

引用格式:段丁琪,张浩哲,饶洁,徐月航,唐强. 1990—2015 年四川盆地农地时空演变特征及其驱动因素[J]. 山地学报, 2024, 42(3): 334-346.

DUAN Dingqi, ZHANG Haozhe, RAO Jie, XU Yuehang, TANG Qiang. Spatial-temporal evolution of agricultural land and driving forces in Sichuan basin, China, 1990-2015 [J]. Mountain Research, 2024, 42(3): 334-346.

# 1990—2015 年四川盆地农地时空演变特征及其驱动因素

段丁琪<sup>1</sup>, 张浩哲<sup>2</sup>, 饶洁<sup>1</sup>, 徐月航<sup>1</sup>, 唐强<sup>1\*</sup>

(1. 西南大学 a. 地理科学学院; b. 重庆金佛山喀斯特生态系统国家野外科学观测研究站, 重庆 400715;

2. 中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所 山地表生过程与生态调控重点实验室, 成都 610299)

**摘要:** 四川盆地是中国自然地域单元和粮食主产区。20 世纪以来, 区域社会-生态系统变迁驱动农地利用规模和结构发生变化, 而农地利用的时空演变特征及其驱动因素尚不明晰。本文利用 1990、2000、2010 和 2015 年土地利用数据和社会经济统计数据, 结合空间分析和最优参数地理探测器模型, 分析四川盆地农地的时空演变特征, 探究不同时期社会经济驱动过程。结果表明: (1) 1990—2015 年, 农地面积减少 1859.91 km<sup>2</sup>, 呈现阶段性变化特征。其中, 1990—2010 年, 农地变化以内部转移为主, 大量旱地和水田转变为园地, 部分农地转为林地与建设用地; 2010—2015 年, 农地呈现集中转变为建设用地的趋势。(2) 川东北地区园地面积显著增加, 城市中心与主干道附近建设用地面积明显增长, 林地面积增加集中于平行岭谷地带, 其空间聚集效应均表现为高-高聚集或低-低聚集特征。农地内部转移、农地向建设用地和林地的转变具有明显的空间分异特征和聚集效应。(3) 2000—2010 年间, 农业劳动力与造林面积百分比是农地变化的主要驱动因素, 因子间的交互作用多表现为非线性增强; 2010—2015 年间, GDP 是农地变化的主要驱动因素, 因子间交互作用表现为双因子增强解释程度更高。研究结论可为区域国土空间规划和农业可持续发展提供决策参考。

**关键词:** 农地; 时空演变; 驱动机制; 最优参数地理探测器; 四川盆地

**中图分类号:** F323.211

**文献标志码:** A

人多地少是中国长期面临的基础性矛盾。耕地、园地、生产性林草地等直接或间接与农业生产密切相关的土地类型的变化, 对粮食安全、农户生计以及农业农村发展与经济社会稳定具有深远影响<sup>[1]</sup>。随着社会经济快速发展, 中国农地数量出现结构性波动和下滑, 保障粮食安全与社会经济高质量发展之间的“双保”问题始终存在<sup>[2-3]</sup>。一方面, 持续的快速城镇化、人口增长和生活水平提高严重威胁稀

缺的农地资源, 大量农地被转化为工业和住房等非农业用途<sup>[4]</sup>; 另一方面, 受到农业结构调整、农村劳动力大规模外流、农民种粮积极性下降等因素影响, 主要用于粮食生产的单一农地模式向粮食生产、经济作物生产以及花卉幼苗经营等多种农业经营方式转变, 对保障国家粮食安全构成潜在威胁<sup>[5-6]</sup>。因此, 及时掌握农地利用的时空演变特征并探索其影响过程, 对解决粮食安全具有重要意义。

**收稿日期** (Received date): 2023-12-05; **改回日期** (Accepted date): 2024-05-20

**基金项目** (Foundation item): 西南大学先导计划青年团队项目 (SWU-XDJH202306); 西南大学研究生科研创新项目 (SWUS23070)。[Special Fund for Youth Team of Southwest University (SWU-XDJH202306); Postgraduate Innovative Research Project of Southwest University (SWUS23070)]

**作者简介** (Biography): 段丁琪 (1998-), 女, 甘肃兰州人, 硕士研究生, 研究方向: 土地利用变化。[DUAN Dingqi (1998-), female, born in Lanzhou, Gansu province, M. Sc. candidate, research on land use change] E-mail: ddaq0810@email.swu.edu.cn

**\* 通讯作者** (Corresponding author): 唐强 (1985-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 土壤侵蚀与生态修复。[TANG Qiang (1985-), male, Ph. D., professor, research on soil erosion and ecological restoration] E-mail: qingtang@swu.edu.cn

国内外学者开展了大量关于农地利用变化及其影响因素研究。关于农地变化的研究主要集中于耕地利用方面,涵盖了耕地数量和面积<sup>[7]</sup>、景观结构<sup>[8]</sup>、占补平衡<sup>[9]</sup>、时空格局与演变特征<sup>[10]</sup>等显性形态,以及耕地生产力、功能、质量、种植强度、产权等隐性形态<sup>[11-13]</sup>。在调查农地变化的驱动因素方面,一般考虑自然因子与社会经济因子两个方面。自然因子相对稳定,如地形、气候、土壤、水文等,往往在长时间序列中发挥作用;社会经济因子包括经济发展状况、人口、城市化、区域发展等,在短期内对农地变化的影响较大,其中政策因子是主导农地利用规模、结构变化的主要驱动因子<sup>[14-15]</sup>。上述研究,多针对耕地利用变化,对园地等其他农用地类型关注较少<sup>[16]</sup>,在区域上多集中于东北、华北平原<sup>[17-18]</sup>等农业主产区,对西南山地丘陵地区农地的时空变化特征与驱动过程的研究相对缺乏。

四川盆地是典型的自然地域单元,农耕历史悠久,农业条件优越,是中国重要的粮食主产区和传统农作区<sup>[19]</sup>,被赋予了成渝地区双城经济圈和长江上游重要生态屏障等区域协调发展和生态环境保护功能定位;然而,该区域景观极度破碎化,坡耕地分布面积广、人地矛盾突出、土地利用强度大<sup>[20]</sup>,导致农

业生产方式以传统的家庭式小农经营为主,机械化水平不高、经营模式粗放、生产效率低下,水土流失与面源污染问题突出<sup>[21-22]</sup>。此外,随着工业化、城镇化及自上而下的政策举措,农村劳动力不断外流,四川盆地农地利用结构与作物种植方式不断调整<sup>[7, 23]</sup>。本研究基于 1990—2015 年土地利用数据,结合空间分析方法,分析该区域农地利用时空演变特征;借助最优参数地理探测器模型,揭示社会发展对农地利用变化的影响程度与作用机制。研究结论可为区域国土空间规划和农业可持续发展提供理论支撑和决策依据。

## 1 研究区概况

四川盆地位于中国西南地区(104°25'~106°22'E; 30°14'~30°54'N; 图 1),区域总面积约为  $9.52 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。本研究以四川省和重庆市 68 个县级行政单元为研究对象,基于四川省和重庆市国土空间总体规划分区将研究区分为成都平原地区、川东北地区、川南地区和渝西地区。农地面积约占区域总面积的 64.31%,是最主要的土地利用类型。气候属亚热带湿润季风气候,年平均气温 16℃~18℃,年

