

DOI:10.13869/j.cnki.rswc.2025.03.024; CSTR:32311.14.rswc.2025.03.024.

各文克, 王浩阳, 李奇峰, 等. 新疆耕地景观细碎化演变特征及驱动因素[J]. 水土保持研究, 2025, 32(3):260-269.

Ge Wenke, Wang Haoyang, Li Qifeng, et al. Evolution characteristics and driving factors of farmland landscape fragmentation in Xinjiang[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2025, 32(3):260-269.

新疆耕地景观细碎化演变特征及驱动因素

各文克¹, 王浩阳², 李奇峰¹, 张蚌蚌^{1,2}, 郑伟伟², 关全力¹

(1. 新疆农业大学 经济管理学院, 乌鲁木齐 830052; 2. 西北农林科技大学 经济管理学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要: [目的] 厘清新疆耕地景观细碎化的时空演进特征及其驱动因素, 为新疆优化区域耕地资源配置, 促进耕地规模化利用提供理论依据。 [方法] 基于 1980—2020 年 5 期土地利用数据, 借助 GIS 方法从景观格局视角测度新疆耕地细碎化情况, 并利用地理探测器探讨其驱动因素。 [结果] 新疆耕地景观细碎化程度较高, 但总体呈现减弱态势。研究期内耕地景观细碎化指数共减少 4.00%, 细碎化水平为中等、较高及高水平的县域减少 13.67%, 1.29%, 4.22%; 低、较低水平的县域增加 7.13%, 12.25%。不同时段景观细碎化变化特征有较大差异, 1990—2010 年是耕地细碎化程度减弱最显著的时段, 呈现变化率大、涉及维度广、影响县域多等特点。景观细碎化趋势空间分布显著, 增强趋势集中在昆仑山北侧和吐鲁番盆地附近的县域, 减弱趋势则集中在天山南、北坡和塔里木盆地西北边缘绿洲附近的县域。景观细碎化程度主要受坡度、到建设用地的距离、到水域的距离及高程等驱动因子的共同作用。 [结论] 近 40 年, 新疆耕地细碎化问题得到一定改善, 但县域间细碎化程度存在较大差异, 应进一步结合地形和区位条件因地制宜地加强耕地细碎化综合治理, 以推动新疆耕地资源的规模化发展和可持续利用。

关键词: 耕地; 景观细碎化; 时空格局; 驱动因素; 新疆

中图分类号: F301.21

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2025)03-0260-10

Evolution characteristics and driving factors of farmland landscape fragmentation in Xinjiang

Ge Wenke¹, Wang Haoyang², Li Qifeng¹, Zhang Bangbang^{1,2}, Zheng Weiwei², Guan Quanli¹

(1. College of Economics and Management, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China;

2. College of Economics and Management, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: [Objective] This study aims to examine the spatiotemporal evolution characteristics and driving factors of farmland landscape fragmentation in Xinjiang, providing a theoretical basis for optimizing regional farmland resource allocation and promoting large-scale use of farmland in Xinjiang. [Methods] Based on the land use data of five periods from 1980 to 2020, GIS methods were used to measure the fragmentation of farmland landscapes in Xinjiang from a landscape pattern perspective. Additionally, geographic detectors were employed to explore the driving factors of fragmentation. [Results] The degree of farmland landscape fragmentation in Xinjiang was relatively high, but it generally showed a decreasing trend. During the study period, the farmland landscape fragmentation index decreased by 4.00%, with counties at moderate, high, and very high fragmentation levels decreasing by 13.67%, 1.29% and 4.22%, respectively. In contrast, counties at low and relatively low fragmentation levels increased by 7.13% and 12.25%. The change characteristics of landscape fragmentation varied significantly over different periods. From 1990 to 2010, the degree of farmland fragmentation decreased most significantly, with large changes, a wide range of dimensions, and a broad impact across counties. The

收稿日期: 2024-07-02

修回日期: 2024-07-23

接受日期: 2024-08-03

资助项目: 新疆维吾尔自治区自然科学基金面上项目(2022D01A82); 新疆社会科学基金项目(21BGL099)

第一作者: 各文克(2000—), 男, 河南商水人, 硕士研究生, 研究方向为耕地空间格局演变及耕地细碎化评价。E-mail: gewink@126.com

通信作者: 张蚌蚌(1990—), 男, 河南太康人, 副教授, 主要从事耕地质量与土地评价、耕地细碎化整治与乡村振兴研究。E-mail: bangbang.zhang@nwafu.edu.cn

<http://stbcyj.paperonce.org>

spatial distribution of landscape fragmentation trends was significant; the increasing fragmentation trend concentrated in counties north of the Kunlun Mountains and near the Turpan Basin, while the decreasing trend was mainly concentrated in counties on the southern and northern slopes of Tianshan Mountains and the northwestern edge of the Tarim Basin oases. The degree of landscape fragmentation was mainly influenced by a combination of factors such as slope, distance to built-up land, distance to water and elevation. [Conclusion] Over the past 40 years, farmland fragmentation in Xinjiang has improved to some extent, but significant differences in fragmentation levels remain across counties. It is necessary to further strengthen the regional-specific comprehensive management of farmland fragmentation, taking into account topography and location, to promote the large-scale development and sustainable utilization of farmland resources in Xinjiang.

Keywords: farmland; landscape fragmentation; spatiotemporal pattern; driving factors; Xinjiang

耕地细碎化是与规模经营相矛盾的耕地资源利用方式^[1-2],空间上呈现为形状、面积不同的小块,表现出分散的、无序的状态^[3-4]。我国自1978年起实行家庭联产承包责任制和“统分结合”,结合土地肥力和地理条件平均分配耕地,虽然提高了过去的农业产出但也造成耕地细碎化问题^[5]。21世纪以来,社会经济的不断发展及城镇建设用地的无序扩张侵占大量耕地^[6],促使人地关系持续松动,土地利用发生变化,耕地细碎化加剧^[6-7]。耕地细碎化问题已成为农业农村现代化发展的掣肘,导致土地资源浪费,增加农业生产成本,阻碍农业产出提高^[8],此外,耕地细碎化还造成农村土地利用效率低下及农村劳动力减少,间接出现土地退化、撂荒现象^[9]。2023年中央一号文件明确指出要总结地方“小田并大田”经验,逐步解决细碎化问题,因此准确评价区域耕地细碎化水平对区域农业农村合理化利用和全国粮食安全有十分重要的现实意义。

