演变与功能利用转型,揭示其演变阶段、转型模式与路径,以为山区生态与经济双赢,人地关系权衡与协调,以及土地利用优化提供参考。

1 理论分析

1.1 山区坡耕地动态演变及利用转型理论模型

山区土地利用转型是区域内人地关系变化的重要体现,其演变与人口、社会经济发展阶段相适应^[23],大致经历了从传统农业时期的“区域人口增长-耕地扩张-林草地收缩”到现代社会的“人口城镇迁移-生产要素重组-种植结构调整,耕地弃耕撂荒-林草地持续收缩后保持稳定以至恢复增长”的转型过程^[24]。坡耕地作为土地系统、社会-生态系统、传统农业生态系统的重要组成部分^[25],其动态演变随着山区土地利用转型、社会-生态系统转型和传统农业生态系统转型发生了较大变化^[26]。因此,本文认为山区坡耕地的动态演变及利用转型经历了以下三个阶段(图1):

在传统农业时期,社会经济发展水平低下,政府和农户首要保障和追求的是粮食安全和生存需求^[20]。由于山区耕地的耕作条件和产出能力不及平原^[27],随着人口的不断增长,山区农民只能通过扩大耕地面积的方式来提高粮食产量,以维持生计^[28]。山区林地逐渐被垦荒为农田,坡耕地面积增加且海拔升高明显,区域内坡耕地的生产功能突出。

步入过渡时期,政府和农户需求均开始发生变化,为了保障山区生态安全,国家大范围推广退耕还林等生态政策,坡耕地逐步被迫退耕并逐渐向林草地等自然植被转变^[29]。与此同时,城镇化和工业化的推进导致大量山区劳动力向外转移,农户开始寻求多样化的生计,乡村农业劳动力减少,一些海拔高、坡度大、距离远、分布破碎的坡耕地由于产出低、投入高而大量撂荒^[30]。区域坡耕地的部分生产功能向生态功能和生态经济功能转换趋势明显。

进入乡村现代转型时期^[31],在生态发展和经济发展的多重需求下,经济果林由于具有更好的经济效益和生态效益,成为政府整治撂荒坡耕地的重要选择^[32]。山区农户进一步缩减坡耕地种植面积,改种兼具生态和经济效益的果树,以此增加农户收入、推动乡村振兴,乡村果园面积大量增加,区域坡耕地的生产功能大量向生态经济功能转换^[16]。城镇扩张中的基础配套设施进一步占用城镇附近的低坡度耕地,坡耕地的生产功能也向生活功能进行转换。

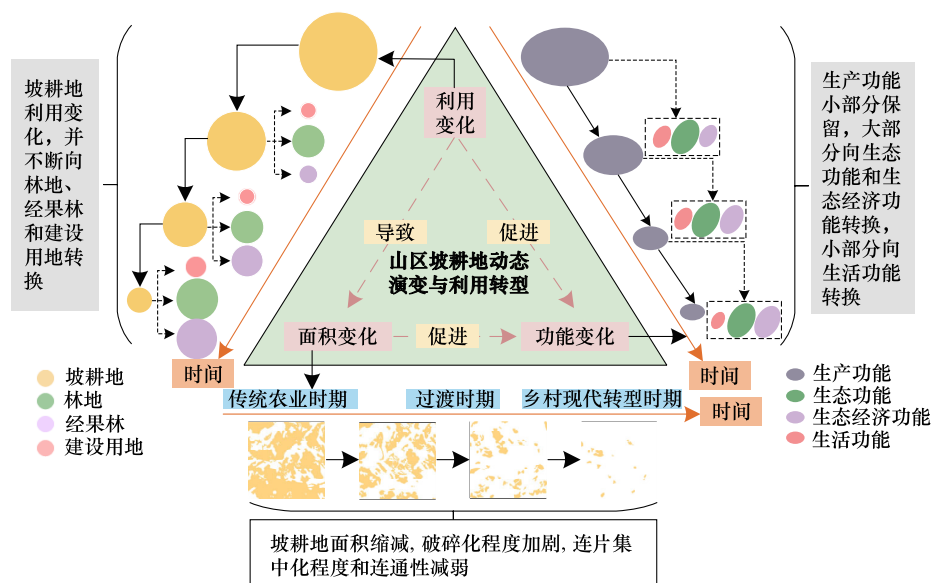


图1 山区坡耕地动态演变与利用转型理论框架

Fig.1 A theoretical framework for the dynamic evolution and utilization transition of sloping farmland in mountainous areas

1.2 三峡库区坡耕地演变过程

近年来三峡库区乡村景观格局形态发生了显著转型,果园、撂荒地作为新的农业景观类型逐渐取代坡耕地,农业景观形态的多样性增强^[33]。随着移民工程的实施,研究区劳动力不断减少,高海拔地区坡耕地经撂荒后逐步发展为灌木草地,生态功能虽有所增强,但坡耕地的生产功能、经济功能及粮食安全维护等功能均有不同程度的降低^[16];在河谷平坝地区,果园和坡耕地呈现出规模化、集聚化趋势。

聚落是人类生产和生活的主要活动场所,农村空心化导致农业生产发展弱化,影响着耕地利用形式^[34]。坡耕地作为山区乡村与人类活动关联最密切的土地利用类型之一^[35],三峡库区腹地高海拔地区乡村聚落由于劳动力析出等影响逐渐向河谷平坝区迁移,原聚落周边的坡耕地不断撂荒,即高海拔地区的坡耕地向“林灌草”土地利用类型转变^[18]。上述现象表明三峡库区腹地的坡耕地在不同高程、坡度以及距聚落距离下,其动态演变和利用方式也具有很大差异。据此,在森林转型、土地利用转型理论的基础上,本文遵循“整体-分级”尺度的研究过程,通过构建山区坡耕地演变与转型理论模型,探讨坡耕地在不同高程、坡度及聚落距离区域内的空间格局演变及利用转型模式。

2 研究区概况、数据来源与研究方法

2.1 研究区概况

草堂河流域(31°02'40"N—31°10'06"N, 109°31'03"E—109°45'20"E)主体位于重庆市奉节县草堂镇(图2)。草堂溪属长江一级支流,河流全长 33.3 km,流域面积 191.53 km²,流域内地势中间低、四周高,海拔介于 129—1866 m,地貌类型以山地和丘陵为主,坡度 6°以上的区域占比达 90.33%^[35]。社会经济的发展等因素推动了研究区土地利用方式发生剧烈变化,其中以坡耕地变化最为显著^[36],尤其是三峡工程和退耕还林还草政策开展以来,区域内出现了明显的耕-果转换现象^[16]。因此本文以草堂河流域作为研究区来分析山区坡耕地的动态演变规律和利用转型结果具有一定的典型性和科学性。

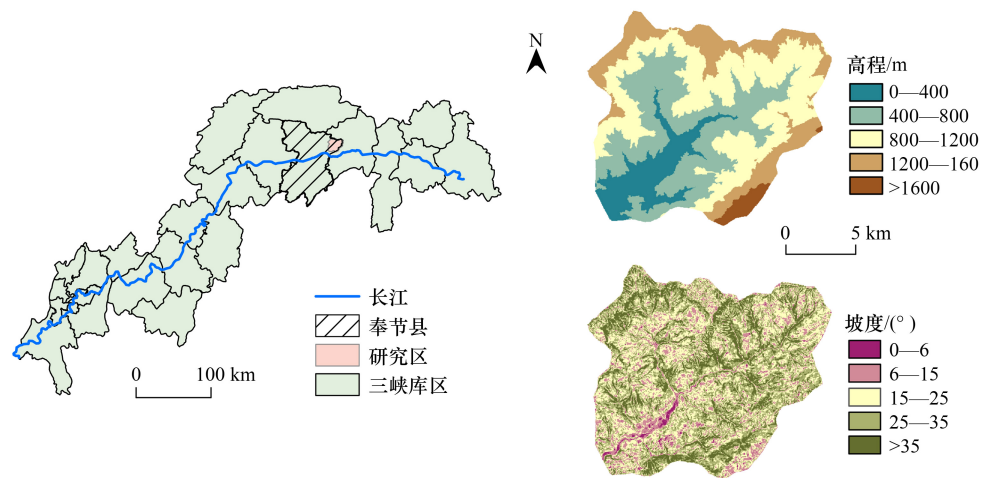


图2 研究区概况

Fig.2 Location map of the study area

2.2 数据来源

研究区 1965 年和 1980 年土地利用图源自 USGS Declass(分辨率为 2.75 m)影像,2000、2010 年和 2020 年土地利用图源自 Google Earth(分辨率为 0.51 m)高分辨遥感影像,在 ENVI 5.0 软件中对遥感影像进行几何校正、图像镶嵌及裁剪、多尺寸光谱分割、图像融合等,再以 1980 年研究区 1:5 万地形图(来源于重庆市自然资源局)为参照,对 5 期高分辨率影像校准预处理。

