陇中黄土高原耕地利用转型时空演变特征及影响因素

王永强，任倩倩，谢保鹏，陈 英，裴婷婷，柴 悦
（甘肃农业大学 管理学院，甘肃 兰州 730070）

摘 要：［目的］探究县域耕地利用转型的时空演变及驱动因素，为实现区域农业的可持续发展，以及推动县域经济、社会和生态的全面协调发展提供科学依据。［方法］以甘肃省定西市通渭县各个乡镇为研究单元，运用“空间-功能”形态分析框架，结合熵值法、空间自相关分析及地理探测器模型，对通渭县 2005—2022 年耕地利用转型时空动态特征及驱动因素进行了深入分析。［结果］①研究期内，通渭县耕地利用转型指数总体呈上升趋势，其中 2008—2013 年增长显著，2013 年达到峰值（0.389），耕地利用空间形态转型指数从 2005 年的 0.130 上升至 2022 年的 0.147，提升区主要分布在西南部和北部；功能形态转型指数显著上升，从 2005 年的 0.082 上升至 2022 年的 0.133，且各乡镇功能转型差异逐渐缩小。②研究期内区域耕地利用转型全局自相关性不显著，整体空间分布较为随机；空间形态转型呈现显著正相关，呈现出东高西低的稳定分布趋势；功能形态转型呈现出南部集聚，东北部扩散的变化趋势。③自然因素是区域耕地利用转型的基础性影响因素，社会经济发展及土地整治工程等政策因素则对其起到了明显的促进作用。耕地利用转型受空间形态与功能形态转型影响因子的双因子增强和非线性增强作用共同推动。［结论］未来需要通过协同推进农业生产条件改善，村集体经济组织壮大及提高农户耕地保护意识，多维度推动耕地利用转型的可持续发展。

关键词：耕地利用转型；时空演变特征；熵值法；空间自相关；地理探测器；甘肃省定西市通渭县
文献标识码：A **文章编号：**1000-288X（2026）04-0407-14 **中图分类号：**F303.4

文献参数：王永强，任倩倩，谢保鹏，等.陇中黄土高原耕地利用转型时空演变特征及影响因素[J].水土保持通报，2026，46（4）：407-420. Wang Yongqiang, Ren Qianqian, Xie Baopeng, et al. Spatiotemporal evolution characteristics and influencing factors of cultivated land use transition on Loess Plateau in east Gansu Province [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2026, 46(4): 407-420.

DOI：10.13961/j.cnki.stbctb.2026.04.028 **CSTR：32312.14.stbctb.2026.04.028**

Spatiotemporal evolution characteristics and influencing factors of cultivated land use transition on Loess Plateau in east Gansu Province

Wang Yongqiang, Ren Qianqian, Xie Baopeng, Chen Ying, Pei Tingting, Chai Yue
(*Gansu Agricultural University*, *Lanzhou*, *Gansu* 730070, *China*)

Abstract: [Objective] The spatiotemporal evolution and driving factors of county-level cultivated land use transition were explored in order to provide a scientific basis for sustainable regional agriculture and the coordinated development of the county scale economy, society and ecology. [Methods] Taking each township in Tongwei County, Dingxi City, Gansu Province, on Longzhong Loess Plateau as the research unit, the “spatial-functional” morphology analysis framework, entropy weight method, spatial autocorrelation analysis, and geodetector were used to analyze the spatiotemporal dynamic characteristics and driving factors of cultivated land use transition in Tongwei County from 2005 to 2022. [Results] ① During the study period, the cultivated land use transition index in Tongwei County showed an overall upward trend, with significant growth from 2008 to 2013 and a peak in

收稿日期：2025-06-06 **修回日期：**2026-03-02 **采用日期：**2026-03-10
资助项目：甘肃省哲学社科规划项目“甘肃省耕地多功能空间利用价值提升与保护协同机制研究”（2025YB028）
第一作者：王永强（2001—），男（汉族），甘肃省通渭县人，硕士研究生，研究方向为土地资源管理。Email：2561976324@qq.com。
通信作者：谢保鹏（1988—），男（汉族），甘肃省甘谷县人，博士，副教授，硕士研究生导师，主要从事土地经济与农村土地制度研究。Email：xiebp@gsau.edu.cn。

2013 (0.389). The spatial morphology transition index of cultivated land use increased from 0.130 in 2005 to 0.147 in 2022, and the improvement areas were mainly distributed in the southwestern and northern parts. The functional morphology transition index increased significantly from 0.082 in 2005 to 0.133 in 2022, and differences among townships gradually decreased. ② During the study period, the global spatial autocorrelation of regional cultivated land use transition was not significant, and the overall spatial distribution was relatively random. Spatial morphology transition showed a significant positive correlation, with a stable distribution trend of higher values in the east and lower values in the west. Functional morphology transition showed a variation trend of clustering in the south and spreading in the northeast. ③ Natural factors were the fundamental influencing factors of regional cultivated land use transition, while policy factors such as socioeconomic development and land remediation projects played a significant promoting role. Cultivated land use transition was jointly driven by two-factor enhancement and nonlinear enhancement effects of the influencing factors of spatial and functional morphology transition. [Conclusion] In the future, the sustainability of cultivated land use transition should be promoted from multiple dimensions by improving agricultural production conditions, strengthening village collective economic organizations, and enhancing farmers' awareness of cultivated land protection.

Keywords: cultivated land use transition; spatiotemporal evolution characteristics; entropy weight method; spatial autocorrelation; geodetector; Tongwei County of Gansu Province

耕地是粮食安全的基石,也是社会稳定和民生福祉的重要保障。对于农业和人口大国而言,粮食安全是国计民生的核心,而耕地是其基本保障[1]。因此,耕地保护始终是国家高度重视的基础性和战略性议题。近年来,在城镇化和工业化的背景下,人口、产业和耕地之间的交融不断增强,这种交融直接驱动了城乡空间布局、产业结构及乡村形态的快速变化。与此同时,城乡要素势能的加速流转使得耕地利用问题愈发突出。在此背景下,中国耕地后备资源有限,生态环境约束较大的现实问题也逐渐浮现,极大限制了耕地数量的补充能力[2]。因此,如何在多重约束下推动耕地利用转型,实现耕地资源的可持续利用,已成为当前亟须解决的重大科学命题。

土地利用转型一词最早在1987年由Walker[3]分析欠发达国家森林砍伐时提出,用于描述采伐地被遗弃后转变为农地的过程。耕地利用转型是土地利用转型在耕地领域的具体表现,其概念界定由土地利用转型延伸而来。国外早期的研究主要集中在耕地利用变化的描述和制图方面。随着遥感、地理信息系统(GIS)等技术的发展,耕地利用转型的监测和分析更加精确和高效。近年来,越来越多的国外学者开始关注耕地利用转型的驱动机制[4]、生态效应[5]以及与社会经济发展的相互关系[6]。21世纪初,龙花楼等[7]将"土地利用转型"概念引入中国,并结合中国社会经济特点对其内涵进行了阐释。宋小青[8]在此基础上对耕地利用转型的概念进行了进一步界定,认为耕地利用转型涵盖空间形态和功能形态转型两个维度。后续研究多以此为基础进行拓展和创新,进一步丰富了耕地利用转型的理论与实践成果。从研究尺度来看,当前研究多集中在城市群[9-10]、流域[11]、省域等[12]尺度。从研究内容来看,目前中国对于耕地利用转型的研究主要聚焦在耕地利用转型时空变换特征[13-14]、耕地利用转型影响因素[15-16]以及耕地利用转型与经济增长[17]、生态保护[18]及城镇化[19]之间的耦合协调关系等3个方面。①在耕地利用转型时空变换特征方面,学者们过去多基于RS和GIS技术,运用核密度估计[19]、空间自相关分析等[11]方法,详细探究了耕地在时间进程与空间维度上的转型轨迹[20]。②在耕地利用转型影响因素方面,当下研究主要通过构建涵盖自然、社会经济、政策等多要素的指标体系[21],将定量模型与定性分析相结合,进而明晰各因素对耕地利用转型的影响[22]。③在耕地利用转型与经济增长、生态保护及城镇化耦合协调关系的研究中,目前主要借助耦合协调度模型[23],深入剖析三者之间的内在联系[19,24]。

综上所述,当下对于耕地利用转型研究视角趋于多元化,且注重理论与实证相结合,研究思路和方法都较为成熟。但目前基于形态视角的耕地利用转型专项研究,特别是针对西部贫困地区的研究仍有待丰富。现有研究多基于国家、流域、城市群及省域尺度,对地级市、县域乃至于乡镇等较小单元的相关研究较少。此外,从自然条件来看,陇中黄土高原地区是黄河重要的生态功能区;在社会经济层面,区域经济欠发达,城镇化率低于全国平均水平。该区域下辖的通渭县作为甘肃省的传统农业大县,脆弱的自然条件一直是制约农业发展的主要因素。近年来,与黄土高原地区多数地区发展状况相似,劳动力外流和农村空心化等新问题的出现对该区耕地利用

