

山区农业景观演变驱动力的理论分析与实证研究

——以石柱县为例¹

江娟丽¹ 杨庆媛²

(西南大学 1. 经济管理学院; 2. 地理科学学院, 重庆, 400715)

【摘要】:在构建山区农业景观演变驱动力理论模型的基础上,运用杜宾空间模型定量测度了石柱县农业景观格局演变的驱动因素。结果表明:山区农业景观格局演变是多种因素共同推动的结果,其中生存、经济和制度驱动是影响生产型、生活型农业景观格局演变的重要因子;环境、生存、经济驱动是生态型农业景观格局演变的因素;生存、产业、制度、经济和文化驱动是拓展型农业景观格局演变的影响因素。通过空间自相关检验得知,农业景观格局演变的驱动因子存在空间自相关特征,并非彼此独立,在未来发展中应综合考虑经济、产业发展、城镇扩张、生存因素及政策制度等情况对农业景观利用及景观格局带来的影响,注重农业景观空间的可持续发展。

【关键词】:农业景观格局演变;驱动力;杜宾空间模型;石柱县

【中图分类号】:F124 **【文献标识码】**:A **【文章编号】**:1673-9841(2023)02-0139-14

作为世界上分布最为广泛的景观类型之一,农业景观在确保粮食安全、传承农耕文化、保护生物多样性和维持农村风貌等方面具有至关重要的作用。但近年来,我国山区农业景观格局发生了重大的变化^[1],景观面积减少,破碎化程度加剧^[2],出现了景观稳定性欠缺、脆弱性增强、水土流失^[3]等问题,进而对区域农业生态系统生产力产生了重大影响^[4],由此可能制约和阻碍区域农村经济可持续发展。因此,保护农业景观不仅关系国家生态安全,是国家生态文明建设的重要内容,更是关系国家经济安全的重大问题。在此境况下,农业景观格局演变驱动力也由此受到了社会各界的高度关注。

一、文献综述

景观格局演变的驱动力是促使景观产生变化的主要生物物理和社会经济因子^[5,6]。识别景观格局变化的驱动因子,不仅可为国土空间规划和国土资源的合理利用提供科学依据和搭建理论基础^[7],也有助于对土地利用的变化趋势进行预测^[8]。关于景观格局演变驱动力研究既是国内外研究热点,又是研究难点。现有成果多以定性研究为主,定量研究为辅。例如 Serra P^[9]等、姜鑫和安裕伦^[10]、周忠学^[11]、石云^[12]、黄宝荣^[13]、哈孜亚·包浪提将^[14]等从定性角度讨论了景观格局演变的驱动因子。定量研究常用主成分分析法^[15,16]、回归分析方法^[17]等方法来分析和判断产生影响的主要驱动力因子。这些方法的共同点都是需要提取主要因子来解释景观格局变化,易于抓住主要矛盾。但影响农业景观及景观格局变化的因素错综复杂,且当变量属于类型变量而不是连续变量时,线性回归就不适用于进行驱动机制研究^[18]。虽然关于景观格局演变的研究成果较为丰富,但学界对山区农业景观格局演变驱动力的研究仍然较少。实际上,相较于景观格局而言,山区农业景观格局演变面临更加复杂的情况,且已有研究缺

¹ 作者简介:江娟丽,女,西南大学经济管理学院,副教授。

通讯作者:杨庆媛,女,西南大学地理科学学院,教授,博士生导师。

基金项目:重庆市社会科学规划重点项目:“乡村振兴战略背景下渝东北‘农文旅’融合发展模式研究”(2021WT09),项目负责人:江娟丽。

乏基于系统的理论分析框架考察农业景观格局演变的内外动因。鉴于此，本文尝试运用空间杜宾模型的研究方法，以石柱县为案例区，对山区农业景观格局演变的驱动力进行分析，为驱动力研究提供新的思路。

二、理论分析

傅伯杰院士在其著作《景观生态学原理及应用》中提出“景观格局演变的研究对揭示景观格局变化的原因、基本过程、内部机制、预测变化及管理对策都十分重要”^[19]。国内外学者对景观格局演变也进行了有益的探索，尤其对景观格局演变的驱动因素进行了较深入的研究，进一步丰富和补充了景观格局演变的动力学理论。借鉴相关研究^[13,16,20,21]，本文中农业景观格局演变的驱动力是指引发和导致农业景观格局变化的因素，具体可以从六个维度进行分析：

(一) 环境驱动是农业景观格局演变的物质基础驱动力

环境驱动包括地形地貌和气候条件等因素。首先，气候条件主要通过光、水、热量的再分配来影响农业景观格局变化，地形地貌通过坡度影响农业景观类型的分布。例如石柱县境内地势东南高、西北低，山岭连绵，峡谷较多，坡陡土薄，石柱县 32 个乡镇，其中仅 5 个乡镇分布在海拔 500 m 以下的丘陵地区，12 个乡镇位于低山区，15 个乡镇位于中山区。以农村聚落为主的生活型农业景观主要分布在坡度相对较平缓的地区，以耕地为主的生产型农业景观布置在坡度大的地区。其次，区域水文和水资源对景观格局的形成与发展产生不同程度的影响^[22,23]，水资源的变化将引起景观类型空间配置的变化^[24,25]、水资源利用方式的改变与景观类型中的耕地与建设用地的面积变化成正相关^[26]。石柱县处于长江上游生态脆弱和屏障区，水资源丰富，长江水系和乌江水系流经石柱县，其中长江水系流域面积 2 374.35 km²，县境河长 502.50 km，流域面积 100 km² 以上 8 条；乌江水系流域面积 50km² 以上的支流有 5 条。水资源成为石柱县农业景观资源得以维持的重要因素，也成为石柱县重要的农业景观资源。