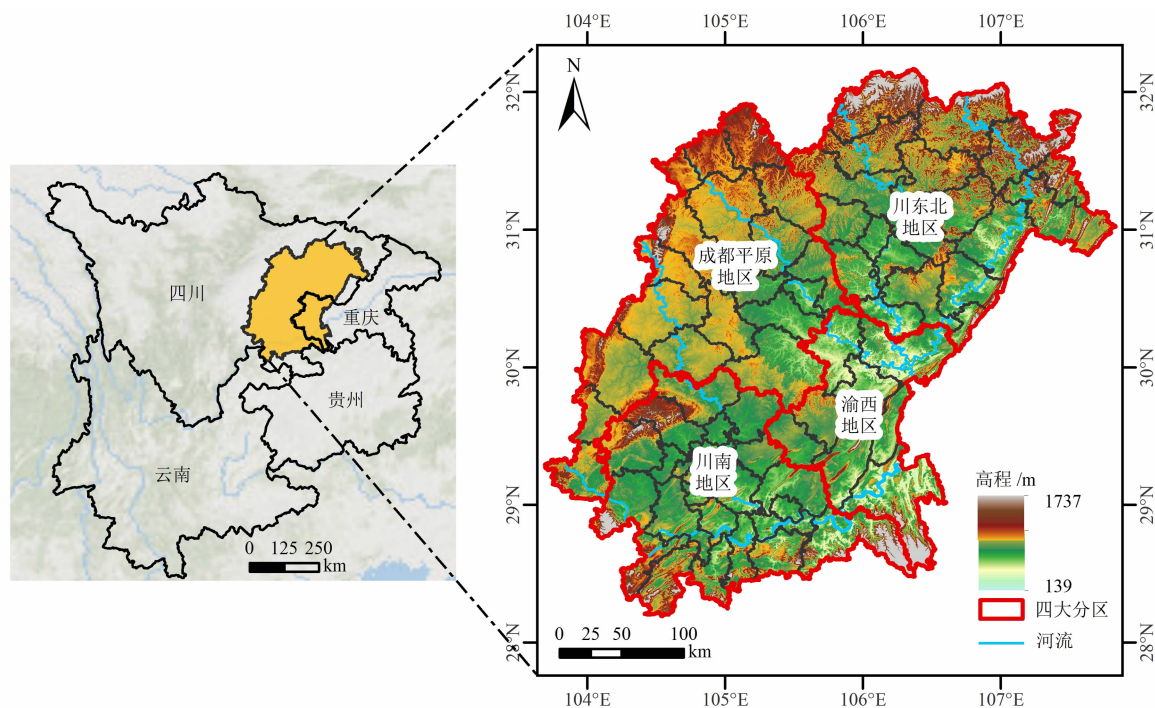


图 1 研究区示意图

Fig. 1 Location map of Sichuan basin, China

(审图号:GS(2020)4619 号)

均降雨量 900 ~ 1000 mm, 无霜期 280 ~ 350 d。地形以丘陵和低山为主, 海拔一般为 200 ~ 600 m<sup>[24]</sup>。出露的地层主要为中生代紫色红砂岩和泥岩, 质地松软, 极易遭受侵蚀和风化。主要土壤类型为紫色土, 富含有机质和养分, 肥力较高<sup>[25]</sup>。植被分布稀疏, 覆盖率不足 7%。该区域人口分布稠密, 土地垦殖率极高。作物种类丰富, 粮食作物以水稻、玉米、小麦三大主要作物为主, 经济作物以油料作物、蔬菜、水果、烟叶为主。

## 2 数据与方法

### 2.1 数据来源

土地利用数据 (30 m × 30 m) 来自中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所。该产品以 Landsat-MSS/TM/OLI 遥感影像为数据源, 结合实地调查与其他辅助数据, 采用图像增强以及人机交互目视解译而成, 是专门针对于西南地区多云雾和异质地表的土地覆被制图。数据包括 1990 年、2000 年、2010 年和 2015 年 4 期, 土地利用类型被划分为林地、草地、耕地、湿地、人工表面和其他用地 6 个一级类型和 38 个二级类型, 其中一级类型分类综合精度为 95.09%, 二级类型分类综合精度为 87.14%<sup>[26]</sup>。为了更加精细地探究四川盆地农地时空演变特征, 本研究将土地利用类型进行重新划分, 分为旱地、水田、园地、林地、草地、湿地、建设用地和其他用地 8 种类型。

鉴于 2000 年之前县级行政单元统计年鉴数据存在缺失, 选取 2000—2015 年各类社会经济数据进行驱动因素分析, 包括造林面积、人口、GDP、第二三产业生产总值、农业机械总动力等数据, 分别来源于《中国林业统计年鉴》<sup>[27]</sup>、《四川省统计年鉴》<sup>[28]</sup>、《重庆市统计年鉴》<sup>[29]</sup> 以及《中国县域统计年鉴 (县市卷)》<sup>[30]</sup>。

### 2.2 研究方法

#### 2.2.1 农地利用转移变化

本研究采用土地利用转移矩阵和土地利用动态度, 系统地分析了 1990—2015 年四川盆地农地面积的变化情况以及土地利用变化的活跃程度。

#### 2.2.2 空间自相关

地理要素普遍存在空间依赖性。空间自相关能够反映特定区域内测算单元属性在空间上的聚集程

度, 包括全局自相关和局部自相关分析<sup>[31]</sup>。全局自相关判断农地时空演变在整个研究区是否具有聚集性, 局部自相关分析不同空间单元农地时空演变与邻近区域空间差异程度及显著性水平。计算公式如下:

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (1)$$

$$I_i = \frac{n(x_i - \bar{x}) \sum_{j=1}^n W_{ij} (x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2)$$

式中,  $I$  和  $I_i$  分别为全局自相关和局部自相关指标;  $n$  为研究对象个数;  $x_i$  和  $x_j$  分别为空间单元  $i$  和  $j$  的属性值;  $\bar{x}$  为空间单元属性值的平均值;  $W_{ij}$  为空间邻接权值矩阵, 当  $i$  和  $j$  相邻时  $W_{ij}$  为 1, 不相邻时则为 0。  $I$  的取值范围为  $[-1, 1]$ , 其绝对值越大表明农地时空演变的聚集程度越大;  $I_i$  的具体表现为 LL (低-低聚集) 型、HH (高-高聚集) 型、HL (高-低, 即低值包高值聚集) 型、LH (低-高, 即高值包低值聚集) 型 4 种类型。

为了更加精细地探寻区域农地变化的空间聚集情况, 在比较了 500 m、1 km、5 km 和 10 km 格网的空间自相关特征后, 选择 5 km × 5 km 的网格, 按照行政边界对四川盆地进行划分, 逐网格分别对农地内部转移以及农地转变为建设用地和林地的面积进行空间自相关分析<sup>[32]</sup>。

#### 2.2.3 农地时空演变驱动因子指标选取

农地利用变化是人地关系的外在表现, 是社会经济因素与政策引导交互作用的结果<sup>[14]</sup>。农地时空演变驱动指标选取需综合考虑系统性、动态性、科学性、可量化、可获取性原则, 并结合区域农地利用变化的实际特征, 将农地时空演变的驱动因子划分为政策、人口、经济水平和农业投入 4 类, 共选取 11 个因子<sup>[14-15]</sup> (表 1)。

其中, 政策因素通常较为抽象且难以量化, 在低山丘陵区, 地形破碎、耕作条件不佳且土地生产力较低, 容易对环境产生负面影响, 需要实施退耕还林工程<sup>[10]</sup>。为了量化退耕还林政策的影响, 本研究选择造林面积百分比代表退耕还林工程的投资和贡献<sup>[33]</sup>。人口对农地利用结构的变化具有重要影响。人口增长意味着对建设用地需求的增加, 尤其在人口集中的区域, 更容易导致农地非农化。此外, 大量

表 1 农地时空演变驱动因子  
Tab. 1 Driving factors of spatial and temporal changes  
in agricultural land

维度	因子
政策	造林面积百分比( $X_1$ )
人口	总人口( $X_2$ )、人口密度( $X_3$ )、农业劳动力( $X_4$ )
经济水平	GDP( $X_5$ )、人均生产总值( $X_6$ )、第二产业占比( $X_7$ )、第一产业占比( $X_8$ )
农业投入	有效灌溉面积( $X_9$ )、农业机械总动力( $X_{10}$ )、化肥施用量( $X_{11}$ )

农村劳动力外流可能导致农地撂荒或改种劳动力投入低、经济价值高的经济作物<sup>[34]</sup>。因此,选取总人口、人口密度和农业劳动力反映人口变化。经济发展水平是农地利用转型的重要驱动力。经济结构的转变往往伴随着工业化、城镇化进程的不断加快,加剧了农地非农化现象<sup>[35]</sup>。居民生活水平的提高促使对食物需求的多样化,从而使农户主观上倾向于放弃耕作或转向种植收益更高的作物。因此,选取 GDP、人均 GDP、第一产业占比和第二产业占比反映经济发展水平。农业投入会影响农地利用结构与农业生产方式的变化,提高机械化水平、适度施用化肥和稳定的灌溉面积有利于实现规模化经营,提高生产效率,推动种植结构的改变<sup>[36]</sup>。因此,选取农业机械总动力、有效灌溉面积和化肥施用量反映农业投入水平。

#### 2.2.4 地理探测器

地理探测器是一种能够探测地理要素空间分异性及其影响因素的空间统计方法,其基本思想是,如果两个因子相关,则它们具有相似的空间分布<sup>[37]</sup>,已被广泛应用于生态环境变化以及社会经济发展等方面的研究<sup>[38-39]</sup>。本研究利用因子探测器以及交互探测器,定量分析四川盆地农地时空演变的驱动因素以及各因素间的相互影响。