目前,学界关于耕地细碎化在概念内涵^[10]、测度指标构建^[1-2]和驱动因素等^[11]方面展开大量探索,较多学者从耕地细碎化内涵出发,从权属细碎化^[12-13]和景观细碎化^[14-15]两个方面展开,已有文献表明,景观指标能有效地将耕地细碎化特征具象化^[16]。近年来,多数学者专注于用耕地景观指数来表征耕地细碎化程度^[17-18],有关景观细碎化测度评价的研究中,往往采用主成分分析法来消除各指标的相关性^[19]而忽视了多重共线性现象,自变量高度相关会导致模型估计失真或难以准确估计,从而对评价结果有负面影响。而在耕地细碎化驱动因素的研究中,较多学者主要探讨地形(坡度、高程)^[17,20]、气象(气温、降水)^[9,11]、人类活动等^[16,20]因素的影响,忽略了某些区位条件因素,如西北干旱区土壤盐渍化、荒漠化可能对区域耕地细碎化有影响。

对于西北干旱区耕地细碎化水平测度,当前主要集中在甘肃^[9]、陕西等^[21]区域,针对新疆耕地细碎化的

相关研究却鲜有报道。新疆是我国内陆干旱区的代表,多山、多盆地的地貌特征造成了农业空间分布不均衡和农业耕作条件不佳。此外,受气候变暖^[22]、水资源空间分配不均^[23]、城市扩张等^[24]因素的影响,新疆耕地生态系统面临着土地荒漠化、沙漠化和土壤盐渍化等问题。因此,亟需强化新疆耕地细碎化的科学认识,明晰影响新疆耕地细碎化的驱动因素。

鉴于此,本文以新疆县域耕地为评价单元,利用景观格局指数评估新疆耕地景观细碎化水平,并分析时空格局变化规律。进而在考虑地形、气象、人类活动等因素影响的基础上,结合新疆特殊的区位条件将耕地到盐碱地、沙地的距离纳入影响因子,探究影响耕地细碎化的驱动因素。以期新疆耕地可持续利用与农业农村现代化发展提供理论参考。

1 研究区概况、数据来源与研究方法

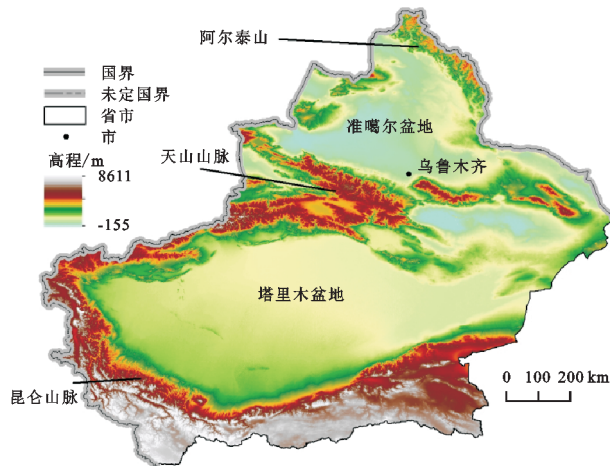
1.1 研究区概况

新疆地跨亚欧大陆,处于我国西北内陆干旱地区,位于 $73^{\circ}20'—96^{\circ}25'E, 34^{\circ}15'—49^{\circ}10'N$,属于典型大陆性干旱气候,日照充足,降水稀少且蒸发强烈,水浇地是干旱区的主要耕地类型。新疆总面积 166.49 万 km^2 ,是中国最大的省级行政区,约占我国国土面积的 $1/6$,是中国耕地后备资源的集中分布区^[22],其中耕地面积为 8.26 万 km^2 ,仅占新疆总面积的 4.96% ,开发潜力巨大。如图1所示,地貌大致呈现“三山夹两盆”。其中“三山”指北部阿尔泰山、中部天山、南部昆仑山;“两盆”指天山南部塔里木盆地和天山北部的准噶尔盆地。新疆平均海拔 $4\ 385$ m,地形落差较大,导致耕地后备资源开发困难,细碎化较为严重。

1.2 数据来源

年均气温、降水数据来源于国家气象科学中心(<http://data.cma.cn>)。30 m分辨率DEM数据下载自地理空间数据云(<https://www.gscloud.cn>)。土地利用数据来自中国科学院资源环境科学数据中心

(<https://www.resdc.cn>),包括1980年、1990年、2000年、2010年、2020年共5期的30 m分辨率新疆二级土地利用栅格数据,该数据集在季相选择方面,以新疆6月中旬至9月下旬的无云图像;在正确率方面,耕地数据采集正确率不低于95%。为使得研究更符合区域特点,以新疆人均耕地面积为参考,将耕地数据重采样为50 m空间分辨率,以县域为评价单元计算景观格局指数。提取沙地、水域(河渠、湖泊及水库坑塘)、盐碱地、建设用地(城镇用地、农村居民点)等土地利用类型作为驱动因素数据来源。



注:基于标准地图服务系统下载的审图号为GS(2024)0650号的标准地图制作,底图未做修改,下同。

图1 新疆区域概况

Fig. 1 Overview map of Xinjiang

表1 耕地景观细碎化评价指标体系

Table 1 Evaluation index system of farmland landscape fragmentation

目标层	维度层	指标层	指标含义	属性	权重
资源 规模 特征	资源 规模 特征	斑块类型面积(CA)	表征耕地景观的面积之和	+	0.418
		斑块平均大小(MPS)	表征耕地斑块的平均大小	+	0.498
		斑块密度(PD)	表征单位面积的耕地斑块数	-	0.046
耕地 景观 特征	区域 聚集 特征	斑块内聚力(COHESION)	表征耕地景观的连通性	+	0.038
		平均邻近度(MMN)	表征特定空间范围内耕地斑块间的邻近程度	+	0.360
		景观分割度(DIVISION)	揭示耕地景观的空间分离程度	-	0.614
	边界 规整 特征	斑块数量(NP)	表征不同的耕地斑块空间连接情况	-	0.014
		欧式平均最近邻距离(ENN)	反映耕地斑块整体平均邻近状况	-	0.012
		边界密度指数(ED)	揭示耕地景观被边界分割的程度和破碎化程度	+	0.636
		周长面积分维数(PAFRAC)	反映耕地景观的形状复杂性	+	0.158
	平均斑块分维数(MPFD)	测定耕地景观和斑块周边形状的复杂程度	-	0.104	
	景观形状指数(LSI)	表征耕地景观形状边界的规整性及复杂性	-	0.102	