(二) 生存驱动是农业景观格局演变的根本驱动力

农业景观的一个重要功能就是满足人们对粮食的需求。农业景观格局破碎化不仅导致生产型农业景观规模缩小，而且造成生产力水平降低，从而间接地影响和威胁到区域粮食安全。农业景观不仅为人类需求提供物质资料等，还提供生活空间和娱乐休闲空间。而人作为景观利用的主体，是农业景观格局演变最主要、最具活力的影响因素之一，是农业产品的生产者和消费者，因此人口数量、分布、素质及迁移等不仅会引起农业景观利用结构的变化^[27]，也会导致农业景观利用强度的改变。人口数量增减将导致农业景观内部类型转化，如人口增长，对生产型、生活型农业景观资源需求扩大，以此来满足基本物质生活需求和其他方面的生活需求；人口数量减少，必然导致对农业景观需求减少。但是农业景观用地基础来源于土地，而土地的有限性和位置的相对固定性，决定了某一具体空间范围内的可利用农业景观面积数量的固定不变。农业景观变化速度会随着人口密度的增加而深化和加速，一般表现为调整农业景观内部的结构，以及扩大未利用空间的开发与利用。此外，农业人口和非农人口对农业景观类型的需要不同。城镇人口增加必然导致农村人口和农村从业人数的下降，从事第一产业人数变化导致从事农业生产的人数减少，从而出现生产型农业景观面积减少和生态型、拓展型农业景观增加的情况，进而促使农业景观类型发生变化。根据统计资料显示，2005—2020 年石柱县生产型农业景观由 76 815.19hm² 减少到 71 590.72hm²，生活型农业景观由 7 552.71hm² 增加到 10 387.23hm²，生态型农业景观 2005—2015 年之间一直处于下降趋势，至 2020 年上升到 214 893.60hm²，拓展型农业景观由 2005 年的 1 745.73hm² 增加到 2020 年的 2 105.90hm²，总人口由 51.91 万人上升到 54.75 万人，城镇人口由 7.66 万人增加到 22.52 万人。可见随着总人口的增加和城镇化率的提高，人们对住房改善需求以及对文化娱乐配套设施、休闲观光需求也会随之增加，因此 2005 年到 2020 年以耕地为核心的生产型农业景观面积不断减少，以居民地为核心的生活型农业景观、以休闲观光景点为核心的拓展型农业景观不断增加。

(三) 经济驱动是农业景观格局演变的重要驱动因子

农业景观作为重要的生态-社会系统，是伴随社会经济发展而产生的，同时也为人类生存和发展提供了巨大的经济效益。因此，经济因素也就成为农业景观格局演变的重要驱动因子。^[1]区域经济发展程度和总体水平高低很大程度上决定农业景观类型。

区域经济发展影响拓展型、生活型农业景观开发的投资规模与生活型农业景观开发的强度。社会经济发展水平高，则对外联系和交流能力强，从而带动区域人流、物流、信息流加速流动，扩大旅游、休闲旅游的市场需求和消费能力，进而使生活型、拓展型农业景观规模扩大，生产型农业景观向非生产型农业景观转化速度将明显加快，当经济处于停滞或衰退阶段，则会出现相反的局面和现状。当经济水平提高，城乡居民收入和支出水平也会大幅度提高。这样既为城市居民外出旅游提供资金准备，又为农村居民发展拓展型农业景观提供物质保障。据统计资料显示，2005年至2020年，石柱县地区生产总值从25.22亿元增加到171.05亿元，农民人均可支配收入也由1308元增加到15456元，生活水平的提高促进了人们对高品质生活的需求增强，加快了城乡建设，因此以居民点用地为核心的生活型农业景观面积逐渐增加，一部分以耕地为核心的生产型农业景观被占用，由此出现生产型农业景观面积减少。区域经济快速发展，加快了农业战略转型、深化了农业经济体制，休闲农业的兴起成为传统农业战略转型的方向，休闲农业的兴起对拓展型农业景观和生态型农业景观的需求增加。^[2]交通条件的改变会导致区域在社会经济上的区位条件的变化，区位条件的改变促使拓展型农业景观的需求增加，生产型农业景观面积减少。这是因为一是交通条件改善会降低外运农产品的成本，生产型农业景观类型的区域就会逐渐改变种植品种，如改种经济效益好的经济作物。同时，交通条件改善也会促进外来旅游人数增加，旅游人数增加必然导致对生态型和拓展型农业景观需求的增加。道路修建会导致植被破坏，可能会导致原有的农业景观受到影响。此外，交通修建也会加强区域的交流，资源开发强度提高，促使人口、资本、技术等空间上的重新分布和组合，进而促使区位优势好的地方发生人口、产业、城镇等规模集聚，也促使不同地区农业专门化，导致农业景观类型的转化。^[3]城镇化发展对农业景观格局演变也有重要影响作用。快速城镇化不仅促使农业景观面积减少，破碎化程度加剧，也会导致农业景观结构变化。人口城市化导致从事农业生产的人口减少，农业景观出现撂荒和废弃，由此导致生产型农业景观面积减少，生态型、生活型农业景观面积扩大；而空间城市化，直接破坏和侵蚀农业景观的空间，并伴随着工业化进程，工业化直接带来经济的快速发展，经济总值和经济结构的调整对农业景观格局也会产生显而易见的影响。

(四) 产业驱动是农业景观格局演变的核心驱动力

产业驱动即产业结构或经济结构变化驱动。产业驱动是农业景观变化的核心动力，合理的产业结构、产业布局、技术水平共同决定农业景观格局的演变速度、规模。产业结构变化会引起农业景观变化，从而导致农业景观利用结构的变化。第一、二、三产业发生明显变化，农村第二、三产业的增速明显快于第一产业，从而出现生产型农业景观减少，拓展型农业景观、生活型农业景观增加的趋势。尤其是农业农村发生了深刻变化，新型农业经营主体的出现，农业发展由“生产导向”向“消费导向”发展，“一二三”产业跨界融合，城乡互动频繁、农村劳动力进城、城市工商资本下乡等，促使重庆市农业农村出现发展新趋势，大数据、互联网、云计算深刻改变农产品营销模式，促使农业景观功能衍化和拓展，农业景观的格局也因此发生了深刻变化。

(五) 文化驱动是农业景观格局演变的软驱动力

文化因子一直是景观变化中最复杂和最量化的指标^[21]，所以尽管学界意识到文化对景观变化的影响^[5]，但却因难以明确化而很少把文化因子运用到景观变化研究中来^[28]。学界将文化驱动因子分为生活方式、人口因素，对休闲旅游文化设施的需求、生态意识，社会发展历史^[21]。农作习惯、生活方式、生计方式、作物品种、科学技术和价值观念等，都是影响农业景观类型的重要区域文化因素。例如技术进步体现为农业耕作水平的提高、单位面积土地产量增加和生产潜力提升。技术进步主要通过生产的规模效应、集聚效应、要素替代效应以及产业结构升级影响农业景观利用结构，技术进步不仅会促使农业景观利用规模扩大，也会促使农业景观的结构和布局改变。

(六) 制度驱动是影响农业景观格局演变的外在驱动力

制度的变迁和政策的实施在一定程度上会直接影响区域农业景观格局的演变。政策导向是一个区域农业景观格局发生变化的强力推手。具体到农业景观领域，主要表现为土地所有权制度、农业生产组织制度、“三农”政策、退耕还林政策、基本农田保护政策、农业生产管理政策、涉农的规范性文件、林业政策、水资源保护管理政策、自然保护政策、区域发展规划和环境

