

引用格式: 刘洋, 薛秀峰, 张仕超, 张湘, 陆张烨. 喀斯特山区旱改水时空格局演变及影响因素——以酉阳县为例[J]. 山地学报, 2025, 43(1): 87-104.

LIU Yang, XUE Xiufeng, ZHANG Shichao, ZHANG Xiang, LU Zhangye. Spatial-temporal evolution of dryland-to-paddy conversion in karst mountainous areas and influencing factors: A case study of Youyang County, China [J]. Mountain Research, 2025, 43(1): 87-104.

# 喀斯特山区旱改水时空格局演变及影响因素 ——以酉阳县为例

刘洋<sup>1</sup>, 薛秀峰<sup>1</sup>, 张仕超<sup>1,2\*</sup>, 张湘<sup>1</sup>, 陆张烨<sup>1</sup>

(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:** 喀斯特山地区是典型的生态-生产复合系统脆弱区, 其耕地资源面临坡耕地占比高 (>35%)、地块破碎化指数达 0.57、石漠化面积占比超 60% 等多重约束, 传统“旱改水”工程实施面临特殊挑战。旱改水是破解“缺水田”结构性矛盾, 提升耕地质量、增加粮食产能、完善占补平衡的重要举措。然而, 既有研究主要聚焦于典型平原区, 针对喀斯特山地区旱改水格局演变研究不足, 对旱改水利用稳定性变化未予以充分阐述。本文以武陵山区酉阳县为典型案例, 利用 1995—2020 年土地利用和社会经济数据, 使用土地利用转移矩阵、标准差椭圆和地理探测器模型等方法, 揭示山地特殊情境下旱地-水田转型的时空逻辑。结果表明: (1) 酉阳县旱改水转型过程呈现“U”型阶段波动特征, 受城镇化与退耕还林政策双重作用, 2005 年为转型强度拐点。(2) 空间格局呈向心集聚特征, 以东北—西南格局为主; 转型活动集中于涂市镇, 空间重心南移达  $107\text{ m} \cdot \text{a}^{-1}$ , 未向其他乡镇扩散。(3) 85% 的旱地图斑保持稳定, 稳定性地块存在显著地带分异, 缓坡区 ( $6^\circ \sim 15^\circ$ ) 稳定性地块占比达 73.98%, 形成龙潭—麻旺—泔溪带状稳定区。(4) 驱动机制呈现“自然禀赋-便利性”耦合特征, 距道路距离与年平均气温的交互解释力最强 ( $q=0.83$ ), 双因子增强型交互占比达 86.47%。研究成果构建了喀斯特山区耕地转型理论模型, 可以为破解“生态安全-粮食安全”权衡困境、建立差异化耕地保护制度提供决策支持。

**关键词:** 旱改水; 时空格局; 影响因素; 喀斯特山地区; 酉阳县

**中图分类号:** F301.21

**文献标志码:** A

耕地资源是粮食安全的基础<sup>[1-2]</sup>。在快速城镇化与新型工业化双重驱动下, 建设用地扩张与耕地红线保护、生态保护间的结构性矛盾不断加深, 导致耕地资源下降与耕地质量持续退化<sup>[3-4]</sup>。水田和旱地是耕地利用结构的基础形态, 其空间配置优化直接关系到区域粮食产能稳定性<sup>[5-6]</sup>。中国推行的“旱改水提质改造工程”, 依据不同地区耕地资源禀赋和发展阶段, 将旱地改造为水田, 实现耕地质

量跃升<sup>[7]</sup>, 成为破解耕地占补平衡难题的重要政策工具。

学术界围绕旱地-水田转化工程的研究主要聚焦三个方面。第一, 格局演变与驱动机理。在全国尺度上, 近 30 年来水田总数下降、旱地增加, 水田和旱地空间变化存在省际差异<sup>[7]</sup>。在水田最集中的三江平原区, 通过旱改水工程实现水田占比提升至 98.19%<sup>[8-9]</sup>。第二, 适宜性评价及其潜力评估。中

收稿日期 (Received date): 2024-10-17; 改回日期 (Accepted date): 2025-01-17

基金项目 (Foundation item): 国家自然科学基金 (41971244); 重庆市科委自然科学基金 (cstc2021jcyjmsxmX0696)。[National Natural Science Foundation of China (41971244); Natural Science Foundation of Chongqing (cstc2021jcyjmsxmX0696)]

作者简介 (Biography): 刘洋 (2000-), 女, 四川凉山州人, 硕士研究生, 主要研究方向: 土地利用与土地管理。[LIU Yang (2000-), female, born in Liangshan, Sichuan Province, M. Sc. candidate, research on land use and land management] E-mail: ly952230731@163.com

\* 通讯作者 (Corresponding author): 张仕超 (1986-), 女, 博士, 教授, 主要研究方向: 土地利用与生态过程。[ZHANG Shichao (1986-), female, Ph. D., professor, specialized in land use and ecological process] E-mail: lintualchao@126.com

国不同地区旱改水的适宜性及潜力存在区域差异。在东北平原区和长江中下游地区,因水热条件优越,地形平坦等优势,旱改水多为适宜和较适宜等级<sup>[10]</sup>。在珠三角沿海平原地区,地势平缓、水资源充足,适宜旱改水的地块众多<sup>[11]</sup>。而重庆市等丘陵山区,因受地形坡度、田块规模、灌溉保障率等因素限制,旱改水适宜性以勉强适宜和不适宜为主<sup>[12]</sup>。第三,生态环境效应。旱地垦造水田尽管有利于提高粮食产量和维持耕地动态平衡,但在降水稳定的情况下,粮食增产会导致水分亏缺量的增加<sup>[13]</sup>。同时稻田作为温室气体排放源,大规模旱改水项目的实施在短期内增加了土壤  $\text{CO}_2$ 、 $\text{CH}_4$ 、 $\text{N}_2\text{O}$  等温室气体的排放量,影响全球气候变化<sup>[14-15]</sup>。

旱改水时空格局已在全国<sup>[10]</sup>、省<sup>[11]</sup>、市<sup>[12]</sup>等不同尺度下得到广泛探讨。土地利用转移矩阵、标准差椭圆<sup>[16]</sup>以及网格单元法<sup>[8]</sup>等研究方法,已经被广泛用于探究旱改水的时空格局演变。分析影响旱改水的时空格局的因素,多采用地理探测器<sup>[17]</sup>来确定其影响因素的定量关系,包括自然禀赋因素(如气温和降水<sup>[18]</sup>)、经济驱动因素(如第一产业的健康发展<sup>[19]</sup>)以及相关生态保护政策<sup>[19]</sup>之间的关联。在中国平原地区,地势平坦、耕地集中连片,旱改水实施难度小,研究成果丰富,工程成效显著。然而,在山地丘陵区(其面积占国土面积的三分之二,耕地面积约占全国的三分之一),因为坡耕地比重大,土地质量相对差,在粮食安全和生态安全双约束条件下,旱改水面临困难的局面。尤其在喀斯特山地区,存在坡耕地占比高( $>35\%$ )、石漠化严重(岩溶出露率 $>60\%$ )等特殊约束条件,其旱改水工程的时空演化规律与可持续性机制仍存在理论与实践盲区。尽管已有研究对重庆市长寿区旱改水的适宜性进行了评估<sup>[12]</sup>,但针对典型喀斯特山地区旱改水的时空演化格局及其利用稳定性的探究仍较为缺乏。

本研究选取重庆市酉阳县为典型案例区,该区域作为武陵山连片特困区的核心地带,具有典型喀斯特峡谷地貌特征。基于 1995—2020 年多期土地利用数据,构建“格局诊断-机制解析-政策响应”研究框架;运用空间转移矩阵量化耕地类型转化强度,通过标准差椭圆揭示转型过程的空间异质性,结合地理探测器模型识别自然-人文要素的交互效应。研究成果可为喀斯特山区耕地保护红线划定、占补平衡制度优化提供科学依据,推动实现粮食安全与

生态安全协同治理目标。

## 1 研究区概况与数据来源

### 1.1 研究区概况

酉阳县是重庆市面积最大、森林覆盖率最高、平均海拔最高的区县,经纬度范围为  $108^{\circ}18'25''\text{E} \sim 109^{\circ}19'18''\text{E}$ 、 $28^{\circ}19'28''\text{N} \sim 29^{\circ}24'18''\text{N}$ (图 1)。该地区地处中国地势第二级阶梯边缘地带,归属武陵山区,属于典型的亚热带喀斯特地貌类型<sup>[20]</sup>,岩溶面积占比为 63.40%。地势中高周低,地貌类型多样。酉阳县属亚热带湿润季风气候,雨量充足,冬暖夏凉,年平均气温  $15.1^{\circ}\text{C}$ ,平均相对湿度保持在 70%,适宜农作物生长。全县共有耕地 99.03 万  $\text{hm}^2$ ,其中水田 21.55 万  $\text{hm}^2$ ,占 21.76%;旱地 77.49 万  $\text{hm}^2$ ,占 78.24%。耕地呈现“巴掌地”特征,耕地破碎化指数达 0.57,农业规模化发展受到限制,耕地资源面临显著挑战。

酉阳县下辖 39 个乡镇,2023 年户籍人口数为 85.02 万人,其中农业人口 57.15 万人,城镇化率为 44.73%。同年,地区生产总值为 244.01 亿元,农业总产值达 73.51 亿元,粮食作物播种面积为 8.39 万  $\text{hm}^2$ ,全年粮食产量为 37.31 万吨,增产 1.7%<sup>[21]</sup>。

### 1.2 数据来源与处理

土地利用栅格数据源于中国科学院资源环境科学与数据中心(<https://www.resdc.cn/>),通过近邻分析工具计算旱改水地块与道路、水域及居民点的距离。酉阳县行政区划矢量数据源于酉阳县规划和自然资源局。酉阳县 DEM 数据源于地理空间数据云(<https://www.gscloud.cn/>),从中提取耕地高程、坡向、坡度数据。土壤类型数据源于酉阳县农业农村委员会。耕地等级、土壤质地以及灌溉保证率从 2018 年耕地质量等别成果数据库提取,源于酉阳县规划和自然资源局。气象数据源于中国科学院资源环境科学与数据中心(<https://www.resdc.cn/>);社会经济数据(如乡村劳动力资源总数和粮食产量等)来源于《酉阳县统计年鉴》<sup>[22]</sup>。