参照“GDPJ01—2017”地理国情普查内容与指标,结合研究区实际情况,利用 ArcGIS 10.2 软件对处理好的影像进行人机交互解译,根据研究需要将土地利用分为耕地、撂荒地、交通用地、园地、水域、有林地、灌木林地、草地、工矿用地(除道路、公共服务用地外的建设用地)、城乡聚落用地、未利用地和公共服务用地(学校、医院、景区、公园等)共 12 类^[20]。为验证土地利用分类精度,团队于 2021 年 5 月以草堂流域的龙关村、天坪村、石马村、中梁村等 10 个村落为采样点,对解译结果随意抽取图斑进行实地验证,经核验土地利用类型解译精度达到 90% 以上^[37]。

本研究参照《第三次全国国土调查技术规程》以及已有研究^[38],明确坡耕地范围为坡度 $>0^{\circ}$ 的耕地。1:5 万数字高程模型来源于地理空间数据云平台,利用 ArcGIS 10.2 软件对其进行高程和坡度处理,并将研究区的耕地矢量图层与高程图层和坡度图层进行叠加分析,提取出所需高程级、坡度级的坡耕地斑块以及其他土地利用类型斑块。

2.3 研究方法

2.3.1 坡耕地利用动态度

坡耕地利用动态度常用来表示坡耕地资源分布的稳定情况,是反映区域坡耕地变化剧烈程度的重要指标^[39]。本文采用程维明等^[40]提出的坡耕地利用动态度指数模型对 1965—2020 年研究区坡耕地利用演变及转型的数量形态变化进行计算和分析,其公式如下:

$$S = \frac{\Delta S_{i-j} + \Delta S_{j-i}}{S_i} \times \frac{1}{t} \times 100\% \quad (1)$$

式中, S 为研究区坡耕地利用动态度, S_i 为检测开始时坡耕地的总面积(hm^2), ΔS_{i-j} 为研究时段流失坡耕地面积(hm^2), ΔS_{j-i} 为研究时段新增坡耕地面积(hm^2), t 为研究时段(a)。

2.3.2 土地利用转移矩阵

土地利用转移矩阵表示同一区域不同时期土地利用类型间的转入转出方式^[41],能够反映各种土地利用类型之间动态转换状况。本文使用土地利用转移矩阵表征研究区坡耕地空间转移的动态变化特征,公式如下:

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

式中, S 为研究区坡耕地面积(hm^2), n 为转移前后的土地利用类型数, i, j 分别为转移前、后的土地利用类型。

2.3.3 景观格局指数

景观格局指数高度浓缩了空间格局信息,可以较准确地反映坡耕地在时空上的动态演变规律^[42]。利用 ArcGIS 空间分析工具将坡耕地景观图分别和高程、坡度、距聚落距离分级图进行栅格图层运算,在 Fragstats 里计算出不同高程、坡度和距聚落距离分级的景观格局指数。本文参考前人相关研究^[43—45]并结合研究区实际情况,从类型水平上选取最大斑块指数(LPI)、平均斑块大小(MPS)、聚集度(AI)和平均最邻近距离(MNN)对研究区坡耕地景观的规模、面积、集聚度、形状等特征进行定量分析。

2.3.4 高程、坡度分级

参考已有研究^[46],结合研究区地形地貌特征,利用栅格重分类,将高程划分为 5 个等级:1(0—400 m)、2(400—800 m)、3(800—1200 m)、4(1200—1600 m)、5(>1600 m)。将坡度划为 5 个等级:1(0° — 6°)、2(6° — 15°)、3(15° — 25°)、4(25° — 35°)、5($>35^{\circ}$)。再将所需年份的研究区土地利用矢量数据与各高程、坡度分级数据进行叠加分析,分析研究区坡耕地在不同等级坡度和高程的动态演变规律。

2.3.5 欧氏距离

本文运用欧氏距离探究坡耕地在聚落周边的演变状况,再结合研究区的实际情况,将距聚落的距离分为

5 个等级^[47]:1(≤ 100 m)、2(100—300 m)、3(300—600 m)、4(600—900 m)、5(>900 m);然后与土地利用类型进行叠加,形成 1965 年、1980 年、2000 年、2010 年、2020 年 5 个年份的土地利用现状图,通过相关指数计算,分析研究区坡耕地在不同聚落距离下的动态演变规律。

3 结果与分析

3.1 坡耕地数量变化特征分析

3.1.1 坡耕地整体数量变化特征

研究时段研究区坡耕地数量明显减少(图 3)。1965 年草堂河流域坡耕地总面积达 8146.41 hm^2 ,占比 34.9%;1980 年草堂河流域坡耕地斑块更趋分散,占比为 29.6%,坡耕地面积小幅减少。2000 年坡耕地面积 5408.7 hm^2 ,坡耕地占比下降至 23.2%,相较于前两个时间点,此时期坡耕地破碎化趋势明显,但整体面积仍较大,水库移民导致局部区域坡耕地面积增加,集中分布在西北部地区。2010 年研究区坡耕地面积为 2739.2 hm^2 ,到 2020 年,草堂河流域坡耕地面积只剩下 141.67 hm^2 ,坡耕地大面积减少。究其原因,主要由于国家和地方政府大力实施退耕还林还草政策;同时研究区地处三峡库区腹地,受三峡工程建设影响大,库区蓄水、移民搬迁等占用大量坡耕地,劳动力的转移也使得原有坡耕地不断撂荒。

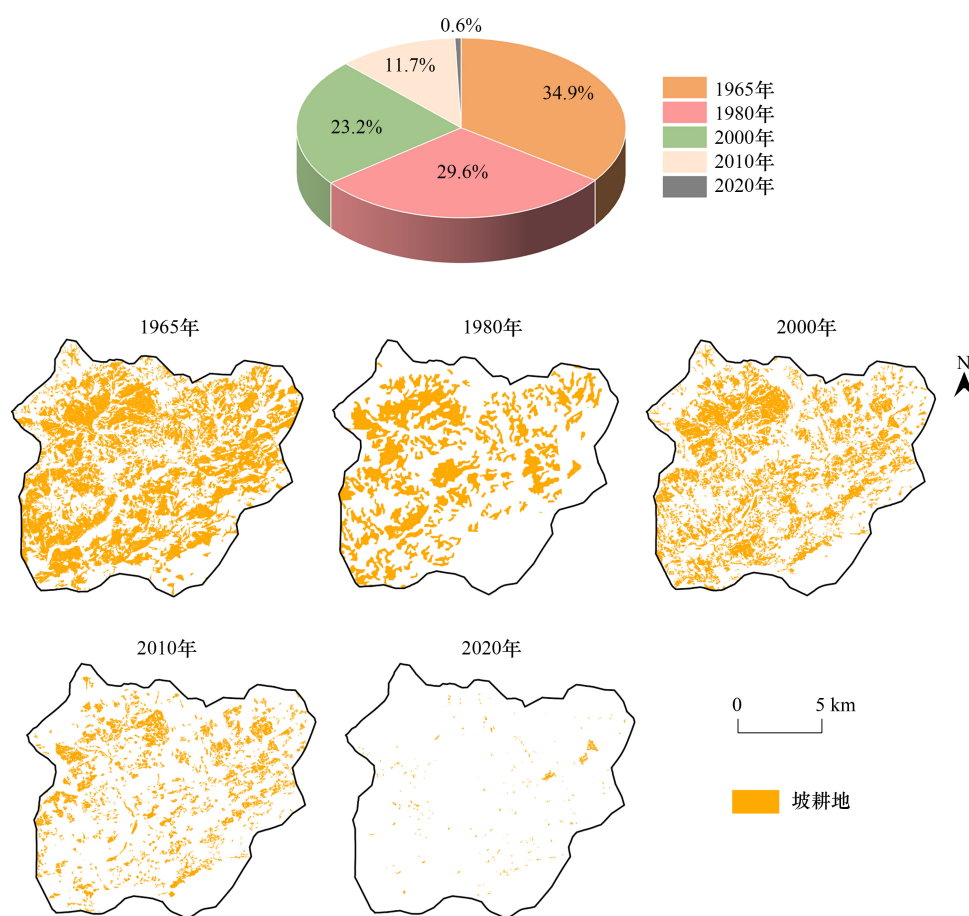


图 3 1965—2020 年研究区坡耕地整体分布

Fig.3 Overall distribution of sloping farmland in the study area from 1965 to 2020

3.1.2 分级尺度下坡耕地动态演变特征

研究时段草堂河流域坡耕地面积随高程的增加呈先增后减趋势(图 4),坡耕地主要集中分布在第 2、第 3 高程级,第 1、第 4 高程级上坡耕地分布较少,第 5 高程级的区域坡耕地分布极少。主要因为研究区整体海拔

较高,第2、第3高程级面积广,因而坡耕地在这两级高程下面积也相对较多。研究时段坡耕地面积随坡度的增加也呈现先增后减的趋势,主要分布在第3、第4坡度级,其次是第2和第5坡度级,第1坡度级区域坡耕地分布极少。究其原因,研究区第1坡度级主要分布在河谷地区,此区域地势低平、水热条件好,是主要的城镇用地和园地用地区,因而坡耕地面积少。坡耕地面积随着聚落距离的增加而急剧减少,研究区坡耕地集中分布在聚落距离第1、第2级范围内。研究区乡村“空心化”严重,年轻劳动力的减少使得一些距离远、耕作难度大、投入高的坡耕地被不断撂荒,一些老年人对聚落周边的耕地还保持着耕作的习惯。因此,距离聚落越远,坡耕地的面积也越少。