保护政策等。一方面国家制度政策对景观格局变化产生强制性影响^[29]。政策通过具体规划影响农业景观的面积和空间布局的变化，如从宏观上调控各类农业景观的数量，从微观上调控各类农业景观的空间配置。另一方面，地方土地利用规划政策对农业景观起微观层面的操作性指导，土地利用规划对农业景观的空间布局起到了关键性作用。地方土地规划政策要求不仅要严格遵循耕地和基本农田、总量约束性指标不突破的基本原则，而且要按照特色产业、生态保护、人口发展目标对地方土地利用和空间布局进行规划，这对各类农业景观的空间分布产生直接影响。再次，国家的各类生态建设政策对石柱县农业景观的布局和转换有深远影响，强力推动了生产型农业景观向生态型农业景观转化。同时，退耕还林、生态移民工程是石柱县生态保护的重要举措，退耕还林是西部大开发的切入点，也是防治水土流失和土地沙化的重要策略^[20]。这些政策对石柱县农业景观格局也产生了重要的影响。

本文利用石柱县 32 个乡镇微观调研数据对农业景观格局演变的驱动因素进行实证分析。结合已有文献研究情况，选择环境驱动、生存驱动、经济驱动、产业驱动、文化驱动和制度驱动六个维度探析农业景观格局演变的驱动因素，并加入相关控制变量，具体如表 1 所示。根据动力来源将动力因子分为内生和外生动力，内生动力包括生存、经济、环境、产业等因素；而外生动力主要包括制度、文化等因素。农业景观格局演变是内外生驱动因素相互作用产生的，内外因素共同构成了农业景观格局演变的驱动力作用系统(图 1)。

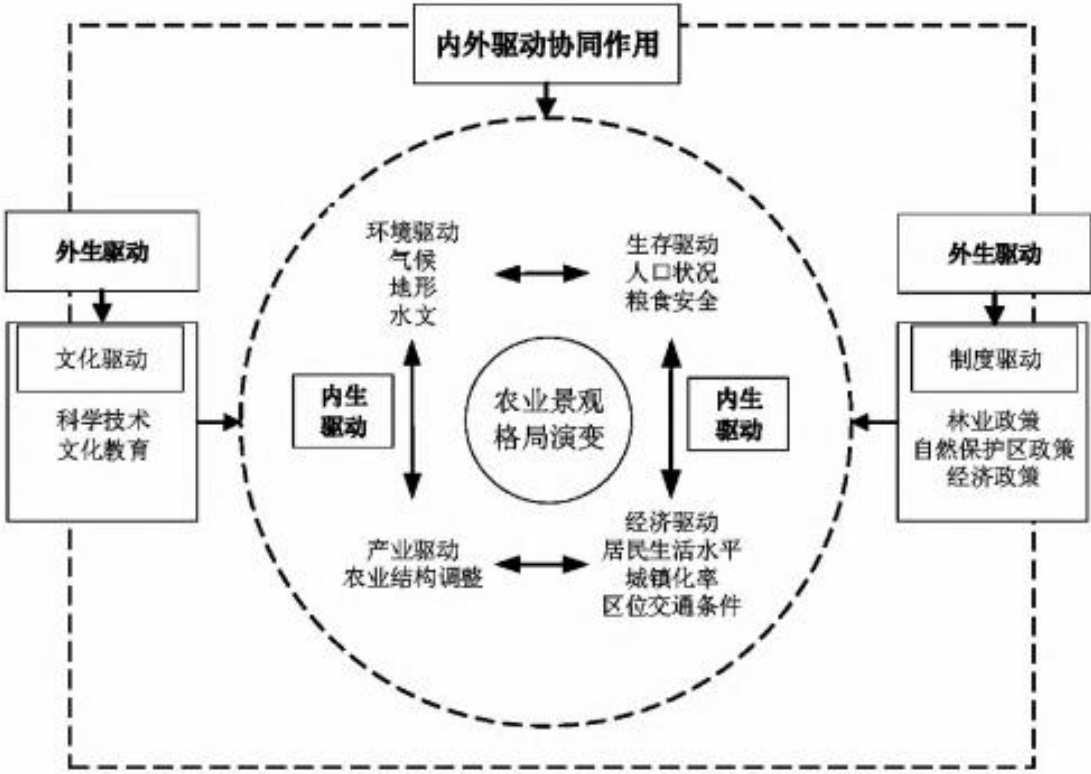


图 1 农业景观格局演变的驱动力

三、变量描述与数据说明

(一) 计量模型

杜宾模型 (SDM) 是在空间滞后模型和空间误差模型的基础上产生的模型 [30], 包括解释变量以及被解释变量等空间滞后项。

一是考虑到农业景观格局演变是环境与生存、经济、产业、文化、制度等多因素综合作用的产物，也可将其视为多因素的共同体，考虑到研究区各乡镇间存在频繁的经济互动和人口流动，收入结构、产业选择、人口因素、文化因素等的差异可能会受到空间因素的影响，因而空间计量模型考虑到了各乡镇之间的空间依赖性；二是考虑到包括解释变量的空间滞后效应、来自空间相邻被解释变量的空间溢出效应以及空间相邻解释变量的空间滞后效应，而杜宾空间模型能更好地控制可能存在的空间溢出行为的变量和提高其结果的稳健性。因此，本文采用杜宾空间模型作为理论模型研究农业景观格局演变问题。其基本表达式：

$$Y_{it} = \alpha_i + \lambda_t + \rho WY_{it} + X_{it}\beta + WX_{it}\theta + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

其中，Y为被解释变量，代表农业景观变化，X为解释变量，为驱动因子，ε为随机变量，WY和WX分别为被解释变量和解释变量的空间滞后项，ρ、β和θ为回归系数向量，α_i和λ_t表示固定效应系数。

(二) 变量选择与说明

科学合理地选择石柱县农业景观时空演变的驱动因子，是进行农业景观格局时空演变驱动分析的基础，对于驱动机制的结论至关重要。农业景观格局变化驱动力即导致农业景观变化的各种因素及其作用程度。模型中的解释变量在选取驱动因子时本文遵循全面性原则、科学性原则、典型性原则、独立性原则、关联性原则、可行性原则，选取环境驱动、生存驱动、经济驱动、产业驱动、文化驱动和政策制度驱动6个维度的因素。结合已有文献，对三个指标层次分别选取3-8个单项指标构成农业景观格局演变驱动因素指标体系(表1)。

表1 农业景观格局演变驱动力评价指标

一级指标	二级指标	三级指标(变量名, 单位)	数据性质
环境驱动	气候	X1 降雨量(ml)	空间数据
		X2 高程(m)	空间数据
		X3 坡度(°)	空间数据
		X4 坡向	空间数据
	水文	X5 距离主要河流的距离(km)	空间数据
生存驱动	人口状况	X6 户籍人口(人)	非空间数据
		X7 农业人口(人)	非空间数据
		X8 人口自然增长率(%)	非空间数据
		X9 人均耕地面积(hm ² /人)	非空间数据