## 2 研究方法

### 2.1 土地利用转移矩阵

土地利用转移矩阵通过矩阵或表格形式,系统地

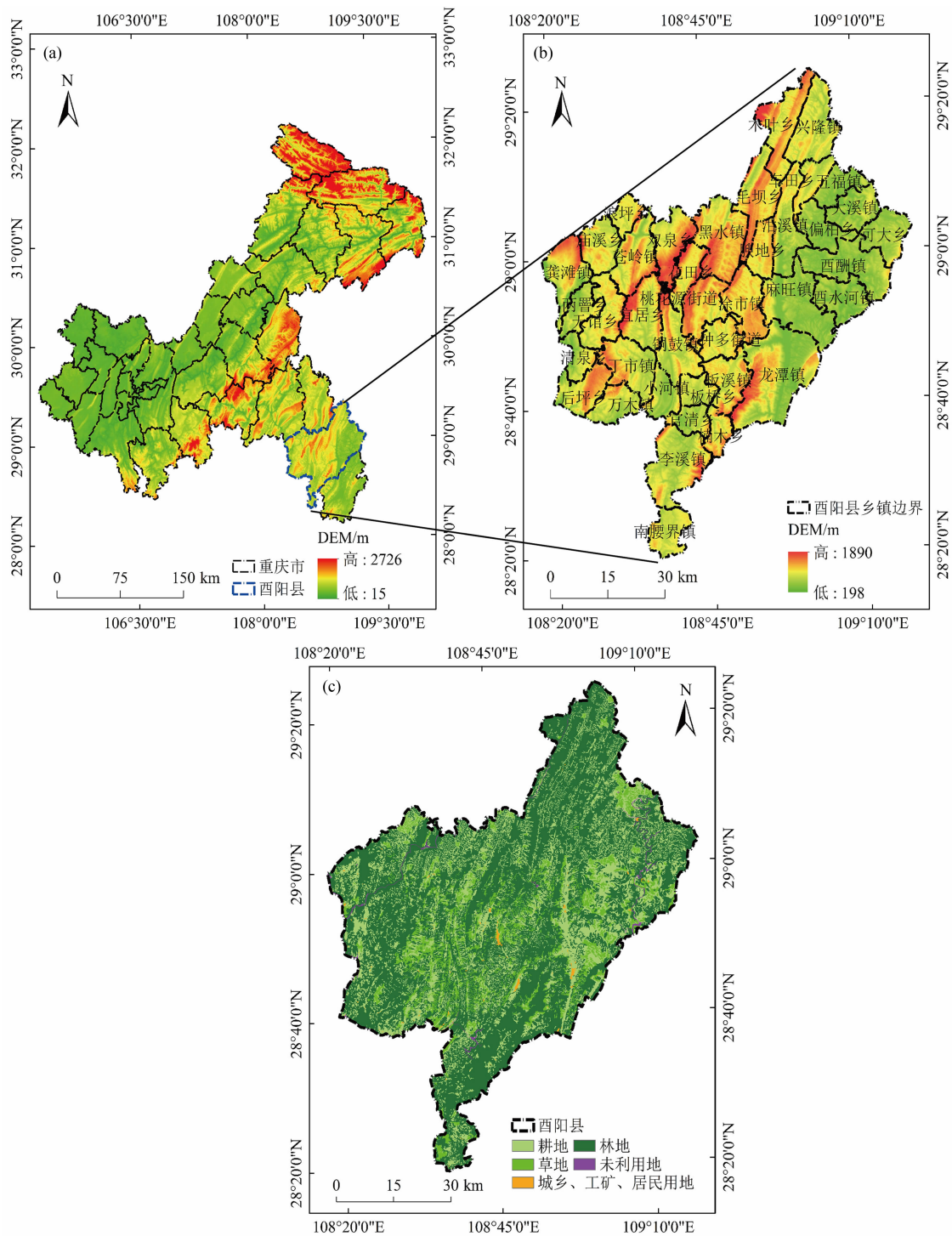


图1 研究区概况图:

(a) 酉阳县地理位置; (b) 行政区划; (c) 2020 年土地利用类型

Fig.1 Overview of the study area:

(a) Youyang County's geographical location; (b) administrative district; (c) land use types in 2020

呈现了研究初期和末期的土地利用结构,并记录研究时段内各类土地用途的转移面积。该方法可揭示土地利用变化趋势和动态转换关系,有助于清晰把握地

类流向和变化规律<sup>[21-22]</sup>。本研究基于土地利用转移矩阵,分析 1995—2020 年酉阳县旱改水特征。计算公式如下<sup>[25]</sup>:

$$S_{ij} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & \cdots & S_{1i} & \cdots & S_{1n} \\ S_{21} & S_{22} & \cdots & S_{2i} & \cdots & S_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ S_{i1} & S_{i2} & \cdots & S_{ij} & \cdots & S_{in} \\ S_{n1} & S_{n2} & \cdots & S_{ni} & \cdots & S_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中,  $S$  为土地利用类型的面积;  $n$  为转移前后土地利用类型的总数;  $i$  和  $j$  ( $i, j = 1, 2, \dots, n$ ) 为研究初期和研究末期的土地利用类型<sup>[26]</sup>;  $S_{ij}$  为从研究初期的第  $i$  类主体转换成研究期末的第  $j$  类土地的总面积。

## 2.2 标准差椭圆

标准差椭圆由沿长轴  $x$  的标准差和沿短轴  $y$  的标准差、旋转角  $\theta$  等要素组成<sup>[27]</sup>, 能有效刻画空间分布的总体轮廓与主导方向。通过对 1995—2020 年酉阳县旱改水图斑进行标准差椭圆分析, 可以直观解释 25 年来旱改水图斑的空间移动趋势。标准差椭圆计算公式如下<sup>[28]</sup>:

$$\bar{X}_\omega = \frac{\sum_{i=1}^n \omega_i x_i}{\sum_{i=1}^n \omega_i}; \quad \bar{Y}_\omega = \frac{\sum_{i=1}^n \omega_i y_i}{\sum_{i=1}^n \omega_i} \quad (2)$$

$$\tan \theta = \frac{\sum_{i=1}^n \omega_i^2 \tilde{x}_i^2 - \sum_{i=1}^n \omega_i^2 \tilde{y}_i^2 + \sqrt{(\sum_{i=1}^n \omega_i^2 \tilde{x}_i^2 - \sum_{i=1}^n \omega_i^2 \tilde{y}_i^2)^2 + 4 \sum_{i=1}^n \omega_i^2 \tilde{x}_i \tilde{y}_i}}{2 \sum_{i=1}^n \omega_i^2 \tilde{x}_i \tilde{y}_i} \quad (3)$$

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\omega_i \tilde{x}_i \cos \theta - \omega_i \tilde{y}_i \sin \theta)^2}{\sum_{i=1}^n \omega_i^2}} \quad (4)$$

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\omega_i \tilde{x}_i \sin \theta + \omega_i \tilde{y}_i \cos \theta)^2}{\sum_{i=1}^n \omega_i^2}} \quad (5)$$

式中,  $\bar{X}_\omega$  和  $\bar{Y}_\omega$  为算数平均中心;  $\omega_i$  为权重;  $x_i$  和  $y_i$  为每个要素的空间位置坐标;  $\theta$  为以正北方为  $0^\circ$  开始, 顺时针旋转至  $x$  轴的角度;  $\tilde{x}_i$  和  $\tilde{y}_i$  为平均中心偏差;  $\sigma_x$  和  $\sigma_y$  分别为沿  $x$  轴和  $y$  轴的标准差。

## 2.3 地理探测器模型

地理探测器是一种探究地理空间分层异质性以及揭示其驱动力内在机制的空间分析工具, 由因子探测、交互作用探测、风险区探测、生态探测<sup>[29-31]</sup> 4 个核心探测器组成。该模型无需对选取指标进行线性假设, 即不要求自变量与因变量之间存在线性关系, 能有效避免指标间共线性问题的干扰。本文运用因子探测器和交互探测器模型, 对旱改水驱动因素进行探测。

(1) 因子探测器: 用于探测因变量的空间分异性以及各自变量对因变量空间分布的解释力度, 用  $q$  度量。计算公式为:

$$q = 1 - \frac{\sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2}{N \sigma^2} \quad (6)$$

式中,  $h = 1, \dots, L$ ,  $L$  为变量  $Y$  或因子  $X$  的分层 (Strata);  $N_h$  和  $N$  分别为  $h$  层和全区的单元数;  $\sigma_h^2$  和  $\sigma^2$  分别是  $h$  层和全区的方差。  $q$  取值范围为  $[0, 1]$ , 其值越高表明自变量对因变量的解释力越强, 反之则越弱。

(2) 交互探测器: 用于识别不同影响因子  $X_n$  之间的交互作用, 即评估自变量  $X_1$  和  $X_2$  叠加作用时对因变量  $Y$  的解释力是否发生变化。先计算两种因子  $X_1$  和  $X_2$  对  $Y$  的  $q$  值, 即  $q(X_1)$  和  $q(X_2)$ ; 再计算交互作用时的  $q$  值, 即  $q(X_1 \cap X_2)$ , 并对  $q(X_1)$ 、 $q(X_2)$  与  $q(X_1 \cap X_2)$  进行比较。

## 2.4 影响因素选择

### (1) 稳定性地块立地条件指标体系

美国土壤保持局于 19 世纪 80 年代建立了土地评价与立地条件 (Land evaluation and site assessment, LESA) 分析体系, 该体系包括土地评价 (Land evaluation, LE) 与立地分析 (Site assessment, SA) 两部分<sup>[32]</sup>。本研究中, 立地条件是以 LESA 体系为指导, 主要反映耕地与周围环境的协同关系, 涵盖耕地环境条件及区位条件<sup>[32]</sup>。稳定性地块是指在研究时段内, 旱地仅发生一次向水田的转变, 此后未再向其他地类转换的地块。通过分期甄别不同时段稳定性地块, 分析各时段稳定性图斑的立地条件, 并探究其空间分布倾向。参照已有研究<sup>[32-34]</sup>, 结合酉阳县地形地貌, 从自然禀赋及耕作便利性两个维度, 选取年平均气温、年平均降水量、高程、坡度、土壤类型、距城镇居民点距离、距道路距离和距水域距离 8 个因素 (表 1)。随后, 通过计算各期稳定性地块在不同因子等级下的分布面积及其占该期总旱地面积的百分比, 进一步明确其最适宜分布的立地条件。

### (2) 旱改水影响因子指标体系

旱改水受自然环境、耕作便利性以及社会经济发展水平的综合影响<sup>[10]</sup>。本研究以酉阳县自然与社会经济状况为背景, 以稳定性地块立地条件分析为基础, 并参照已有研究成果<sup>[35-36]</sup>, 从自然禀赋、耕

表 1 旱改水稳定性地块的立地条件及分级标准

Tab. 1 Location conditions and classification criteria for the stable plots of dryland-to-paddy conversion

准则层	指标层	指标分级标准				
		1 级	2 级	3 级	4 级	5 级
自然禀赋	年平均气温 $A_1$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	0 ~ 10	10 ~ 13	13 ~ 15	15 ~ 17	> 17
	年平均降水量 $A_2$ ( mm )	0 ~ 1005	1005 ~ 1100	1100 ~ 1250	1250 ~ 1506	> 1506
	高程 $A_3$ ( m )	0 ~ 300	300 ~ 500	500 ~ 700	700 ~ 900	> 900
	坡度 $A_4$ ( $^{\circ}$ )	0 ~ 2	2 ~ 6	6 ~ 15	15 ~ 25	> 25
	土壤类型 $A_5$	水稻土	黄壤/黄棕壤	石灰岩土	紫色土	冲积土
耕作便利性	距城镇居民点距离 $A_6$ ( m )	0 ~ 150	150 ~ 300	300 ~ 500	500 ~ 800	> 800
	距道路距离 $A_7$ ( km )	0 ~ 1	1 ~ 3	3 ~ 5	5 ~ 8	> 8
	距水域距离 $A_8$ ( km )	0 ~ 1	1 ~ 3	3 ~ 5	5 ~ 8	> 8

作便利因素和社会经济因素 3 个维度构建评价指标体系(表 2)。

表 2 旱改水时空演变影响因素指标体系

Tab. 2 Indicator system of influencing factors of the spatial-temporal evolution of dryland-to-paddy conversion

准则层	指标层
自然禀赋	年平均气温 $X_1$ ( $^{\circ}\text{C}$ )
	年均降水量 $X_2$ ( mm )
	高程 $X_3$ ( m )
	坡向 $X_4$
	坡度 $X_5$ ( $^{\circ}$ )
	土壤类型 $X_6$
	耕地质量 $X_7$
	平均地块面积 $X_8$ ( $\text{hm}^2$ )
	土壤质地 $X_9$
耕作便利因素	距城镇居民点距离 $X_{10}$ ( m )
	距道路距离 $X_{11}$ ( km )
	距水域距离 $X_{12}$ ( km )
	灌溉保证率 $X_{13}$
社会经济因素	乡村劳动力资源总数 $X_{14}$ ( 人 )
	粮食总产量 $X_{15}$ ( t )