和农业发展提出了新的挑战。为进一步推动农业可持续发展和耕地利用转型,通渭县持续实施了耕地质量保护与提升行动,耕地轮作试点补贴,撂荒地整治补贴,农机购置补贴等多项惠农政策,这些政策的实施效果和实践经验对黄土高原地区其他县市具有一定的参考价值。基于此,本研究选择陇中黄土高原地区的通渭县作为研究区域,以其下属的18个乡镇为研究单元,构建“空间形态-功能形态”耕地利用转型分析框架,在分析2005—2022年通渭县各乡镇耕地利用转型的时空演变特征的基础上,进一步采用地理探测器结合自然、社会经济条件以及耕地政策综合分析其驱动因素,最终提出通渭县耕地利用转型优化建议,旨在为西部同类地区优化耕地保护策略,促进耕地资源可持续利用提供借鉴。

1　材料与方法

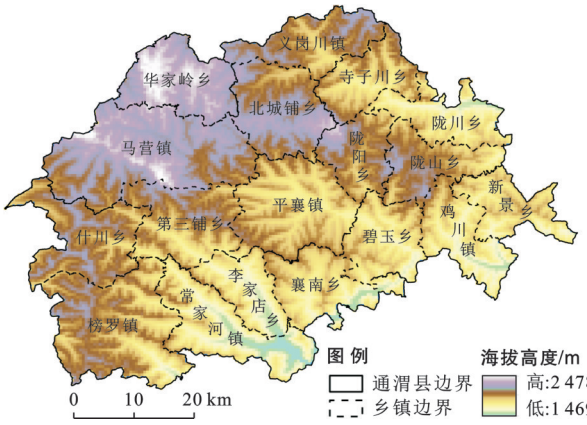
1.1　研究区概况

通渭县位于甘肃省中部,定西市东南部,处于黄土高原的丘陵沟壑地带,是黄土高原农牧交错带的典型区域(图1)。县域总面积为3 903 km^2,地势由西北向东南倾斜,整体海拔在2 000 m左右。该区域属于典型的半干旱气候区,降水量不足且分布不均。该区域地形以黄土梁峁与沟壑为主,土壤肥力欠佳,生态条件较为脆弱,且水土流失问题突出。县域内主要依赖降水和少量河流补给,农业灌溉条件受限。截至2023年,通渭县耕地面积为1 548.27 km^2,占县域总面积的39.67%。区域经济发展以农业为主,主要农作物为传统粮食作物。近年来该区逐步发展中药材种植和小杂粮种植等特色农业。县域内农村人口占比较高,人均耕地面积低于全国水平,农业机械化程度不高。进入21世纪,随着生态退耕政策的实施和农业结构调整,通渭县部分耕地逐步转型为林地和草地,土地利用结构发生了显著变化。研究这种耕地利用转型的时空演变特征及其影响因素,对于揭示黄土高原农牧交错带的土地利用变化规律,优化区域土地资源利用方式,促进生态环境保护和农业可持续发展具有重要意义。

1.2　数据来源及处理

1.2.1　数据来源

本研究选取2005—2022年为研究时段。社会经济数据主要取自通渭县统计局、《甘肃农村年鉴》及通渭县《国民经济和社会发展统计公报》。县域界限以及所辖乡镇边界数据来自中国资源环境科学与数据中心。土地利用数据采用刘良云团队发布的1985—2022年全球30 m分辨率土地覆盖动态产品(GLC_FCS30 D),精度高于80%。DEM数据来自地理空间数据云。国民生产总值数据来自中国资源环境科学与数据中心。年均气温和年降水量数据来自国家青藏高原科学数据中心。所有数据最终统一调整至30 m×30 m的分辨率,并将坐标重投影为CGCS2000 3 Degree GK Zone 35,确保矢量数据与栅格数据在分辨率和空间范围上一致。



注:基于标准地图服务系统下载的审图号GS(2019)333号的标准地图制作。底图未作修改。下同。

图1　甘肃省定西市通渭县高程图

Fig.1　Elevation map of Tongwei County, Dingxi City, Gansu Province

1.2.2　数据处理

本文首先将原始土地利用数据依据《土地利用现状分类》(GB/T 21010—2017)国家标准,划分为耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用地6类。其次采用ArcGIS 10.6软件将各年土地利用类型赋予GLC 1—6的值。接着借助Fragstats软件计算耕地斑块密度和耕地景观形状指数。同时,通过ArcGIS区域分析工具获取各乡镇的年均气温和年均降水量的分区统计平均值。为满足地理探测器的数据格式要求,对耕地利用转型指数及相关影响因素进行离散化处理:在ArcGIS中,按15 km×15 km格网设置采样点,将耕地利用转型指数、社会经济因素和政策因素通过连接工具进行空间可视化。再利用要素转栅格工具进行栅格化处理,并采用自然断点法将数据分为1—5类。最后通过采样工具获取地理探测所需的变量矩阵。

1.3　研究方法与指标体系构建

1.3.1　研究方法

(1)耕地利用转型测算。本研究使用熵值法确定各项指标权重,借助加权求和得到通渭县2005—2022年的耕地利用转型指数。公式如下:

$$E=\sum_{i=1}^{n}(W_i\times y_{ij}) \tag{1}$$

式中：E为耕地利用转型指数；W_i为单个指标权重；y_{ij}为单个指标标准化值。

（2）探索性空间数据分析。依托地理空间邻域，借助可视化呈现空间数据的关联性与集聚性，用于量化事物的空间关联与离散程度。该方法常以全局和局部空间自相关系数为量化工具。本研究运用全局与局部空间自相关方法，分析2005—2022年通渭县耕地利用转型指数、空间形态转型指数及功能形态转型指数的空间演变趋势。

①全局空间自相关。全局空间自相关用于衡量空间样本属性的总体均衡性，通过global Moran's I统计量表示。本研究采用该方法探究研究区整体耕地利用转型的变动趋势是否存在空间相关性，并将结果划分为HH（高-高）、HL（高-低）、LH（低-高）、LL（低-低）4种不同的空间集聚类型。公式如下：

$$I=\frac{n\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}W_{ij}\left(X_i-\overline{X}\right)\left(X_j-\overline{X}\right)}{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}W_{ij}\left(X_i-\overline{X}\right)^2} \tag{2}$$

式中：I为全局莫兰指数；X_i，X_j分别为乡镇i和乡镇j的耕地利用转型指数；$\overline{X}$是各区域转型指数平均值；n表示样本总量；W_{ij}是对应于乡镇i和乡镇j的空间权重矩阵的权重值。I的取值范围在[-1,1]之间。如果$I<0$表示负相关，$I=0$表示不相关，$I>0$表示正相关。并且I的绝对值越接近1，则集聚程度越明显，空间相关性越强。

②局部空间自相关。局部空间自相关系数可用于验证通渭县耕地利用转型的局部集聚特征，以Moran指数为指标，并通过LISA聚集图呈现邻近区域单元属性值的相似性。公式如下：

$$I_i=\frac{(X_i-\bar{X})\sum_j\left[W_{ij}(X_j-\bar{X})\right]}{\frac{\sum_j(X_j-\bar{X})^2}{n}} \tag{3}$$

式中：当$I>0$时，高-高/低-低模式对应耕地利用转型指数均高于或低于周围单元，且空间差异较小；当$I<0$时，低-高/高-低模式则表示耕地利用转型指数低于或高于周围单元，且空间差异较大。

（3）地理探测器。地理探测器模型通过考察驱动因子层内方差与总方差的关系，揭示要素空间分异的驱动因子。本文将表3中的9个驱动因子作为自变量X，耕地利用转型指数、空间形态转型及功能形态转型值作为因变量Y，利用地理探测器中的因子探测器、交互作用探测器探究X对Y空间分异的作用及相互关系。

①因子探测。用于评估自变量X对因变量Y空间分异的解释程度，解释强度由q值体现。

$$q=1-\frac{\sum_{h=1}^{L}N_h\sigma_h^2}{N\sigma^2} \tag{4}$$

式中：q为某一驱动因子对要素空间分异的解释力；q值处于[0,1]区间，其数值大小与自变量x对因变量y的解释能力相关。数值越高，解释能力越强，数值越低，解释能力越弱；L为要素y或者x的分层；N_h和N分别为评价单元h和全区单元数；σ_h^2和σ^2分别为评价单元和研究区要素的方差。

②交互作用探测。交互作用探测用来评估两个因子共同作用时对因变量Y的解释力变化情况。因子间的交互作用一般分为5种情形，即非线性减弱，单因子非线性减弱，双因子增强，独立以及非线性增强（表1）。

表1 地理探测器交互作用类型

Table 1 Interaction types of geodetector

依据	交互作用
$(X_k\cap X_l)<\min\left[q(X_k),q(X_l)\right]$	非线性减弱
$\min\left[q(X_k),q(X_l)\right]<q(X_k\cap X_l)<\max\left[q(X_k),q(X_l)\right]$	单因子非线性减弱
$q(X_k\cap X_l)>\max\left[q(X_k),q(X_l)\right]$	双因子增强
$q(X_k\cap X_l)=q(X_k)+q(X_l)$	相互独立
$q(X_k\cap X_l)>q(X_k)+q(X_l)$	非线性增强