首先对各指标进行归一化处理,本文采用极差标准化法。指标层采用熵权法,维度层使用AHP方法,将二者组合赋权(各占1/2)确定各指标权重^[18]。如把研究区耕地景观特征的强弱假设为“CS”,对应在同一区域的同时段内耕地景观细碎特征的弱强则用“1-CS”表示^[1]。参考同类研究^[15],最终构造耕地景观细

1.3 研究方法

1.3.1 耕地细碎化评价方法 学界将耕地景观细碎化定义为耕地资源受到自然环境、人文活动等因素的影响,在空间上表现为规模大小异同、空间(区域)聚集程度不一、边界(形状)规整不同的景观分异现象^[1-4,25],包含对耕地景观细碎化特征认识的2个关键方面。一是耕地景观细碎化实质上体现了耕地资源在规模结构、区域分布和边界离散特征等(3个维度)上的变化,包括斑块面积(CA)、平均大小(MPS)、密度(PD)及连通性(COHESION)等资源规模特点,地块相互间的距离(MMN, ENN)、数量(NP)、分割或延展程度(DIVISION)等区域内空间聚集条件,以及斑块边缘密度(ED)、形状复杂程度(PAFRAC)、景观形状多样性(MPFD, LSI)等分化特征^[26]。二是利用耕地细碎化指数来反映细碎程度,旨在通过选取能够刻画耕地资源规模特征、空间(区域)聚集特征、边界(形状)规整特征的定量景观指标^[18,20]。

参照现有文献研究^[1,9],根据耕地景观在资源规模、区域聚集、边界规整等方面的多维细碎特征,起初拟定17项常用景观指数,保留通过共线性诊断(VIF≤10)的12项景观指数,剔除未通过共线性诊断的5项:聚集度指数(AI)、总边缘长度(TE)、平均形状指数(MSI/SHAPE_MN)、最大斑块指数(LPI)、斑块类型指数(PLAND)。最终构建新疆耕地景观细碎化评价指标体系(表1)。

碎化指数(CLFI)。其计算过程为:

$$CLFI = 1 - (RSCI \cdot W_{RSCI} + RCFI \cdot W_{RCFI} + BRFI \cdot W_{BRFI}) \quad (1)$$

式中:RSCI为资源规模特征指数;RCFI为区域聚集特征指数;BRFI为边界规整特征指数;对应权重则为 W_{RSCI} , W_{RCFI} , W_{BRFI} 。

在耕地景观细碎化格局相关研究中,学者们认为区域内耕地资源规模情况、区域聚集水平、形状规整程度同等重要^[15],即 $W_{RSCI} = W_{RCFI} = W_{BRFI} = 1/3$ 。式中:RSCI,RCFI,BRFI的计算依据如下公式:

$$\begin{aligned} RSCI &= \sum_{i=1}^n E_{im} \cdot W_m \\ RCFI &= \sum_{j=1}^m P_{jn} \cdot W_n \\ BRFI &= \sum_{k=1}^q R_{kq} \cdot W_q \end{aligned} \quad (2)$$

式中: E_{im}, P_{jn}, R_{kq} 依次为评价单元下的指标 i, j, k 标准化值; w_m, w_n, w_q 分别为资源规模特征、区域聚集特征、边界规整特征维度下指标 m, n, q 的权重。

表 2 耕地景观细碎化水平划分标准

Table 2 Classification standards for farmland landscape fragmentation levels

等级	耕地景观细碎化区间	资源规模特征区间	区域聚集特征区间	边界规整特征区间
低	≤ 0.626	≤ 0.140	≤ 0.049	≤ 0.237
较低	(0.626, 0.739]	(0.140, 0.227]	(0.049, 0.089]	(0.237, 0.302]
中等	(0.739, 0.798]	(0.227, 0.335]	(0.089, 0.195]	(0.302, 0.377]
较高	(0.798, 0.850]	(0.335, 0.557]	(0.195, 0.299]	(0.377, 0.513]
高	≥ 0.850	≥ 0.557	≥ 0.299	≥ 0.513

1.3.3 地理探测器 耕地细碎化是由于人类活动、自然环境(气象、地形和区位条件)等因素共同作用的结果,在借鉴相关学者的研究基础上^[9,27],考虑数据的可获得性并结合新疆特殊的地理环境,从人类活动(X_1 :耕地到建设用地的平均距离)、气象因子(X_2 :气温, X_3 :降水)、地形因子(X_4 :高程, X_5 :坡度)和区位条件(X_6 :耕地距离水域的平均距离, X_7 :耕地距离沙地的平均距离, X_8 :耕地距离盐碱地的平均距离)等 4 个方面共选取 8 个影响因子,以五期县域耕地细碎化指数结果作为因变量 Y 。进而采用自然断点法(分成 10 类),探究各影响因素对新疆耕地景观细碎化的解释力大小及因子间的交互作用。

地理探测器的原理是如果某个自变量对某个因变量有重要影响,那么自变量和因变量的空间分布也应该具有相似性的假设,用于探测空间异质性并揭示地理现象背后驱动力的统计方法^[28]。地理探测器不仅可以检测单因子,还可以检测两个驱动因子间的交互作用对新疆耕地景观细碎化的解释力。计算公式如下:

$$q = 1 - \frac{1}{n\sigma^2} \sum_{i=1}^m n_i \sigma_i^2 \quad (4)$$

式中: q 为探测因子表示对耕地景观细碎化的解释程度, q 的值域为 $[0, 1]$,且 q 值越大表示对耕地细碎化的时空演进的解释力越大; n, n_i 分别代表总样本数量和分区的样本数量; σ^2 为总离散方差; σ_i^2 为分区 y 的离散方差。

1.3.2 耕地景观细碎化特征分析方法 如表 2 所示,使用自然断点法以 1980 年新疆耕地景观细碎化及其分维属性指数为基期,将等级划分为低、较低、中等、较高、高等 5 个等级,并进行空间制图。为揭示耕地景观特征的变化差异及程度,本文采用不同时间尺度下耕地景观细碎化及其分维属性指数的变化幅度及变化率来表示,其计算公式如下(以耕地景观细碎化变化率为例):

$$R = \frac{\Delta CLFI}{CLFI_a} \cdot \frac{1}{m} \quad (3)$$

式中: $\Delta CLFI$ 为两个时期耕地景观细碎化指数的变幅; R 为耕地景观细碎化的变化率; $CLFI_a$ 为研究时段内前一个时段的耕地景观细碎化观测值; m 为间隔年份。