因子探测器可以明确具有统计显著性的自变量及其对因变量的解释力。 $q$  值在本研究中为农地变化解释力,用于反映对农地动态演变的解释程度, $q$  的取值范围为 $[0, 1]$ ,取值越大表示因子解释程度越强,反之则越弱。计算公式如下:

$$q = 1 - \frac{1}{N\sigma^2} \sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2 \quad (3)$$

式中, $N$  和  $\sigma^2$  分别是整个区域样本的样本数量和方

差; $h$  为指标分级的数量; $N_h$  和  $\sigma_h^2$  分别是特定层的样本数量和方差。

此外,交互探测器可判断自变量之间是否具有交互作用及其作用方向和类型。通过比较交互作用和独立影响的  $q$  值,可以将自变量之间的关系分为非线性减弱、单因子非线性减弱、双因子增强、双因子独立和非线性增强 5 类<sup>[37]</sup>。

地理探测器模型中空间数据离散化和空间尺度效应是基本问题,一般由经验决定,缺乏准确的定量评估。最优参数地理探测器模型,通过探索空间尺度、空间数据离散方法和空间数据分区数量的最佳组合以实现更精确的空间分析,使结果更加客观<sup>[40]</sup>。本研究借助 R 语言 GD 包,在获得最优空间尺度的基础上,结合相等间隔、自然段点法、分位数、几何间隔和标准差的离散方法,对比不同离散方法下不同分类数变量的  $q$  值大小,进行最优离散化方法和最优分区数量的筛选。

### 3 结果分析

#### 3.1 农地利用的时间变化特征

1990—2015 年期间,四川盆地农地(水田、旱地和园地)总面积共减少 1859.91 km<sup>2</sup>,其变化具有转入转出双向特征。水田和旱地转出幅度显著大于转入幅度,转出比例逐渐增大。其中,2010—2015 年水田和旱地的转出比例最高,为 99.42% (表 2)。园地转入幅度显著大于转出幅度,转入比例逐渐降低,由 1990—2000 年的 99.92% 降至 2010—2015 年的 74.16% (表 3)。农地利用变化表现出明显的阶段性特征。在不同时段内,农地流向趋势基本相同,农地内部结构以大量水田和旱地转变为园地为主,农地减少去向则以建设用地和林地为主。1990—2000 年,旱地和水田转变为园地的面积为 364.98 km<sup>2</sup>,农地转为建设用地和林地的面积分别为 126.33 和 70.74 km<sup>2</sup>。2000—2010 年,农地面积变化趋势与前一时段相似,并呈扩大态势,园地、建设用地和林地的面积分别增长了 1057.97、366.90 和 349.50 km<sup>2</sup>。2010—2015 年,农地面积共减少了 918.51 km<sup>2</sup>,其中转变为建设用地的面积为 846.25 km<sup>2</sup>。

从土地利用动态度看,1990—2015 年期间,在所有土地利用类型中,仅有旱地和水田利用动态度

表 2 1990—2015 年四川盆地旱地和水田数量结构变化  
Tab. 2 Quantity and structure changes of drylands and paddy fields in Sichuan basin from 1990 to 2015

转换方向	类型	1990—2000 年		2000—2010 年		2010—2015 年	
		面积/km <sup>2</sup>	变化比例/%	面积/km <sup>2</sup>	变化比例/%	面积/km <sup>2</sup>	变化比例/%
旱地和水田转出	旱地和水田→园地	364.98	60.39	1057.97	56.91	76.09	8.16
	旱地和水田→草地	1.15	0.20	1.91	0.11	0.77	0.00
	旱地和水田→林地	70.61	11.68	348.54	18.75	2.49	0.27
	旱地和水田→建设用地	126.28	20.89	364.30	19.59	825.94	88.54
	旱地和水田→湿地	13.73	2.27	58.07	3.12	21.64	2.32
	旱地和水田→其他用地	0.90	0.15	4.85	0.26	0.49	0.05
	合计	577.65	95.58	1835.64	98.74	927.42	99.42
旱地和水田转入	园地→旱地和水田	0.11	0.02	3.84	0.21	0.32	0.03
	草地→旱地和水田	0.38	0.06	0.65	0.03	0.00	0.00
	林地→旱地和水田	16.24	2.69	12.82	0.69	0.69	0.07
	建设用地→旱地和水田	0.43	0.07	2.88	0.15	0.13	0.01
	湿地→旱地和水田	8.48	1.41	1.61	0.09	4.20	0.45
	其他用地→旱地和水田	1.09	0.17	1.71	0.09	0.06	0.00
	合计	26.73	4.42	23.51	1.26	5.40	0.58

表 3 1990—2015 年四川盆地园地数量结构变化  
Tab. 3 Quantity and structure changes of orchards in Sichuan basin from 1990 to 2015

转换方向	类型	1990—2000 年		2000—2010 年		2010—2015 年	
		面积/km <sup>2</sup>	变化比例/%	面积/km <sup>2</sup>	变化比例/%	面积/km <sup>2</sup>	变化比例/%
园地转出	园地→旱地和水田	0.11	0.03	3.84	0.34	0.32	0.38
	园地→草地	0.00	0.00	0.00	0.00	0.51	0.61
	园地→林地	0.13	0.04	0.96	0.08	0.35	0.42
	园地→建设用地	0.05	0.01	2.70	0.24	20.31	24.29
	园地→湿地	0.02	0.01	1.85	0.16	0.10	0.12
	园地→其他用地	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02
	合计	0.31	0.08	9.35	0.82	21.61	25.84
园地转入	旱地和水田→园地	364.98	98.62	1057.97	93.35	44.39	53.09
	草地→园地	1.34	0.36	0.92	0.08	0.22	0.26
	林地→园地	3.22	0.87	61.63	5.44	16.84	20.14
	建设用地→园地	0.08	0.02	0.29	0.03	0.39	0.47
	湿地→园地	0.15	0.04	3.16	0.28	0.17	0.20
	其他用地→园地	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00
	合计	369.77	99.92	1124.00	99.18	62.01	74.16

一直为负值,分别以 0.22% 和 0.19% 的年变化率减少(图 2)。园地和林地的利用动态变化特征相似,呈现先升后降的趋势,其土地利用动态绝对值

均在 2000—2010 年期间最大,分别为 12.70% 和 0.80%,表明该时段旱地、水田转向园地,以及农地转出为林地的程度最为剧烈。建设用地的土地利用



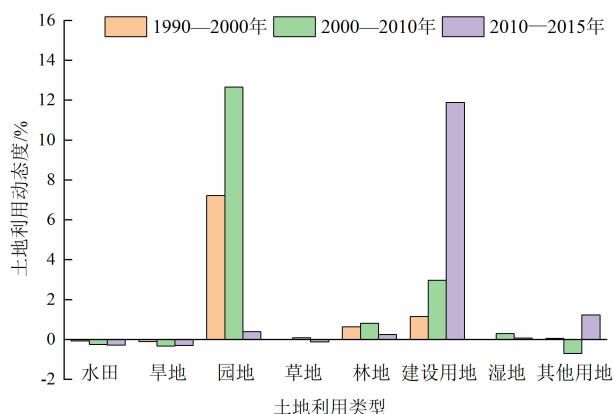


图2 1990—2015 年四川盆地土地利用动态度

Fig. 2 Land use dynamic degree in Sichuan basin from 1990 to 2015

动态度呈递增趋势,尤其在 2010—2015 年期间动态度绝对值最大,为 11.90%,表明该时段农地转出为建设用地的程度最为剧烈(图 2)。

### 3.2 农地利用的空间分异特征

从农地转入转出和利用动态度来看,农地变化主要呈现 3 种方向,即农地内部转移(旱地、水田转

向园地),以及农地流出转向建设用地和林地(图 3a)。在不同阶段,农地典型变化同样呈现出明显的空间分异。2000—2010 年期间,是农业增效、农民增收和推进农业供给侧结构性改革的阶段。此时,南充、自贡、内江、绵阳等农业发达城市的园地扩张面积最大,其中位于川东北地区南充市增长率最高(图 3b)。2010 年后,建设用地迅速扩张,主要分布在各市中心、主干道附近和河流两岸,其中成都平原地区建设用地的扩张面积最大(图 3c)。自 20 世纪 90 年代末以来,随着多项生态保护政策(如退耕还林和天然林保护工程)的推行,林地面积逐渐增加。渝西的平行岭谷地带是林地增加的主要区域,其中 85.10% 的林地来自坡度为  $10^{\circ} \sim 20^{\circ}$  的旱地(图 3d)。