注：X_k和X_l分别为第k个和第l个影响因子。

1.3.2 耕地利用转型评价指标体系构建

本研究根据现有耕地利用转型研究框架，结合通渭县区域耕地实际情况，遵循系统性、科学性以及可操作性原则，构建耕地利用空间-功能两个维度的指标体系，以评价通渭县耕地利用在时空上的转变。指标体系分为耕地空间形态、功能形态两大目标层（表2）。

（1）耕地利用空间形态转型指标体系。耕地空间形态包括以下3个维度：①数量格局：以土地垦殖率和人均耕地面积表征，体现区域内对耕地资源的开发程度和耕地资源的禀赋条件；②结构格局：以粮食作物与经济作物种植面积比例以及水平梯田占比来指征，反映耕地种植结构以及类型结构的变化；③景观格局：以斑块密度和耕地景观形状指数为指标，反映耕地景观形态的变化及其在农业生产中的集中程度，同时揭示耕地耕作的便利性。斑块密度高且景观形状指数大时，耕地零散不规则，不利于规模化经营和机械化生产。

(2) 耕地利用功能形态转型指标体系。耕地功能形态包括:①生产功能:以复种指数、耕地压力指数、地均农作物产量来表征,体现耕地在粮食生产中的紧缺程度。农作物的平均产量越高,意味着耕地的利用效率越高,同时耕地所承受的压力相对较小。在这种情况下,农作物的生产效率也随之提升,进而促使耕地能够实现更可持续的利用,且粮食安全也更有保障;②生活功能:以农业机械化水平、农业从业人员占乡村从业人员比例及粮食保障率表征,反映耕地为农村居民提供就业情况,满足家庭食物来源的需求程度以及农民对耕地的依赖程度;③生态功能:以农田生态系统多样性指数和耕地化学品负荷为指标,体现人类活动对耕地的破坏程度以及耕地生态系统的恢复能力。

表 2　耕地利用转型评价指标体系

Table 2　Evaluation indicator system of cultivated land use transition

目标层	因素层	指标层	属性	权重
空间形态	数量格局	土地垦殖率/%	+	0.113 8
		人均耕地面积/(m^2/人)	+	0.077 6
	结构格局	粮经比/%	+	0.157 3
		水平梯田占比/%	+	0.056 3
	景观格局	斑块密度	—	0.037 2
		景观形状指数	—	0.036 6
功能形态	农业生产功能	复种指数/%	+	0.047 4
		耕地压力指数/%	—	0.016 1
		单位耕地农作物产量/($kg\cdot m^{-2}$)	+	0.091 5
	生活保障功能	粮食保障率/%	+	0.078 3
		农业机械化水平/($kW\cdot h\cdot 人^{-1}$)	+	0.205 2
		农业从业人员占乡村总劳动力比例/%	+	0.033 2
	生态保育功能	耕地化学品负荷/($kg\cdot m^{-2}$)	—	0.016 2
		农田生态系统多样性指数	+	0.033 3

2　结果与分析

2.1　耕地利用转型时间演变特征分析

整体来看,2005—2022 年通渭县耕地利用转型指数平均值为 0.339,呈显著上升趋势(图 2)。其中,2005 年转型指数为 0.254,2022 年转型指数为 0.378,上涨 0.124,涨幅 48.72%。2005—2008 年变化较小,呈小幅上升趋势,2008 年开始大幅上涨,至 2013 年出现转型指数的峰值,为 0.389。2013 年之后转型指数波动下降,变化幅度较小。转型指数最低值出现在 2006 年,为 0.250,极差为 0.138。这表明通渭县耕地利用转型指数时序上变化明显。局部来看(表 3),2005—2022 年通渭县各乡镇耕地利用转型指数同样呈波动上升趋势,但各乡镇耕地利用转型指数增长幅度均有不同。其中,2005—2022 年耕地利用转型指数均值较高的乡镇有义岗镇(0.404)、碧玉镇(0.395),新景乡(0.395)、李店乡(0.389),较低的有平襄镇(0.295)、马营镇(0.291)、常河镇(0.265),极差为 0.139。通渭县 2022 年较 2005 年耕地利用转型指数变化率较大的乡镇有义岗镇(26.26%)、李店乡(17.26%)、北城铺镇(16.25%),变化率较小的乡镇有寺子乡(5.3%)、新景乡(5.6%)、鸡川镇(6.5%),均呈现增长趋势。



图 2　2005—2022 年通渭县耕地利用转型时间变化

Fig.2　Temporal variation of cultivated land use transition in Tongwei County (2005—2022)

表 3　2005—2022 年通渭县所有乡镇耕地利用类型平均值排名

Table 3　Ranking of average values of cultivated land use transition in all towns and townships of Tongwei County (2005—2022)

地 区	耕地利用转型指数均值	地 区	耕地利用转型指数均值
李店乡	0.426	北城铺镇	0.341
碧玉镇	0.419	什川镇	0.332
义岗镇	0.418	榜罗镇	0.327
鸡川镇	0.389	平襄镇	0.318
新景乡	0.382	寺子乡	0.317
陇山镇	0.379	常河镇	0.314
陇川镇	0.372	第三铺乡	0.314
襄南镇	0.350	华岭镇	0.289
陇阳镇	0.344	马营镇	0.258

为了更加直观、清楚地反映 2005,2010,2015,2020 及 2022 年通渭县各乡镇耕地利用空间形态和功能形态转型在时间序列的演变,本文采用自然间断点法对各年的转型指数进行了划分。

2.1.1　耕地利用转型空间形态时间演变特征分析

图 3 显示,通渭县耕地利用空间形态转型指数总体由 2005 年 0.130 上升至 2022 年 0.147,转型指数均

值为 0.123。空间形态转型指数最高为新景乡的 0.165，最低为常河镇的 0.080。2005 年，通渭县耕地利用空间形态转型指数为 0.099，转型指数较高值出现在什川镇、陇阳镇、陇川镇、碧玉镇、鸡川镇以及新景乡，低值出现在平襄镇、第三铺乡、榜罗镇、常河镇。耕地利用空间形态转型指数出现高值区与高值区聚集，低值区与低值区聚集，通渭县区域内部不均衡性显著。2010 年转型指数为 0.137，高值区仅有什川镇，而低值区包括平襄镇、北城铺镇、华岭镇、马营镇、第三铺乡、榜罗镇、常河镇 7 个乡镇，耕地利用空间形态转型指数发展较为均衡。2015 年耕地利用空间形态转型指数为 0.121，较 2010 年降低 0.017，高值区与 2005 年一致，低值区较 2005 年少，仅有榜罗镇以及常河镇；2020 年耕地利用空间形态转型指数为 0.135，各乡镇转型指数均较高，仅有常河镇一个低值，高值区则有什川镇、陇阳镇、陇川镇、北城铺镇、鸡川镇以及新景乡 6 个；2022 年耕地利用空间形态转型指数为 0.132，高值区仅有鸡川镇一个，低值区则包括马营镇、平襄镇、第三铺乡以及榜罗镇、常河镇。综合来看转型指数较高的乡镇有什川镇和鸡川镇，较低的有榜罗镇和常河镇。此外，2005，2010，2015，2020 年空间形态转型指数的极差分别为 0.103，0.204，0.105，0.091，0.085。通渭县各乡镇间耕地利用空间形态转型差异呈先增大后缩小的趋势。

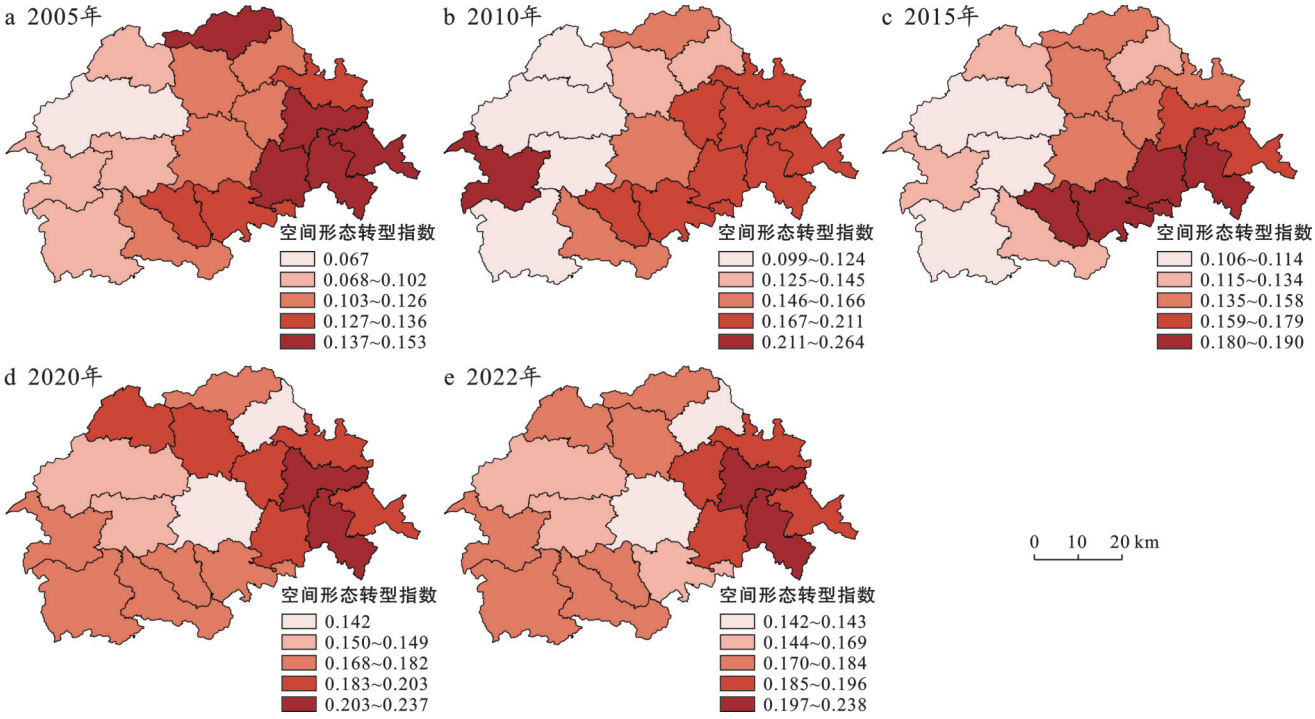


图 3 通渭县耕地利用空间形态转型演变

Fig.3 Transition and evolution of cultivated land use spatial morphology in Tongwei County