整体来看,1965—2020年,研究区坡耕地总体动态度为7.21%,其中1965—1980年坡耕地动态度为6.22%,1980—2000年动态度为6.36%,2000—2010年动态度6.54%,2010—2020年为9.71%。随着乡村社会经济的发展以及工业化、城镇化的推进,研究区坡耕地动态演变更趋活跃。低高程级、低坡度级和高高程级、高坡度级、高聚落距离级下坡耕地动态度较高,一方面,地势低平区利于开发,是城镇建设的优选;另一方面,海拔高、坡度大、距聚落远的地区由于不便于耕作,坡耕地向撂荒地、林草地转移明显,因而动态度较高。

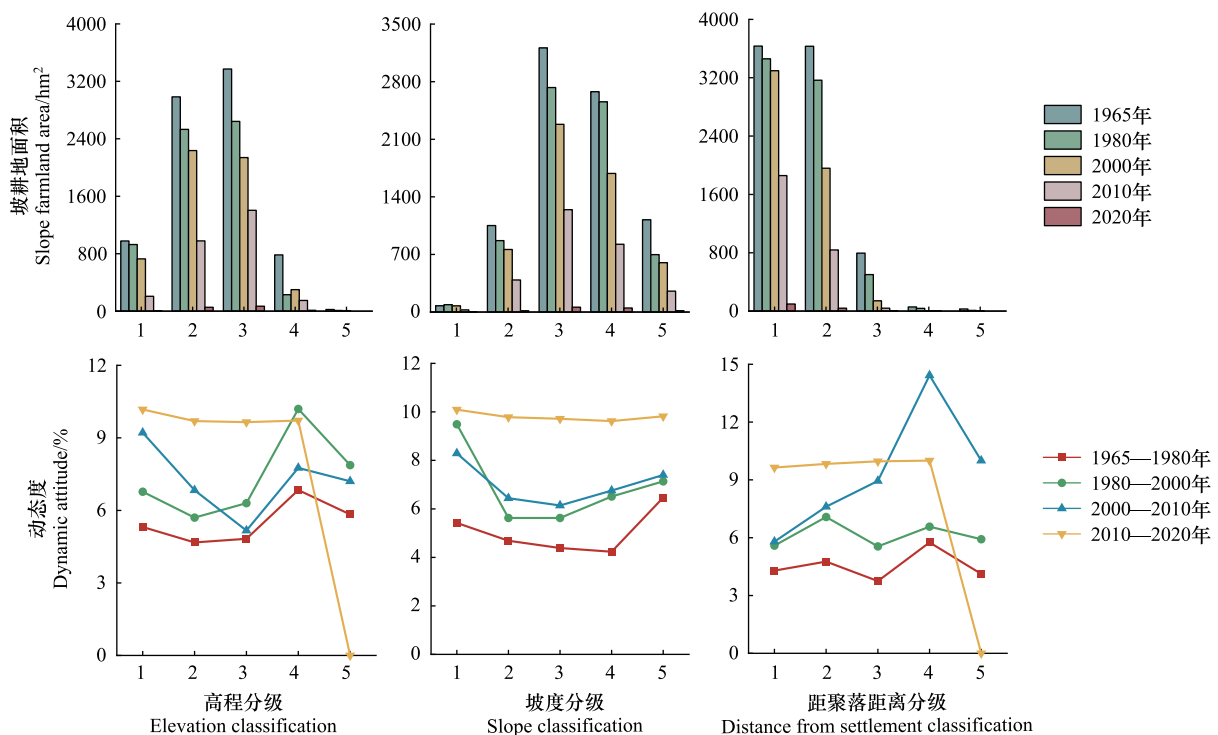


图4 1965—2020年研究区坡耕地动态演变

Fig.4 Dynamic evolution of sloping farmland in the study area from 1965 to 2020

高程分级为1: 0—400 m, 2: 400—800 m, 3: 800—1200 m, 4: 1200—1600 m, 5: >1600 m; 坡度分级为1: 0—6°, 2: 6°—15°, 3: 15°—25°, 4: 25°—35°, 5: >35°; 距聚落距离分级为1: ≤100 m, 2: 100—300 m, 3: 300—600 m, 4: 600—900 m, 5: >900 m

3.2 坡耕地空间格局演变特征分析

3.2.1 坡耕地整体空间格局演变特征

1965—2020年研究区坡耕地的空间格局演变剧烈(图5)。1965—1980年,研究区坡耕地分布较均匀、斑块较大、连片集中化程度较高;1980—2000年坡耕地斑块面积减小,LPI、MPS和AI高值主要集中于西北、西南和东北部的低海拔、小坡度河谷地区,坡耕地分布聚集性较上一时段有所降低。但总体来看,1965—2000年间研究区以农业生产功能为主导,农民对耕地的依赖性较高^[48],因此坡耕地的分布范围广。2010年坡耕地LPI、MPS和AI高值分布区域明显缩减,坡耕地面积不断减小且趋于分散,主要集中在河谷两侧中海拔地

区;2020 年研究区坡耕地空间分布范围急剧缩小,坡耕地分布零散、斑块面积小、连片集中化程度弱。

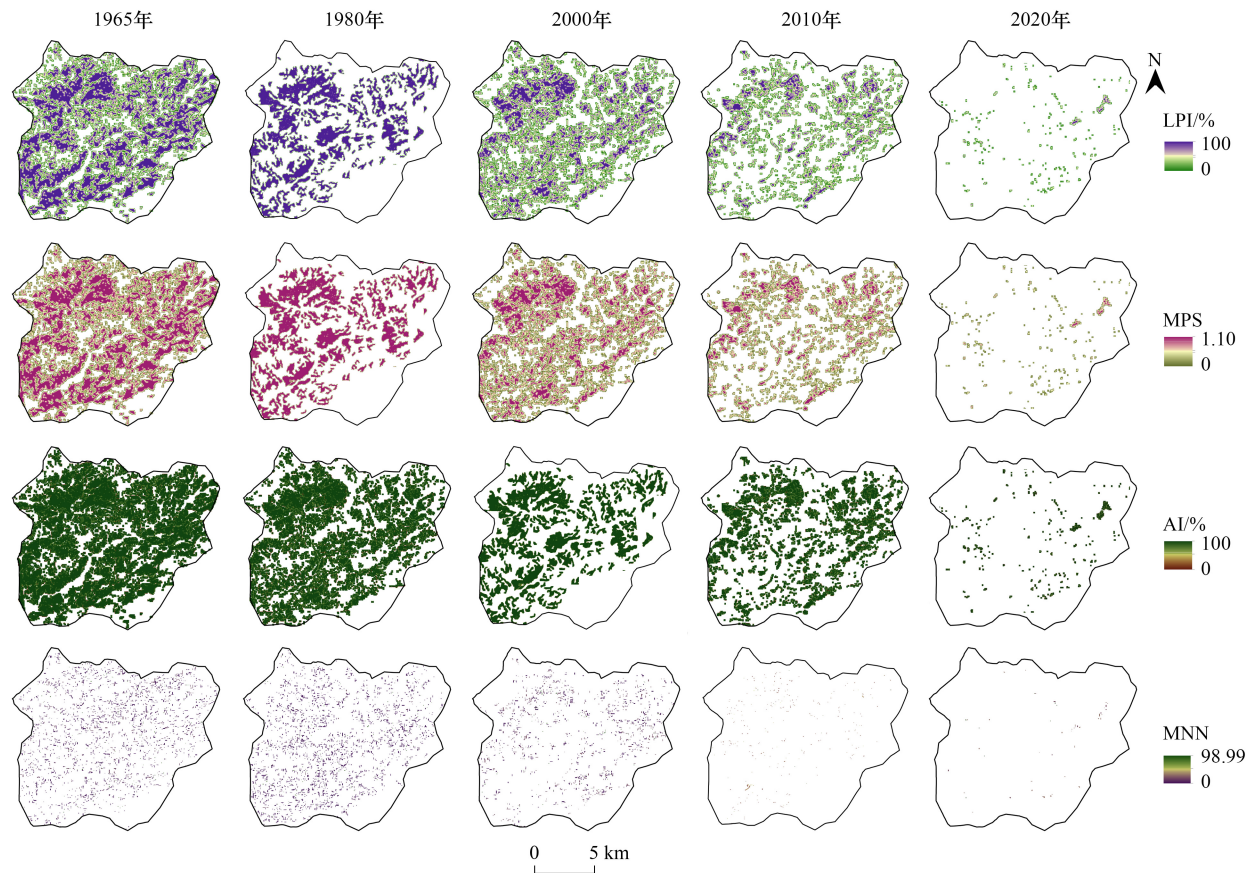


图 5 1965—2020 年研究区坡耕地景观格局指数变化

Fig.5 Changes in landscape pattern index for sloping farmland in the study area from 1965 to 2020