	粮食安全	X10 粮食总产量(kg)	非空间数据
		X11 人均粮食产量(人/kg)	非空间数据
		X12 年末耕地面积(亩)	非空间数据
经济驱动	居民生活水平	X13 农民人均纯收入(元)	非空间数据
		X14 农村经济总收入(万元)	非空间数据
		X15 农村住宅平均面积(m ² /人)	非空间数据
	城镇化率	X16 城镇化率(%)	非空间数据
	区位交通条件	X17 距离最近乡镇中心距离(km)	空间数据
		X18 距离生态红线距离(km)	空间数据
		X19 距离公路的距离(km)	空间数据
		X20 距离农村居民点距离(km)	空间数据
文化驱动	科技水平	X21 粮食单产(kg/hm ²)	非空间数据
		X22 耕地单位化肥使用量(kg/hm ²)	非空间数据
	文化教育	X23 在校学生人数(人)	非空间数据
产业驱动	农业结构调整	X24 第一产业 GDP 比重(%)	非空间数据
		X25 第二产业 GDP 比重(%)	非空间数据
		X26 第三产业 GDP 比重(%)	非空间数据
		X27 建设用地比重(%)	非空间数据
制度驱动	林业政策	X28 森林覆盖率(%)	非空间数据
	自然保护政策	X29 距离自然保护区距离(km)	空间数据
	经济政策	X30 专业经济组织增加村(个)	非空间数据

(三)数据来源

本文采用石柱县规划和自然资源局提供的 2005 年、2010 年、2015 年、2020 年的 4 期土地利用变更调查数据库,其中 2005 年数据为第一次土地调查数据,2010—2020 年数据为第二次土地调查数据,通过投影转换和边界校正后全部研究范围一致、图斑边界一致,具有可比性,能满足研究需求。以石柱县 32 个乡镇微观数据为研究样本,并依照功能主导、差异性、地方特色原则,根据研究区农业景观的微地形特性,考虑农业景观研究尺度的特点,在土地利用矢量数据库基础上进行景观类型重分类,形成生产型农业景观、生活型农业景观、生态型农业景观和拓展型农业景观四种农业景观类型(表 2)。通过对四期数据进行分析,用于研究石柱县农业景观演变过程和规律。其中生态环境数据、DEM 数据(5m 分辨率)、永久基本农田、2006—2020 年土地利用总体规划数据来源于石柱县规划和自然资源局,影像数据来源于 GOOGLE 地图(分辨率 5m),气象数据来源于重庆市气象局,其他数据如行政区划图主要来源于国家基础地理信息中心。社会经济数据来源于石柱县统计局、重庆市统计局和石柱县农业农村委;此外还包括实地调研和收集到的 32 个乡镇统计数据和调研数据。

表 2 石柱县农业景观分类及构成

类型	构成	分类依据
生产型农业景观	耕地、坑塘、人工牧草地、园地(除果园和茶园之外)、设施农用地、沟渠	主导功能以农业生产功能为主的土地
生活型农业景观	农村宅基地、农村道路	主导功能农业景观是满足乡村生活需要、交通承载功能为主的土地
生态型农业景观	草地(天然牧草地、其他草地)、水域景观(河流、滩涂)、林地	主导功能是维护和保持地区生态功能为主
拓展型农业景观	风景名胜及特殊用地、园地(果园、茶园)、水域景观(水库水面)、裸地	主导功能是乡村振兴中观光农业、休闲旅游、潜在开发价值功能为主的土地

四、农业景观格局演变驱动因素的实证考察

(一)空间相关性检验分析

为了检验各驱动因素对各类型农业景观转化是否具有空间效应,对解释变量进行空间自相关性检验,判断其是否适合空间计量模型来分析各驱动因素对农业景观面积变化的影响,本文基于上述模型变量的设定,通过 ArGIS 软件测算石柱县四个农业景观类型面积变化和驱动因素的 Moran's I 指数,检验其空间效应(表 3)。由表可知,研究期内,生产型、生态型、拓展型农业景观面积变化的 Moran's I 指数都大于 0,均通过显著性水平检验,表明石柱县生产型、生态型、拓展型农业景观面积变化在地理空间上并非随机分布,而是存在显著正向全局空间自相关性特征,邻近乡镇之间农业景观面积变化在地理空间上存在相互作用影响。生活型农业景观面积变化的 Moran's I 指数除 2015—2020 年外,其他两个年段大于 0,说明 2005—2010 年、2010—2015 年石柱县生活型农业景观面积变化量之间存在显著空间正相关;2015—2020 年 Moran's I 小于 0,说明数据呈现空间负相关,说明生活型农业景观面积变化量在地理空间上呈现负相关,生活型农业景观面积变化随解释变量的增长而减少。

通过空间自相关检验得知,农业景观面积变化的驱动因子存在空间自相关特征,并非彼此独立,为空间计量模型的应用提

供了统计学检验前提和基础条件。

表 3 各类农业景观的空间相关性检验结果

年份	景观类型	Moran' s Index	Z-score	P-value
2005—2010 年	A 生产型	0.274 3***	2.959 6	0.003 1
	B 生活型	0.351 2***	3.723 0	0.000 2
	C 生态型	0.268 1***	2.960 4	0.003 1
	D 拓展型	0.162 4**	1.975 1	0.048 3
2010—2015 年	A 生产型	0.070 8**	1.177 0	0.039 2
	B 生活型	0.124 6***	1.522 8	0.007 8
	C 生态型	0.060 7***	0.919 0	0.008 1
	D 拓展型	0.066 3***	1.170 3	0.001 9
2015—2020 年	A 生产型	0.137 5***	1.645 6	0.009 8
	B 生活型	-0.035 9***	-0.034 6	0.002 4
	C 生态型	0.067 4**	1.041 9	0.007 5
	D 拓展型	0.041 0**	0.765 7	0.043 9

注：***、**、*分别表示在 0.01、0.05、0.1 的水平上显著，下同

(二) 模型回归结果

运用杜宾空间动态模型构建农业景观变化模型时，得到结果如下表 4、5、6、7 所示，需要说明的是，本文计算所得结果仅是相对重要性，并非绝对量化的重要性。借助 Stata 软件，利用空间面板程序代码分别对空间杜宾模型(SDM)进行参数估计。从模型模拟效果来看，SDM 估计结果的拟合优度(R-squared)均大于 0.6,高于传统普通面板拟合优度，说明将空间效应纳入计量模型可以提升模拟的解释力度。

1. 转化为生产型农业景观的驱动力分析

根据显著水平统计量(表 4)，城镇化率、距离最近乡镇中心距离、森林覆盖率对农业景观变化产生正向影响，表明这些变量增长会导致生产型农业景观面积的同向变化，由此说明生产型农业景观随城镇化率、距离最近乡镇中心距离、森林覆盖率的增加呈上升趋势。距离主要河流的距离、粮食总产量、年末耕地面积、距离农村居民点距离和粮食单产对生产型农业景观转化产生负向影响。例如距离主要河流的距离越近，转化为生产型农业景观面积就越大；粮食总产量下降，将引起该地区生产型农业