2.1.2 耕地利用转型功能形态时间演变特征分析

研究表明（图 4），通渭县耕地利用功能形态转型指数总体上由 2005 年 0.082 上升至 2022 年 0.133，功能形态转型变化较为明显，转型指数均值为 0.113，较空间形态转型指数均值低。转型指数最高为碧玉镇的 0.128，最低为华岭镇的 0.093。2005 年功能形态转型指数高值在通渭县东北部，主要有鸡川镇、陇川镇、寺子乡，转型指数低值分布在通渭东南以及西北部，包括马营镇、华岭镇、常河镇。2010 年转型指数为 0.114，高值区有北城铺镇、陇山镇、李店乡、新景乡、寺子乡，低值区包括通渭县西北部的华岭镇、马营镇、什川镇、第三铺乡。2015 年转型指数为 0.138，高值区分布在研究区东部，包括襄南镇、碧玉镇、陇川镇以及寺子乡，低值区聚集在华岭镇和北城铺镇；2020 年转型指数为 0.132，高值区包括第三铺乡、襄南镇、碧玉镇，陇山镇、陇川镇，低值区仅有华岭镇，区域间功能形态转型发展较为平衡。2022 年高值与低值均出现减少趋势，高值区仅有第三铺乡、碧玉镇、陇川镇，低值区仅有华岭镇。总体来看，通渭县东南及东北地区功能形态转型指数较高，而西北部转型指数较低，且高值与低值区域逐渐减少。2005，2010，2015，2020，2022 年功能形态转型指数的极差分别为 0.039，0.096，0.063，0.044，0.043，通渭县各乡镇间耕地利用功能转型差异逐渐缩小，区域内部协同性增强。

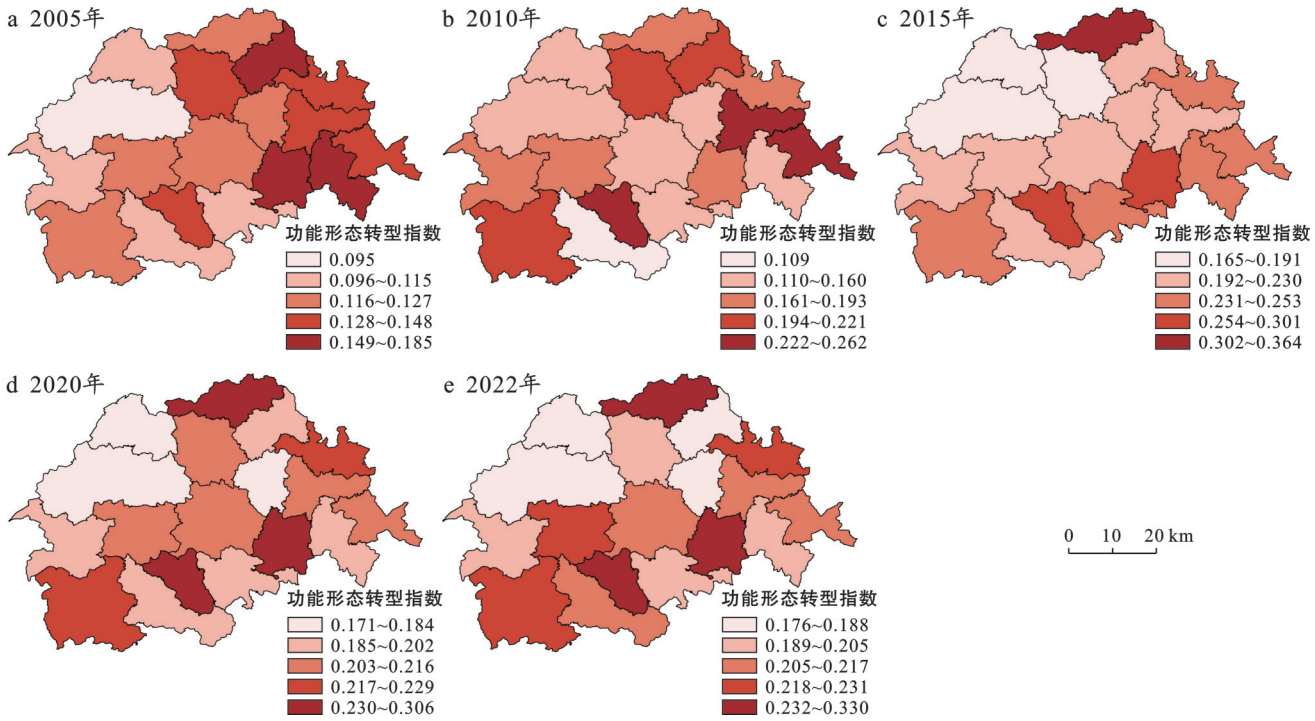


图 4　通渭县耕地利用功能形态转型演变

Fig.4　Transition and evolution of cultivated land use functional morphology in Tongwei County

2.2　耕地利用转型空间演变特征分析

为探究通渭县 2005—2022 年耕地利用转型的空间演变特征,本文基于 ArcGIS 10.6 的空间自相关工具,对通渭县 2005,2010,2015,2020,2022 年 5 个时间点的耕地利用整体转型、空间形态转型及功能形态转型过程进行空间自相关分析。

2.2.1　耕地利用转型全局空间自相关演变特征分析

研究结果显示(表 4),耕地利用转型空间自相关显著性较低,2005 年耕地利用转型的 Moran's *I* 值(0.445)在 0.05 置信水平上存在显著的空间正相关性,而 2010,2015,2020 年以及 2022 年 Moran's *I* 值(0.001,−0.132,−0.212,−0.199)没有通过显著性检验。耕地利用空间形态转型在 2005,2015,2020,2022 年的空间 Moran's *I* 值(0.369,0.296,0.259,0.292)呈现较强的空间正相关性。2010 年的空间 Moran's *I* 值(0.017)呈现弱正相关性且显著性不强,*Z* 值检验未通过;耕地利用功能形态转型在 2005,2020,2022 年的空间 Moran's *I* 值(0.207,0.150,0.110)呈现空间正相关性。2010 年的空间 Moran's *I* 值(−0.349)呈现负相关性,但空间自相关显著性均不强,且 *Z* 值检验未通过。2015 年,空间 Moran's *I* 值为 0.326,在 0.05 显著性水平上,表明空间正相关显著。总体上,通渭县耕地利用转型具有较强的空间随机性。

2.2.2　耕地利用转型局部空间自相关演变特征分析

全局空间自相关难以有效揭示局部空间自相关及其空间集聚的统计显著性。为全面分析通渭县耕地利用转型在 2005,2010,2015,2020,2022 年的空间关联性和时空演化特征,利用 ArcGIS 10.6 软件的聚类和异常值分析工具制作耕地利用 LISA 集聚图(图 5),探讨通渭县耕地利用转型及其空间形态、功能形态的局部空间自相关性。

表 4　通渭县耕地利用转型全局 Moran's *I*

Table 4　Moran's *I* of cultivated land use transition in Tongwei County

类 型	指 标	2005年	2010年	2015年	2020年	2022年
耕地利用转型	Moran's *I*	0.505	−0.053	0.075	−0.106	−0.141
	p 值	0.001	0.971	0.423	0.780	0.621
	Z 值	3.398	0.036	0.801	−0.280	−0.494
空间形态转型	Moran's *I*	0.498	0.101	0.422	0.378	0.379
	p 值	0.001	0.332	0.005	0.008	0.006
	Z 值	3.330	0.971	2.788	2.665	2.731
功能形态转型	Moran's *I*	0.242	−0.303	−0.095	−0.227	−0.209
	p 值	0.067	0.147	0.812	0.299	0.351
	Z 值	1.831	−1.448	−0.238	−1.039	−0.933