自然禀赋方面,由于水稻种植对水热条件具有较高要求,因此,选取年平均气温和年均降水量来反映水稻种植的水热条件。地形条件是农业生产与高质量农田建设的基础性要素,其中高程、坡度和坡向关乎旱改水实施的可行性。由于优质地块改造效益显著,耕地质量也应纳入考虑。喀斯特山地区地形

复杂,耕地细碎化程度较高,研究采用平均地块面积 ( Mean plot size, MPS) 作为表征指标,其值越小说明细碎化程度越高。土壤质地反映矿物颗粒的粒径分布,对土壤透气性、保肥保水、温度调节及耕作性影响显著,且不同质地 在保肥保水能力上各有特点。考虑到西南喀斯特山地水土地下漏失严重<sup>[36]</sup>,耕地保肥保水能力对旱改水的实施效果具有重要影响,因此选择土壤质地作为表征指标。

耕作便利性方面,交通与居民点分布状况能反映人类活动对土地利用格局的影响程度。尽管喀斯特山地区降水丰富,但由于岩溶地貌发育,工程性缺水问题突出,对旱改水实施后的长期稳定性影响显著。因此将耕地灌溉保证率纳入评价体系。

社会经济方面,因农业属于劳动力密集型产业,乡村劳动力资源总数直接影响农业生产规模,粮食总产量是衡量耕地投入产出水平的关键指标。需要说明的是,由于研究时段内酉阳县仅在部分乡村开展旱改水项目试点,相关政策的影响力和覆盖范围相对有限,因此暂未考虑政策因素。

(3) 指标分级与权重确定

指标分级参照《农用地质量分等规程》( GB/ T28407—2012 )<sup>[37]</sup>、《酉阳县 2018 年耕地质量等别评价成果》和相关研究<sup>[12]</sup>,结合实际微调。土壤类型按酉阳县现有土壤类型分为水稻土、黄壤/黄棕壤、石灰岩土、紫色土和冲积土 5 类<sup>[38]</sup>;土壤质地分为壤质、黏质和砂质 3 类;灌溉保证率分为充分满足、基本满足、一般满足和无灌溉条件 4 类。其余指标均采用 ArcGIS 自然断点法<sup>[39]</sup>离散为 5 级。

### 3 结果与分析

#### 3.1 旱改水时空演变特征

1995—2020 年期间,酉阳县旱改水转型过程呈现“U”型阶段波动特征,2005 年为转型强度拐点。各时段旱地转出方向存在差异,主要转化为林地、草地和水田等地类(表 3)。2005—2010 年旱改水最显著,旱地转入面积为 4207.75 hm<sup>2</sup>,转出面积为 4109.14 hm<sup>2</sup>,其中旱地转为水田面积为 363.58 hm<sup>2</sup>,占比 8.85%。其次是 2015—2020 年,旱地转入面积为 8963.51 hm<sup>2</sup>,转出面积为 8914.07 hm<sup>2</sup>,其中旱地转为水田面积为 344.24 hm<sup>2</sup>,占比 3.86%。1995—2000 年,旱地转入和转出面积分别为 6209.98 hm<sup>2</sup> 和 6706.28 hm<sup>2</sup>,其中旱地转为水田面积为 247.05 hm<sup>2</sup>,占比 3.68%。2000—2005 年,旱地转入和转出面积分别为 8363.39 hm<sup>2</sup> 和 4904.82 hm<sup>2</sup>,其中旱地转为水田面积为 186.11 hm<sup>2</sup>,占比 3.79%。2010—2015 年旱改水面积最少,旱地转入和转出面积分别为

32.86 hm<sup>2</sup> 和 310.88 hm<sup>2</sup>,其中旱地转为水田面积仅 4.04 hm<sup>2</sup>,占比 1.30%。

整体来看,其他地类转为旱地的面积小于旱地转为其他地类的面积。其中,2000—2005 年、2005—2010 年、2015—2020 年旱地转入量均大于转出量,差值分别为 3447.81 hm<sup>2</sup>、161.61 hm<sup>2</sup>、49.44 hm<sup>2</sup>;而 1995—2000 年、2010—2015 年转入量小于转出量,差值分别为 -496.3 hm<sup>2</sup>、-277.90 hm<sup>2</sup>,表明这两个时间段旱地总量呈减少趋势,减少部分主要转化为其他地类。

1995—2020 年间酉阳县旱改水存在空间分异(图 2),地块主要集中在龙潭镇、麻旺镇、泔溪镇、涂市镇、酉阳镇等区域;但 2010—2015 年间,旱改水地块在桃花源街道、板溪镇、龙潭镇、麻旺镇等地集中分布,其余乡镇的旱地与水田则保持相对稳定状态。

旱改水转型活动受自然环境、社会经济和生态平衡等多维度的交互影响。2005—2015 年间,酉阳县经济高速增长,城镇化和工业化加速,建设用地需求大增,特别是 2010—2015 年“一区四园”项目的实施,加剧了耕地向建设用地的转化。同时,“退耕

表 3 1995—2020 年酉阳县旱地数量结构变化

Tab. 3 Changes in the quantity structure of dryland in Youyang County from 1995 to 2020

转移 方向	转移 类型	1995—2000 年		2000—2005 年		2005—2010 年		2010—2015 年		2015—2020 年	
		面积/hm <sup>2</sup>	比例/%	面积/hm <sup>2</sup>	比例/%	面积/hm <sup>2</sup>	比例/%	面积/hm <sup>2</sup>	比例/%	面积/hm <sup>2</sup>	比例/%
旱地 转出	草地	3142.62	46.86	2100.10	42.82	515.53	12.55	2.14	0.69	1423.61	15.97
	建设用地	13.37	0.20	17.79	0.36	148.65	3.62	244.09	78.52	76.94	0.86
	林地	3300.48	49.21	2599.22	52.99	2953.56	71.88	7.54	2.43	7054.55	79.14
	水田	247.05	3.68	186.11	3.79	363.58	8.85	4.04	1.30	344.24	3.86
	水域	2.60	0.04	1.52	0.03	127.80	3.11	53.07	17.07	14.57	0.16
	未利用地	0.16	0.00	0.07	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.16	0.00
合计		6706.28	100.00	4904.82	100.00	4109.14	100.00	310.88	100.00	8914.07	100.00
旱地 转入	草地	3004.33	48.38	5090.04	60.86	1629.32	38.15	1.88	5.72	1337.69	14.92
	建设用地	26.45	0.43	9.96	0.12	11.20	0.26	0.14	0.43	42.18	0.47
	林地	2912.88	46.91	3063.94	36.64	2460.29	57.60	7.62	23.19	7172.85	80.02
	水田	263.06	4.24	185.38	2.22	167.41	3.92	23.22	70.66	399.78	4.46
	水域	3.09	0.05	3.10	0.04	2.53	0.06	0.00	0.00	10.60	0.12
	未利用地	0.17	0.00	10.97	0.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.41	0.00
合计		6209.98	100.00	8363.39	100.00	4207.75	100.00	32.86	100.00	8963.51	100.00



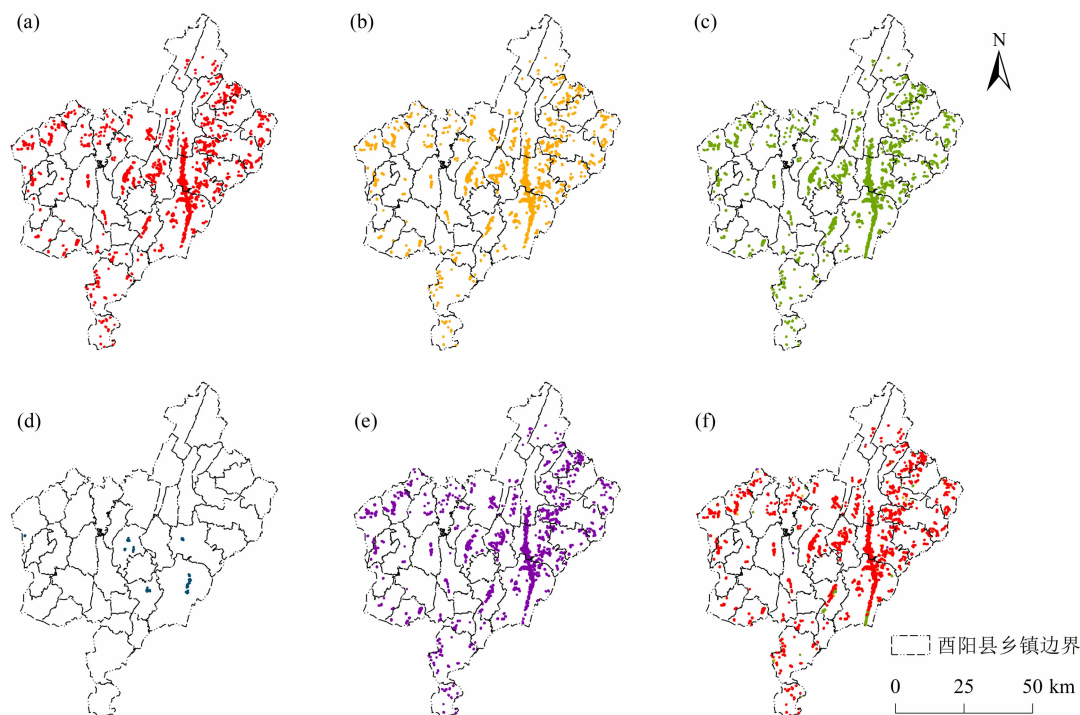


图2 1995—2020年酉阳县旱改水地块空间分布:

(a) 1995—2000年;(b) 2000—2005年;(c) 2005—2010年;(d) 2010—2015年;(e) 2015—2020年;(f) 1995—2020年

Fig. 2 Spatial distribution patterns of dryland-to-paddy conversion in Youyang County from 1995 to 2020

(a) 1995 - 2000; (b) 2000 - 2005; (c) 2005 - 2010; (d) 2010 - 2015; (e) 2015 - 2020; (f) 1995 - 2020

还林”政策的推行进一步促使部分耕地转为林地。上述因素的共同作用,导致该时段旱改水面积持续下降。2015—2020年,经济进入新常态发展期,增速放缓,“退耕还林”政策持续推进,区域生态环境显著改善。在此期间,政府强化耕地和生态保护意识,学界也日益重视水田的生产、景观和生态多功能价值<sup>[40]</sup>。在农业补贴政策、粮食生产重视度提升、农田水利建设推进、农业科技进步以及“退耕还林”政策等多重因素驱动下,酉阳县旱改水进程加快,转移面积呈上升趋势。

1995—2020年酉阳县旱改水标准差椭圆参数的计算与空间分析发现,旱改水空间分布在25年间方向性特征明显,呈向心集聚特征,与重心迁移轨迹密切相关(图3)。除2010—2015年外,其余时段标准差椭圆均呈东北—西南走向,空间格局呈现先西移后东移的演变特征,且椭圆中心坐标、长轴、短轴、面积及方位角等参数差异较小。2010—2015年标准差椭圆呈西北—东南走向,其方位角约为其他时段的两倍,椭圆面积、长轴和短轴等参数也具有较大差距。表明该时段旱改水面积缩减且空间发生显著变化。