景观面积持续增加；年末耕地面积下降，将引起该地区其他农业景观向生产型农业景观转化。从直接效应来看，城镇化率、距离最近乡镇中心距离、森林覆盖率为正，表明这些因素的提升能显著推动其他农业景观转化为生产型农业景观。粮食总产量、年末耕地面积、距离农村居民点距离、粮食单产对转化为生产型农业景观产生了负向影响，不利于转化为生产型农业景观。间接效应上，城镇化率、距离最近乡镇中心距离为正，说明城镇化率、距离最近乡镇中心距离提升对周围邻近地区生产型农业景观面积变化有显著的溢出效应，可以促进和带动周围邻近地区其他农业景观转化为生产型农业景观；粮食总产量、年末耕地面积、森林覆盖率没有通过显著性检验，说明这些因素对周围邻近区域生产型农业景观面积变化尚未形成统计学意义上的显著溢出效应。总之，城镇化率、距离最近乡镇中心距离不仅是转化为生产型农业景观的有利驱动因子，同时也能带动邻近区域其他景观转化为生产型农业景观，森林覆盖率不能带动邻近区域其他景观转化为生产型农业景观。这些因素分属于经济驱动、生存驱动、制度驱动，因此生存驱动、经济驱动和制度驱动是生产型农业景观格局演变的重要因素。

表 4 转化为生产型农业景观的杜宾模型分析结果

权重矩阵	杜宾模型				
	Main	WX	LR_Direct	LR_Indirect	LR_Total
X5 距离主要河流的距离	-1.012 *** (0.00)	-1.753 *** (0.00)	-1.024*** (0.00)	-1.856** (0.01)	-2.880*** (0.00)
X10 粮食总产量	-0.014* (0.09)	-0.032* (0.10)	-0.014* (0.09)	-0.032 (0.11)	-0.046** (0.04)
X12 年末耕地面积	-0.006 *** (0.00)	-0.003 (0.48)	-0.006*** (0.00)	-0.003 (0.45)	-0.009* (0.09)
X16 城镇化率	3.974*** (0.01)	7.414** (0.05)	3.932** (0.01)	7.698** (0.03)	11.630*** (0.00)
X17 距离最近乡镇中心的距离	0.191*** (0.00)	0.423*** (0.00)	0.198*** (0.00)	0.442*** (0.00)	0.640*** (0.00)

X20 距离农村居民点距离	-2.120 *** (0.00)	-4.332 *** (0.00)	-2.148*** (0.00)	-4.453*** (0.00)	-6.601*** (0.00)
X21 粮食单产	-0.777** (0.03)	-2.599 *** (0.00)	-0.788** (0.02)	-2.626*** (0.01)	-3.414*** (0.00)
X28 森林覆盖率	4.808* (0.09)	-1.592 (0.78)	4.882* (0.08)	-1.193 (0.84)	3.689 (0.61)
R-squared	0.623	0.623	0.623	0.623	0.623

2. 转化为生活型农业景观的驱动力分析

生活型农业景观驱动模型的显著性检验可知(表 5), 降雨量、高程、户籍人口、粮食总产量、距离最近乡镇中心距离、距离公路的距离为正向指标, 这些因子隶属于环境驱动、生存驱动、经济驱动; 农业人口、人均粮食产量、年末耕地面积、城镇化率、距离农村居民点距离、耕地单位化肥使用量、专业经济组织增加村、距离自然保护区距离为负向指标, 这些因子隶属于生存驱动、经济驱动、文化驱动(科技因子)、制度驱动, 其中专业经济组织增加村对生活型农业景观的驱动权重最大。直接效应来看, 降雨量、高程、户籍人口、距离最近乡镇中心距离、距离公路的距离为正, 表明这些因素的提升能显著推动农业景观面积变化; 人均粮食产量、年末耕地面积、城镇化率、距离农村居民点距离、耕地单位化肥使用量、距离自然保护区距离为负, 并都通过了显著性水平检验, 说明人均粮食产量、年末耕地面积、城镇化率、距离农村居民点距离、耕地单位化肥使用量、距离自然保护区距离对农业景观面积变化产生了负向影响, 不利于转化为生活型农业景观面积。间接效应来看, 户籍人口、距离最近乡镇中心距离、距离公路的距离通过了显著性检验, 且为正向影响, 说明户籍人口、距离最近乡镇中心距离、距离公路的距离提升对周围邻近地区农业景观面积变化有显著的溢出效应, 可以促进和带动周围邻近地区农业景观面积变化; 降雨量、高程没有通过显著性检验, 说明这两个因素对周围邻近区域生活型农业景观面积变化尚未形成统计学意义上的显著溢出效应。综上所述可知, 环境驱动、生存驱动、经济驱动是推动转化成生活型农业景观的有利因子, 而文化驱动(科技因子)、制度驱动不利于转化成生活型农业景观。

表 5 转化为生活型农业景观杜宾模型结果

权重矩阵	杜宾模型权重				
	Main	Wx	LR_Direct	LR_Indirect	LR_Total0
变量名称					

X1 降雨量	0.866** (0.05)	-0.481 (0.37)	0.880** (0.03)	-0.021 (0.98)	0.858* (0.10)
X2 高程	0.074** (0.04)	0.065 (0.40)	0.090** (0.01)	0.209 (0.19)	0.299* (0.09)
X6 户籍人口	0.002*** (0.00)	0.007*** (0.00)	0.003*** (0.00)	0.017*** (0.00)	0.020*** (0.00)
X7 农业人口	-0.005*** (0.00)	-0.014*** (0.00)	-0.008*** (0.00)	-0.035*** (0.00)	-0.043*** (0.00)
X10 粮食总产量	0.007*** (0.00)	0.009*** (0.01)	0.009*** (0.00)	0.026*** (0.00)	0.036*** (0.00)
X11 人均粮食产量	-0.099*** (0.00)	-0.158*** (0.01)	-0.136*** (0.00)	-0.455*** (0.00)	-0.591*** (0.00)
X12 年末耕地面积	-0.001* (0.07)	-0.002** (0.01)	-0.001** (0.02)	-0.004** (0.03)	-0.005** (0.02)
X16 城镇化率	-0.694*** (0.00)	-0.357 (0.55)	-0.833*** (0.01)	-1.568 (0.24)	-2.401 (0.12)
X17 距离最近乡镇中心距离	0.026*** (0.00)	0.024 (0.13)	0.034*** (0.00)	0.085** (0.05)	0.120** (0.02)
X19 距离公路的距离	0.033*** (0.00)	0.065*** (0.00)	0.048*** (0.00)	0.181*** (0.00)	0.229*** (0.00)
X20 距离农村居民点距离	-0.256*** (0.00)	-0.218 (0.14)	-0.322*** (0.00)	-0.770* (0.05)	-1.092** (0.01)