当某个空间单元的观测值超过均值,其周围相邻单元的观测值同样高于均值,并且该单元的 Moran's *I* 指数呈现显著的正值时,便属于 HH 型集聚;HL 型集聚则是指某一空间单元的观测值高于均值,然而其相邻单元的观测值却低于均值,同时 Moran's *I* 指数为显著的负值;在 LH 型集聚中,空间

单元的观测值低于均值，但相邻单元的观测值高于均值，且 Moran's *I* 指数是显著负值；当某空间单元的观测值以及其相邻单元的观测值都低于均值，且该单元的 Moran's *I* 指数为显著正值时，就形成了 LL 型集聚；不显著情况指的是空间单元的 Local Moran's *I* 指数未能通过显著性检验。

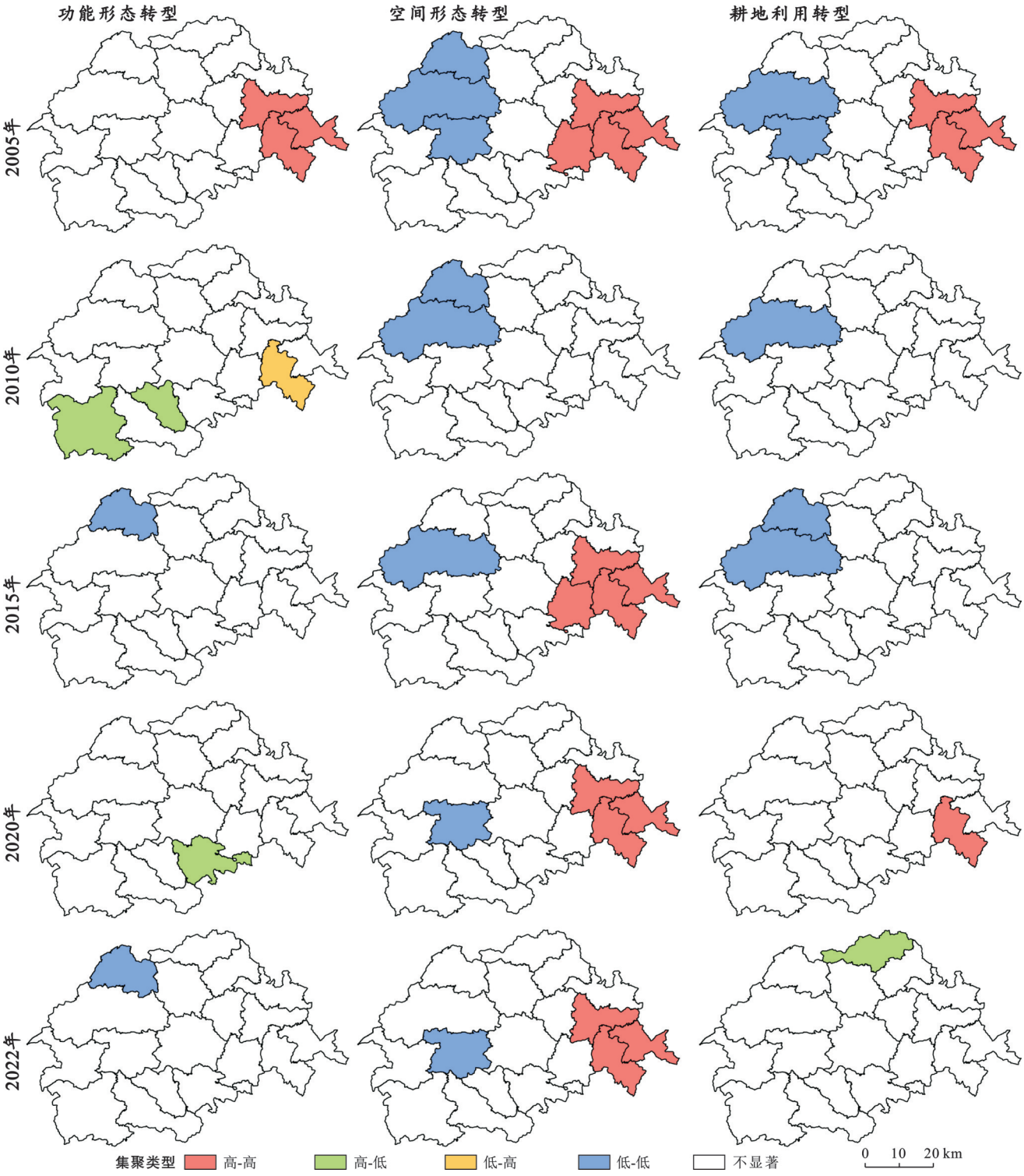


图 5 2005—2022 年通渭县耕地利用转型的 LISA 集聚图

Fig. 5 LISA clustering maps of cultivated land use transition of Tongwei County during 2005—2022

耕地利用转型的 LISA 集聚图显示，2005 年，通渭县呈现出两种空间集聚模式，分别是围绕陇山镇、鸡川镇、新景乡形成的 HH 集聚类型和以李店乡为中心的 LL 集聚类型。空间集聚整体表现出东部高，南部低的特征。2010 年通渭县依旧存在 2 种类型的空间集聚模式，分别为以李店乡为中心的 HL 集聚类型

和以鸡川镇为中心的LH集聚类型。2015年仅存在以寺子乡为中心的LH集聚模式。2020年,通渭县呈现出3种不同类型的空间集聚模式,分别是以李店乡为核心的HL集聚模式,以榜罗镇为核心的LL集聚模式,以及以寺子乡为核心的LH集聚模式。这些模式反映了不同区域在空间上的集聚特征。2022年存在2种类型的空间集聚模式,为以李店乡为中心的HL集聚类型、以寺子乡为中心的LL集聚模式。总体来看,通渭县耕地利用转型局部集聚特征差异变化明显,东北部地区逐渐向外扩散而南部地区出现集聚。

耕地利用空间形态转型的LISA集聚图显示,2005年,通渭县形成了两种主要的空间集聚模式:一是以陇山镇和鸡川镇为核心的HH集聚类型,二是以榜罗镇、常河镇和李店乡为核心的LL集聚类型。2010年仅以陇山镇为中心集聚。2015年和2020年均呈现两种主要集聚模式:陇山镇、鸡川镇为核心的HH集聚类型,以及李店乡为核心的LL集聚类型。2022年则形成了3种不同的空间集聚类型,分别为以陇山镇、鸡川镇为中心的HH集聚类型,以什川镇为中心的HL集聚类型和以李店乡为中心的LL集聚类型。耕地利用空间形态转型总体稳定,呈现东部高,西南低的特征。

耕地利用功能形态转型的LISA集聚图显示,2005年通渭县存在2种类型的空间集聚模式,分别为以陇山镇、新景乡为中心的HH集聚类型,以陇阳镇为中心的LH集聚类型。2010年存在两种类型的空间集聚模式,分别为以陇川镇、陇阳镇为中心的LH集聚类型和以榜罗镇、李店乡为中心的HL集聚类型;2015年仅以华岭镇为中心LL集聚。2020年存在3种类型的空间集聚模式,分别为以平襄镇为中心的HH集聚类型、以陇阳镇为中心的LH集聚类型和以北城铺镇为中心的LL集聚类型。2022年形成两种空间集聚模式:围绕寺子乡的LH集聚类型,以及围绕李店乡的HL集聚类型。总体来看,通渭县耕地利用功能形态转型在中部和南部出现集聚,并由东北部向外扩散。

2.3　耕地利用转型影响因素分析

根据现有研究[25-26],从自然条件、社会经济、政策3个方面选取耕地利用转型影响因素(表5),运用地理探测器识别各因子的解释力,判断其影响程度。现有研究表明自然因素是影响耕地利用转型的基础性因素,对耕地利用具有直接的影响[27]。通渭县多为山地丘陵区,地形地貌复杂,耕地利用难度大;同时气温和降水因素对农业生产影响较大,雨热不足对作物生长有极大阻碍,农业生产功能无法提高。因此选取高程、气温、降水量作为耕地利用转型的自然影响因子。

社会经济因素是影响耕地利用的关键因素。耕地利用转型是一定时期社会发展阶段中人类活动产生的结果,短时间内耕地受人为因素的影响显著。近些年来,通渭县社会经济发展水平、产业结构以及农业技术不断提高,且城镇化发展较快,建设用地扩张、农村空心化等土地利用问题也随之而来。因此,选取人均GDP、人口密度、农村人口、城镇化水平以及农村生产用电衡量社会经济因素对耕地利用的影响。政策是影响耕地利用的重大因素,政府制定一系列政策和法律法规以约束耕地利用行为,保障1.20×10^6 km^2(18亿亩)耕地红线,确保其数量不减少,质量不降低。因此选取水平梯田面积作为政策因素衡量其对耕地利用的影响。

表5　耕地利用转型影响因素指标选取

Table 5　Selection of influencing factors of cultivated land use transition

目标层	指标层	指标计算或来源	指标释义
自然环境	高程X_1/m	城市平均高程	地形地貌
	气温X_2/℃	年平均气温	气温条件
	降水X_3/mm	年平均降水量	降水条件
社会经济	人均GDP X_4/元	地区生产总值/人口	经济发展水平
	人口密度X_5/%	人口/土地面积	人口承载能力
	农村人口X_6/人	通渭县统计年鉴	
	城镇化水平X_7/%	建设用地面积/土地面积	城镇发展程度
	农村生产用电X_8/(万kW·h)	通渭县统计年鉴	农业科技水平
政策因素	水平梯田面积X_9/%	通渭县统计年鉴	耕地资源禀赋