1995—2020年,酉阳县旱改水面积前五的乡镇依次为龙潭镇(422.45 hm<sup>2</sup>)、麻旺镇(178.20 hm<sup>2</sup>)、桃花源街道(60.53 hm<sup>2</sup>)、酉酬镇(59.58 hm<sup>2</sup>)和涂市镇(54.13 hm<sup>2</sup>),分布重心始终位于涂市镇。从变化轨迹来看,2000—2005年重心向西南迁移,2005—2015年持续南移,2015—2020年转向东北方向,空间重心南移速率为107 m·a<sup>-1</sup>。整体而言,25年间旱改水分布重心在涂市镇呈现南向迁移轨迹,并未扩散至其他乡镇。

### 3.2 旱改水利用稳定性变化

本研究基于酉阳县1995—2020年土地利用数据,提取各期旱地与水田图斑信息,运用ArcGIS 10.8软件进行空间赋值。其中,水田赋值为1、旱地赋值为2,其他地类赋值为3,并据此计算5期旱改水的转移频次。

时序分析表明,1995—2020年及所有子时段内,未发生转移(频次=0次)的图斑面积均占据同期旱地面积的85%以上(表4),其中2010—2020年和2015—2020年占比超90%。转移1次的旱地面积占比超过5%,且随转移频次增加,面积占比呈递

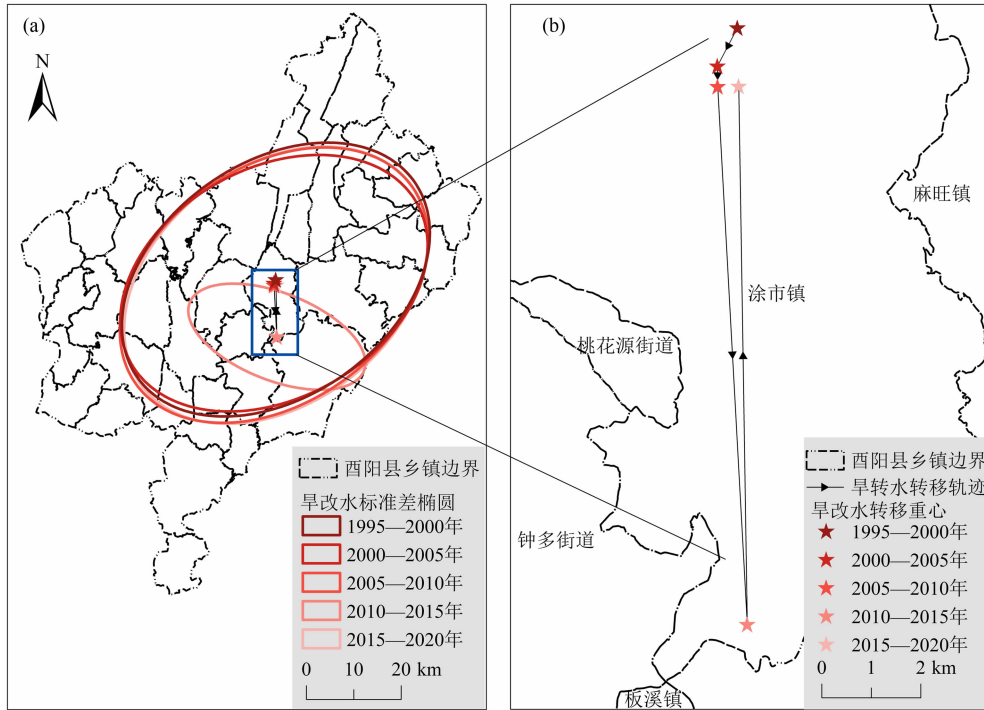


图 3 1995—2020 年酉阳县旱改水标准差椭圆及重心分布：(a) 旱改水标准差椭圆；(b) 旱改水重心分布及转移轨迹

Fig. 3 Standard deviation ellipse and center of gravity distribution of dryland-to-paddy conversion in Youyang County from 1995 to 2020: (a) standard deviational ellipse; (b) distribution and trajectory of the centroid

表 4 1995—2020 年酉阳县旱地转移频次地块面积占比

Tab. 4 Proportion of the areas of plots with different transfer frequencies of dry land in Youyang County from 1995 to 2020

年份	转移频次地块面积占比/%					
	0 次	1 次	2 次	3 次	4 次	5 次
1995—2020	86.20	7.83	3.99	1.48	0.05	0.01
2000—2020	88.06	8.76	2.46	0.71	0.01	
2005—2020	89.86	8.76	1.38	0.01		
2010—2020	92.01	7.97	0.02			
2015—2020	92.26	7.74				

减趋势。空间分析显示(图4),转移频次为0次和1次的地块占主导地位,地块数量随转移频次的增加而减少。这些相对稳定的旱地集中分布于特定区域,形成旱地核心分布地带,反映出该区旱地分布广、地理和土壤条件适宜旱作农业,具有显著的稳定性特征。

基于旱改水转移频次分析,本研究通过赋值筛选法识别稳定性地块。筛选过程如下:(1)排除未发生转移的持续旱地或水田地块;(2)剔除发生一次转移却未保持稳定的地块;(3)研究聚焦旱地向水田的单一转换,排除涉及其他地类转换的稳定地块。筛选后的地块分别赋值为 211111、21111、

2111、211、21。赋值规则如下:首位数字“2”表示初始旱地状态,后续数字“1”代表转为水田后的持续稳定状态,数字位数对应研究时段。其中,211111表示1995年为旱地,在2000年转为水田并持续至2020年;同理,21111、2111、211、21分别对应2000—2020年、2005—2020年、2010—2020年、2015—2020年的旱改水转移序列。

空间分析表明,2010—2020年稳定性地块数量显著少于其他时段,但空间分布格局与其他时段相似,形成龙潭—麻旺—泔溪带状稳定区(图5)。从数量变化来看,1995、2000、2005、2015年转移至2020年的稳定性地块数量波动幅度不大,而2010—2020年则



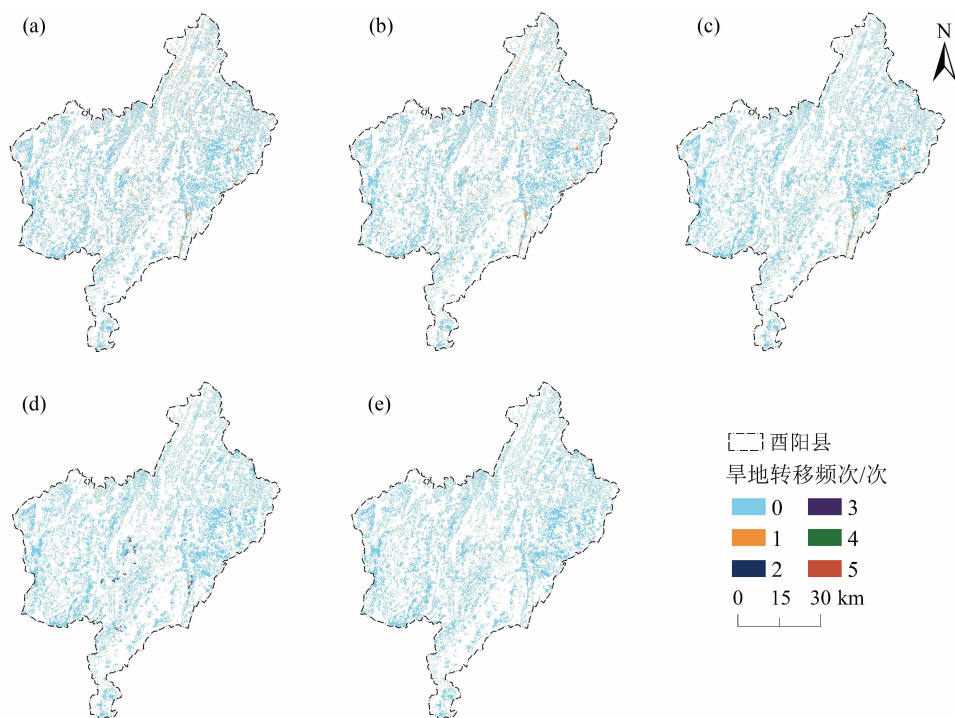


图4 1995—2020年西阳县旱地转移频次空间分布：

(a)1995—2020年；(b)2000—2020年；(c)2005—2020年；(d)2010—2020年；(e)2015—2020年

Fig. 4 Spatial distribution of transfer frequencies of dryland in Youyang County from 1995 to 2020;

(a) 1995 - 2020; (b) 2000 - 2020; (c) 2005 - 2020; (d) 2010 - 2020; (e) 2015 - 2020

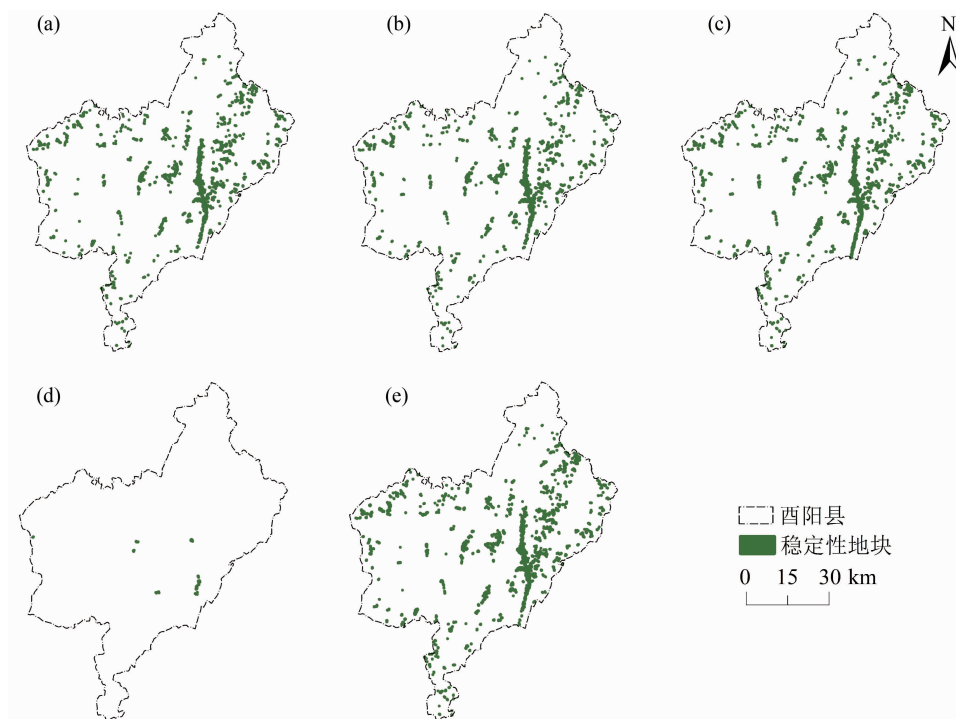


图5 1995—2020年西阳县旱改水稳定性地块空间分布：

(a)1995—2020年；(b)2000—2020年；(c)2005—2020年；(d)2010—2020年；(e)2015—2020年

Fig. 5 Spatial distribution of stable plots for dryland-to-paddy conversion in Youyang County from 1995 to 2020;

(a) 1995 - 2020; (b) 2000 - 2020; (c) 2005 - 2020; (d) 2010 - 2020; (e) 2015 - 2020

显著下降。该现象归因于 2010—2015 年旱改水面积缩减,导致符合“2010 年为旱地—2015 年转为水田—2020 年维持水田”条件的地块数量减少。此外,各时段旱地转移稳定性地块占比也存在显著差异:2015—2020 年占比最高(0.30%),因其仅需满足“2015 年为旱地,2020 年转为水田”这一条件;2005—2010 年次之(0.24%);2010—2015 年占比最低(0.00%),这与该时段旱改水规模较小相关;1995—2000 年和 2000—2005 年占比分别为 0.05% 和 0.04%。