2 结果与分析

2.1 新疆县域耕地细碎化时空演变特征

2.1.1 时间演变特征 新疆耕地景观细碎化指数变化情况如图 2 所示,新疆耕地细碎化程度较高,细碎化指数由 1980 年的 0.791 下降至 2020 年的 0.751,减少 4.00%。景观特征在不同时段下的变化有较大差异,以 10 a 期来看,1980—2020 年对应变化率为 0.25%, -0.06%, -0.37%, 0.16%, 其中 2000—2010 年耕地细碎化变化率最大,为 -0.37%。新疆耕地景观细碎化等级占比如图 3 所示,县域间耕地景观细碎化水平空间结构不均衡,但随着时间推移逐渐转好,耕地细碎水平为低的县域数量占比从 1980 年的 8.30% 增加到 2020 年的 15.46%,而细碎化水平为高的县域占比从 1980 年的 29.17% 下降到 2020 年的 24.74%,而中等水平变幅则为 -13.67%。

从分维度特征变化来看呈现先增强后稳定的趋势,不同时段内演化存在差异,资源规模特征稳中有进,区域聚集特征逐步向好,边界规整特征趋于稳定。在变化率方面,1980—1990 年边界规整变化率最大(-2.03%),2000—2010 年资源规模变化率最高(2.56%)。

分维度细碎化水平在不同县域间有较大差异,但整体呈现增长趋势。资源规模特征以较低、中等水平为主;区域聚集特征以低水平为主;边界规整较

为均衡且逐渐转向中高水平。以 40 a 为期,区域聚集特征增幅为 2.91%,资源规模特征增幅为 2.65%,边

界规整特征增幅为 6.31%,其中,分维度均上升的县域有 36 个,占比 37.5%。

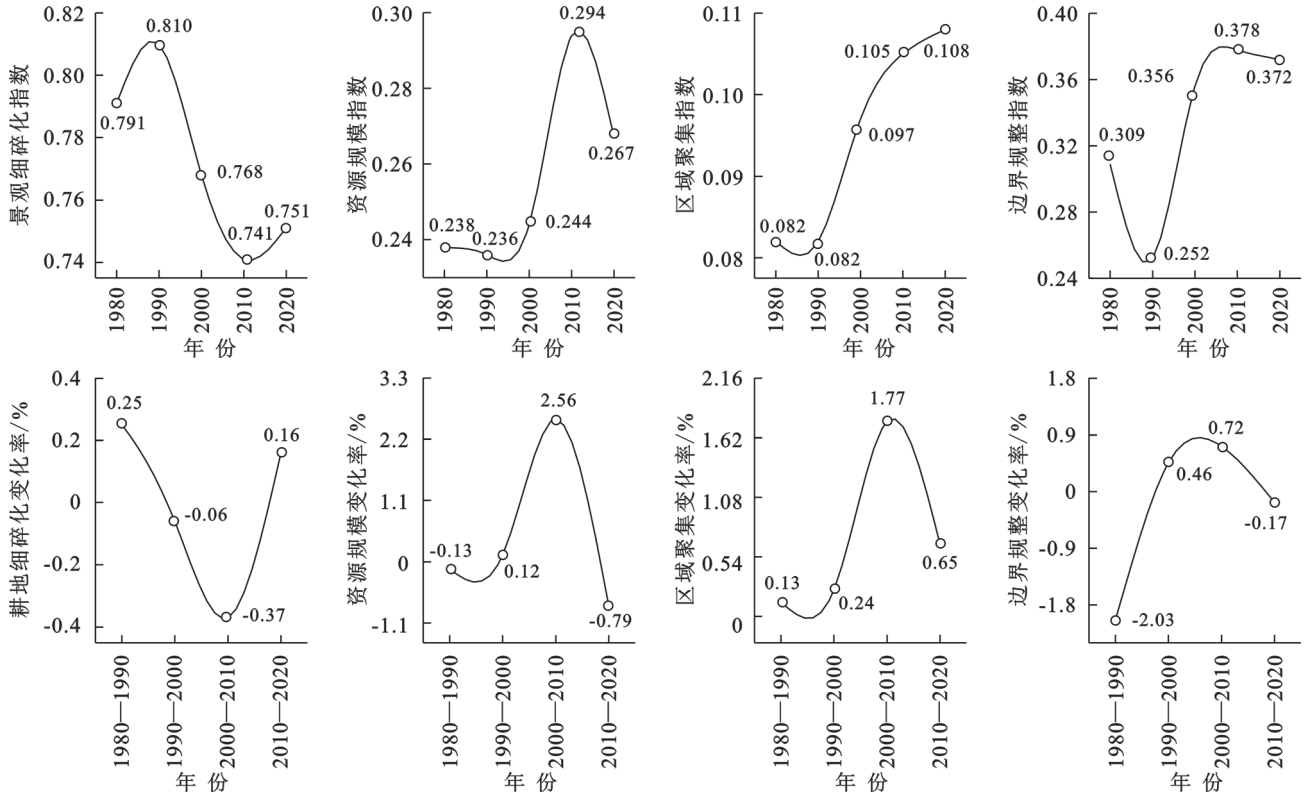


图 2 1980—2020 年新疆耕地景观细碎化及其分维度指数与变化率

Fig. 2 Fragmentation of farmland landscape, its fractal dimension index, and change rate in Xinjiang from 1980 to 2020