LPI: 最大斑块指数, Largest patch index; MPS: 平均斑块大小, Mean patch size; AI: 聚集度指数, Aggregation index; MNN: 平均最近邻距离, Mean nearest-neighbor distance

3.2.2 分级尺度下坡耕地空间格局演变特征

草堂河流域景观格局指数的时空变化表明(表 1、图 6),1965—2020 年,草堂河流域坡耕地的最大斑块指数、斑块面积、聚集度呈减小的趋势,平均最近邻距离不断增加。在空间上,草堂河流域坡耕地的 LPI 值随着高程、坡度的增加逐渐减小,随聚落距离的增加呈波动性增强;坡耕地 MPS 值随高程、坡度的增加先增后减,随聚落距离的增加不断减小;MNN 值随高程、聚落距离的增加而先增后减,随坡度的增加先减后增;坡耕地 AI 值随高程、坡度、聚落距离的增加逐渐减少。在聚落距离 300 m 以内,坡耕地斑块较大、连片集中化程度较高。

表 1 1965—2020 年草堂河流域类型水平上的景观格局指数

Table 1 The landscape pattern index at the landscape level in the Caotangxi watershed from 1965 to 2020

年份 Year	最大斑块指数 Largest patch index	平均斑块大小 Mean patch size	聚集度指数 Aggregation index	平均最近邻距离 Mean nearest neighbor distance
1965	7.01	20.46	97.96	84.17
1980	6.23	16.32	98.56	87.23
2000	4.72	7.39	96.94	79.30
2010	0.90	4.02	96.26	92.84
2020	0.10	0.77	93.91	274.04

综上,草堂河流域坡耕地的空间格局随着区域内退耕还林、乡村振兴以及耕地红线等政策的实施,在地理条件较差的区域,坡耕地斑块逐渐破碎,林灌草等的优势性较强且不断加强。而在地理条件较好的区域,坡耕地斑块集聚性高、斑块较大。

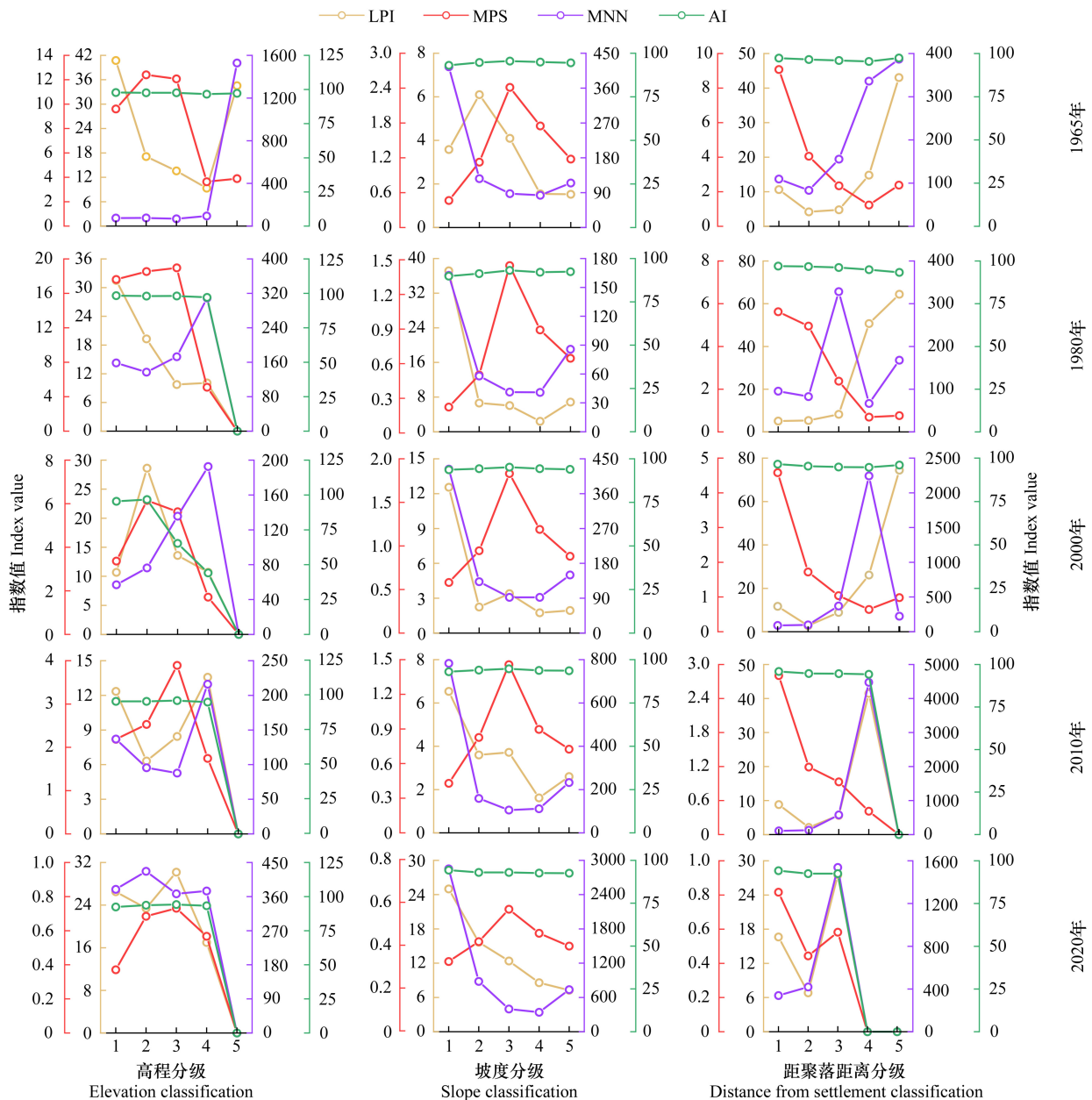


图6 各高程、坡度和距聚落距离分级下坡耕地景观格局指数变化

Fig.6 Changes in landscape pattern indices under various elevation, slope and distance from settlement classifications

3.3 坡耕地利用转型特征分析

3.3.1 坡耕地整体利用转型特征

1965—2020年,草堂河流域坡耕地主要转出方向为果园、林地、草地、撂荒地和聚落(图7),转移面积分别为3810.33 hm²、4426.85 hm²、961.90 hm²、794.01 hm²、122.74 hm²,坡耕地利用功能总体由生产功能向生态功能(林地、草地)和生态经济功能(果园)转换,向生活功能(聚落等)转变相对较少。不同时间段内坡耕地利用转移及其转移面积存在差异:1965—1980年研究区坡耕地主要转为林地、草地和聚落用地,坡耕地向其

他地类转移面积较少,耕—林转换型和耕—草转换型地类分布广。1980—2000 年草堂流域坡耕地的转出面积为 3172.48 hm^2 ,主要转为林地、草地、果园和聚落用地,河谷地区开始出现耕—果转换型地块,坡耕地由生产功能向生态功能转变,河谷区域部分生产功能向生态经济功能转化。2000—2010 年坡耕地转出面积达 3100.58 hm^2 ,耕—果转换型从中部的主河谷地带逐渐向周边的小河谷扩散,耕—林转换型和耕—草转换型主要分布在研究区四周高地形位地区,坡耕地撂荒型数量也不断增加,坡耕地主要由生产功能向生态功能和生态经济功能转变。2010—2020 年坡耕地转出面积为 2630.1 hm^2 ,坡耕地主要转移为果园、林地和撂荒地,耕—果转换型大范围增加。该阶段坡耕地功能由生产功能向生态经济功能转移。

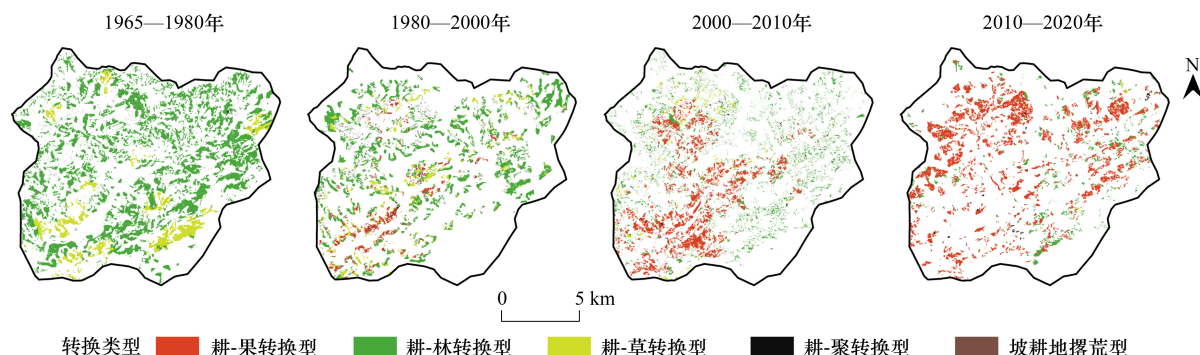


图 7 1965—2020 年研究区坡耕地整体利用演变情况

Fig.7 Evolution of overall utilization of sloping farmland in the study area from 1965 to 2020