由图 6 可知,各时段稳定性地块虽在各因子不同等级间存在显著差异,但均呈现明显的等级聚集

特征。年平均气温主要分布在第 4 等级(15℃~17℃);年均降水量主要分布在第 3 等级(1100~1250 mm);高程(DEM)以第 2 等级(300~500 m)占比最高;坡度集中分布于第 3 等级(6°~15°);土壤类型以第 2 等级(黄壤/黄棕壤)为主。从耕作便利性条件而言,距居民点距离以第 5 等级(>800 m)占比最大;距道路和距水域距离均以第 5 等级(>8 km)为主。

### 3.3 旱改水影响因子分析

#### 3.3.1 单因子探测

单因子探测结果显示(图 7),1995—2020 年各

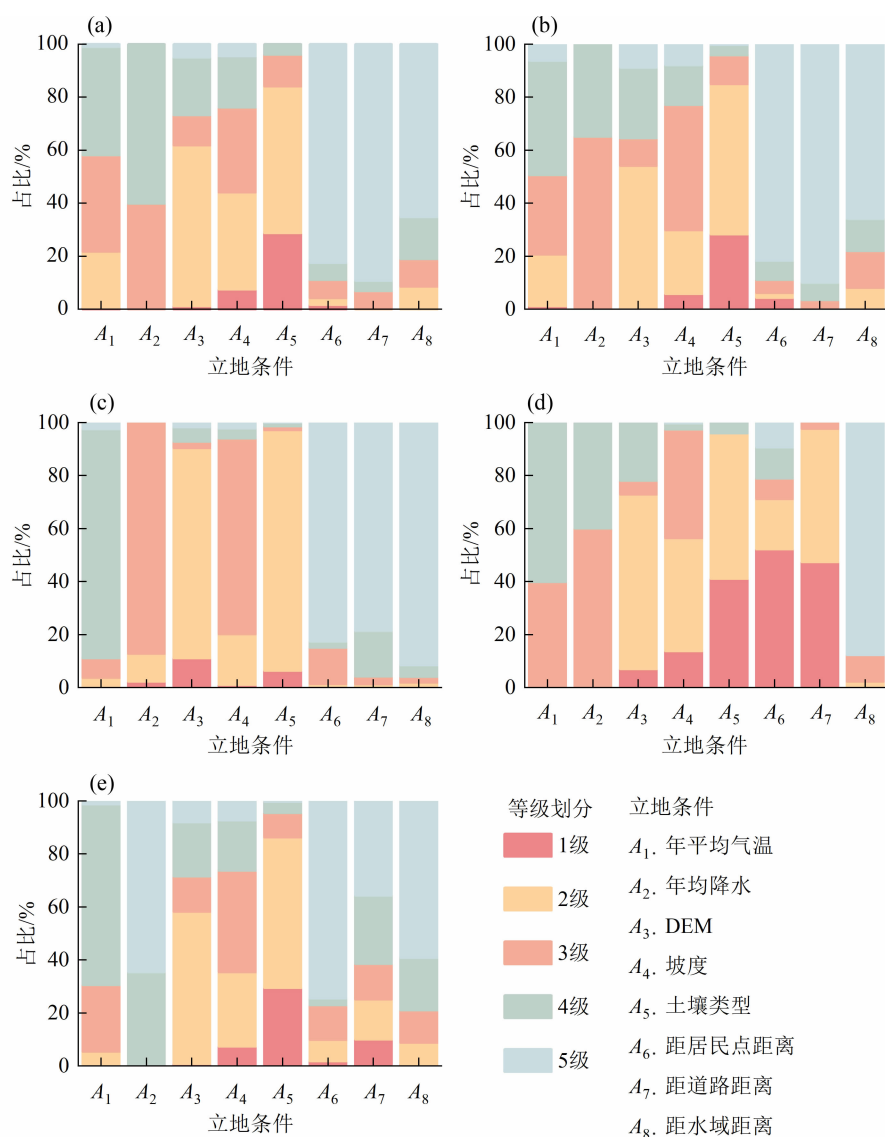


图 6 1995—2020 年酉阳县旱改水稳定地块立地条件各因子占比:

(a)211111;(b)21111;(c)2111;(d)211;(e)21

Fig. 6 Proportion of each factor of the site conditions of the stable plots for dryland-to-paddy conversion in Youyang County from 1995 to 2020: (a) 211111; (b) 21111; (c) 2111; (d) 211; (e) 21

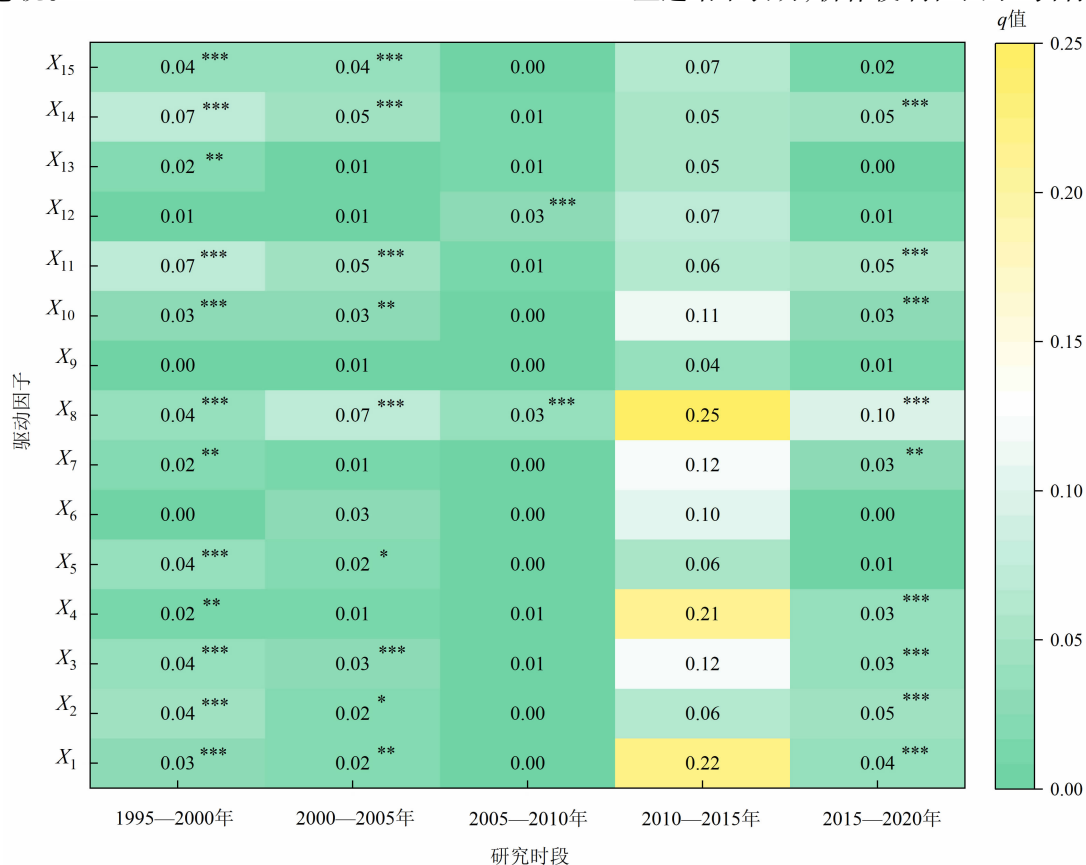
时段影响因子对旱改水的解释力存在显著差异,土壤类型( $X_6$ )和土壤质地( $X_9$ )解释力持续不显著,其余因子均呈动态变化特征。其中,年平均气温( $X_1$ )、年均降水量( $X_2$ )、高程( $X_3$ )、坡度( $X_4$ )、耕地质量( $X_7$ )、平均地块面积( $X_8$ )、土壤质地( $X_9$ )和距水域距离( $X_{12}$ )的解释力呈上升趋势;坡向( $X_5$ )、距居民点距离( $X_{10}$ )、距道路距离( $X_{11}$ )、灌溉保证率( $X_{13}$ )、劳动力总数( $X_{14}$ )和粮食总产量( $X_{15}$ )呈下降趋势。值得注意的是,土壤类型( $X_6$ )解释力呈波动变化,而距居民点距离( $X_{10}$ )变化不明显。

2015—2020年,解释力最强的5个因子依次为:平均地块面积( $X_8, q=0.10$ )、距道路距离( $X_{11}, q=0.05$ )、年均降水量( $X_2, q=0.05$ )、劳动力总数( $X_{14}, q=0.05$ )和年平均气温( $X_1, q=0.04$ ),表明自然禀赋对旱改水影响更突出。尽管土壤质地( $X_9, q=0.01$ )和灌溉保证率( $X_{13}, q=0.00$ )的解释力低,但鉴于喀斯特山地区存在严重的工程性缺水问题,耕地保水保肥能力和灌溉条件对旱改水影响也不容忽视。

### 3.3.2 交互因子探测

交互探测结果显示(图8),任意两因子交互后的解释力均高于单因子,且呈现非线性增强和双因子增强特征,表明旱改水的时空变化受多因子协同驱动。25年间主导交互因子及其解释力存在显著差异:1995—2000年距道路距离 $\cap$ 高程( $X_{11} \cap X_3, q=0.19$ )解释力最强,土壤质地 $\cap$ 土壤类型( $X_9 \cap X_6, q=0.01$ )最弱;2000—2005年距道路距离 $\cap$ 土壤类型( $X_{11} \cap X_6, q=0.22$ )解释力最强,灌溉保证率 $\cap$ 土壤质地( $X_{13} \cap X_9, q=0.02$ )解释力最弱;2005—2010年,距水域距离 $\cap$ 高程( $X_{12} \cap X_3, q=0.35$ )解释力最强,土壤质地 $\cap$ 土壤类型( $X_9 \cap X_6, q=0.01$ )解释力最弱;2010—2015年,距道路距离 $\cap$ 年平均气温( $X_{11} \cap X_1, q=0.83$ )解释力最强,年平均气温 $\cap$ 年均降水量( $X_1 \cap X_2, q=0.01$ )解释力最弱;2015—2020年,劳动力总数 $\cap$ 平均地块面积( $X_{14} \cap X_8, q=0.17$ )解释力最强,土壤类型 $\cap$ 坡向( $X_6 \cap X_5, q=0.02$ )解释力最弱。

上述结果表明,耕作便利性因子与自然禀赋因



\* \* \*、\* \*、\* 分别表示在 1%、5%、10% 的水平上显著。

图7 1995—2020年酉阳县旱改水单因子探测结果

Fig. 7 Single factor detection results for dryland-to-paddy conversion in Youyang County from 1995 to 2020