X22 耕地单位化肥使用量	-0.249** (0.03)	-0.466 (0.12)	-0.354** (0.01)	-1.251* (0.06)	-1.605** (0.04)
X29 距离自然保护区距离	-3.353*** (0.00)	-4.155** (0.02)	-4.345*** (0.00)	-12.771*** (0.01)	-17.115 *** (0.00)
X30 专业经济组织增加村	-0.009*** (0.00)	0.017*** (0.00)	-0.007** (0.01)	0.025** (0.03)	0.018 (0.17)
R-squared	0.621	0.621	0.621	0.621	0.621

但城镇化进程的加速和常住人口的增加，以及外来人口的迁入，加大了对基础设施以及住房的需求，所以城镇化率、距离农村居民点距离、距离最近乡镇中心的距离对生活型农业景观的影响越显重要。

3. 转化为生态型农业景观的驱动力分析

从表 6 可以得出杜宾回归的解释率为 67.1%，表明模型拟合效果较好，其中有 9 个因子通过显著性检验。其中距离主要河流的距离、农业人口、年末耕地面积、农民人均纯收入、距离农村居民点距离、距离自然保护区距离、粮食单产为正向指标，说明这些指标对其他农业景观转化为生态型农业景观起正向作用，而城镇化率、距离最近乡镇中心距离为负向指标，对其他农业景观转化为生态型农业景观起负向作用。从直接效应来看，距离主要河流的距离、农业人口、年末耕地面积、农民人均纯收入、距离农村居民点距离、距离自然保护区距离、粮食单产为正，表明这些因素的提升能显著推动其他农业景观转化为生态型农业景观；城镇化率、距离最近乡镇中心距离为负，均通过显著性水平检验，说明城镇化率、距离最近乡镇中心距离对农业景观面积变化产生了负向影响，不利于转化为生态型农业景观。间接效应上，距离主要河流的距离、距离最近乡镇中心距离、距离农村居民点距离、粮食单产通过了显著性检验，其中距离主要河流的距离、距离农村居民点距离、粮食单产为正向影响，说明户籍人口、距离最近乡镇中心距离、距离公路的距离提升对周围邻近地区生态型农业景观面积变化有显著的溢出效应，可以促进和带动周围邻近地区生态型农业景观面积变化；农业人口、年末耕地面积、农民人均纯收入、城镇化率没有通过显著性检验，说明这些因素对周围邻近区域生态型农业景观面积变化尚未形成统计学意义上的显著溢出效应。从总体上来看，环境驱动、生存驱动、经济驱动、文化驱动、制度驱动是推动转化成生态型农业景观转化的重要因素。

表 6 转化为生态型农业景观的杜宾模型结果

权重矩阵	杜宾模型权重				
	Main	Wx	LR_Direct	LR_Indirect	LR_Total
X5 距离主要河流的距离	1.150*** (0.00)	1.961*** (0.00)	1.184*** (0.00)	2.161*** (0.01)	3.345*** (0.00)

X7 农业人口	0.015** (0.05)	0.026 (0.22)	0.015* (0.05)	0.028 (0.22)	0.043* (0.09)
X12 年末耕地面积	0.006*** (0.00)	0.005 (0.24)	0.006*** (0.00)	0.006 (0.25)	0.012* (0.05)
X13 农民人均纯收入	0.071* (0.05)	0.115 (0.23)	0.070* (0.05)	0.131 (0.21)	0.201* (0.08)
X16 城镇化率	-3.043* (0.06)	-5.143 (0.20)	-3.191* (0.06)	-5.654 (0.17)	-8.845* (0.06)
X17 距离最近乡镇中心的距离	-0.218 *** (0.00)	-0.496*** (0.00)	-0.219*** (0.00)	-0.537*** (0.00)	-0.756 *** (0.00)
X20 距离农村居民点距离	2.437*** (0.00)	4.813*** (0.00)	2.495*** (0.00)	5.282*** (0.00)	7.777*** (0.00)
X21 粮食单产	0.964** (0.01)	2.465** (0.01)	1.002*** (0.01)	2.749** (0.01)	3.751*** (0.00)
X29 距离自然保护区距离	0.030* (0.07)	0.039 (0.27)	0.028* (0.10)	0.042 (0.25)	0.070* (0.06)
R-squared	0.671	0.671	0.671	0.671	0.671

4. 转化为拓展型农业景观的驱动力分析

由表 7 可知杜宾回归的解释率为 61.9%，13 个指标通过了显著性水平检验。其中农业人口、城镇化率、人口自然增长率、在校学生人数、建设用地比重、专业经济组织增加村等为正向因子，说明这些变量增长将引发其他农业景观向拓展型农业景观转化，因此农业人口、城镇化率、人口自然增长率、在校学生人数、建设用地比重、专业经济组织增加村等因素有利于转化为拓展型农业景观。降雨量、距离主要河流的距离、户籍人口、距离公路的距离、第一产业比重、第二产业比重、第三产业比重为负向因子，表明降雨量、距离主要河流的距离、户籍人口、距离公路的距离、第一产业比重、第二产业比重、第三产业比重等下降，将引起该地区转变为拓展型农业景观呈持续上升趋势。从直接效应来看，农业人口、人口自然增长率、城镇化率、在校学生人数、建设用地比重、专业经济组织增加村为正，均通过显著性水平检验，表明这些因素的提升能显著推动其他农业景观转化为拓展型农业景观；降雨量、距离主要的河流距离、户籍人口、距离公路的距离、第一产业比重、第二产业比重、第三产业比重为负，均通过显著性水平检验，说明这些因素对拓展型农业景观面积变化产生了负向影响，不利于该地区其他农业景观转化为拓展型农业景观。从间接效应来看，户籍人口、距离公路的距离、在校学生人数、第一产业比重、第二产业比重、第三产业比重为正向影响，说明户籍人口、距离公路的距离的提升对周围邻近地区转化为拓展型农业景观有显著的溢出效应，可以促进和带动周围邻近地区转化为拓展型农业景观；农业人口、人口自然增长率、城镇化率没有通过显著性检验，说明这些因素对周围邻近区域拓展型农业景观面积变化尚未形成统计学意义上的显著溢出效应。