3.3.2 分级尺度下坡耕地利用转型特征

不同高程、坡度、聚落距离分级下坡耕地转移动态差异较大(图 8)。

从高程分级看,1965—1980 年,草堂流域坡耕地在各高程级上主要转移为林地和草地。1980—2000 年,部分坡耕地在第 1、第 2 高程级转换为果园,大部分坡耕地在第 2、第 3 高程级转移为林地和草地。2000—2010 年,第 1、第 2、第 3 级高程级的大部分坡耕地转移为果园,少数第 2、第 3、第 4 高程级上的坡耕地转移为林地和撂荒地。2010—2020 年,第 1、第 2 高程级的大量坡耕地转移为果园,第 3、第 4 高程级上的坡耕地转移为林地。1965—2020 年,第 5 高程级的区域由于海拔过高,坡耕地分布少,因此未见明显坡耕地利用转化。

从坡度分级看,1965—1980 年,第 1 坡度级上坡耕地转移不明显,第 2—第 5 坡度级上坡耕地主要转移为林地和草地,部分转移为聚落。1980—2000 年,第 2、第 3、第 4 坡度级上的部分坡耕地转移为果园,第 3、第 4、第 5 坡度级上的坡耕地大量转移为林地、少量转移为草地;2000—2010 年,各坡度级耕—果转换加速,坡耕地向果园转移面积大量增加,高坡度地区坡耕地撂荒趋势加剧。2010—2020 年,坡耕地主要转移为果园,转换区域集中在第 2、第 3、第 4 坡度级。

从聚落距离分级看,坡耕地与其他地类的转移集中发生在聚落距离第 1、第 2 级区域内,1965—2000 年坡耕地主要转变为林地;2000—2010 年,坡耕地同时向果园、林地和撂荒地转移;2010—2020 年,坡耕地主要向果园转变。由于乡村人口的流失,坡耕地向聚落的转换面积相对较少。

4 讨论

4.1 坡耕地动态演变及利用转型过程及其模式

4.1.1 研究区坡耕地动态演变及利用转型过程

研究时段草堂流域坡耕地的面积—利用—功能均发生了较为显著的变化,且不同高程、坡度和聚落距离上的转型过程有所差异(图 9)。从坡耕地面积来看,研究时段坡耕地面积不断减少,逐渐向聚落周边收缩,空间分布的高程和坡度不断下降。

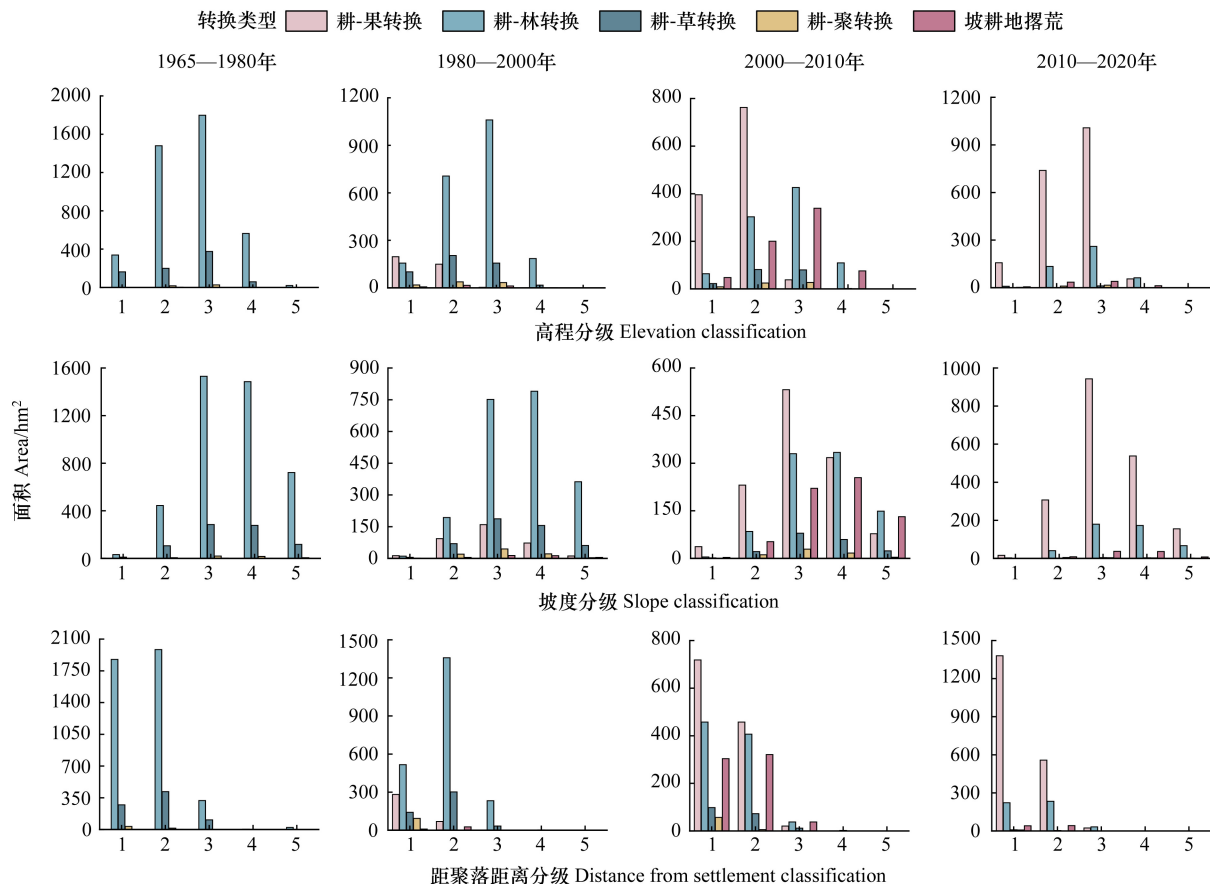


图 8 不同高程、坡度、距聚落距离分级下坡耕地转移情况

Fig.8 Transfer of sloping farmland in various elevation, slope, and distance from settlement levels

从坡耕地的利用和功能转换来看,传统农业时期(1965—2000年),草堂流域低高程级、低坡度级和低聚落距离级(1—2级)人类活动剧烈,坡耕地种植面积广,因而坡耕地向其他地类转换面积较少。中高高程级、中高坡度级和中高聚落距离级(3—5级)人类活动减弱,坡耕地向其他地类转移面积增加,其中向林地转移的面积最大,坡耕地的生态功能增强。过渡时期(2000—2010年),草堂流域农户逐渐转变其传统生计模式,低中高高程级、低中坡度级和低中聚落距离级(1—3级)区域出现成片果园,“耕—果转换”活跃。高高程级和高坡度级(4—5级)区域退耕还林,“耕—林草转换”活跃,同时劳动力的迁移使得此区域的坡耕地撂荒加剧,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。现代转型时期(2010—2020年),研究区农户生计重心从耕地向果园转型,山区农户进一步缩减坡耕地种植面积,改种兼具生态和经济效益的果树,以此来增加收入。低高程级、低坡度级和距聚落较近区域“耕—果转换”加剧,在中高高程级和距聚落较远的区域,林地恢复性增长,恢复其主导地位。

4.1.2 基于地形梯度差异的坡耕地转型模式总结

山区地形地貌破碎,其垂直地形梯度上所包括的地理、生态信息丰富,使得不同地形区坡耕地利用转型具有一定的多样性和差异性。因此,本文基于“全域-典型区”的视角分析研究区50多年来坡耕地的转型特征,并对其转型模式进行总结。随着时间的推移,坡耕地面积逐渐减少,不断向低海拔地区转移^[49],在不同的社会经济背景下,形成了三种主要的坡耕地转型模式(图10)。

第一种是河谷丘陵地区的生态经济型模式:受生态移民和产业扶持等人类活动的影响,50年来坡耕地面积大幅缩减,主要向规模化、集约化的经果林和建设用地转移,如种植脐橙、脆李、油橄榄、玉米、红薯等经济作