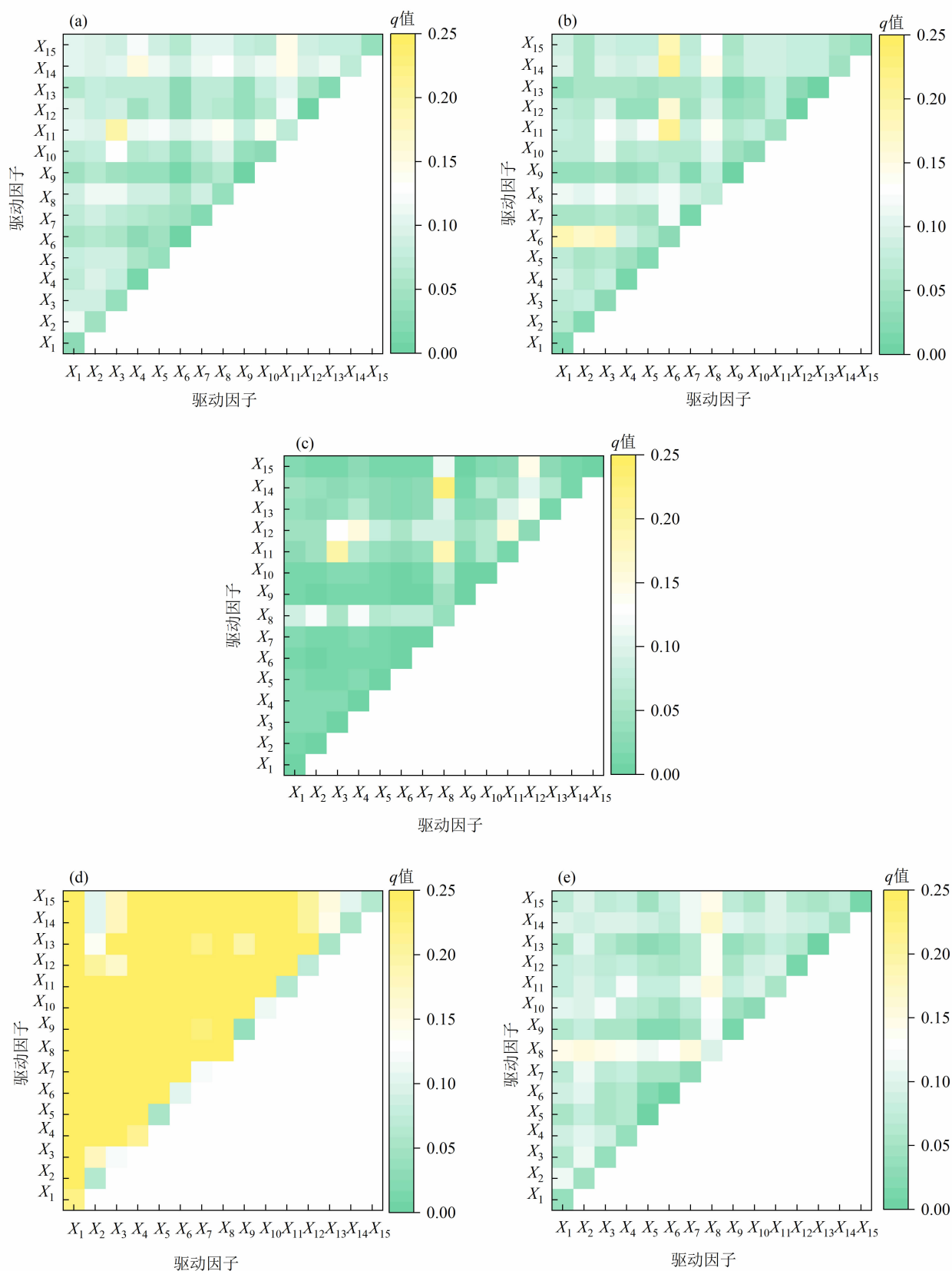


图 8 1995—2020 年酉阳县旱改水交互因子探测结果:

(a) 1995—2020 年; (b) 2000—2020 年; (c) 2005—2020 年; (d) 2010—2020 年; (e) 2015—2020 年

Fig. 8 Interactive factor detection results for dryland-to-paddy conversion in Youyang County from 1995 to 2020;

(a) 1995 - 2000; (b) 2000 - 2005; (c) 2005 - 2010; (d) 2010 - 2015; (e) 2015 - 2020

子的交互作用显著增强了旱改水时空演变的驱动力。结合单因子探测结果,可确定这两类因子是酉阳县旱改水演变的主导因素。因此,在旱改水规划与实施中,应重点考虑平均地块面积、距道路距离、年均降水量等核心因子,同时重视距道路距离和年平均气温、距水域距离和高程的交互作用。特别是在农村劳动力持续外流的背景下,更应重点关注劳动力数量与平均地块面积的协同效应。

## 4 讨论

耕地是土地利用类型中的重要类型,是重要且稀缺的农业生产要素<sup>[41]</sup>。酉阳县作为典型喀斯特峡谷型地貌区,岩溶地貌广布导致耕地资源稀缺且破碎化严重,面临耕地保护与生态安全的双重挑战。自2019年实施全域土地综合整治以来,各乡镇因自然和社会经济禀赋差异,亟须因地制宜的整治策略。本研究通过剖析酉阳县旱改水的数量及空间特征、稳定性地块立地条件及影响因素,有利于摸清水旱地分布现状,识别适宜改造区域,为精准选择试点区域、优化耕地资源配置提供依据,进一步支撑差异化的耕地保护和综合管理决策,提升整治工作的实效性。

本研究对酉阳县25年间旱改水演变特征进行探究,不同时段旱改水面积差异明显。2005—2010年旱改水面积最大,达363.58 hm<sup>2</sup>。湖南省在2014—2018年期间有69.56 hm<sup>2</sup>的旱地改为水田,占水田总补充面积的38.15%<sup>[42]</sup>,旱改水成为水田补充的首要来源,“补改结合”的水田占补平衡措施成效显著。旱地主要向林地、草地和水田等地类转变,在龙潭镇、麻旺镇、泔溪镇等镇集中分布,这与文可可<sup>[43]</sup>等、赵浣玓<sup>[17]</sup>等、张扬<sup>[44]</sup>等的研究结果相似,均指出耕地不仅向林地、草地及建设用地等地类转移,旱地与水田之间也存在转移。重庆市因多山地丘陵、耕地破碎度高,传统占补方式难以实现耕地占补平衡,郭维红<sup>[10]</sup>等的研究表明,中国典型喀斯特区集中进行了旱改水工程,旱改水成为实现耕地占补平衡的重要举措<sup>[38]</sup>;解帅<sup>[2]</sup>等的研究进一步证实了西南丘陵地区旱地与水田互转的普遍性,本文研究结果与上述研究契合。本文对酉阳县25年旱改水稳定性探究发现,转移频次为0次和1次的旱地转移图斑占据主导,超过85%的旱地图斑未转

移。稳定性地块虽因立地条件不同存在差异,但都集中分布在特定条件区域,即稳定性地块集中在水热条件好、海拔低的缓坡地带,与重庆三峡库区水田分布特征相似。

已有研究从不同维度构建了“旱改水”评价指标体系。如罗傲蓝<sup>[12]</sup>等从地形、土壤和耕作条件等维度构建评价指标体系;胡智毅<sup>[11]</sup>等将灌溉保证率、地形坡度、田面坡度、有机质含量和田块规模作为新增水田适宜性评价因子;郭维红<sup>[10]</sup>等从地形、土壤、耕作和气候条件等方面进行旱改水适应性评价,却较少关注改造后水田的稳定性。旱改水不仅能增加有效耕地面积,提高农业产出效率,其长期稳定性在确保国家粮食安全以及实现耕地占补平衡方面发挥重要作用。中国西南喀斯特山地区虽降水充足,但岩溶地貌发育导致地形破碎、水土地下漏失严重,工程性缺水问题突出<sup>[36]</sup>。因此,维持旱改水稳定性的关键在于确保水田具备良好的保水保肥能力,防止短期内复归旱地。基于此,本研究在构建评价指标体系时,将土壤质地和灌溉保证率作为核心指标,以全面分析旱改水的影响因素。地理探测器模型分析表明,1995—2020年间各因子对旱改水的解释能力呈动态变化,不同时段的主导因子各异<sup>[7]</sup>。其中,平均地块面积、距道路距离、年均降水量、劳动力总数和年平均气温的单因子解释力较强,凸显自然禀赋和耕作便利性因子的显著影响。已有研究表明,三江平原和重庆地区的旱改水受自然<sup>[8]</sup>、经济<sup>[18]</sup>和生态政策<sup>[19]</sup>等多重因素驱动。本研究对酉阳县25年旱改水影响因子的探测分析进一步验证了自然禀赋和耕作便利性因子的重要性,与既有研究结论一致。在旱改水规划与实施中,需关注耕地保肥保水能力和灌溉条件,同时充分考虑距水域距离、高程、劳动力数量与平均地块面积之间的交互作用。

本研究从自然禀赋、耕作便利性、社会经济等维度构建了酉阳县旱改水影响因子指标体系。然而政策因素近年来对旱改水产生了显著影响,特别是旱地垦造水田整治项目的实施,对旱改水工程产生了显著的推动作用。根据前期调查,2020年前酉阳县仅启动实施2个旱地垦造水田项目,2020年后在车田乡、板桥乡、楠木乡等5个乡10个村进行了局部试点。受限于耕地自然条件和工程建设适宜性,这些项目呈现数量少、规模小、实施晚等特点。由于研

究时段(1995—2020年)与项目实施时间错位,且已实施项目数量有限、成效滞后,政策因素在当前阶段的影响力有限,因此在构建评价指标体系时暂未纳入政策因素。随着全域土地综合整治的持续推进,政策将对旱改水产生持续且深远的影响。后续研究将重点关注政策措施、实施效果以及对旱改水的长期影响,通过实地调研已实施项目,结合前期成果精准分析旱改水影响因素,这将有助于深入理解政策在旱改水演变中的重要性,为差异化耕地保护政策提供科学依据。

## 5 结论

(1) 1995—2020年,酉阳县旱改水过程呈现“U”型阶段波动特征,受城镇化与退耕还林政策双重影响,不同时段转型面积差异显著,2005年为转型强度拐点。其中2005—2010年转移最显著,面积为363.58 hm<sup>2</sup>,占旱改水总面积31.98%;2010—2015年转移面积最小,仅为4.04 hm<sup>2</sup>,占比0.35%。进入新常态经济期后,随着对耕地保护和生态环境重视程度的不断提升,2015—2020年间旱改水面积又呈上升趋势。

(2) 旱改水空间格局呈向心集聚特征,多为东北—西南格局;转型活动集中于涂市镇,空间重心南移速率达107 m·a<sup>-1</sup>,未向其他乡镇扩散。其中2000—2005年旱地转入量最大,转移差值为3458.57 hm<sup>2</sup>,1995—2000年旱地转出量最大,差值为496.30 hm<sup>2</sup>。

(3) 85%的旱地图斑保持稳定,稳定性地块存在显著地带分异。在温度适宜(15℃~17℃)、降水充足(1100 mm~1250 mm)的缓坡区(6°~15°)集中分布,形成龙潭—麻旺—泔溪带状稳定区。2010—2020年稳定性地块数量及空间分布与其他时段存在显著差异,原因在于2010—2015年旱地改为水田的面积较其余时段少,因此该时段稳定性地块的数量较少。

(4) 驱动机制呈现“自然禀赋-便利性”耦合特征,单因子解释力随时间动态变化,平均地块面积( $q=0.10$ )、距道路距离( $q=0.05$ )、年均降水量( $q=0.05$ )、劳动力总数( $q=0.05$ )、年平均气温( $q=0.04$ )等因子解释力较强。距道路距离与年平均气温的交互解释力最强( $q=0.83$ ),其次为距水