1990—2015 年期间,农地内部转移和农地转向建设用地以及林地的变化表现出明显的空间聚集特征,其  $I$  值分别为 0.19、0.29 和 0.55 ( $P < 0.05$ )。在具有显著性的网格中,农地内部转移中 81.30% 的网格呈现高-高聚集现象,主要分布在川东北地

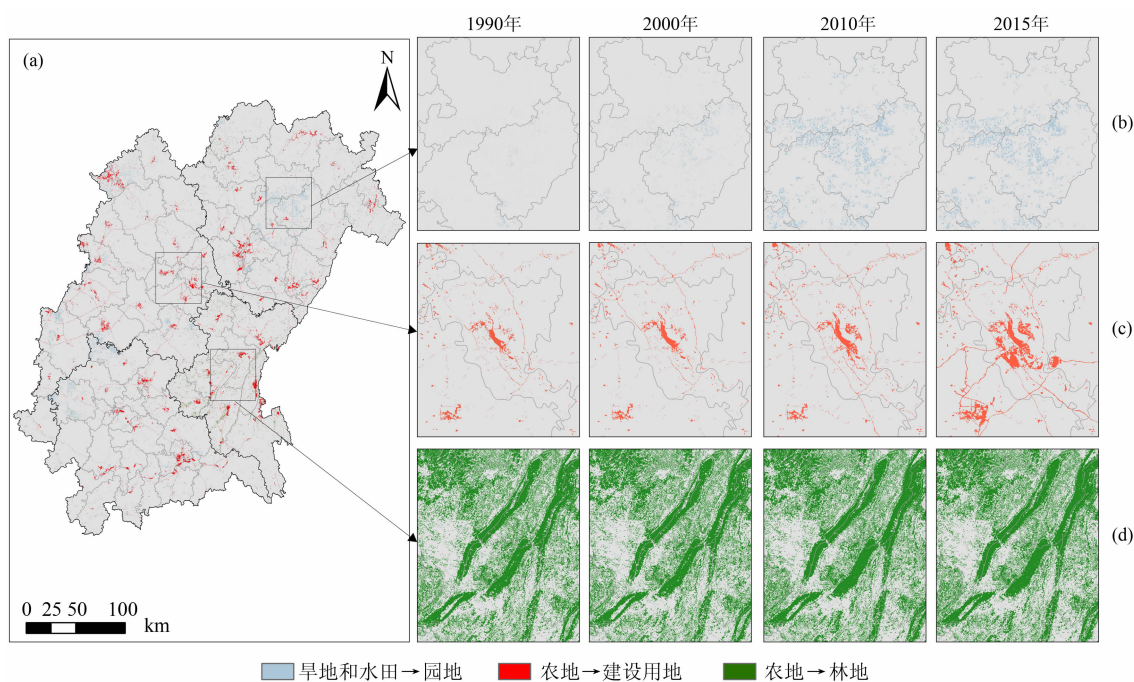


图3 1990—2015 年四川盆地农地空间变化格局:

(a) 农地主要变化空间分布;(b) 农地内部转移(旱地和水田转变为园地)典型区域空间变化;

(c) 农地转变为建设用地典型区域空间变化;(d) 农地转变为林地典型区域空间变化

Fig. 3 Spatial change patterns of agricultural land in Sichuan basin from 1990 to 2015:

(a) spatial distribution of the omainant agricultural land changes; (b) spatial changes of internal transfers (conversion of paddy fields and drylands into orchards) in typical areas; (c) spatial changes in the conversion of agricultural land into construction land in typical areas;

(d) spatial changes in the conversion of agricultural land into woodland in typical areas

区、成都平原地区北部以及成都平原地区和川南地区交界处(图4a)。农地转向建设用地64.10%的格网呈现低-低聚集现象,29.30%的格网呈现高-高聚集现象(图4b)。农地转向林地63.90%的格网呈现出低-低聚集现象,30.40%的格网呈现高-高聚集现象,低-低聚集现象主要分布在成都平原地区,高-高聚集现象主要分布在渝西地区(图4c)。

### 3.3 农地利用时空演变驱动因素分析

因子探测器结果显示,在不同阶段,驱动因子呈现出显著差异。2000—2010年期间,驱动因子影响程度由大到小排序为 $X_4$ 、 $X_1$ 、 $X_9$ 、 $X_2$ 、 $X_7$ 、 $X_6$ 、 $X_{11}$ 、 $X_5$ 、 $X_{10}$ 、 $X_3$ 、 $X_8$ (图5a)。其中,农业劳动力( $q=0.25$ )和造林面积百分比( $q=0.25$ )是首要驱动因素,有效灌溉面积( $q=0.23$ )和总人口( $q=0.22$ )具有较强的解释力。此时期,全国范围内开始全面实施退耕还林政策,人口快速增长,农村劳动力外迁等因素对农地利用变化产生影响。2010—2015年期间,驱动因子排序为 $X_5$ 、 $X_9$ 、 $X_{10}$ 、 $X_1$ 、 $X_3$ 、 $X_6$ 、 $X_2$ 、 $X_4$ 、 $X_{11}$ 、 $X_7$ 、 $X_8$ (图5c)。这一时期,GDP( $q=0.53$ )成为绝对主导因子,其次是有效灌溉面积( $q=0.30$ )和农业机械总动力( $q=0.29$ )。此时期,随着工业化、城镇化及成渝城市群建设进程不断加快,大量优质农田被侵占。

交互探测器结果表明,农地利用变化是政策、人口、经济水平与农业投入等因子相互作用的结果,双

因子耦合比单因子作用的驱动力更强(图5b、d)。2000—2010年期间具有较强的解释力的因子是造林面积百分比 $\cap$ 人口密度( $q=0.72$ )、人均GDP $\cap$ 化肥施用量( $q=0.69$ )、人口密度 $\cap$ 农业机械总动力( $q=0.68$ )、农业机械总动力 $\cap$ 农业劳动力( $q=0.67$ )等均为非线性增强。总人口 $\cap$ 农业劳动力( $q=0.36$ )、农业劳动力 $\cap$ 有效灌溉面积( $q=0.34$ )、总人口 $\cap$ GDP( $q=0.33$ )为双因子增强。人口和农业投入维度的因子交互作用可以增强对农地利用变化的解释程度。2010—2015年期间,双因子增强解释程度明显提升,人口密度 $\cap$ GDP( $q=0.77$ )、造林面积百分比 $\cap$ GDP( $q=0.69$ )、GDP $\cap$ 有效灌溉面积( $q=0.68$ )、GDP $\cap$ 农业机械总动力( $q=0.66$ ),均为双因子增强。人口密度与GDP对农地利用变化具有一定的引导作用。

## 4 讨论

### 4.1 社会、经济与政策因素驱动下的农地利用变化

四川盆地农地时空演变过程受到政策、人口、农业投入和经济发展等多重因素的综合影响,呈现出阶段性变化特征。在2000—2010年期间,区域总人口增加了264.20万人,农业人口减少了175.10万人,老龄化率显著升高(图6a)。人口增长意味着对粮食、水果、蔬菜、肉类和乳制品的需求也相应增加,

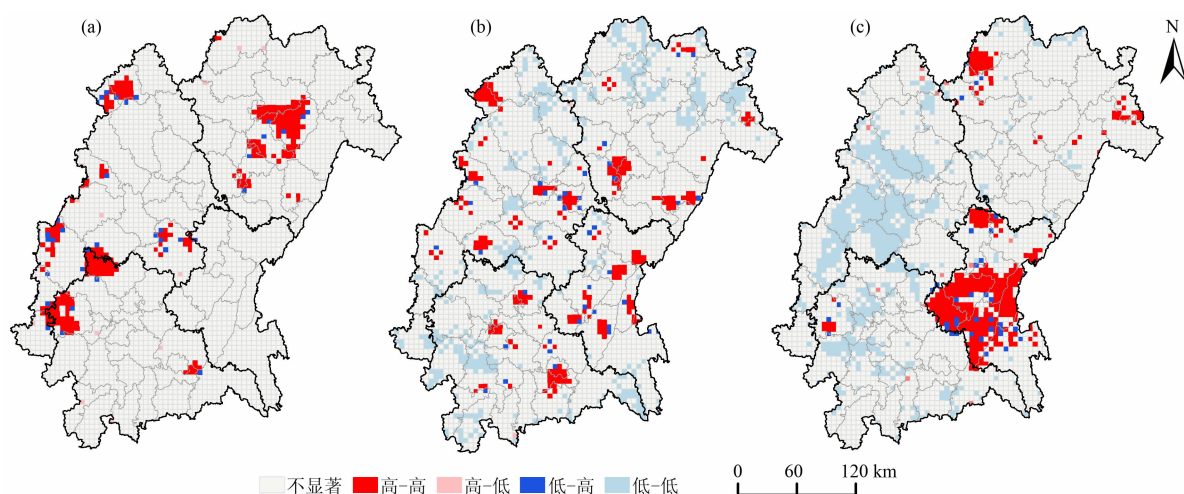


图4 1990—2015年四川盆地农地主要变化空间聚集图:

(a) 农地内部转移(旱地和水田转变为园地);(b) 农地转变为建设用地;(c) 农地转变为林地

Fig. 4 Spatial agglomeration of the dominant agricultural land transfers in Sichuan basin from 1990 to 2015:

(a) internal transfers (conversion of paddy fields and drylands into orchards); (b) conversion of agricultural land into construction land; (c) conversion of agricultural land into woodland

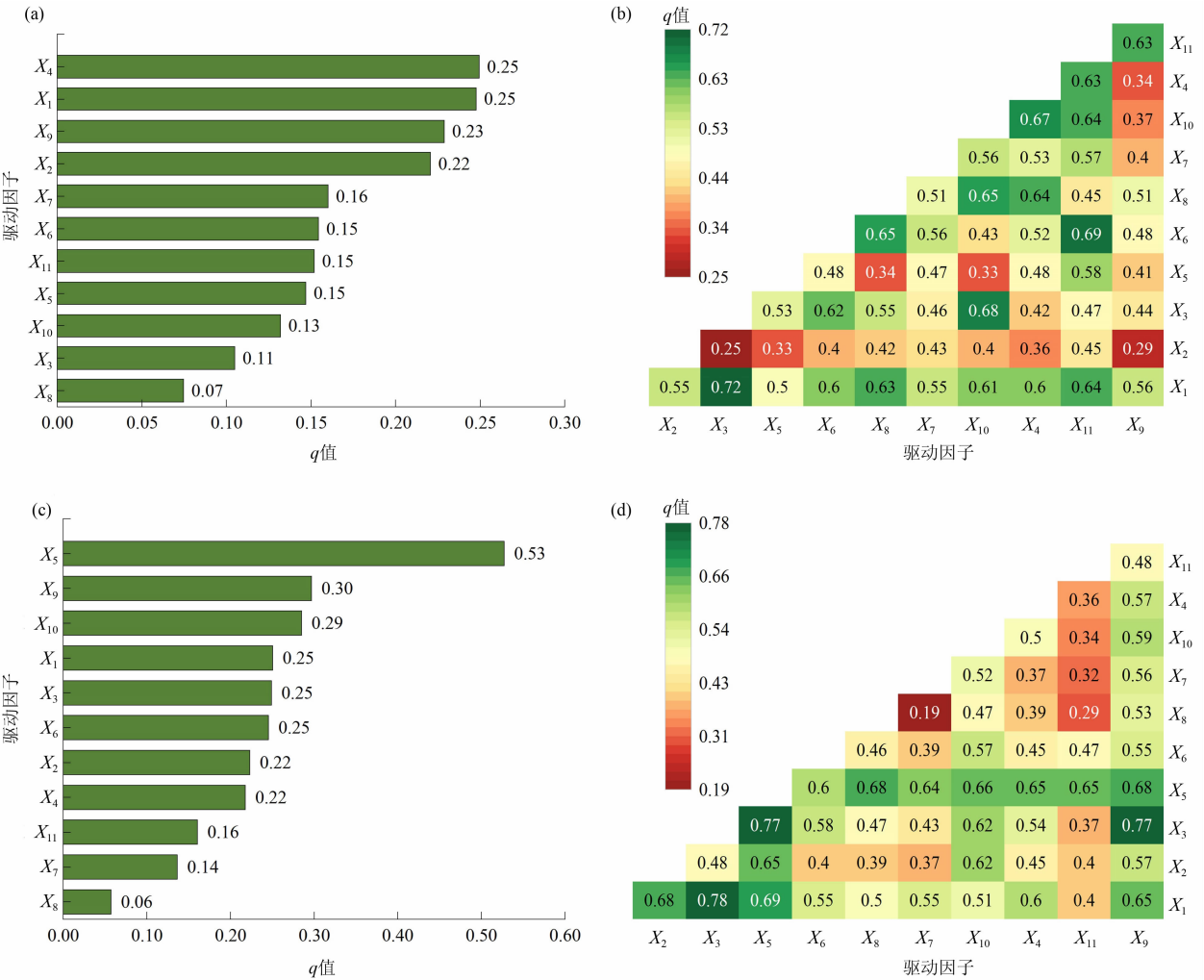


图5 2000—2015 年四川盆地农地演变驱动分析：

(a)、(b) 分别为 2000—2010 年因子探测器与交互探测器结果；(c)、(d) 分别为 2010—2015 年因子探测器与交互探测器结果

Fig. 5 Driving factors of agricultural land evolution in Sichuan basin from 2000 to 2015:

(a) and (b) present the factor detector and interaction detector results from 2000 to 2010, respectively;

(c) and (d) present the factor detector and interaction detector results from 2010 to 2015, respectively

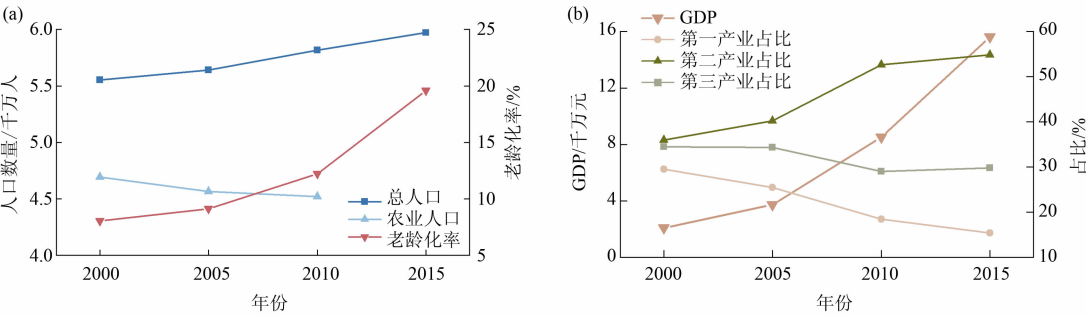


图6 2000—2015 年四川盆地人口与经济发展变化：

(a) 总人口、农业人口数量与老龄化率；(b) GDP 与一二三产业占比

Fig. 6 Changes of population and economic development in Sichuan basin from 2000 to 2015:

(a) total population, agricultural labor force and aging rate; (b) GDP and the proportion of primary, secondary and tertiary industries



饮食需求逐渐由温饱型向健康型和营养型转变<sup>[41]</sup>。随着农村外出务工和非农就业的比例不断增加,一方面,留在农村地区的农民通过扩大经济作物的种植来获取最大经济效益,使作物结构趋于多样化,水果、蔬菜与其他经济作物的播种面积显著增加;另一方面,可能会加速坡耕地特别是难以实现机械化的陡坡耕地出现撂荒现象,部分撂荒农地由半自然人工生态系统逐渐演替为自然系统,恢复到接近自然条件的植被覆盖状态<sup>[5, 31]</sup>。此外,自 1999 年实施退耕还林政策以来,四川盆地的部分旱地逐渐转变为林地。在存在石漠化现象的渝西平行岭谷地带,林地面积的增加尤为显著,这与李慧<sup>[42]</sup>等的研究结果一致。2003 年,政府推出了“一村一品”“一乡一色”的特色效益农业发展政策,各市县因地制宜,着力发展打造川油、川菜、川果等优势产业,促进特色经济作物快速发展,作物品种逐渐丰富,其中以东北地区南充市的脐橙、柚子最为出名。