表 7 转化为拓展型农业景观的杜宾模型结果

权重矩阵	杜宾模型权重				
	变量名称	Main	Wx	LR_Direct	LR_Indirect
X1 降雨量	-1.657** (0.03)	1.390 (0.16)	-1.670** (0.05)	1.428 (0.16)	-0.243 (0.51)
X5 距离主要河流的距离	-0.232*** (0.00)	-0.185 (0.31)	-0.228*** (0.00)	-0.157 (0.36)	-0.385* (0.07)
X6 户籍人口	-0.006*** (0.00)	-0.015*** (0.00)	-0.006*** (0.00)	-0.014*** (0.00)	-0.019*** (0.00)
X7 农业人口	0.005** (0.02)	0.007 (0.21)	0.005** (0.03)	0.006 (0.25)	0.011* (0.07)
X8 人口自然增长率	3.795** (0.02)	4.895 (0.23)	3.629** (0.01)	4.210 (0.28)	7.839* (0.09)
X15 城镇化率	0.882** (0.05)	0.294 (0.79)	0.858* (0.06)	0.204 (0.83)	1.062 (0.30)
X19 距离公路的距离	-0.050** (0.01)	-0.088** (0.01)	-0.048** (0.01)	-0.074** (0.02)	-0.122*** (0.01)
X23 在校学生人数	0.027*** (0.00)	0.048*** (0.00)	0.025*** (0.00)	0.042*** (0.01)	0.067*** (0.00)
X24 第一产业比重	-12.992* (0.06)	-51.850 *** (0.00)	-12.074* (0.07)	-47.235*** (0.00)	-59.309 *** (0.00)

X25 第二产业比重	-14.648** (0.03)	-54.591 *** (0.00)	-13.640** (0.04)	-49.565*** (0.00)	-63.206 *** (0.00)
X26 第三产业比重	-15.667** (0.03)	-51.645 *** (0.00)	-14.888** (0.03)	-46.983*** (0.01)	-61.872 *** (0.00)
X27 建设用地比重	8.258** (0.02)	36.839*** (0.00)	7.555 (0.03)	33.157** (0.00)	40.712*** (0.00)
X30 专业经济组织增加村	2.818*** (0.01)	10.780*** (0.00)	2.687*** (0.01)	9.648*** (0.00)	12.335*** (0.00)
R-squared	0.619	0.619	0.619	0.619	0.619

总之，显著影响拓展型农业景观变化的主要因子依然是生存驱动、产业驱动、制度驱动，经济驱动、文化驱动居次要地位。综上所述，农业景观格局演变的驱动因素可以总结为两个方面，一是内生驱动，即农业景观之间内在转化导致农业景观面积数量的增加与减少的重要因素，主要是生产型农业景观转化为生活型或生态型农业景观、拓展型农业景观；二是外生驱动，主要来自政策制度的影响、价值观念转变导致城市建设用地占用农业景观的空间以及生活型农业景观、拓展型农业景观和生态型农业景观占用生产型农业景观的空间。

五、结论与建议

(一) 结论

基于2005年、2010年、2015年、2020年4期土地利用数据，以石柱县农业景观为研究对象，选取驱动农业景观格局演变的六个维度因素，运用杜宾空间模型深入探究山地农业景观演变的驱动力，可为山地农业景观保护政策、促进西南山区社会经济高质量发展提供理论指导。主要结论为：(1)山区农业景观格局演变是多种因素共同推动的结果，其中生存驱动、经济驱动和制度驱动是影响生产型农业景观格局演变的重要因子；生存驱动、经济驱动、制度驱动是生活型农业景观格局演变的核心因子；环境驱动、生存驱动、经济驱动是生态型农业景观格局演变的驱动因素；生存驱动、产业驱动、制度驱动是拓展型农业景观格局演变的关键驱动因素，经济驱动、文化驱动是次要驱动要素。(2)农业景观格局演变的驱动因素可以总结为两个方面，一是内在驱动，即农业景观之间的内在转化是导致农业景观面积数量的增加与减少的重要因素；二是外生因素驱动，主要来自于政策制度的影响、价值观念转变导致城市建设用地占用农业景观的空间。生产型、生活型、生态型、拓展型农业景观变化驱动因素研究中，排名居前的均是生存驱动、制度驱动、经济驱动和产业驱动，这些因素分别隶属于内生驱动和外生驱动，说明石柱县农业景观演变是内外因素共同作用的结果。本文的理论分析与实证研究结果表明，山区农业景观格局演变的驱动力是多元的。

(二) 政策建议

石柱县城镇建设和社会生产实践在为社会经济带来快速发展的同时，也导致了生产型农业景观被占用以及生态型农业景观因开发而出现水土流失等一系列生态失调情况，给区域可持续发展带来了较大影响。尽管近年来石柱县已采取系列举措保护各类农业景观，未来仍需预警生产型农业景观的减少对粮食安全可能产生的威胁，以及拓展型农业景观(未利用地)预留不足无法为城乡融合发展的土地利用周转给予足够支撑等问题。因此，在未来发展中，石柱县应综合考虑经济、产业发展、城镇扩张、生存因素及政策制度等情况对农业景观利用及景观格局带来的影响，注重农业景观空间的可持续发展。破解农业景观格局演变的现状，应从以下方面着手。

第一，协调农业景观用地与社会经济发展的关系，结合政策制度合理调配农业景观用地结构。首先，需要科学制定石柱县农业景观各类用地的总量平衡目标，具体包括：生产型、生态型、生活型和拓展型农业景观等各类用地在宏观调控导向下需求与供给的总体平衡。另外，还需调整包括以建设用地为核心的生活型农业景观用地的供给规模与时序，达到供需总体平衡，服务于国家的宏观调控。调整各类型农业景观用地的结构优化目标。在农业景观总量调控平衡基础上，农业景观利用结构趋于合理。生产型、生活型和拓展型农业景观结构比重直接与国民经济结构和社会发展相关联，警惕生产型农业景观数量锐减可能会导致粮食安全形势严峻。因此，如何协调和保护生产型农业景观与社会经济发展的关系是保障石柱县社会经济有序发展的重要课题。基于此，石柱县应当从政策和制度着手，合理调整和分配农业景观用地的结构比例，坚守以耕地为核心的生产型农业景观的保护红线，同时结合现实需要科学制定石柱县生产型和生活型农业景观的年度用地计划，不断优化农业景观结构，达到农业景观资源的合理分配，满足社会的基本需求，适应国家宏观调控的趋势与导向。

第二，科学划分各类农业景观功能区并加强对各类农业景观功能区的用途管控和空间管控。石柱县生产型农业景观资源的锐减，主要是因为城镇化的发展所导致的城镇人口的增加和城镇空间的拓展，大量生产型农业景观资源出现非农化。而为了缓解城镇化所导致的生产型农业景观脆弱性，应当合理确定各类农业景观功能分区，提高各种农业景观资源的综合利用效率，同时不断提高生活型农业景观的承载能力。还要科学规划以生活型农业景观和其他景观为核心的城市建设边界条件，整体控制城镇建设用地开发强度、土地投资强度和人均用地指标，避免城镇建设中的无序扩张。