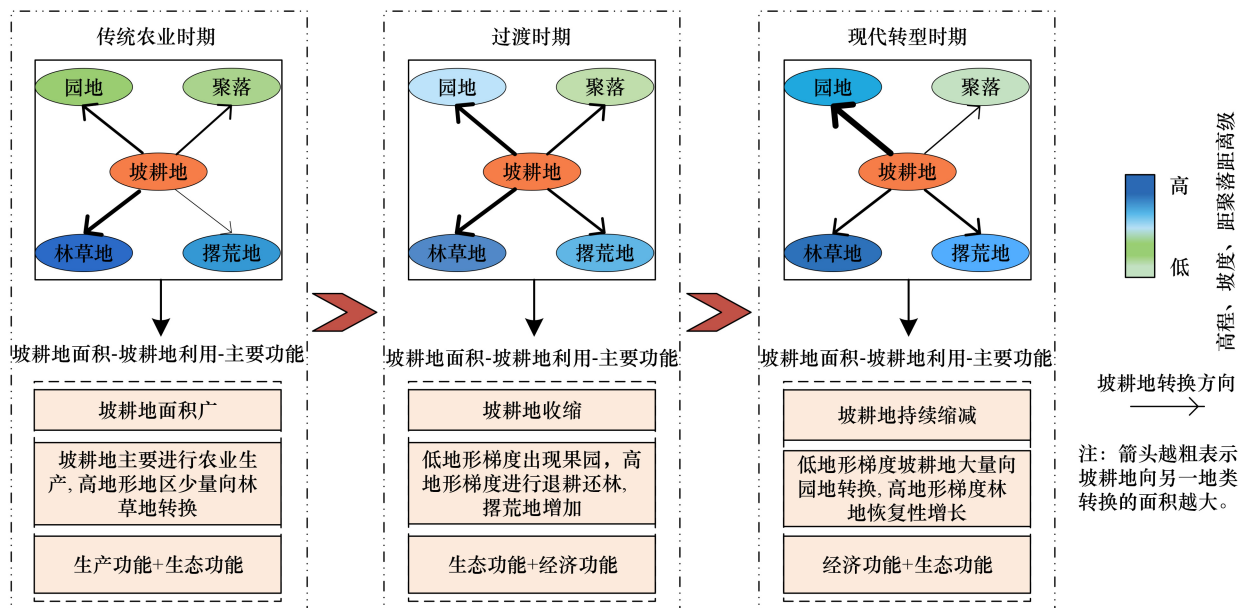


图9 坡耕地动态演变阶段及利用转型过程

Fig.9 Dynamic evolution stage and utilization transformation process of sloping farmland

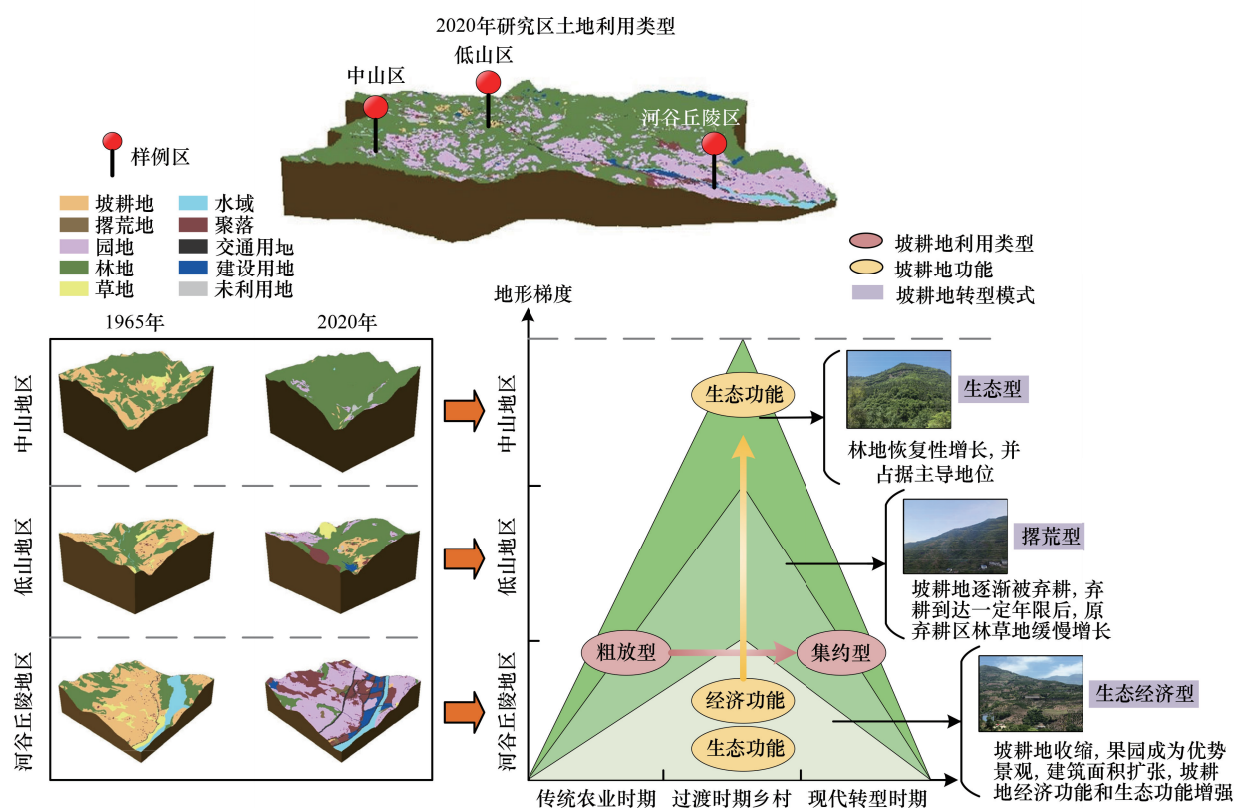


图10 基于地形梯度的坡耕地转型模式

Fig.10 Transition models of sloping farmland based on topographic gradient

物,坡耕地的利用率和合理性较高,经济效益和生态效益显著,坡耕地破碎化程度提升。第二种是低山地区的撂荒型模式:低山区随着农户生计选择的变化和劳动力的转移,部分方便管理的坡耕地被开发成为果园;一些中高海拔、坡度较大、离聚落较远的坡耕地则被弃耕,形成撂荒地。区域林草地缓慢增加,形成退耕撂荒、林草

地恢复为主的景观格局。第三种是中山地区的生态型模式,由于地形条件的限制,区域海拔高、坡度大,人类活动难度较高,因而坡耕地主要经撂荒后转移为林草地。区域内生态环境由于林草地的扩张得到显著改善,生态功能较好。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种模式大体一致^[33]。

在贵州和广西地区的岩溶山区,不同海拔高度上坡耕地的利用差异很大^[50-51];黄土丘陵区坡耕地则呈现“川地耕地-沟谷荒草-陡坡林地”的地形梯度演变模式^[52];在欧洲山区,瑞士和斯洛伐克的陡坡和欠肥沃地区坡耕地利用不断减少,逐渐向撂荒地和林草地转移^[53-54]。这些山区的坡耕地演变结果与研究区具有一致性。1965—2020年,研究区坡耕地面积大幅收缩、斑块趋于变小、破碎化程度加剧、斑块连片集中化程度明显减弱,坡耕地持续向果园、林地等大面积转移,其原有的生产功能逐渐转换为生态经济功能和生态功能。该趋势又与以黄淮海平原为代表的经济较发达地区的耕地社会功能和生态功能滞后于经济功能的现状有所不同^[55]。

4.2 驱动机制

坡耕地利用形态随着区域所处社会 and 经济发展阶段的变化而变化^[46]。乡村坡耕地动态演变过程中,产业结构调整 and 经济发展通过影响土地利用结构进而对农业景观产生影响^[56],耕地撂荒正成为世界范围内普遍的乡村景观^[57]。研究区坡耕地动态演变及利用转型是由山区社会-生态系统和外部环境等多重因素共同作用的结果^[58],总体上主要受自然、社会经济、政策因素驱动,主要体现在以下几个方面(图11):

地形因素。高程、坡度都是影响农业活动的重要因子。研究区坡度大于15°的面积占比达86.6%,高程500—1500 m面积占比77.38%,这很大程度上决定了坡耕地的整体分布格局。因此,草堂溪流域坡耕地在第2、第3高程级和第3、第4坡度级等区域动态演变剧烈,坡耕地转移面积广。

社会经济因素。农业生产技术水平的提升使得粮食产量增加,农民不再需要种植大面积耕地也可以满足温饱,农民对坡耕地的依赖性降低,推动着农户生计由传统务农型逐步向现代型、兼业型和务工型等多样化方向转型^[18],坡耕地面积进一步缩减。

三峡工程建设。草堂溪流域地处三峡库区腹地,受三峡工程建设的影响,库区移民不断向外迁移;此外,农村人口不断减少,年轻劳动力受利益驱动舍弃产出较低的坡耕地,选择进城务工,留守的老人儿童的耕作半径缩小,大量边缘坡耕地被撂荒^[59]。这也是研究区坡耕地面积减少的重要原因。

政府政策支持。1988年开始,国务院把三峡库区作为重点治理区域,分别启动了长江中上游水土保持重点防治工程、退耕还林工程和天然林资源保护等生态工程;2009年起奉节县政府贯彻科学发展观,综合治理石漠化和退耕还林,山区尤其是高海拔和陡坡度等不适宜耕作区域逐渐演替为林草地;同时,研究区政府对果