在整个研究时段内,农地转变为建设用地的现象一直存在,尤其是在 2010—2015 年间尤为显著。2010 年以后,四川盆地 GDP 产值激增,第二产业占据主导地位(图 6b)。在工业化和城市化带来的巨大拉力以及山地丘陵区耕地破碎、区位差、技术相对落后等因素的推力下,大量农村人口向城市迁移,进而带动建设用地对农田侵占的趋势逐渐扩大<sup>[4, 33, 43]</sup>。成都平原地区作为四川盆地经济发展最为迅速、城镇化水平最高的区域,也是农地转变为建设用地面积最大的区域,这与王谢<sup>[44]</sup>等研究结果类似。农地时空变化显示,2010—2015 年期间,园地和林地面积不再明显扩张(图 3a、c)。这可能是由于四川盆地绝大多数农地位于坡度在  $6^{\circ} \sim 20^{\circ}$  的陡坡上,而坡度大于  $25^{\circ}$  的农地大部分已经转变为林地。此外,随着“耕地占补平衡”“永久基本农田”“18 亿亩耕地红线”等政策的提出与实施,加大农业投入力度,使得作物单产显著提升,对作物绝对播种面积的需求逐渐减少<sup>[45-46]</sup>。

#### 4.2 区域农业可持续发展建议

四川盆地作为粮食主产区和传统农作区,在确保粮食安全方面发挥重要作用。当前,随着城镇化与工业化进程的不断加快,经济增长对区域现有的农地资源构成潜在威胁,实现区域农业可持续发展的需求日益迫切。为此,本研究提出以下建议:

(1) 为确保农地资源的可持续利用,需采取有

针对性的措施。对于永久性基本农田,应强化保护,限制耕地用途,严守耕地红线,确保基本粮食安全需求,抑制非粮化趋势;对于其他非永久性基本农田,可考虑灵活种植经济作物,以提高农民收入并满足人们日益多样化的饮食需求。同时,对于区位较差、生产力较低的坡耕地,可考虑实施退耕还林政策;而对于生产力较高的农地,应推动土地综合整治,加快土地流转,促进土地规模化经营。对于农地非农化现象,应科学实施城市规划,充分利用现有城市土地资源,减少对农地的侵占,防止农地非农化。

(2) 重点关注长期处于高度集约利用的农地生态情况。四川盆地人口密度大,对粮食的需求不断增加,随着农地规模持续减少,农业投入不断加大,农地的集约化程度不断提高。长期过度集约使用农地将对环境产生一系列负面影响。因此,政府应结合区域农业生态建设的要求,采取“藏粮于地、藏粮于技”、农田轮作、休耕等策略,因地制宜地减轻生态压力。

(3) 提升农民生产积极性,培育新型职业农民。加大力度培育并有序引导家庭农场、农民合作社、龙头企业等新型农业经营主体的发展,促进农业产业的多元化和现代化。增加对农业生产投入和对农民的补贴,提高农民收入,吸引年轻劳动力回流,弥补四川盆地农村老龄化与农业劳动力短缺之间的缺口。完善新型职业农民的扶持体系,合理配置资源,提升农民的专业素养和生产技能,以适应农业现代化发展的需求。

#### 4.3 展望与不足

本研究所使用的土地利用数据是专门针对于山区的土地覆被制图,更适用于地貌极度破碎化的四川盆地,但该数据时间覆盖范围仅为 1990—2015 年,对于 2015 年之后农地利用的时空动态变化过程仍有待评估。

在驱动因素分析中本研究选取了涉及政策、人口、经济水平与农业投入 4 个维度的因子,重点分析各因子对农地利用变化影响程度,各类社会经济因子间的复杂作用路径有待进一步研究。

## 5 结论

(1) 农地利用变化具有转入和转出的双向特征,并呈现阶段性变化。农地内部结构调整以水田

和旱地转变为园地为主,农地转出则以转变为建设用地和林地为主。1990—2010 年期间,旱地和水田转向园地是主要趋势,果园面积增加 1422.95 km<sup>2</sup>,伴随部分农地流向建设用地和林地;2010—2015 年,农地利用变化以转向建设用地为主,建设用地面积增加 846.25 km<sup>2</sup>。

(2)农地内部转移,以及农地向建设用地和林地的转变具有明显的空间分异特征和聚集效应。农地内部转移主要呈现出高-高聚集,川东北地区园地面积增幅最为显著;农地转向建设用地呈现低-低聚集现象,主要发生在各市县中心与主干道附近;农地转向林地同样以低-低聚集现象为主,渝西地区的平行岭谷地带林地面积增幅最大。

(3)农地时空演变受到政策、人口、农业投入和经济发展因素相互作用的影响,且主要驱动因子随时间段的变化而异。最优参数地理探测器结果表明,2000—2010 年,农业劳动力( $q=0.25$ )与造林面积百分比( $q=0.25$ )是农地变化的主要驱动因素,这一时期,人口密度、农业劳动力与农业投入各因子之间的相互作用比单一因子的驱动力更强。2010—2015 年,GDP( $q=0.53$ )是农地变化解释力最强的因子,GDP 与其他因子间的交互作用对农地转出也具有显著的推动作用。

## 参考文献 (References)

- [1] 马恩朴,叶玮怡,龙花楼,等. 城市食物系统全程耦合下的农地利用转型[J]. 地理学报, 2023, **78**(12): 3058–3077. [MA Enpu, YE Weiyi, LONG Hualou, et al. Agricultural land use transition under the metacoupling framework of urban food system [J]. Acta Geographica Sinica, 2023, **78**(12): 3058–3077] DOI: 10.11821/dlxb202312009
- [2] JIN Jianjun, JIANG Chong, LI Lun. The economic valuation of cultivated land protection: A contingent valuation study in Wenling city, China [J]. Landscape and Urban Planning, 2013, **119**: 158–164. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2013.06.010
- [3] 李升发,李秀彬. 耕地撂荒研究进展与展望[J]. 地理学报, 2016, **71**(3): 370–389. [LI Shengfa, LI Xiubin. Progress and prospect on farmland abandonment [J]. Acta Geographica Sinica, 2016, **71**(3): 370–389] DOI: 10.11821/dlxb201603002
- [4] DENG Xiangzheng, HUANG Jikun, ROZELLE S, et al. Impact of urbanization on cultivated land changes in China [J]. Land Use Policy, 2015, **45**: 1–7. DOI: 10.1016/j.landusepol.2015.01.007
- [5] TAN Yongzhong, CHEN Hang, XIAO Wu, et al. Influence of farmland marginalization in mountainous and hilly areas on land use changes at the county level [J]. Science of the Total Environment, 2021, **794**: 149576. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.149576
- [6] LONG Hualou, QU Yi. Land use transitions and land management: A mutual feedback perspective [J]. Land Use Policy, 2018, **74**: 111–120. DOI: 10.1016/j.landusepol.2017.03.021
- [7] 龙花楼,曲艺,屠爽爽,等. 城镇化背景下中国农区土地利用转型及其环境效应研究:进展与展望[J]. 地球科学进展, 2018, **33**(5): 455–463. [LONG Hualou, QU Yi, TU Shuangshuang, et al. Land use transitions under urbanization and their environmental effects in the farming areas of China: Research progress and prospect [J]. Advances in Earth Science, 2018, **33**(5): 455–463] DOI: 10.11867/j.issn.1001-8166.2018.05.0455
- [8] 龚建周,夏北成. 1990 年以来广州市土地覆被景观的时空梯度分异[J]. 地理学报, 2007, **62**(2): 181–190. [GONG Jianzhou, XIA Beicheng. Temporal-spatial grading diversification of land-cover at landscape level in Guangzhou since 1990 [J]. Acta Geographica Sinica, 2007, **62**(2): 181–190] DOI: 10.3321/j.issn:0375-5444.2007.02.007
- [9] 卢曦. 关于耕地占补平衡相关问题的思考与建议——基于湖南“两个占补平衡”实践[J]. 中国土地, 2021(5): 42–43. [LU Xi. Reflections and suggestions on issues related to balancing the occupancy and compensation of cultivated land based on the practice of “balancing the occupancy and compensation of two cultivated areas” in Hunan [J]. China Land, 2021(5): 42–43] DOI: 10.13816/j.cnki.ISSN1002-9729.2021.05.14
- [10] 刘纪远,张增祥,徐新良,等. 21 世纪初中国土地利用变化的空间格局与驱动力分析[J]. 地理学报, 2009, **64**(12): 1411–1420. [LIU Jiyuan, ZHANG Zengxiang, XU Xinliang, et al. Spatial patterns and driving forces of land use change in China in the early 21st century [J]. Acta Geographica Sinica, 2009, **64**(12): 1411–1420] DOI: 10.3321/j.issn:0375-5444.2009.12.001
- [11] 陈瑞卿,陶建斌,徐猛. 近 20 年来江汉平原耕地种植强度的空间格局[J]. 中国农业信息, 2018, **30**(3): 63–73. [CHEN Ruiqing, TAO Jianbin, XU Meng. Spatial patterns of cropping intensity on the Jianghan plain over recent 20 years [J]. China Agricultural Informatics, 2018, **30**(3): 63–73] DOI: 10.12105/j.issn.1672-0423.20180306
- [12] LI Xiaoliang, WU Kening, YANG Qijun, et al. Quantitative assessment of cultivated land use intensity in Heilongjiang province, China, 2001–2015 [J]. Land Use Policy, 2023, **125**: 106505. DOI: 10.1016/j.landusepol.2022.106505
- [13] MA Li, LONG Hualou, TU Shuangshuang, et al. Farmland transition in China and its policy implications [J]. Land Use Policy, 2020, **92**: 104470. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.135132
- [14] 王文旭,曹银贵,苏锐清,等. 我国耕地变化驱动力研究进展:驱动因子与驱动机理[J]. 中国农业资源与区划, 2020,