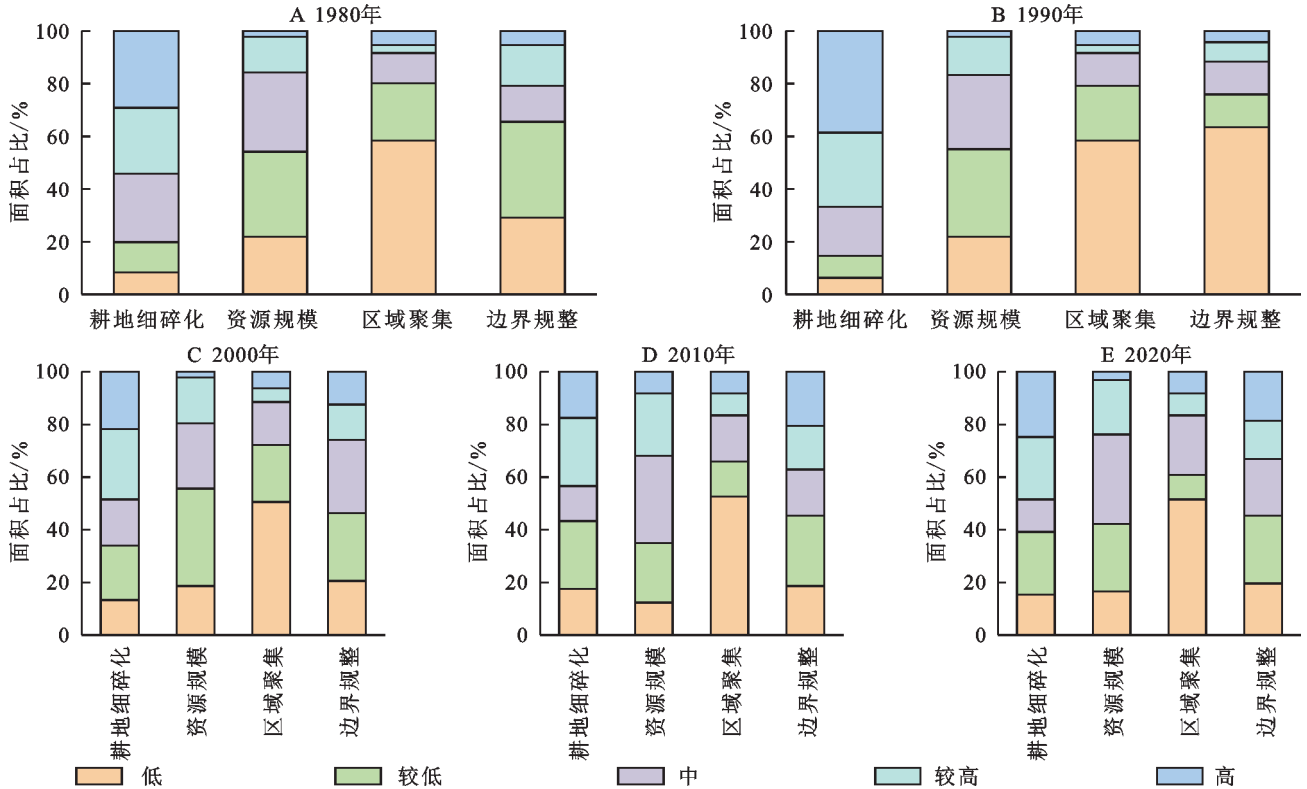


图 3 1980—2020 年新疆耕地景观细碎化及其分维度等级占比

Fig. 3 Proportion of farmland landscape fragmentation and its fractal dimension levels in Xinjiang from 1980 to 2020

1980—2020 年新疆耕地景观细碎化指数整体较高但呈现减弱趋势,不同时段景观细碎化变化特征

有较大差异,其中 1990—2010 年是耕地细碎化程度减弱最显著的时段,呈现变化率大、涉及维度广、影

响县域多等特点。

2.1.2 空间演变特征 1980—2020年新疆耕地景观细碎化空间格局如图4所示,不同县域耕地景观细碎化空间分布有明显差异。新疆耕地景观细碎化指数,以天山为核心,呈现伊犁河流域、塔里木河流域及玛纳斯河流域等流域附近的低值聚集带,以阿尔泰山南部、昆仑山北部为中心,呈现塔里木盆地南缘、准噶尔盆地北缘、吐鲁番盆地等盆地边缘的高值聚集区。耕地景观细碎化指数以“沿二山、聚二河”

的减弱趋势演变。其中,“二山”主要指沿阿尔泰山、天山山脉附近的县域耕地细碎化程度减弱集中连片分布区;“聚二河”指除天山附近流域外,环塔里木河流域的荒漠绿洲和伊犁河流域附近的县域耕地景观细碎化程度相比于其他地区较弱一些。增强趋势则呈现沿“一盆一山”的时空演变特征。“一盆”则指吐鲁番盆地周围县域耕地细碎化指数较高;“一山”指耕地景观细碎化程度高的集中分布区域在昆仑山脉北部的县域。