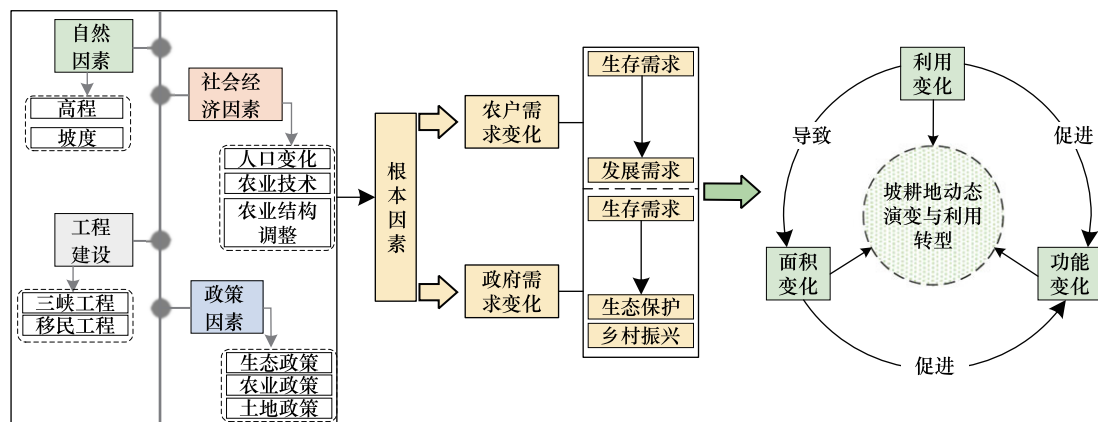


图 11 坡耕地动态演变与利用转型机制

Fig.11 Dynamic evolution and utilization transformation mechanism of sloping farmland

园的发展给予了大量政策支持和引导,城乡居民对林果、苗木等产品的需求量也日益增大,使得林果种植规模增长迅速^[37]。

4.3 研究区坡耕地演变的启示

探讨库区乡村坡耕地动态演变及其驱动因素,对于理清典型库区农业景观格局动态变化和耕地利用转型路径具有一定积极作用,进而为山区农业未来发展方向提供了科学依据^[60]。草堂溪流域坡耕地动态演变反映了山区从传统农业社会的功能单一、粗放经营过渡到功能多样化、空间集约化的现代农业社会^[48]。研究区的坡耕地利用转型倾向于向果园、林草地转换,粮食作物向经济作物转换,并且始终以生态经济效益为目标。

对于现有的大面积撂荒坡耕地,政府应当对撂荒坡耕地进行统一管理。针对自然环境较差的坡耕地,可以通过自然演替将其恢复为草地-灌木林地,避免生态环境继续遭到破坏,减轻生态风险。针对条件较好的坡耕地,政府应从政策、技术、资金等方面加大对农民的倾斜力度,激发农民的耕种意愿。确保现有坡耕地不撂荒弃耕,从而对山区耕地进行优化利用。党的十九大报告也明确提出了“乡村振兴”战略,深入开展土地整治工程,进行农业基础建设,促进流域地区乡村转型与振兴^[61]。对于可耕种的撂荒坡耕地,可以结合地区条件,发展特色效益农业,如经济果林、观光梯田等,实现经济效益和生态效益的双赢。同时,果园的扩展为研究区农业的转型提供了方向,提高了山区土地质量和利用效率,对库区人地关系的改善和现代化农业可持续发展具有一定理论指导意义。

5 结论

(1) 1965 年草堂溪流域坡耕地总面积达 8146.41 hm²,到 2020 年研究区坡耕地面积只剩下 141.67 hm²,坡耕地大面积减少;1965—1980 年坡耕地动态度为 6.22%,1980—2000 年动态度为 6.36%,2000—2010 年动态度为 6.54%,2010—2020 年为 9.71%。随着社会经济的发展坡耕地动态演变更趋活跃。

(2) 坡耕地空间变化较明显,整体 LPI、MPS、AI 呈减小的趋势,MNN 不断增加,与草堂溪流域地形梯度具有较高的相关性,即地理条件较差的区域,坡耕地规模缩小、斑块逐渐破碎,地理条件较好的区域,坡耕地斑块集聚性高、斑块较大。

(3) 坡耕地向林地、园地、草地、聚落、撂荒地等地类发生显著转移,其中坡耕地向林地的转移面积达 4426.85 hm²,向果园的转移面积达 3810.33 hm²;低高程级、坡度级和聚落距离级上坡耕地主要向果园转移,中高高程级、坡度级和聚落距离级上坡耕地主要向林草地转移,坡耕地生产功能主要转换为生态经济功能和生态功能。

(4) 山区坡耕地动态演变和利用转型在不同地形梯度下可以归纳为生态经济型、撂荒型、生态型 3 种转型模式,其演变主要受到自然、社会经济、政策等多种因素的共同作用。本文基于乡村地域系统的整体尺度架构,构建的理论框架适合刻画西南山区以三峡库区为代表的传统乡村坡耕地动态演变与转型的规律,具有一定的学术价值,在其他地区也同样适用。

参考文献 (References):

- [1] 张瑞, 杜国明, 张树文. 1986—2020 年东北典型黑土区耕地资源时空变化及其驱动因素. 资源科学, 2023, 45(5): 939-950.
- [2] 严金明, 郭栋林, 夏方舟. 中国共产党土地制度百年演变: 影响历史进程的十大标志性事件. 中国土地科学, 2022, 36(2): 1-9.
- [3] Shen Y L, Gu J, Liu G, Wang X K, Shi H Q, Shu C B, Zhang Q, Guo Z, Zhang Y. Predicting soil erosion and deposition on sloping farmland with different shapes in Northeast China by using ¹³⁷Cs. Catena, 2023, 229: 107238.
- [4] Chen H, Tan Y Z, Xiao W, Li G Y, Meng F, He T T, Li X H. Urbanization in China drives farmland uphill under the constraint of the requisition-compensation balance. The Science of the Total Environment, 2022, 831: 154895.
- [5] Zhang J L, Shi D M, Jin H F, Li H D, Jiang N, Ye Q. Characteristics of cultivated layer soil shear strength for sloping farmland in response to soil erosion in the Three Gorges Reservoir Area, China. Catena, 2022, 215: 106304.
- [6] 崔家兴, 靳涵, 罗澧渊, 林勇, 童新, 朱媛媛. 县域耕地非农化、非粮化与乡村人口空心化的耦合协调关系研究——以长江经济带为例. 生态学报, 2024, 44(5): 1822-1836.