- 41(7): 21 – 30. [WANG Wenxu, CAO Yingui, SU Ruiqing, et al. Driving forces of cultivated land change in China: Driving factors and driving mechanism [J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2020, 41(7): 21 – 30] DOI: 10.7621/cjarrp.1005-9121.20200703
- [15] 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[J]. 地理学报, 2018, 73(9): 1630 – 1646. [LIANG Xinyuan, LI Yangbing. Spatio-temporal features of scaling farmland and its corresponding driving mechanism in Three Gorges Reservoir Area [J]. Acta Geographica Sinica, 2018, 73(9): 1630 – 1646] DOI: 10.11821/dlxb201809002
- [16] 申杨, 龚健, 李晓丹, 等. 武汉城市圈耕地利用变化驱动机制研究[J]. 中国土地科学, 2023, 37(8): 123 – 133. [SHEN Yang, GONG Jian, LI Xiaodan, et al. Driving mechanism and policy implications of cultivated land use change in Wuhan metropolitan area [J]. China Land Science, 2023, 37(8): 123 – 133] DOI: 10.11994/zgtdkx.20230804.163543
- [17] 李丹, 周嘉, 战大庆. 黑龙江省耕地时空变化及驱动因素分析[J]. 地理科学, 2021, 41(7): 1266 – 1275. [LI Dan, ZHOU Jia, ZHAN Daqing. Spatial and temporal changes and driving factors of cultivated land in Heilongjiang province [J]. Scientia Geographica Sinica, 2021, 41(7): 1266 – 1275] DOI: 10.13249/j.cnki.sgs.2021.07.017
- [18] 崔家兴, 靳涵, 罗滢渊, 等. 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[J]. 生态学报, 2024, 44(5): 1822 – 1836. [CUI Jiaxing, JIN Han, LUO Yingyuan, et al. Non-agricultural transformation and non-grain production and their coordinated relationships with rural population hollowing: A case study of Yangtze River Economic Belt [J]. Acta Ecologica Sinica, 2024, 44(5): 1822 – 1836] DOI: 10.20103/j.stxb.202304010643
- [19] 顾莉丽, 郭庆海. 中国粮食主产区的演变与发展研究[J]. 农业经济问题, 2011, 32(8): 4 – 9. [GU Lili, GUO Qinghai. Evolution and development of China's major grain producing areas [J]. Issues in Agricultural Economy, 2011, 32(8): 4 – 9] DOI: 10.13246/j.cnki.iae.2011.08.003
- [20] ZENG Yi, RAN Lishan, FANG Nufang, et al. How to balance green and grain in marginal mountainous areas? [J]. Earth's Future, 2022, 10(5): e2021EF002552. DOI: 10.1029/2021ef002552
- [21] 聂小军, 苏艳艳. 川中丘陵区紫色土坡耕地土壤侵蚀特征[J]. 生态环境学报, 2012, 21(4): 682 – 686. [NIE Xiaojun, SU Yanyan. Characteristics of soil erosion on sloping farmlands in a purple soil hilly region of the Sichuan Basin [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2012, 21(4): 682 – 686] DOI: 10.16258/j.cnki.1674-5906.2012.04.020
- [22] 王兆林, 杨庆媛. 西南地区农村投资水平和农地利用效率对农民农业收入影响分析——以重庆市为例[J]. 经济地理, 2012, 32(8): 124 – 130. [WANG Zhaolin, YANG Qingyuan. The empirical study on the response of farmer's agricultural income to rural investment and agricultural land use efficiency of southwest China: A case study of Chongqing [J]. Economic Geography, 2012, 32(8): 124 – 130] DOI: 10.15957/j.cnki.jjdl.2012.08.025
- [23] 刘珍环, 杨鹏, 吴文斌, 等. 近 30 年中国农作物种植结构时空变化分析[J]. 地理学报, 2016, 71(5): 840 – 851. [LIU Zhenhuan, YANG Peng, WU Wenbin, et al. Spatio-temporal changes in Chinese crop patterns over the past three decades [J]. Acta Geographica Sinica, 2016, 71(5): 840 – 851] DOI: 10.11821/dlxb201605012
- [24] 罗新蕊, 杨武年, 陈桃. 川中丘陵区植被遥感动态监测及其驱动力分析[J]. 长江流域资源与环境, 2019, 28(1): 103 – 111. [LUO Xinrui, YANG Wunian, CHEN Tao. Dynamic monitoring of vegetation and its driving force analysis using remote sensing in hilly area of central Sichuan province [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2019, 28(1): 103 – 111] DOI: 10.11870/cjlyzyyhj201901011
- [25] TANG Qiang, BAO Yuhai, HE Xiubin, et al. Farmer's adaptive strategies on land competition between societal outcomes and agroecosystem conservation in the purple-soiled hilly region, southwestern China [J]. Journal of Mountain Science, 2012, 9(1): 77 – 86. DOI: 10.1007/s11629-012-2201-4
- [26] LEI Guangbin, LI Ainong, BIAN Jinhu, et al. Land cover mapping in southwestern China using the HC-MMK approach [J]. Remote Sensing, 2016, 8(4): 305. DOI: 10.3390/rs8040305
- [27] 国家林业和草原局. 中国林业统计年鉴[M/OL]. 北京: 中国林业出版社 [2018-09-11]. <https://www.forestry.gov.cn/c/www/lcgk.jhtml> [China Forestry and Grassland Administration. China forestry statistic yearbook [M/OL]. Beijing: China Forestry Publishing House [2018-09-11]. <https://www.forestry.gov.cn/c/www/lcgk.jhtml>]
- [28] 四川省统计局. 四川省统计年鉴[M/OL]. 北京: 中国统计出版社 [2016-09-21]. <https://tjj.sc.gov.cn/scstjj/c105855/nj.shtml> [Sichuan Province Bureau of Statistics. Sichuan province statistic yearbook [M/OL]. Beijing: China Statistics Press [2016-09-21]. <https://tjj.sc.gov.cn/scstjj/c105855/nj.shtml>]
- [29] 重庆市统计局. 重庆市统计年鉴[M/OL]. 北京: 中国统计出版社 [2016-08-11]. [https://tjj.cq.gov.cn/zwgk\\_233/tjnj/](https://tjj.cq.gov.cn/zwgk_233/tjnj/) [Chongqing Bureau of Statistics. Chongqing statistic yearbook [M/OL]. Beijing: China Statistics Press [2016-08-11]. [https://tjj.cq.gov.cn/zwgk\\_233/tjnj/](https://tjj.cq.gov.cn/zwgk_233/tjnj/)]
- [30] 国家统计局. 中国县域统计年鉴(县市卷)[M/OL]. 北京: 中国统计出版社 [2017-03-15]. <https://www.stats.gov.cn/> [China Bureau of Statistics. China statistic yearbook (county-level) [M/OL]. Beijing: China Statistics Press [2017-03-15]. <https://www.stats.gov.cn/>]
- [31] 孙俊, 潘玉君, 和瑞芳, 等. 地理学第一定律之争及其对地理学理论建设的启示[J]. 地理研究, 2012, 31(10): 1749 –