2.3.1　耕地利用转型单因子探测结果与分析

耕地利用转型单因子探测结果显示(图6),不同因子在不同时期对耕地利用转型的影响存在差异。2005年,降水量(X_3)对耕地利用转型的解释力最高。这一现象与通渭县的温带半湿润半干旱性季风气候密切相关。由于降水分布不均且季节性波动较大,

农业生产仍高度依赖自然降水条件，呈现出“靠天吃饭”的特征，即便农业灌溉设施逐步优化，但总体效能仍显不足，难以充分应对降水短缺对农业生产的制约。降水的不稳定性直接决定了耕地利用效率与转型方向，成为该阶段通渭县耕地利用转型的关键驱动因素。同时，水平梯田面积(X_9)和农村生产用电(X_8)对耕地利用转型的解释力也比较高，而城镇化水平(X_7)以及人均GDP(X_4)的解释力较低且未显著影响耕地利用转型。其原因在于这一时期通渭县经济发展水平较低，城镇化进程缓慢，对耕地利用转型的推动力不足。2010年，水平梯田面积(X_9)的解释力最高。这一时期通渭县在马营镇长川流域等地区实施了一系列坡耕地水土流失综合治理试点项目，这些项目有效改善了生态环境，显著影响了耕地利用转型。此外，农村人口(X_6)和人均GDP(X_4)的影响也较大，而城镇化水平(X_7)的解释力较低，影响较小。农村生产用电(X_8)未显著影响耕地利用转型，原因在于这一时期通渭县作为西部经济发展落后地区，城镇化水平和农业机械化水平较低。2015年，农村生产用电(X_8)对耕地利用转型的解释力最高，表明在此阶段农业机械化水平的显著提升有力推动了区域耕地利用转型。同时，气温(X_2)和高程(X_1)的解释力也较高，而人均GDP(X_4)、城镇化水平(X_7)以及水平梯田(X_9)的影响较小且不显著，这与当时通渭县经济发展水平仍较低，城镇化进程尚未达到显著影响耕地利用转型的程度有关。2020年，对耕地利用转型具有显著性影响的因子较少，其中气温(X_2)的解释力最高。此外，高程(X_1)、人均GDP(X_4)、人口密度(X_6)以及水平梯田(X_9)的解释力也较高。其余因子均不显著。这表明自然条件对农业生产的基础性影响依然突出，而社会经济因素对耕地利用转型的影响尚未充分显现。2022年，气温(X_2)对耕地利用转型的影响依旧最大，农村生产用电(X_8)次之，而降水(X_3)、人均GDP(X_4)以及城镇化水平(X_7)未呈现显著性。这表明在这一时期，气温变化对农业生产的影响持续存在。受限于通渭县经济发展水平和城镇化进程的滞后，其他因素对耕地利用转型的影响相对较小。

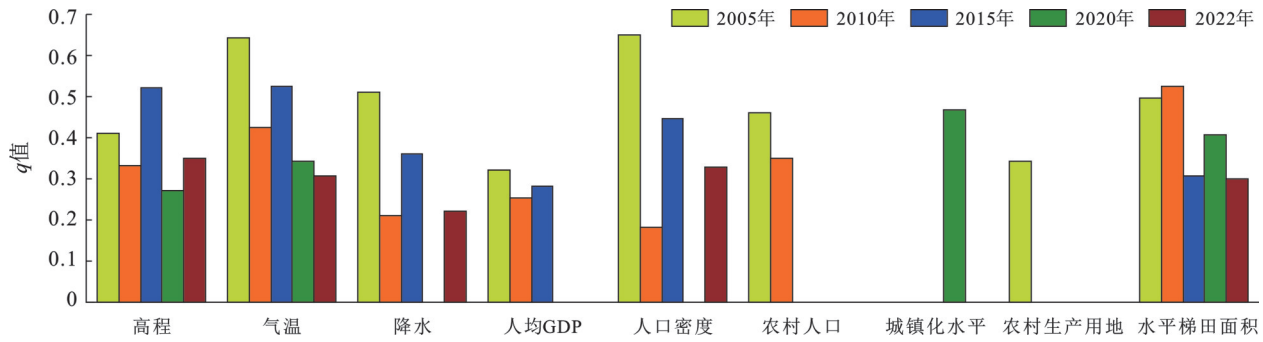


图6 通渭县耕地利用转型单因子探测结果

Fig.6 Single-factor detection results of cultivated land use transition in Tongwei County

总体来看，在2005—2022年高程(X_1)、气温(X_2)以及人口密度(X_5)的探测结果一直显著，表明通渭县复杂的地形条件和干旱少雨的气候特征等自然条件对其耕地利用转型具有长期且稳定的影响。但在过去某一时间段内，农业技术的进步以及农业工程措施的开展，也在一定程度上对耕地利用转型起到了推动作用。

2.3.2 耕地利用转型交互探测结果与分析

耕地利用转型交互作用探测结果显示(图7)，2005—2022年各因子交互作用主要表现为双因子增强与非线性增强，未出现相互减弱或独立关系。2005年，双因子增强关系有18组，非线性增强关系有17组，解释力最强的为农村人口(X_6)与农村生产用电(X_8)的交互作用，原因在于当时的区域农业生产高度依赖自然条件，且农村人口众多，对电力的需求较大，但农业机械化水平较低。电力主要用于农村生活用电，对耕地利用转型的推动作用有限。2010年双因子增强关系存在5组，分别为高程(X_1)与气温(X_2)、人口密度(X_5)与降水(X_3)、人均GDP(X_4)与城镇化水平(X_7)以及农村人口(X_6)与水平梯田面积(X_9)。非线性增强关系30组，解释力最强的为人均GDP(X_4)与水平梯田面积(X_9)的交互作用。这与通渭县实施的坡耕地水土流失综合治理项目有关。这些项目促进了农业生产的集约化和高效化，提高了耕地利用转型的效率。同时，这些项目的实施可能加强了自然条件与社会经济因素之间的相互作用，使得非线性增强关系增多。2015年双因子增强关系存在13组，非线性增强关系存在22组。解释力最强的为高程(X_1)与农村生产用电(X_8)的交互作用，原因在于随着农村生产用电的普及，高程对农业生产的自然条件限制有所降低，机械化在高海拔地区开始普及，进一步推动了耕地利用转型。

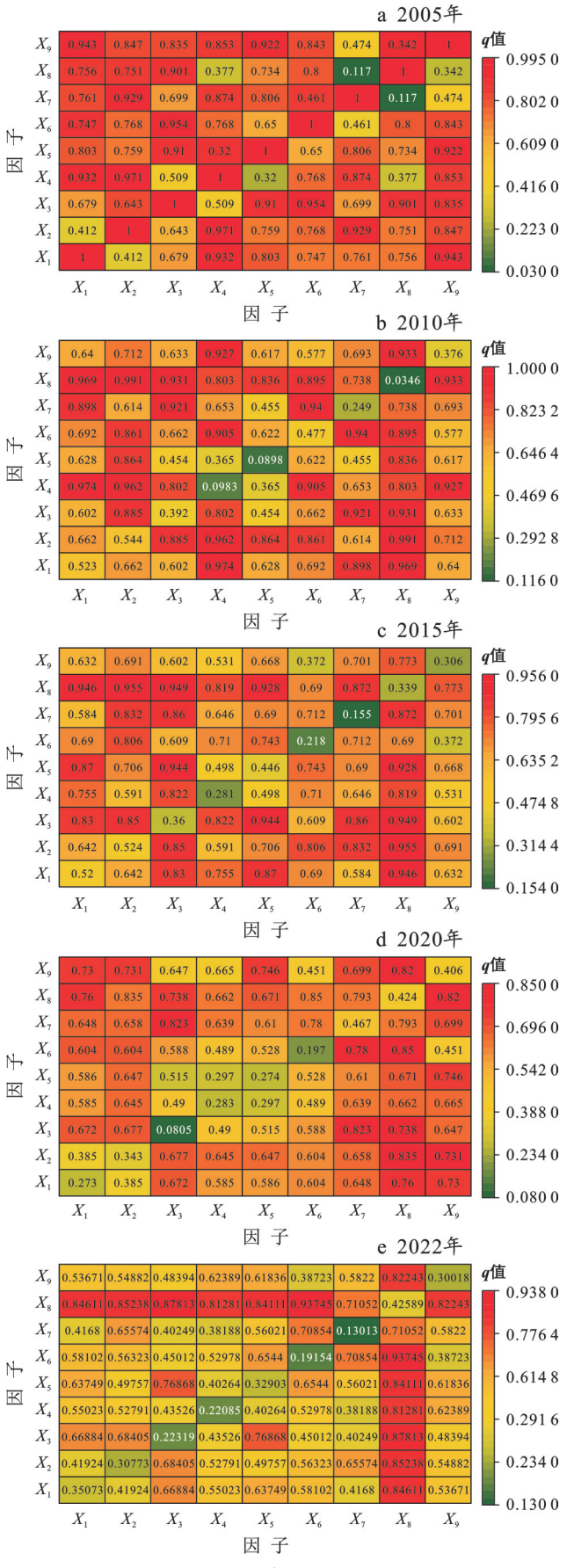


图 7　2005—2022 年通渭县耕地利用转型交互作用探测结果

Fig.7　Interaction detection results of cultivated land use transition in Tongwei County during 2005—2022