- [7] Tan Y Z, Chen H, Xiao W, Meng F, He T T. Influence of farmland marginalization in mountainous and hilly areas on land use changes at the county level. *The Science of the Total Environment*, 2021, 794: 149576.
- [8] Xin X T, Sun Z X, Xiao J B, Bai W, Zhang Z, Yan H. Efficient utilization mechanism of soil moisture and nutrients with ridge film furrow seeding technology of sloping farmlands in semi-arid and rain-fed areas. *Agriculture*, 2023, 13(10): 1940.
- [9] Xiao M J, Zhang Q W, Qu L Q, Hussain H, Dong Y Q, Zheng L. Spatiotemporal changes and the driving forces of sloping farmland areas in the Sichuan region. *Sustainability*, 2019, 11(3): 906.
- [10] 罗光杰, 王世杰, 李阳兵, 白晓永. 岩溶地区坡耕地时空动态变化及其生态服务功能评估. *农业工程学报*, 2014, 30(11): 233-243.
- [11] Ding Z M, Yao S B. Theory and valuation of cross-regional ecological compensation for cultivated land: a case study of Shanxi Province, China. *Ecological Indicators*, 2022, 136: 108609.
- [12] Yang J H, Liu H, Zhang J P, Rahma A E, Lei T. Lab simulation of soil erosion on cultivated soil slopes with wheat straw incorporation. *Catena*, 2022, 210(3): 105865.
- [13] Li H D, Shi D M. Spatio-temporal variation in soil erosion on sloping farmland based on the integrated valuation of ecosystem services and trade-offs model: a case study of Chongqing, southwest China. *Catena*, 2024, 236: 107693.
- [14] Liao C J, Yue Y M, Wang K L, Fensholt R, Tong X W, Brandt M. Ecological restoration enhances ecosystem health in the Karst regions of southwest China. *Ecological Indicators*, 2018, 90: 416-425.
- [15] Fan Y T, Jin X B, Gan L, Yang Q K, Wang L Z, Lyu L G, Li Y. Exploring an integrated framework for “dynamic-mechanism-clustering” of multiple cultivated land functions in the Yangtze River Delta region. *Applied Geography*, 2023, 159(7): 103061.
- [16] 梁鑫源, 李阳兵. 三峡库区“耕-果”转换时空变化特征及其启示——以草堂溪流域为例. *自然资源学报*, 2019, 34(2): 385-399.
- [17] 王成, 梁鑫, 豆浩健, 黄宇航. 乡村多元价值实现视角下的耕地“非粮化”演变及其驱动机制——以重庆市为例. *经济地理*, 2023, 43(4): 144-153.
- [18] 梁鑫源, 李阳兵, 邵景安, 刘雁慧, 冉彩虹. 三峡库区山区传统农业生态系统转型. *地理学报*, 2019, 74(8): 1605-1621.
- [19] Liang X Y, Li Y B, Zhou Y L. Study on the abandonment of sloping farmland in Fengjie County, Three Gorges Reservoir Area, a mountainous area in China. *Land Use Policy*, 2020, 97(3): 104760.
- [20] 夏春华, 李阳兵, 曾晨岑, 张冰, 郑骆珊, 陈艳, 邵景安. 三峡库区坡耕地利用转型及其社会经济-生态环境影响——以奉节县为例. *生态学报*, 2023, 43(7): 2688-2702.
- [21] Zhang Y X, Wang Y K, Fu B, Li M, Lu Y F, Mani D A, Suresh C, Wang S. Changes in cultivated land patterns and driving forces in the Three Gorges Reservoir area, China, from 1992 to 2015. *Journal of Mountain Science*, 2020, 17(1): 203-215.
- [22] 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.
- [23] 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.
- [24] 马恩朴, 叶玮怡, 龙花楼, 廖柳文. 城市食物系统全程耦合下的农地利用转型. *地理学报*, 2023, 78(12): 3058-3077.
- [25] Liang X Y, Jin X B, Liu J, Yin Y X, Gu Z M, Zhang J Y, Zhou Y K. Formation mechanism and sustainable productivity impacts of non-grain croplands: evidence from Sichuan Province, China. *Land Degradation & Development*, 2023, 34(4): 1120-1132.
- [26] Zeng J, Bian J J, Chen W X. Impact of slope farmland use change on ecosystem services value in China, 2000-2020. *Journal of Mountain Science*, 2023, 20(3): 821-833.
- [27] Huang M Q, Li Y B, Xia C H, Zeng C C, Zhang B. Coupling responses of landscape pattern to human activity and their drivers in the hinterland of Three Gorges Reservoir area. *Global Ecology and Conservation*, 2022, 33(2): e01992.
- [28] Zhang B L, Sun P L, Jiang G H, Zhang R J, Gao J B. Rural land use transition of mountainous areas and policy implications for land consolidation in China. *Journal of Geographical Sciences*, 2019, 29(10): 1713-1730.
- [29] 李海萍, 李定恒, 李豪. 贵州省退耕还林还草潜在碳汇效益评估. *生态学报*, 2022, 42(23): 9499-9510.
- [30] Chen K Q, Wang Y X, Li N H, Xu Y L, Zheng Y H, Zhan X L, Li Q X. The impact of farmland use transition on rural livelihood transformation in China. *Habitat International*, 2023, 135(6): 102784.
- [31] 曾晨岑, 李阳兵, 黄孟勤, 陈爽, 唐金京, 汤蕾. 山区农业生态系统形态转型研究——以三峡库区腹地为例. *山地学报*, 2022, 40(3): 462-478.
- [32] Liang X Y, Li Y B. Identification of spatial coupling between cultivated land functional transformation and settlements in Three Gorges Reservoir Area, China. *Habitat International*, 2020, 104: 102236.
- [33] 黄孟勤, 李阳兵, 冉彩虹, 李明珍. 三峡库区腹地山区农业景观格局动态变化与转型. *地理学报*, 2021, 76(11): 2749-2764.
- [34] 陶岸君, 赵鹏凤, 杨文杰. 中国乡村聚落地形形态的地域分异特征研究. *地理研究*, 2023, 42(5): 1267-1284.
- [35] 曾晨岑, 李阳兵, 夏春华, 张冰. 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*, 2023, 44

- (6): 119-134.
- [36] 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.
- [37] 夏春华, 李阳兵, 陈爽, 黄孟勤, 唐金京, 王若洋. 三峡库区腹地土地利用动态演变路径分析——以奉节县为例. *地理科学*, 2022, 42(11): 1975-1985.
- [38] 徐其静, 侯磊, 汪丽, 李奇奇, 王克勤. 等高反坡阶措施下坡耕地 GRSP 对土壤碳氮储量的贡献. *生态学报*, 2024, 44(7): 1-12.
- [39] 吕莹莹, 王智, 夏欣, 袁焕欢, 李明诗, 徐网谷. 内蒙古大兴安岭林草交错区耕地景观演变及空间过程. *生态学报*, 2023, 43(3): 1209-1218.
- [40] Gao X Y, Cheng W M, Wang N, Liu Q Y, Ma T, Chen Y J, Zhou C H. Spatio-temporal distribution and transformation of cropland in geomorphologic regions of China during 1990—2015. *Journal of Geographical Sciences*, 2019, 29(2): 180-196.
- [41] 姜昕彤, 翟石艳, 王铮, 刘欢, 陈静, 朱悦悦. 基于未来土地利用模拟模型的郑州市“三生空间”模拟及生态环境效应分析. *生态学报*, 2023, 43(15): 6225-6242.
- [42] 申杨, 龚健, 李晓丹, 王卫雯, 陶荣. 武汉城市圈耕地利用变化驱动机制研究. *中国土地科学*, 2023, 37(8): 123-133.
- [43] 刘渺渺, 梁冠敏, 肖瑶, 武姿伊, 胡喜生, 林森, 巫志龙. 闽三角林地景观结构与功能连接度的空间耦合关系. *生态学报*, 2023, 43(24): 10464-10479.
- [44] 罗庆, 杨慧敏, 李新建. 快速城镇化下欠发达平原农区的聚落规模变化. *经济地理*, 2018, 38(10): 170-179.
- [45] 原晋涛, 陈万旭, 曾杰. 中国耕地利用变化时空分异特征及对耕地 NPP 的影响. *自然资源学报*, 2023, 38(12): 3135-3149.
- [46] 李明珍, 李阳兵, 冉彩虹. 土地利用转型背景下的乡村景观格局演变响应——基于草堂流域的样带分析. *自然资源学报*, 2020, 35(9): 2283-2298.
- [47] 黄孟勤, 李阳兵, 李明珍, 陈爽, 曾晨岑, 张冰, 夏春华. 三峡库区人类活动强度与景观格局的耦合响应. *生态学报*, 2022, 42(10): 3959-3973.
- [48] 赵雯欣, 李阳兵, 王清荣, 夏春华, 陈艳, 郑骆珊, 邵景安. 三峡库区山区乡村功能多元化与坡耕地演变耦合关系探究. *生态学报*, 2024, 44(7): 1-17.
- [49] Liang X Y, Jin X B, Yang X H, Xu W Y, Lin J H, Zhou Y K. Exploring cultivated land evolution in mountainous areas of Southwest China, an empirical study of developments since the 1980s. *Land Degradation & Development*, 2021, 32(2): 546-558.
- [50] Chen T T, Peng L, Liu S Q, Wang Q. Land cover change in different altitudes of Guizhou-Guangxi Karst Mountain area, China: patterns and drivers. *Journal of Mountain Science*, 2017, 14(9): 1873-1888.
- [51] Yu L M, Li Y B, Yun L, Ge G H, Zhang H, Tang F, Yu M. Spatiotemporal evolution and driving mechanism of slope cultivated land in Karst mountainous areas of Southwest China: a case study of Puding County, Guizhou Province. *Land Degradation & Development*, 2023, 35(2): 568-585.
- [52] 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.
- [53] Gellrich M, Zimmermann N E. Investigating the regional-scale pattern of agricultural land abandonment in the Swiss Mountains: a spatial statistical modelling approach. *Landscape and Urban Planning*, 2007, 79(1): 65-76.
- [54] Lieskovský J, Bezák P, Špulerová J, Lieskovský T, Koleda P, Dobrovodská M, Bürgi M, Gimmi U. The abandonment of traditional agricultural landscape in Slovakia-analysis of extent and driving forces. *Journal of Rural Studies*, 2015, 37: 75-84.
- [55] Zhang Y N, Long H L, Ma L, Ge D Z, Tu S S, Qu Y. Farmland function evolution in the Huang-Huai-Hai Plain: processes, patterns and mechanisms. *Journal of Geographical Sciences*, 2018, 28(6): 759-777.
- [56] Marrec R, Brussee T, Caro G. Biodiversity-friendly agricultural landscapes-integrating farming practices and spatiotemporal dynamics. *Trends in Ecology & Evolution*, 2022, 37(9): 731-733.
- [57] Wang J Y, Cao Y, Fang X Q, Li G Y, Cao Y. Does land tenure fragmentation aggravate farmland abandonment? Evidence from big survey data in rural China. *Journal of Rural Studies*, 2022, 91: 126-135.
- [58] Liang X Y, Li Y B, Ran C H, Li M Z, Zhang H. Study on the transformed farmland landscape in rural areas of southwest China: a case study of Chongqing. *Journal of Rural Studies*, 2020, 76: 272-285.
- [59] Wang C, Su Y, He S, Xie Y, Xia P P, Cui Y L. Study on the spatio-temporal evolution and influencing factors of farmland abandonment on a county scale. *Environmental Science and Pollution Research*, 2023, 30(30): 75314-75331.
- [60] 梁鑫源, 李阳兵. 三峡库区规模农地时空变化特征及其驱动机制. *地理学报*, 2018, 73(9): 1630-1646.
- [61] 郭炎, 唐鑫磊, 陈昆仑, 李志刚, 林赛南. 武汉市乡村聚落空间重构的特征与影响因素. *经济地理*, 2018, 38(10): 180-189.