域距离与高程的交互解释力( $q=0.35$ )。交互探测以双因子增强和非线性增强为主,双因子增强型交互占比达86.47%。

## 参考文献(References)

- [1] ZHOU Yang, LI Xunhuan, LIU Yansui. Cultivated land protection and rational use in China [J]. Land Use Policy, 2021, **106**: 105454. DOI: 10.1016/j.landusepol.2021.105454
- [2] LAI Zhaohao, CHEN Meiqiu, LIU Taoju. Changes in and prospects for cultivated land use since the reform and opening up in China [J]. Land Use Policy, 2020, **97**: 104781. DOI: 10.1016/j.landusepol.2020.104781
- [3] 汤怀志, 桑玲玲, 郦文聚. 我国耕地占补平衡政策实施困境及科技创新方向[J]. 中国科学院院刊, 2020, **35**(5): 637–644. [TANG Huaizhi, SANG Lingling, YUN Wenju. China's cultivated land balance policy implementation dilemma and direction of scientific and technological innovation [J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2020, **35**(5): 637–644] DOI: 10.16418/j.issn.1000-3045.20200313002
- [4] LOU Yi, YIN Guangyi, XIN Yue, et al. Recessive transition mechanism of arable land use based on the perspective of coupling coordination of input-output: A case study of 31 provinces in China [J]. Land, 2021, **10**(1): 41. DOI: 10.3390/land10010041
- [5] GE Dazhuan, LONG Hualou, ZHANG Yingnan, et al. Farmland transition and its influences on grain production in China [J]. Land Use Policy, 2018, **70**: 94–105. DOI: 10.1016/j.landusepol.2017.10.010
- [6] VLIET J V, DE GROOT H L F, RIETVELD P, et al. Manifestations and underlying drivers of agricultural land use change in Europe [J]. Landscape and Urban Planning, 2015, **133**: 24–36. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2014.09.001
- [7] 解帅, 殷冠群, 姜毅, 等. 1990—2020年中国耕地利用的“水旱分异”格局及机制分析[J]. 中国土地科学, 2022, **36**(6): 113–124. [XIE Shuai, YIN Guanyi, LOU Yi, et al. Differentiation pattern and driving mechanism of paddy field and dryland of China in 1990–2020 [J]. China Land Science, 2022, **36**(6): 113–124] DOI: 10.11994/zgtdkx.20220606.102224
- [8] 张文琦, 宋戈. 三江平原典型区水田时空变化及驱动因素分析[J]. 农业工程学报, 2019, **35**(6): 244–252. [ZHANG Wenqi, SONG Ge. Spatial-temporal variations and driving factor analysis of paddy fields in typical regions of Sanjiang Plain [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2019, **35**(6): 244–252] DOI: 10.11975/j.issn.1002-6819.2019.06.030
- [9] 宋戈, 杨雪昕, 高佳. 三江平原典型地区水田分布格局变化特征[J]. 中国土地科学, 2017, **31**(8): 61–68. [SONG Ge, YANG Xuexin, GAO Jia. Study on the distribution patterns and characteristics of paddy cropland in the typical area of Sanjiang Plain



- [J]. China Land Science, 2017, **31**(8): 61 – 68] DOI: 10.11994/zgtdkx.20170913.154755
- [10] 郭维红, 蒋非非, 马静, 等. 2000—2020 年中国耕地旱改水空间格局演变及其适应性管理[J]. 农业工程学报, 2024, **40**(4): 292 – 303. [GUO Weihong, JIANG Feifei, MA Jing, et al. Spatial pattern evolution of dryland-to-paddy conversion in China and its adaptive management from the year 2000 to 2020 [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2024, **40**(4): 292 – 303] DOI: 10.11975/j.issn.1002 – 6819.202306043
- [11] 胡智毅, 范亚南. 基于 GIS 的广东省“旱改水”项目新增水田适宜性评价方法研究[J]. 安徽农业科学, 2018, **46**(12): 193 – 198. [HU Zhiyi, FAN Yanan. Research on suitability evaluation method for new paddy field in “dry land is changed into paddy fields” project based on GIS [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2018, **46**(12): 193 – 198] DOI: 10.13989/j.cnki.0517 – 6611.2018.12.060
- [12] 罗傲蓝, 何灏, 曹银贵, 等. 重庆市长寿区旱改水潜力评价与优化研究[J]. 中国农业资源与区划, 2022, **43**(12): 172 – 182. [LUO Aolan, HE Hao, CAO Yingui, et al. Evaluation and optimization of dryland-to-paddy potential in Changshou district, Chongqing [J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2022, **43**(12): 172 – 182] DOI: 10.7621/cjarrp.1005 – 9121.20221218
- [13] 刘洪秀, 赵华甫, 冯新伟, 等. 黑龙江农田生态系统服务权衡与协同[J]. 中国农业大学学报, 2023, **28**(2): 160 – 171. [LIU Hongxiu, ZHAO Huafu, FENG Xinwei, et al. Trade-offs and synergy relationship of agricultural ecosystem in Heilongjiang Province [J]. Journal of China Agricultural University, 2023, **28**(2): 160 – 170] DOI: 10.11841/j.issn.1007 – 4333.2023.02.14
- [14] 杨蕙琳, 娄运生, 刘燕, 等. 夜间增温品种混栽对稻田土壤 CH<sub>4</sub> 和 N<sub>2</sub>O 排放的影响[J]. 生态学报, 2021, **41**(2): 553 – 564. [YANG Huilin, LOU Yunsheng, LIU Yan, et al. Effect of rice intercropping on CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O emissions in a subtropical paddy field under nighttime warming [J]. Acta Ecologica Sinica, 2021, **41**(2): 553 – 564] DOI: 10.5846 / stxb201909081873
- [15] 陈浮, 李肖肖, 马静, 等. 旱改水型农田整治对土壤碳排放的短期影响[J]. 生态学报, 2021, **41**(19): 7725 – 7734. [CHEN Fu, LI Xiaoxiao, MA Jing, et al. Short-term effects of land consolidation of dryland-to-paddy conversion on soil carbon flux [J]. Acta Ecologica Sinica, 2021, **41**(19): 7725 – 7734] DOI: 10.5846 / stxb202010282761
- [16] 左岍, 周勇, 李晴, 等. 鄂西南地区土地利用格局时空变化及轨迹特征分析[J]. 水土保持学报, 2022, **36**(1): 161 – 169. [ZUO Qian, ZHOU Yong, LI Qing, et al. Analysis of spatial and temporal changes and trajectory characteristics of land use pattern in the southwest Hubei [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2022, **36**(1): 161 – 169] DOI: 10.13870/j.cnki.stbxb.2022.01.022
- [17] 赵浣珂, 张仕超, 涂又, 等. “三位一体”视角下重庆库区水旱地分布格局及影响因素[J]. 土壤通报, 2022, **53**(6): 1273 – 1285. [ZHAO Huanding, ZHANG Shichao, TU You, et al. Distribution patterns and influencing factors of paddy field and dry land in Chongqing reservoir area in the vision of trinity conservation [J]. Chinese Journal of Soil Science, 2022, **53**(6): 1273 – 1285] DOI: 10.19336/j.cnki.trtb.2021111302
- [18] 于杰, 宁静, 董芳辰, 等. 1950 – 2013 年三江平原东北部耕地分布变化特征分析[J]. 干旱区资源与环境, 2017, **31**(12): 79 – 86. [YU Jie, NING Jing, DONG Fangchen, et al. Distribution and evolutionary characteristics of cultivated lands in the northeast of Sanjiang Plain from 1950 to 2013 [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2017, **31**(12): 79 – 86] DOI: 10.13448/j.cnki.jalre.2017.383
- [19] 唐荣莉, 姚雄, 王春萍, 等. 基于地形梯度的重庆市近 40 年水田及旱地时空演变特征[J]. 西南农业学报, 2021, **34**(9): 1939 – 1949. [TANG Rongli, YAO Xiong, WANG Chunping, et al. Spatial distribution and variation characteristics of paddy fields and dry land in Chongqing in past 40 years based on topographic gradient [J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2021, **34**(9): 1939 – 1949] DOI: 10.16213/j.cnki.scjas.2021.9.018
- [20] 楚玉春. 重庆喀斯特地貌研究[D]. 重庆: 西南大学, 2010: 2 – 45. [CHU Yuchun. Study of karst geomorphology in Chongqing City [D]. Chongqing: Southwest University, 2010: 2 – 45]
- [21] 酉阳土家族苗族自治县统计局. 酉阳土家族苗族自治县 2023 年国民经济和社会发展统计公报[EB/OL]. (2024-04-12). [https://youyang.gov.cn/bmjz\\_sites/bm/tjj/zwgk\\_104134/fdzdgnr\\_104136/tjxx/tjgb/202404/t20240412\\_13125825.html](https://youyang.gov.cn/bmjz_sites/bm/tjj/zwgk_104134/fdzdgnr_104136/tjxx/tjgb/202404/t20240412_13125825.html). [Bureau of Statistics of Youyang Tujia and Miao Autonomous County. Statistical bulletin on the national economic and social development of Youyang Tujia and Miao Autonomous County in 2023 [EB/OL]. (2024-04-12). [https://youyang.gov.cn/bmjz\\_sites/bm/tjj/zwgk\\_104134/fdzdgnr\\_104136/tjxx/tjgb/202404/t20240412\\_13125825.html](https://youyang.gov.cn/bmjz_sites/bm/tjj/zwgk_104134/fdzdgnr_104136/tjxx/tjgb/202404/t20240412_13125825.html)]
- [22] 酉阳土家族苗族自治县统计局. 酉阳县统计年鉴[EB/OL]. (2021-09-27). [https://youyang.gov.cn/zwgk\\_236/zfxgkml/tjxx/tjnj/202111/t20211118\\_9990192.html](https://youyang.gov.cn/zwgk_236/zfxgkml/tjxx/tjnj/202111/t20211118_9990192.html) [Bureau of Statistics of Youyang Tujia and Miao Autonomous County. The statistical yearbook of Youyang County [EB/OL]. (2021-09-27). [https://youyang.gov.cn/zwgk\\_236/zfxgkml/tjxx/tjnj/202111/t20211118\\_9990192.html](https://youyang.gov.cn/zwgk_236/zfxgkml/tjxx/tjnj/202111/t20211118_9990192.html)]
- [23] 张钰莹, 孙美莹, 杨荣金, 等. 西南地区土地利用变化对生态系统服务价值的影响[J]. 环境工程技术学报, 2022, **12**(1): 207 – 214. [ZHANG Yuying, SUN Meiyang, YANG Rongjin, et al. Impact of land-use change on ecosystem service value in southwest China [J]. Journal of Environmental Engineering Technology, 2022, **12**(1): 207 – 214] DOI: 10.12153/j.issn.