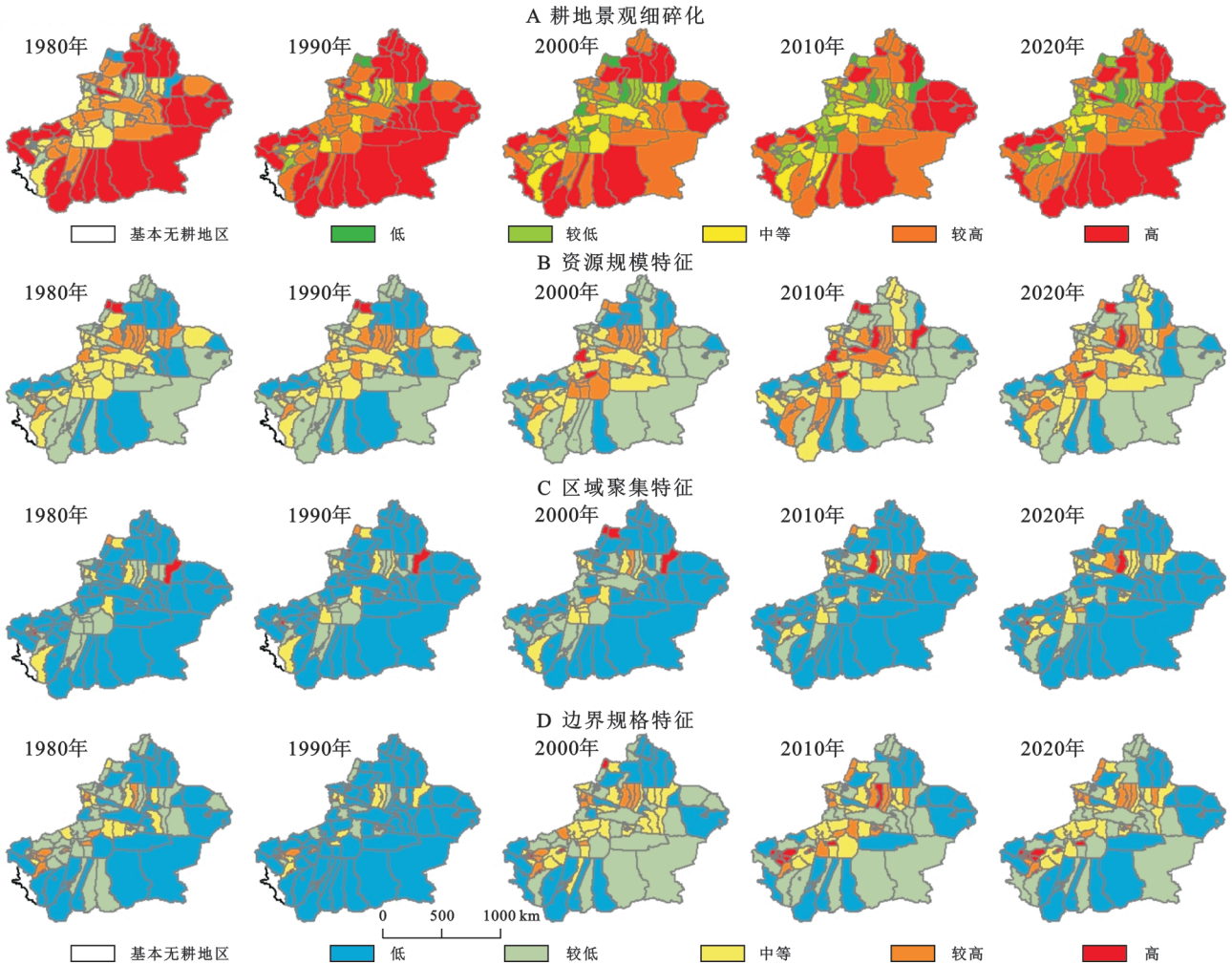


图4 新疆耕地景观细碎化及其分维度空间格局

Fig. 4 Fragmentation of farmland landscape and the spatial pattern of fractal dimensions in Xinjiang

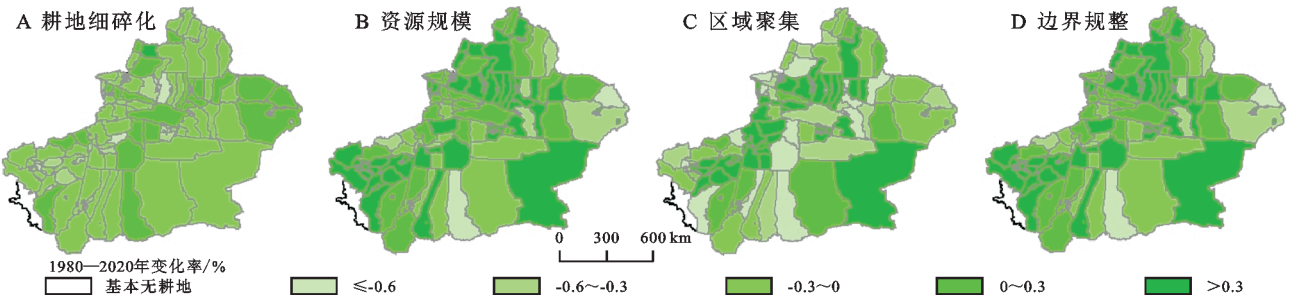


图5 1980—2020年新疆耕地景观细碎化及其分维度变化率

Fig. 5 Fragmentation of farmland landscape and its fractal dimension change rate in Xinjiang from 1980 to 2020

1980—2020年新疆耕地景观及分维度整体变化率较大(图5),新疆耕地景观变化率在-0.30%~

0.30%的县域占比82.80%,其中,以石河子市、额敏县等为代表的县域耕地细碎化整体较为稳定,而以

胡杨河市、沙湾市等为代表的县域耕地则波动较大。在分维度变化率方面,区域集聚特征变化率 $>0.30\%$ 的县占比 43.75% ,资源规模和边界特征变化率 $>0.30\%$ 的县占比为 56.25% 。这表明,新疆不同县域间耕地资源开发和细碎化治理存在较大差异。

2.2 驱动因素分析

2.2.1 单因子检测 1980—2020年新疆耕地景观细碎化驱动因子 q 值变化情况如图6所示。1980年新疆耕地景观细碎化以高程(X_4)、距离水系的距离(X_6)和坡度(X_5)等因素占主导地位,此年份地形因子对耕地景观细碎化的解释力较强,表明地形和区位条件等自然因素对耕地景观细碎化的解释力较强。1990年以高程(X_1)、气温(X_2)和距离水系的距离(X_6)等因素占主导地位,此年份气象因子对耕地景观细碎化的解释力开始增强。2000年以距离盐碱地的距离(X_8)、坡度(X_5)及高程(X_4)占主导地位,此年份地形和区位条件对耕地景观细碎化的解释力较强。2010年以距离建设用地的距离(X_1)、距离水系的距离(X_6)和坡度(X_5)等因素占主导地位,表明此时人类活动、区位因素和地形等因素对耕地景观细碎化解释力增强。2020年以坡度(X_5)、距离水系的距离(X_6)和距离建设用地的距离(X_1)等因素占主导地位,但人类活动的解释力开始减弱。其中, q 值最大的是2010年的 X_1 ,为0.437,表明在2000—2010年距离建设用地的距离解释力最强,此时段城镇化对新疆耕地细碎化的影响程度最深。40年间, X_5 的 q 值变幅最大(0.264),其次是 X_1 (0.230)和 X_6 (0.224),表明新疆耕地景观细碎化是受到自然和人类活动双重作用。

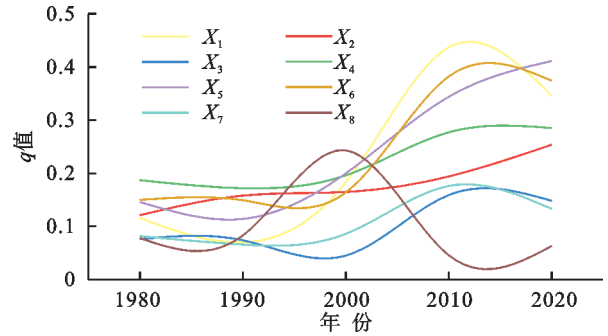


图6 1980—2020年新疆耕地景观细碎化驱动因子 q 值变化
Fig. 6 Change in the q value of driving factors for farmland fragmentation in Xinjiang from 1980 to 2020