2020 年双因子增强关系有 10 组,非线性增强关系有 25 组。解释力最强的为农村人口(X_6)与农村生产用电(X_8)的交互作用。这与农村人口的减少和农业机械化水平的进一步提高有关。农村人口的减少使得农业生产更加依赖机械化和电力,从而推动了耕地利用转型,体现出了社会经济因素对耕地利用转型的影响在加强。2022 年双因子增强关系有 9 组,非线性增强关系有 26 组,解释力最强的为人口密度(X_5)与农村生产用电(X_8)的交互作用,各因子之间的非线性增强关系在逐步加强。这可能与通渭县社会经济的进一步发展有关。社会经济的发展使得各因素之间的相互作用更加复杂,非线性增强关系增多。2022 年解释力最强的为人口密度(X_5)与农村生产用电(X_8)的交互作用。这表明人口密度的降低对耕地利用转型提出了新的挑战。同时农村生产用电的增加反映了农业生产的进一步集约化,两者共同作用于耕地利用转型。总体来看,各因子之间的交互作用在逐步加强,非线性关系在逐渐增多。这表明随着通渭县经济水平的提高,农业技术的进步以及农业工程措施的开展,各因素之间的相互作用更加复杂,共同推动着耕地利用转型。

3　讨　论

耕地利用转型不仅是优化耕地数量与质量的过程,更是对其生态、经济和社会功能的重新整合。近年来,生态退耕政策与农业结构调整的实施推动了耕地利用转型,使其成为优化土地资源配置,促进区域发展和生态保护的关键手段。研究其时空演变特征及驱动因素,能够揭示土地利用变化规律,为土地资源优化,生态保护和农业可持续发展提供重要理论支持。

本研究改变了传统单一维度的耕地利用转型研究架构,采用“空间形态-功能形态”双维度分析框架。指标体系构建立足于陇中黄土高原区域实际状况,更多地聚焦于凸显区域耕地破碎化,投入回报低及耕地生态功能重要性等现实问题。同时兼顾了在县域尺度下以各乡镇为研究单元时数据的科学性和获取难度,从而促使整个指标体系能够较为合理地对小尺度的耕地利用转型从空间和形态两个角度进行表征及测算。同时在耕地利用转型驱动因子的选取中,不仅遵循了传统研究中侧重的自然因素和社会经济因素,还结合了陇中黄土高原的区域特殊性,即该区域从 2010 年开始实施了甘肃东部土地整治重大工程,重点推进了坡耕地水土流失综合治理、小流域治理等措施。通渭县作为项目实施区域,大量的坡

耕地被改造为梯田。因此本文在考量政策因素对耕地利用转型的影响时,主要选取了水平梯田面积,最终揭示了自然条件、社会经济和政策因素对耕地利用转型的交互作用。从结果来看,研究期内通渭县耕地利用转型总体呈现上升趋势,耕地利用转型具有较强的空间随机性。从驱动因素来看,与唐莹等[28]对中国东北地区等粮食主产区的研究一致。耕地禀赋等自然条件对耕地利用功能转型有显著影响,但对处在陇中黄土高原区域的通渭县而言,高程、气温、降水等自然因素更多地限制了区域耕地利用转型。此外,不同于牛海鹏等[29]对黄河流域耕地利用转型的研究结果。牛海鹏等认为城镇化在短期内对区域耕地利用转型具有显著影响。但本研究发现,在乡镇等小尺度层面,经济和政策因素对短期内区域的耕地利用转型的影响更为突出,原因可能是陇中黄土高原区域经济发展水平较低,农民在进行农业生产时,对市场价格变化更为敏感,市场价格的变化在很大程度上影响着耕地利用方式。此外2005—2022年政策因素(如水平梯田建设)对县域各乡镇的耕地利用转型起到了明显的推动作用。例如,2010年通渭县在马营镇长川流域等地区实施了一系列坡耕地水土流失综合治理试点项目,在此阶段马营镇水平梯田面积对耕地利用转型的解释力最高。最后,从生态重要性角度来看,黄土高原区域在国家“两屏三带”生态安全战略格局以及黄河流域生态保护层面具有重要的生态地位。区域耕地不仅承担着重要的生产功能,同时还承担着水土保持、水源涵养、生物多样性保护、碳汇、土壤肥力维持等重要的生态功能。因此,推动陇中黄土高原区域的耕地利用转型绝不能仅仅从耕地利用本身出发,还应更多地考虑区域耕地的生态功能,以土地利用转型为抓手,推动社会经济和生态环境协同提升,最终实现区域可持续发展。

基于以上研究结论,为切实推动陇中黄土高原区域类似县域耕地利用有序转型,本研究提出以下建议。①在县级政府层面,应当因地制宜、坚定不移地继续推进坡改梯工程,进一步改善农村生态环境和农业生产条件,促进农村可持续发展。同时还应当建立健全土地整治项目的后续管理机制,加强对已整治土地的维护和管理,通过种植适宜的植被、建设防护林带等措施,提高土地的生态稳定性和可持续利用能力;②在乡镇层面,应当积极引导农民成立农业合作社。通过整合土地资源和劳动力资源,实现规模化经营和集体发展。在这个过程中,能够提高农民的市场谈判能力和抗风险能力,促进农业生产的集约化和现代化;③农户层面,农民作为耕地保护的主体,首先要加强耕地利用保护相关政策的学习,提高耕地保护意识。其次要积极参与农业技术培训工作,持续提高多元化农业生产技能水平。

本研究在县域尺度下以各乡镇为研究单元,对较长时间序列的耕地利用转型变化趋势及影响因素进行了探究,但依然存在一些不足。①耕地利用转型和影响因素指标体系的建立理想程度不够。其原因在于乡镇单元下,数据的获取及统一难度较大。因此未来进行乡镇尺度耕地利用转型相关研究时应尝试以调查问卷的方式展开,减少对于统计年鉴资料的依赖。②在研究视角上对于农户群体的关注度不够。农户作为耕地资源的实际使用者,对耕地利用的方式、强度往往会在很大程度上影响小尺度区域的耕地利用转型。未来研究应当提高农户在耕地利用转型进程中的参与度和话语权。

4 结 论

本研究以通渭县18个乡镇为研究单元,通过构建耕地利用转型指标体系,进一步计算得到耕地利用转型指数,从而对研究区各单元2005—2022年耕地利用转型时空变化特征进行测度,最终使用地理探测器识别了耕地利用转型的影响因素。

(1)2005—2022年通渭县耕地利用转型在时间序列上呈现上升趋势。其中2008—2013年上升明显,2013年达到峰值;通渭县各乡镇耕地利用空间形态转型总体呈现上升趋势,转型指数较高的区域主要分布在通渭县西南部和北部。各乡镇转型差异呈现先增大后减小的变化趋势。耕地利用功能形态转型指数显著上升,各乡镇耕地利用功能转型的差异逐渐缩小。

(2)通渭县耕地利用转型的全局自相关显著性较差,耕地利用转型及功能形态转型具有较强的空间随机性,而空间形态转型具有显著的正相关性。局部自相关集聚特征差异变化明显,耕地利用转型在东北部地区逐渐向外扩散而南部地区出现集聚。空间形态转型总体稳定,呈现东部高,西南部低的特征,功能形态转型在中部和南部出现集聚,而由东北部向外扩散。

(3)气温、降水等自然因素是通渭县耕地利用转型的基础驱动力,社会经济发展和水平梯田面积等政策因素则对其在短时间内有明显的促进作用;耕地利用转型、空间形态转型及功能形态转型的影响因子交互作用均为双因子增强和非线性增强。未来需要通过协同推进农业生产条件改善,村集体经济

组织壮大及农户耕地保护意识提高,多维度推动耕地利用转型的可持续发展。

参考文献(References)

[1] 于法稳,代明慧,林珊.基于粮食安全底线思维的耕地保护:现状、困境及对策[J].经济纵横,2022(12):9-16.
Yu Fawen, Dai Minghui, Lin Shan. Cultivated land protection based on bottom line thinking of food security: Current situation, difficulties and countermeasures [J]. Economic Review Journal, 2022(12):9-16.

[2] 张琦,王一凡.中国式现代化进程中农业农村现代化的现实挑战与展望[J].兰州大学学报(社会科学版),2024,52(5):33-44.
Zhang Qi, Wang Yifan. Challenges and prospects of agricultural and rural modernization in the process of realizing Chinese modernization [J]. Journal of Lanzhou University (Social Sciences), 2024,52(5):33-44.

[3] Walker R T. Land use transition and deforestation in developing countries [J]. Geographical Analysis, 1987, 19(1):18-30.

[4] Lambin E F, Meyfroidt P. Land use transitions: Socio-ecological feedback versus socio-economic change [J]. Land Use Policy, 2010,27(2):108-118.