第三，提高农业景观的竞争力和丰富农村经济的多样性，减少生存因素、产业因素对农业景观格局演变的影响。农业景观资源的有限性和人们需求的不断增长之间的矛盾，促使我们更需进一步思考和提升农业景观资源的竞争力和丰富农村经济的多样化，而农业景观的多功能发展是解决该矛盾的重要途径。2017年中央一号文件提出“大力发展乡村休闲旅游产业，推进农业、林、旅产业与康养、教育、文化产业等的深度融合发展”，这一指导思想为农业景观的多功能发展提供了重要方向，休闲农业、康养经济和休闲生态旅游将是农业景观未来功能拓展的方向。根据石柱县地形地貌特征和生态屏障区的功能定位。一是要进行合理规划，加强对生产型农业景观资源的保护，增加拓展型农业景观比重。二是调整农业产业比重，优化景观结构，充分利用石柱县生态型农业景观占主导地位这一优势，合理利用和保护生态型农业景观资源，在确保生态型农业景观面积的情况下，增加生态型农业景观种类的多样性。三是大力发展农业景观的休闲、旅游和康养功能，提高农业景观的整体稳定性。

参考文献:

- [1] 黄孟琴, 李阳兵, 冉彩霞, 等. 三峡库区腹地山区农业景观格局动态变化与转型[J]. 地理学报, 2021(11):2749-2764.
- [2] WADDUWAGE S. Peri-urban agricultural land vulnerability due to urban sprawl - a multi-criteria spatially-explicit scenario analysis [J]. Journal of land use science, 2018(3):358-374.
- [3] 张佰林, 高江波, 高阳, 等. 中国山区农村土地利用转型解析 [J]. 地理学报, 2018(3):503-517.
- [4] KUMARASWAMY S, KUNTE K. Integrating biodiversity and conservation with modern agricultural landscapes [J]. Biodiversity and conservation, 2013(12):2735-2750.

-
- [5] 张秋菊, 傅伯杰, 陈利顶. 关于景观格局演变研究的几个问题 [J]. 地理科学, 2003(3):264-270.
- [6] 江娟丽, 杨庆媛, 张忠训, 等. 农业景观研究进展与展望 [J]. 经济地理, 2021(6):223-231.
- [7] 许丽, 胡春元, 赵海燕, 等. 半干旱丘陵区农业景观空间格局研究——以内蒙古和林格尔县胜利营乡为例 [J]. 水土保持研究, 2002(4):201-203.
- [8] 李新通, 朱鹤健. 闽东南沿海地区农业景观变化及其驱动因素——以大南坂农场为例 [J]. 资源科学, 2000(1):35-39.
- [9] SERRA P, PONS X, SAURI D. Land-cover and land-use change in a Mediterranean landscape: A spatial analysis of driving forces integrating biophysical and human factors [J]. Applied geography, 2008(3):189-209.
- [10] 姜鑫, 安裕伦. 3S 技术在贵州喀斯特地区农业景观格局分析的应用——以普安县为例 [J]. 贵州师范大学学报(自然科学版), 2009(3):36-39.
- [11] 周忠学. 城市化背景下农业景观变化对生态服务影响——以西安都市圈为例 [J]. 干旱区地理, 2015(5):1004-1013.
- [12] 石云, 何文秀, 耿莎, 等. 银川城郊农业景观格局变化分析 [J]. 湖北农业科学, 2015(22):5588-5593.
- [13] 黄宝荣, 张慧智, 王学志. 城市扩张对北京市城乡结合部自然和农业景观的影响——以昌平区三镇为例 [J]. 生态学报, 2014(22):6756-6766.
- [14] 哈孜亚·包浪提将, 毋兆鹏, 等. 乌鲁木齐市景观格局变化及驱动力分析 [J]. 生态科学, 2018(1):62-70.
- [15] 廖梓均, 毛霞. 山地城市土地利用的景观破碎化时空演变与驱动力分析 [J]. 中国资源综合利用, 2022(7):73-78.
- [16] 张云彬, 王云, 陈静媛, 等. 土地利用转型影响下大别山区景观格局演变及驱动力研究——以安徽省六安市金寨县为例 [J]. 华中农业大学学报(自然科学版), 2022(3):56-68.
- [17] 周媛, 陈娟. 川西林盘景观格局变化及驱动力分析 [J]. 四川农业大学学报, 2017(2):241-250.
- [18] 孙才志, 闫晓露. 基于 GIS-Logistic 耦合模型的下辽河平原景观格局变化驱动机制分析 [J]. 生态学报, 2014(24):7280-7292.
- [19] 傅伯杰, 赵文武, 陈利顶. 景观生态学原理及应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [20] 黄淑玲, 周洪建, 王静爱, 等. 中国退耕还林(草)驱动力的多尺度分析 [J]. 干旱区资源与环境, 2010(4):112-116.
- [21] 吴健生, 王政, 张理卿, 等. 景观格局变化驱动力研究进展 [J]. 地理科学进展, 2012(12):1739-1746.
- [22] HU T, LIU J, ZHENG G, et al. Evaluation of historical and future wetland degradation using remote sensing imagery and land use modeling [J]. Land degradation and development, 2020(1):65-80.

-
- [23] ERWIN K L. Wetlands and global climate change: the role of wetland restoration in a changing world [J]. *Wetlands ecology and management*, 2009(1):71-84.
- [24] 韩艳莉. 气候与景观格局变化对青海湖流域生态系统服务的影响 [D]. 西宁: 青海师范大学, 2021.
- [25] 刘蕴瑶, 殷有, 温一博, 等. 基于 SWAT 模型社河流域径流对流域景观格局变化的响应 [J]. *沈阳农业大学学报*, 2021(3):295-305.
- [26] 韩旭, 边晓辉, 刘友存. 银川市景观格局变化对水资源利用的影响探究 [J]. *江西理工大学学报*, 2019(3):62-67.
- [27] VEZINA K, BONN F, VAN C P. Agricultural land-use patterns and soil erosion vulnerability of watershed units in Vietnam's northern highlands [J]. *Landscape ecology*, 2006(8):1311-1325.
- [28] 徐中民, 钟方雷, 焦文献. 水—生态—经济系统中人文因素作用研究进展 [J]. *地球科学进展*, 2008(7):723-731.
- [29] 张敏, 宫兆宁, 赵文吉, 等. 近 30 年来白洋淀湿地景观格局变化及其驱动机制 [J]. *生态学报*, 2016(15):4780-4791.
- [30] 赵巧芝. 基于空间杜宾模型的中国技术创新系统发展驱动力研究——来自省域面板数据的实证检验 [J]. *软科学*, 2021(12):15-21.