2.2.2 双因子交互作用 在新疆耕地景观细碎化单因子的解读基础上,进一步利用交互因子探测其驱动因素,作用结果呈现双因子增加或非线性增强,所有交互因子对因变量 y 空间异质性影响程度相对于单个影响因子均有明显增强。交互因子探测结果如图7所示,研究期内对因变量 y 空间异质性影响程度相对较高的关键交互因子分别是耕地到建设用地的距离(X_1)、坡度(X_5)和耕地到水系的距离(X_6)。其中,2000年、2010年交互作用最强烈,这表明多因素共同作用促使新疆耕地细碎化减弱。新疆耕地景观细碎化的主要驱动因素不同时期表现不同。1980—1990年,新疆耕地开发较少,农业发展水平较低,耕地细碎化程度主要受限于自然要素。1990—2010年,尤其在2000年实施西部大开发战略后,城镇化进度加速、农业快速发展促使人类活动对耕地景观细碎化的影响持续加大。到2020年,耕地景观细碎化格局逐渐稳定,人类活动开始减弱,自然条件对耕地景观细碎化的驱动回到主导地位。

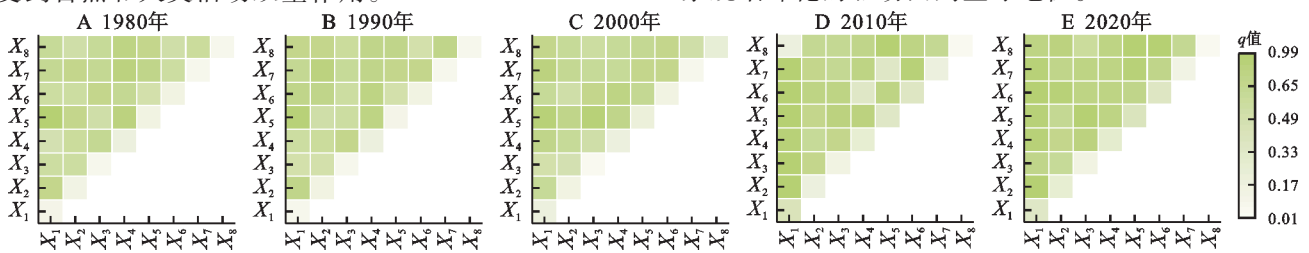


图7 新疆耕地景观细碎化交互因子探测结果

Fig. 7 Results of interaction factor analysis for farmland landscape fragmentation in Xinjiang

3 讨论

本研究结合GIS方法,利用景观格局指数较为全面地评估了1980—2020年新疆耕地细碎化情况及空间格局演变特征。研究发现,不同县域耕地景观细碎化有较大差异,总体呈现下降趋势,细碎化演变主要分成3个阶段。1980—1990年,新疆细碎化程度较高,但变化率低,耕地资源整体较为稳定。1990—2010年为细碎化程度下降期,细碎化指数下降 6.90% ,下降

趋势集中在伊犁河谷沿线、天山北坡等自然资源禀赋较好地区和城市化率较高的县域,该阶段现代农业快速发展且区域实施的土地整治政策起到重要作用。2010—2020年,细碎化程度再次回到稳定期,细碎化水平结构上更加均衡,但不同经济水平的县域间出现较大分化。

在驱动因素研究中,新疆耕地细碎化主要影响因素为坡度、高程、到建设用地的距离和到水系的距离。其中,坡度和高程因子在各年份都保持着较高

的解释力,且与其他因子有较强的交互作用,说明新疆多山、多盆地的地形地貌特征对区域耕地空间结构和细碎化有着重要影响。到建设用地的距离实质是反映区域内人类活动对耕地细碎化的影响。而到水域的距离则表明了水资源对于干旱区耕地资源的重要性。此外,耕地到盐碱地的距离和到沙地的距离对新疆耕地细碎化的解释力整体呈现先增强后减弱的趋势,这体现我国在盐碱地改良、荒漠化治理等工程方面对新疆耕地细碎化有一定正向作用。

新疆耕地细碎化是以地形因素为主导,人类活动和区位条件共同影响下而产生的。近年来国家和政府推出一系列耕地管理和土地整治政策使新疆耕地细碎化治理已有一定成效,但新疆在全国层面仍处于中等水平^[18]且存在空间差异。天山南、北坡和环塔里木盆地的边缘西北绿洲区域县域内耕地相比其他地区细碎化程度较低且有一定程度改善,而吐鲁番、阿勒泰和巴音郭楞蒙古自治州等地区细碎化程度较高的县域,却未很好地得到解决,这些县域耕地资源禀赋有一定不足,应因地制宜地建设农业社会化服务体系和开展耕地细碎化综合治理,加强区域内土壤改良和利用,将耕地沙化、盐碱地治理作为一项长期任务、一项常态化工作,同时要改善用水便利性,提升耕地的立地环境质量,以缓解耕地细碎化情况,推动新疆耕地资源的规模化、现代化发展。

耕地细碎化因地区土地规划与管理 and 自然禀赋的不同,而存在较大差异性,其驱动因素也不尽相同。本文在结合气象、地形、人类活动等因素的基础上,考虑新疆耕地可能面临沙化、盐碱化等问题,进而将耕地到沙地的距离和到盐碱地的距离纳入影响因子,但仍有进一步研究空间,如考虑加入文化背景和农户决策类等微观指标到评价模型中,以便更全面地改善耕地细碎化现状,而这些指标需要与权属细碎化相结合,需要考量农户意愿,限于数据可获取性和空间量化可行性,今后还需深入研究,从而更有针对性地开展区域细碎化治理和耕地规模化利用。

4 结论

(1) 1980—2020年,新疆耕地景观细碎化程度较高,但呈减弱态势,细碎化指数减少4.00%。1990年细碎化程度最高(0.810),2010年细碎化程度最低(0.741),2000—2010年景观细碎化变化率最大(-0.37%)。细碎化水平为中等、较高及高水平的县域减少13.67%,1.29%,4.22%,低、较低水平的县域增加7.13%,12.25%。

(2) 研究期内,新疆耕地景观细碎化程度和趋势存在空间差异。细碎化指数在空间上呈现以天山为核心的3个流域高值聚集分布区,以准噶尔盆地南

缘、柴达木盆地边缘为中心的低值聚集区。增强趋势集中在昆仑山北侧和吐鲁番盆地附近的县域,减弱趋势则集中在天山南、北坡和塔里木盆地西北边缘绿洲附近的县域。

(3) 新疆耕地景观细碎化是多因素的共同结果。坡度、到建设用地的距离、到水域的距离和高程为主要驱动因素,2010年单因子解释力较强且因子交互作用对空间异质性影响更大。

参考文献(References):