[5] Liao Liuwen, Ma Enpu, Long Hualou, et al. Land use transition and its ecosystem resilience response in China during 1990—2020 [J]. Land, 2023,12(1):141.

[6] Qu Yi, Long Hualou. The economic and environmental effects of land use transitions under rapid urbanization and the implications for land use management [J]. Habitat International, 2018,82:113-121.

[7] 龙花楼.土地利用转型的解释[J].中国土地科学,2022,36(4):1-7.
Long Hualou. Explanation of land use transitions [J]. China Land Science, 2022,36(4):1-7.

[8] 宋小青,李心怡.区域耕地利用功能转型的理论解释与实证[J].地理学报,2019,74(5):992-1010.
Song Xiaoqing, Li Xinyi. Theoretical explanation and case study of regional cultivated land use function transition [J]. Acta Geographica Sinica, 2019,74(5):992-1010.

[9] 潘子纯,田蓬鹏,马鹏超,等.哈长城市群耕地利用转型与县域城乡融合耦合协调的时空演进及驱动因素[J].农业工程学报,2025,41(3):228-239.
Pan Zichun, Tian Pengpeng, Ma Pengchao, et al. Spatiotemporal evolution and driving factors in coupling coordination of cultivated land use transformation and county-level urban-rural integration in Harbin-Changchun urban agglomeration [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2025,41(3):228-239.

[10] 王雨枫.耕地多功能利用转型特征与优化策略:基于城市群视角[J].江西财经大学学报,2022(3):96-105.
Wang Yufeng. Transformation characteristics and optimization strategy of multi-functional utilization of farmland: From the perspective of urban agglomeration [J]. Journal of Jiangxi University of Finance and Economics, 2022(3):96-105.

[11] 李贤,王浩阳,牛文浩,等.黄河流域耕地利用转型时空演变及其对粮食生产的影响[J].中国农业大学学报,2024,29(10):85-96.
Li Xian, Wang Haoyang, Niu Wenhao, et al. Spatial-temporal evolution of cultivated land use transition and its impact on grain production in the Yellow River basin [J]. Journal of China Agricultural University, 2024, 29(10):85-96.

[12] 赵映慧,王子彤,詹汶羲,等.黑龙江省耕地利用转型碳排放的时空分异特征与影响因素[J].西南农业学报,2022,35(10):2247-2255.
Zhao Yinghui, Wang Zitong, Zhan Wenxi, et al. Spatial-temporal characteristics and influencing factors of carbon emission from cultivated land use transformation in Heilongjiang Province [J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2022,35(10):2247-2255.

[13] 朱庆莹,王玉琳,陈坤,等.主体功能区视角下湖北省耕地利用转型时空分异特征[J].农业工程学报,2024,40(15):222-232.
Zhu Qingying, Wang Yulin, Chen Kun, et al. Spatial-temporal divergence of cultivated land use transformation in Hubei Province from the perspective of main functional zones [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2024,40(15):222-232.

[14] 黄珺嫦,华轩轲,贾梦瑶,等.2000—2020年河南省耕地利用显性转型时空特征[J].水土保持通报,2023,43(1):206-213.
Huang Junchang, Hua Xuanke, Jia Mengyao, et al. Temporal and spatial characteristics of dominant transformation of cultivated land use in Henan Province from 2000 to 2020 [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2023,43(1):206-213.

[15] 杨君,刘畅,袁淑君,等.不同空间尺度耕地利用转型碳排放及其影响因素:以湖南省为例[J].水土保持通报,2025,45(1):264-275.
Yang Jun, Liu Chang, Yuan Shujun, et al. Carbon emissions of cultivated land use transformation and influencing factors at different spatial scales: A case study in Hunan Province [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2025,45(1):264-275.

[16] 胡海洋,余敦,魏鹏,等.鄱阳湖平原耕地利用绿色转型时空格局及驱动因素[J].水土保持研究,2025,32(3):270-281.
Hu Haiyang, Yu Dun, Wei Peng, et al. Spatial-temporal pattern and driving factors of green transformation of cul-

tivated land use in Poyang Lake plain [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2025,32(3):270-281.

[17] 彭洪兵,钱招东,桑新春.不同尺度下耕地利用转型对经济发展的影响[J].湖北农业科学,2023,62(10):240-246.
Peng Hongbing, Qian Zhaodong, Sang Xinchun. The influence of cultivated land use transformation on economic development at different scales [J]. Hubei Agricultural Sciences, 2023,62(10):240-246.

[18] 侯荣,王黎华,孟昱州,等.山西省太原市土地利用转型及其生态效应[J].水土保持通报,2025,45(2):397-407.
Hou Fen, Wang Lihua, Meng Yuzhou, et al. Land-use transition and its ecological effects of Taiyuan City, Shanxi Province [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2025,45(2):397-407.

[19] 代亚强,张玥,柯新利,等.耕地利用转型与县域城镇化的耦合作用及其影响因素分析:以河南省为例[J].自然资源学报,2024,39(1):206-227.
Dai Yaqiang, Zhang Yue, Ke Xinli, et al. Coupling interaction and driving factors of cultivated land use transition and county urbanization: A case study in Henan Province [J]. Journal of Natural Resources, 2024, 39(1):206-227.

[20] 付舒斐.长江中下游粮食主产区耕地利用转型的时空特征与驱动机制研究[D].江西 南昌:江西财经大学,2023.
Fu Shufei. Spatiotemporal characteristics and driving mechanism of cultivated land use transition in the main grain-producing areas in the middle and lower reaches of the Yangtze River [D]. Nanchang, Jiangxi: Jiangxi University of Finance and Economics, 2023.

[21] 李曼,王梦竹,刘焕才,等.汾河流域耕地利用碳排放效率与粮食安全耦合协调时空演变及其驱动因素[J].水土保持通报,2025,45(2):262-271.
Li Man, Wang Mengzhu, Liu Huancai, et al. Spatiotemporal evolution and driving factors of coupling coordination between carbon emission efficiency of cultivated land use and food security in Fenhe River basin [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2025, 45(2):262-271.

[22] 付慧,刘艳军,孙宏日,等.京津冀地区耕地利用转型时空分异及驱动机制[J].地理科学进展,2020,39(12):1985-1998.
Fu Hui, Liu Yanjun, Sun Hongri, et al. Spatiotemporal characteristics and dynamic mechanism of cultivated land use transition in the Beijing-Tianjin-Hebei region [J]. Progress in Geography, 2020,39(12):1985-1998.

[23] 朱瑗媛,殷颂葵,刘琼慧.中国西北地区农业生态效率时空分异及影响因素研究[J].干旱区地理,2024,47(7):1210-1219.
Zhu Aiai, Yin Songkui, Liu Qionghui. Spatial and temporal differentiation and influencing factors of agricultural ecological efficiency in northwest China [J]. Arid Land Geography, 2024,47(7):1210-1219.

[24] 戈大专,龙花楼,屠爽爽,等.黄淮海地区土地利用转型与粮食产量耦合关系研究[J].农业资源与环境学报,2017,34(4):319-327.
Ge Dazhuan, Long Hualou, Tu Shuangshuang, et al. Coupling relationship between land use transitions and grain yield in Huang-Huai-Hai plain, China [J]. Journal of Agricultural Resources and Environment, 2017, 34(4):319-327.

[25] Wang Xiaoxiao, Zhao Huafu, Qian Jiacheng, et al. Promoting or inhibiting? The impact of farmland use transition on rural household income: Evidence from the three northeast provinces, China [J]. Habitat International, 2025,156:103255.

[26] 陈莎,杨润佳,叶艳妹,等.资源禀赋、劳动力转移对耕地利用功能转型的影响研究:基于面板门槛模型的实证分析[J].中国土地科学,2023,37(2):71-81.
Chen Sha, Yang Runjia, Ye Yanmei, et al. Impact of resource endowment and rural labor transfer on farmland use multifunction transition: An analysis based on threshold regression [J]. China Land Science, 2023,37(2):71-81.

[27] 仇童伟,罗必良.流转"差序格局"撕裂与农地"非粮化":基于中国29省调查的证据[J].管理世界,2022,38(9):96-113.
Qiu Tongwei, Luo Biliang. The laceration of "orderly-diversity pattern" of land transfers and non-grain production: Evidence from 29 provinces in China [J]. Journal of Management World, 2022,38(9):96-113.

[28] 唐莹,孙玉晶.粮食安全视角下东北地区耕地利用功能转型特征研究[J].农业现代化研究,2024,45(2):210-220.
Tang Ying, Sun Yujing. Study on the functional transformation characteristics of farmland utilization in northeast China from the perspective of grain security [J]. Research of Agricultural Modernization, 2024,45(2):210-220.

[29] 牛海鹏,赵晓鸣,肖东洋,等.黄河流域(河南段)耕地多功能时空格局演变及其权衡协同关系[J].农业工程学报,2022,38(23):223-236.
Niu Haipeng, Zhao Xiaoming, Xiao Dongyang, et al. Spatial-temporal pattern evolution and trade-off relationship of cultivated land multifunction in the Yellow River basin (Henan section) [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2022, 38(23):223-236.