- 1674 – 991X. 20210159
- [24] 乔伟峰, 盛业华, 方斌, 等. 基于转移矩阵的高度城市化区域土地利用演变信息挖掘——以江苏省苏州市为例[J]. 地理研究, 2013, **32**(8): 1497 – 1507. [QIAO Weifeng, SHENG Yehua, FANG Bin, et al. Land use change information mining in highly urbanized area based on transfer matrix: A case study of Suzhou, Jiangsu Province [J]. Geographical Research, 2013, **32**(8): 1497 – 1507]
- [25] CHU Honejay, LIAU Churnjung, LIN Chaohung, et al. Integration of fuzzy cluster analysis and kernel density estimation for tracking typhoon trajectories in the Taiwan region [J]. Expert Systems with Applications, 2012, **39**(10): 9451 – 9457. DOI: 10.1016/j.eswa.2012.02.114
- [26] 程研, 关颖慧, 吴秀芹. 基于土地利用变化的喀斯特断陷盆地景观格局演变与生态安全评价[J]. 生态学报, 2023, **43**(22): 9471 – 9485. [CHENG Yan, GUAN Yinghui, WU Xiuqin. The spatial and temporal evolution of landscape pattern and landscape ecological security assessment in Karst Fault Basin based on land use change [J]. Acta Ecologica Sinica, 2023, **43**(22): 9471 – 9485] DOI: 10.20103/j.stxb.202207212097
- [27] 李一琼, 白俊武. 近 20 年苏州土地利用动态变化时空特征分析[J]. 测绘科学, 2018, **43**(6): 58 – 64. [LI Yiqiong, BAI Junwu. Analysis of temporal and spatial dynamic changes of land use of Suzhou in recent 20 years [J]. Science of Surveying and Mapping, 2018, **43**(6): 58 – 64] DOI: 10.16251/j.cnki.1009 – 2307.2018.06.010
- [28] 位佳佳, 陈学渊, 吴永常, 等. 西北旱区耕地“非粮化”时空演变分析——以陕西大荔为例[J]. 中国农业资源与区划, 2023, **44**(4): 24 – 34. [WEI Jiajia, CHEN Xueyuan, WU Yongchang, et al. Analysis of the spatial and temporal evolution of arable land denudation in the northwest drylands: A case study of Dali, Shaanxi Province [J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2023, **44**(4): 24 – 34] DOI: 10.7621/cjarrp.1005 – 9121. 20230403
- [29] 王劲峰, 徐成东. 地理探测器: 原理与展望[J]. 地理学报, 2017, **72**(1): 116 – 134. [WANG Jinfeng, XU Chengdong. Geodetector: Principle and prospective [J]. Acta Geographica Sinica, 2017, **72**(1): 116 – 134] DOI: 10.11821/dlxb201701010
- [30] 李胤, 詹雅婷, 赵立鸿, 等. 地理探测器方法下长江经济带(江苏段)土地城镇化时空演变及驱动因子分析[J]. 测绘通报, 2024(4): 135 – 139. [LI Yin, ZHAN Yating, ZHAO Lihong, et al. Spatio-temporal evolution and driving factors of land urbanization in the Yangtze River economic belt (Jiangsu section) using geographical detector [J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2024(4): 135 – 139] DOI: 10.13474/j.cnki.11 – 2246.2024.0423
- [31] WANG Jinfeng, HU Yi. Environmental health risk detection with GeoDetector [J]. Environmental Modelling & Software, 2012, **33**: 114 – 115. DOI: 10.1016/j.envsoft.2012.01.015
- [32] 钱凤魁, 王秋兵. 基于农用地分等和 LESA 方法的基本农田划定[J]. 水土保持研究, 2011, **18**(2): 251 – 255. [QIAN Fengkui, WANG Qiubing. Planning method of the prime farmland based on farmland classification and LESA method [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2011, **18**(2): 251 – 255]
- [33] 林建平, 黄坤, 邓爱珍, 等. 耦合耕地综合质量和空间连通性的基本农田划定研究[J]. 农业机械学报, 2024, **55**(7): 221 – 231 + 251. [LIN Jianping, HUANG Kun, DENG Aizhen, et al. Basic farmland demarcation coupling comprehensive quality and spatial connectivity of cultivated land [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2024, **55**(7): 221 – 231 + 251] DOI: 10.6041/j.issn.1000 – 1298.2024.07.021
- [34] 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[J]. 资源科学, 2023, **45**(5): 939 – 950. [ZHANG Rui, DU Guoming, ZHANG Shuwen. Spatiotemporal changes and the driving factors of cultivated land resources of the typical black soil region in northeast China from 1986 to 2020 [J]. Resources Science, 2023, **45**(5): 939 – 950] DOI: 10.18402/resci.2023.05.05
- [35] 钱凤魁, 张琳琳, 边振兴, 等. 高标准基本农田建设中的耕地质量与立地条件评价研究[J]. 土壤通报, 2015, **46**(5): 1049 – 1055. [QIAN Fengkui, ZHANG Linlin, BIAN Zhenxing, et al. Farmland natural quality evaluation and site assessment in the high-standard basic farmland construction [J]. Chinese Journal of Soil Science, 2015, **46**(5): 1049 – 1055] DOI: 10.19336/j.cnki.trtb.2015.05.004
- [36] 黎庆贵, 李瑞, 商崇菊, 等. 黔西北喀斯特区坡耕地有机覆盖措施保墒效应[J]. 中国水土保持科学, 2020, **18**(4): 103 – 114. [LI Qinggui, LI Rui, SHANG Chongju, et al. Effects of organic mulching measures on soil moisture conservation of sloping farmland in karst areas of northwest Guizhou [J]. Science of Soil and Water Conservation, 2020, **18**(4): 103 – 114] DOI: 10.16843/j.sswc.2020.04.012
- [37] 梁晓玲, 王璐, 黎诚, 等. 基于数量、质量、生态三位一体的永久基本农田快速优化布局研究[J]. 农业资源与环境学报, 2021, **38**(6): 946 – 956. [LIANG Xiaoling, WANG Lu, LI Cheng, et al. Research on the rapid optimization of the layout of permanent basic farmland based on quantity, quality, and ecology [J]. Journal of Agricultural Resources and Environment, 2021, **38**(6): 946 – 956] DOI: 10.13254/j.jare.2021.0518
- [38] 陈杰华. 重庆市农田土壤有机碳库现状、变化趋势及固碳潜力研究[D]. 重庆: 西南大学, 2013: 5 – 132. [CHEN Jiehua. Study on storage and ecolution trend of soil organic carbon in cropland in Chongqing City [D]. Chongqing: Southwest University, 2015: 5 – 132]
- [39] 李辉丹, 史东梅, 夏蕊, 等. 基于地理探测器的重庆坡耕地时空格局演变特征及驱动机制[J]. 农业工程学报, 2022, **38**(12): 280 – 290. [LI Huidan, SHI Dongmei, XIA Rui, et al. Evolution characteristics and driving mechanism for the

- spatiotemporal pattern of sloping farmland in Chongqing based on geodetector [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2022, **38**(12): 280–290] DOI: 10.11975/j.issn.1002-6819.2022.12.032
- [40] 罗晓虹. 丘陵山区“旱改水”适宜性及整治技术研究——以重庆市万州区为例[D]. 重庆: 西南大学, 2022: 2–81. [LUO Xiaohong. Research on suitability and remediation technology of dry land into paddy field in hilly and mountainous areas: Take Wanzhou District of Chongqing City as an example [D]. Chongqing: Southwest University, 2022: 2–81] DOI: 10.27684/d.cnki.gxndx.2021.002652
- [41] 赵馨, 周忠发, 朱孟, 等. 基于景观格局的西南山区耕地生态风险研究[J]. 水土保持研究, 2020, **27**(6): 362–369+376. [ZHAO Xin, ZHOU Zhongfa, ZHU Meng, et al. Research on ecological risk of karst rocky desertification cultivated land based on landscape pattern [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2020, **27**(6): 362–369+376] DOI: 10.13869/j.cnki.rswc.2020.06.047
- [42] 魏雪, 刘黎明, 张定祥, 等. 湖南省水田占补平衡政策实施绩效评价[J]. 中国土地科学, 2022, **36**(1): 57–67. [WEI Xue, LIU Liming, ZHANG Dingxiang, et al. Performance evaluation on the policy of balancing paddy field occupation and reclamation in Hunan Province [J]. China Land Science, 2022, **36**(1): 57–67] DOI: 10.11994/zgtdkx.20211227.161139
- [43] 文可可, 张仕超, 薛秀峰. 三位一体视角下三峡库区耕地资源内外转换轨迹和特征——以江津区为例[J]. 水土保持研究, 2023, **30**(2): 175–185. [WEN Keke, ZHANG Shichao, XUE Xiufeng. Trajectories and characteristics of internal and external transformation of cultivated land resources in the Three Gorges Reservoir area from the perspective of the trinity: Taking Jiangjin District as an example [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2023, **30**(2): 175–185] DOI: 10.13869/j.cnki.rswc.2023.02.014
- [44] 张扬, 周忠发, 黄登红, 等. 喀斯特山区耕地时空演变与影响因素分析[J]. 农业工程学报, 2020, **36**(22): 266–275. [ZHANG Yang, ZHOU Zhongfa, HUANG Denghong, 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] DOI: 10.11975/j.issn.1002-6819.2020.22.030
- [45] 唐若宜, 李发文. 基于流域尺度的耕地时空格局演变与分异性研究[J]. 水资源与水工程学报, 2024, **35**(4): 187–197. [TANG Ruoyi, LI Fawen. Spatiotemporal evolution of cultivated land on basin scale [J]. Journal of Water Resources & Water Engineering, 2024, **35**(4): 187–197] DOI: 10.11705/j.issn.1672-643X.2024.04.22

## Spatial-Temporal Evolution of Dryland-to-Paddy Conversion in Karst Mountainous Areas and Influencing Factors: A Case Study of Youyang County, China

LIU Yang<sup>1</sup>, XUE Xiufeng<sup>1</sup>, ZHANG Shichao<sup>1,2\*</sup>,  
ZHANG Xiang<sup>1</sup>, LU Zhangye<sup>1</sup>

(1. Chongqing Key Laboratory of Surface Process and Ecological Restoration in the Three Gorges Reservoir Area, Chongqing Normal University, Chongqing 401331, China; 2. Surface Ecological Process Field Observation and Research Station, Chongqing Three Gorges Reservoir Area, Chongqing 401331, China)

**Abstract:** Karst mountainous regions are typical areas with fragile eco-production composite systems, where cultivated land resources face multiple constraints, including high proportions of sloping farmland (> 35%), fragmented plots (fragmentation index = 0.57), and rocky desertification coverage exceeding 60%, posing great challenges to traditional dryland-to-paddy conversion projects. Dryland-to-paddy conversion is a critical initiative to resolve the structural contradiction of paddy deficiency, improve cultivated land quality, enhance grain production capacity and optimize land-use balance. However, past studies primarily focused on typical plain regions, with limited investigation into the spatiotemporal evolution of dryland-to-paddy conversion in karst mountainous areas and insufficient exploration of utilization stability.

In this study, it took Youyang County in the Wuling Mountains area as a case study. It collected land-use and socioeconomic data from 1995 to 2020 and employed land-use transition matrices, standard deviation ellipses, and geographical detector models to unravel the spatiotemporal logic of dryland-paddy transformation under karst mountainous conditions.

(1) The dryland-to-paddy conversion process in Youyang exhibited U-shaped phased fluctuations, with 2005 as the turning point under dual impacts of urbanization and the Grain-for-Green Program.

(2) The spatial pattern of the dryland-paddy transformation was characterized by centripetal aggregation dominated by a northeast-southwest orientation, concentrated in Tushi Town with a southward centroid migration rate of  $107 \text{ m} \cdot \text{a}^{-1}$  and no signs of diffusion to other townships.

(3) In the Youyang, 85% of dryland patches remained stable, but with significant zonal differentiation. Gentle slope areas ( $6^{\circ} - 15^{\circ}$ ) accounted for the highest proportion of stable patches at 73.98%, constituting Longtan-Mawang-Ganxi belt-shaped stable zone.

(4) The driving mechanism of the dryland-paddy transformation reflected “natural endowment-convenience” coupling, where road proximity and annual mean temperature exhibited the strongest interactive explanatory power ( $q = 0.83$ ), with bivariate-enhanced interactions accounting for 86.47% of the total interactions.

This study constructs a theoretical model for cultivated land transformation in karst mountainous areas, offering decision-making support for balancing ecological and food security and establishing differentiated cultivated land protection systems.

**Key words:** dryland-to-paddy conversion; spatial-temporal pattern; influencing factor; karst mountainous region; Youyang County

(责任编辑 钟雨倩)