1763. [ SUN Jun, PAN Yujun, HE Ruifang, et al. The enlightenment of geographical theories construction from the First Law of Geography and its debates [J]. Geographical Research, 2012, **31**(10): 1749–1763 ] DOI: 10.11821/yj2012100002
- [32] 孙晓晨, 焦菊英, 王红雷, 等. 河湟谷地 1980–2020 年土地利用变化及其冷热点分布[J]. 水土保持通报, 2022, **42**(1): 327–334. [ SUN Xiaochen, JIAO Juying, WANG Honglei, et al. Land use change and cold-hot spot distribution in Hehuang valley from 1980 to 2020 [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2022, **42**(1): 327–334 ] DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2022.01.043
- [33] WU Xutong, LIU Jianguo, FU Bojie, et al. Integrating multiple influencing factors in evaluating the socioeconomic effects of payments for ecosystem services [J]. Ecosystem Services, 2021, **51**: 101348. DOI: 10.1016/j.ecoser.2021.101348
- [34] 苏康传, 杨庆媛, 张佰林, 等. 山区农村土地利用转型与小农经济变迁耦合机理[J]. 地理研究, 2019, **38**(2): 399–413. [ SU Kangchuan, YANG Qingyuan, ZHANG Bailin, et al. The coupling mechanism of rural land use transition and small-scale peasant economy change in mountainous areas [J]. Geographical Research, 2019, **38**(2): 399–413 ] DOI: 10.11821/dlyj020180060
- [35] 张婕, 刘玉洁, 张二梅, 等. 中国县域耕地动态演变及其驱动机制[J]. 地理学报, 2023, **78**(9): 2105–2127. [ ZHANG Jie, LIU Yujie, ZHANG Ermei, et al. Dynamics and driving mechanisms of cultivated land at county level in China [J]. Acta Geographica Sinica, 2023, **78**(9): 2105–2127 ] DOI: 10.11821/dlxb202309001
- [36] 许庆, 尹荣梁, 章辉. 规模经济、规模报酬与农业适度规模经营——基于我国粮食生产的实证研究[J]. 经济研究, 2011, **46**(3): 59–71+94. [ XU Qing, YIN Rongliang, ZHANG Hui. Economies of scale, returns to scale and the problem of optimum-scale farm management: An empirical study based on grain production in China [J]. Economic Research, 2011, **46**(3): 59–71+94 ] DOI: CNKI:SUN:JJYJ.0.2011–03–006
- [37] 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 perspective [J]. Acta Geographica Sinica, 2017, **72**(1): 116–134 ] DOI: 10.11821/dlxb201701010
- [38] 孙黄平, 黄震方, 徐冬冬, 等. 泛长三角城市群城镇化与生态环境耦合的空间特征与驱动机制[J]. 经济地理, 2017, **37**(2): 163–170+186. [ SUN Huangping, HUANG Zhenfang, XU Dongdong, et al. The spatial characteristics and driving mechanisms of coupling relationship between urbanisation and eco-environment in the PanYangtze River delta [J]. Economic Geography, 2017, **37**(2): 163–170+186 ] DOI: 10.15957/j.cnki.jjdl.2017.02.022
- [39] 刘彦随, 李进涛. 中国县域农村贫困化分异机制的地理探测与优化决策[J]. 地理学报, 2017, **72**(1): 161–173. [ LIU Yanshu, LI Jintao. Geographic detection and optimizing decision of the differentiation mechanism of rural poverty in China [J]. Acta Geographica Sinica, 2017, **72**(1): 161–173 ] DOI: 10.11821/dlxb201701013
- [40] SONG Yongze, WANG Jinfeng, GE Yong, et al. An optimal parameters-based geographical detector model enhances geographic characteristics of explanatory variables for spatial heterogeneity analysis: Cases with different types of spatial data [J]. GIScience & Remote Sensing, 2020, **57**(5): 593–610. DOI: 10.1080/15481603.2020.1760434
- [41] 叶初升, 马玉婷. 新中国农业结构变迁 70 年: 历史演进与经验总结[J]. 南京社会科学, 2019(12): 1–9+33. [ YE Chusheng, MA Yuting. Agricultural structural change of new China in the past 70 years: Historical evolution and experience summary [J]. Nanjing Journal of Social Sciences, 2019(12): 1–9+33 ] DOI: 10.15937/j.cnki.issn 1001–8263.2019.12.001
- [42] 李慧, 魏兴萍, 蔡云丽, 等. 重庆石漠化和非石漠化区植被绿色度时空变化特征[J]. 水土保持学报, 2024, **38**(3): 1–10. [ LI Hui, WEI Xingping, CAI Yunli, et al. Spatial and temporal variation characteristics of vegetation greenness in rocky desertification and non-rocky desertification areas of Chongqing [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2024, **38**(3): 1–10 ] DOI: 10.13870/j.cnki.stbxb.2024.03.037
- [43] WU Yuzhe, HUI E C M, ZHAO Pengjun, et al. Land use policy for urbanization in China [J]. Habitat International, 2018, **77**: 40–42. DOI: 10.1016/j.habitatint.2018.05.008
- [44] 王谢, 杨巧, 曾其国, 等. 1999—2018 年四川省耕地时空格局演化特征[J]. 中国农学通报, 2021, **37**(26): 110–116. [ WANG Xie, YANG Qiao, ZENG Qiguo, et al. Spatial-temporal pattern evolution of cultivated land in Sichuan province from 1999 to 2018 [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2021, **37**(26): 110–116 ] DOI: 10.11924/j.issn.1000–6850.casb2021–0473
- [45] SONG Fengjiao, WANG Shijie, BAI Xiaoyong, et al. A new indicator for global food security assessment: Harvested area rather than cropland area [J]. Chinese Geographical Science, 2022, **32**(2): 204–217. DOI: 10.1007/s11769–022–1264–6
- [46] ZHANG Pengyan, YANG Dan, QIN Mingzhou, et al. Spatial heterogeneity analysis and driving forces exploring of built-up land development intensity in Chinese prefecture-level cities and implications for future urban land intensive use [J]. Land Use Policy, 2020, **99**: 104958. DOI: 10.1016/j.landusepol.2020.104958

## Spatial-Temporal Evolution of Agricultural Land and Driving Forces in Sichuan Basin, China, 1990 – 2015

DUAN Dingqi<sup>1</sup>, ZHANG Haozhe<sup>2</sup>, RAO Jie<sup>1</sup>, XU Yuehang<sup>1</sup>, TANG Qiang<sup>1\*</sup>

(1. a. School of Geographical Sciences; b. Chongqing Jinpo Mountain East Ecosystem National Observation and Research Station, Southwest University, Chongqing 400715, China; 2. Key Laboratory of Mountain Surface Processes and Ecological Regulation, Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Chengdu 610299, China)

**Abstract:** Sichuan basin is a geographical unit and a major grain-producing region in China. Although since the 20th century, changes in the regional socio-ecological system had influenced the scale and structure of agricultural land, the spatial and temporal evolution of agricultural land and its driving factors remain unclear. In this paper, it used land-use data and socio-economic statistics in 1990, 2000, 2010 and 2015, combined with spatial analysis and optimal parameters-based geographical detector (OPGD) model, to analyze the spatio-temporal evolution characteristics of agricultural land in Sichuan basin, and explored the socioeconomic driving process over years.

(1) Between 1990 and 2015, the total area of agricultural land in the Sichuan basin decreased by 1859.91 km<sup>2</sup>, exhibiting phased changes. From 1990 to 2010, changes in agricultural land were dominated by internal transfers, with significant conversions of drylands and paddy fields to orchards, along with agricultural land being transferred to woodland and construction land. From 2010 to 2015, agricultural land exhibited a significant transition trend to construction land.

(2) There was a notable increase in orchards in northeastern Sichuan, a marked rise in construction land near urban centers and main roads, and a concentration of woodland expansion in the parallel ridge-valley belt. These spatial aggregation phenomena manifested as either high-high or low-low aggregations. The internal transfer of agricultural land, as well as its conversion to construction land and woodland, exhibited clear spatial differentiation and aggregation phenomena.

(3) From 2000 to 2010, the agricultural labor force and the percentage of afforestation area were the primary driving factors of agricultural land-use change, with the interactions among factors predominantly exhibiting non-linear enhancement. From 2010 to 2015, GDP emerged as the main driving factor of agricultural land transfer, and the interactions among factors demonstrated a higher degree of two-factor enhancement in their explanatory power.

This study provides valuable references for decision-making in territorial spatial planning and sustainable agricultural development.

**Key words:** agricultural land; spatial-temporal change; driving factor; optimal parameters-based geographical detector model; Sichuan basin

(责任编辑 钟雨倩)