- [1] Liu J, Jin X B, Xu W Y, et al. Influential factors and classification of cultivated land fragmentation, and implications for future land consolidation: a case study of Jiangsu Province in eastern China[J]. *Land Use Policy*, 2019, 88: 104185.
- [2] Ntihinyurwa P D, de Vries W T. Farmland fragmentation concourse: analysis of scenarios and research gaps [J]. *Land Use Policy*, 2021, 100: 104936.
- [3] van Dijk T. Scenarios of Central European land fragmentation[J]. *Land Use Policy*, 2003, 20(2): 149-158.
- [4] 梁伟. 土地细碎化县域治理: 体系构建与实践机制[J]. 西北农林科技大学学报: 社会科学版, 2022, 22(2): 36-45.
Liang W. Research on county governance system of fragmentation of land[J]. *Journal of Northwest A&F University: Social Science Edition*, 2022, 22(2): 36-45.
- [5] 张蚌蚌, 刘芳苹, 侯学博, 等. “一户一田”耕地细碎化治理对农户收入的影响机制: 基于陕西省榆阳区农户数据的实证[J]. *中国土地科学*, 2023, 37(4): 73-83.
Zhang B B, Liu F P, Hou X B, et al. The impact mechanism of “one household one plot” cultivated land fragmentation governance on farmers' income: an empirical analysis based on data of Yuyang district in Shaanxi Province [J]. *China Land Science*, 2023, 37(4): 73-83.
- [6] 金贵, 邓祥征, 赵晓东, 等. 2005—2014年长江经济带城市土地利用效率时空格局特征[J]. *地理学报*, 2018, 73(7): 1242-1252.
Jin G, Deng X Z, Zhao X D, et al. Spatio-temporal patterns of urban land use efficiency in the Yangtze River Economic Zone during 2005-2014[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(7): 1242-1252.
- [7] Surya B, Salim A, Hernita H, et al. Land use change, urban agglomeration, and urban sprawl: a sustainable development perspective of Makassar City, Indonesia [J]. *Land*, 2021, 10(6): 556.
- [8] 李洪义, 李爽, 吕添贵, 等. 基于景观格局视角的土地整治对农地细碎化影响评价研究[J]. *长江流域资源与环境*, 2017, 26(1): 67-73.
Li H Y, Li S, Lv T G, et al. Evaluation of farmland fragmentation due to the impact of land consolidation based on the view of landscape pattern[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2017, 26(1): 67-73.

- [9] 奥勇,张亦恒,王晓峰,等.基于景观指数的关中地区耕地细碎化程度的时空变迁及其驱动因素[J].水土保持研究,2024,31(3):401-411.
Ao Y, Zhang Y H, Wang X F, et al. Spatiotemporal changes and driving factors of cultivated land fragmentation in Guanzhong Region based on landscape index[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2024, 31(3): 401-411.
- [10] Cao Y, Zou J, Fang X Q, et al. Effect of land tenure fragmentation on the decision-making and scale of agricultural land transfer in China[J]. Land Use Policy, 2020, 99:104996.
- [11] 杜国明,盖兆雪,王洪彦.中国耕地细碎化的理论解析与研究框架[J].地球科学与环境学报,2021,43(6):997-1008.
Du G M, Gai Z X, Wang H Y. Theoretical explanation and research framework of cultivated-land fragmentation in China[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 2021, 43(6):997-1008.
- [12] 王学,徐晓凡.中国耕地景观细碎度时空变化特征及其影响因素[J].农业工程学报,2022,38(16):11-20.
Wang X, Xu X F. Spatiotemporal characteristics and influencing factors of landscape fragmentation of cultivated land in China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2022, 38(16):11-20.
- [13] 王亚辉,李秀彬,辛良杰.耕地地块细碎程度及其对山区农业生产成本的影响[J].自然资源学报,2019,34(12):2658-2672.
Wang Y H, Li X B, Xin L J. Characteristics of cropland fragmentation and its impact on agricultural production costs in mountainous areas[J]. Journal of Natural Resources, 2019, 34(12):2658-2672.
- [14] 臧亮,梁红颖,梁文涛,等.基于景观格局的卢龙县耕地细碎化评价及影响因素研究[J].水土保持研究,2018,25(6):265-269,276.
Zang L, Liang H Y, Liang W T, et al. Cultivated land fragmentation and affecting factors of Lulong County based on landscape pattern[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2018, 25(6):265-269, 276.
- [15] Liu J, Jin X B, Xu W Y, et al. Evolution of cultivated land fragmentation and its driving mechanism in rural development: a case study of Jiangsu Province[J]. Journal of Rural Studies, 2022, 91:58-72.
- [16] Baker W L, Cai Y M. The role programs for multiscale analysis of landscape structure using the GRASS geographical information system[J]. Landscape Ecology, 1992, 7(4):291-302.
- [17] 杜国明,张宇,章尤琴.东北黑土区典型县域耕地细碎化空间格局及影响因素分析[J].农业现代化研究,2023,44(5):858-868.
Du G M, Zhang Y, Zhang Y Q. The spatial pattern and influencing factors of cultivated land fragmentation in typical counties of the Northeast black soil region[J]. Research of Agricultural Modernization, 2023, 44(5): 858-868.
- [18] 刘晶,金晓斌,徐伟义,等.1990—2020年中国耕地景观细碎化演变特征与趋势预判[J].地理学报,2023,78(9):2163-2185.
Liu J, Jin X B, Xu W Y, et al. Characteristic evolution and trend prediction of cultivated land landscape fragmentation in China from 1990 to 2020[J]. Acta Geographica Sinica, 2023, 78(9):2163-2185.
- [19] 李赛博,徐丽萍,方曼曼,等.玛河流域耕地景观细碎化与利用效率的关联性探析[J].水土保持研究,2017,24(1):311-316.
Li S B, Xu L P, Fang M M, et al. Analysis of correlation between farmland landscape fragmentation and utilization efficiency in manas river basin, Xinjiang uygur autonomous region[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2017, 24(1):311-316.
- [20] 张金茜,巩杰,柳冬青.地理探测器方法下甘肃白龙江流域景观破碎化与驱动因子分析[J].地理科学,2018,38(8):1370-1378.
Zhang J X, Gong J, Liu D Q. Dynamics and driving factors of landscape fragmentation based on geo detector in the Bailongjiang watershed of Gansu Province[J]. Scientia Geographica Sinica, 2018, 38(8):1370-1378.
- [21] 王祯,吴金华,白帅,等.黄土丘陵沟壑区耕地细碎化评价与土地整治工程分区:以吴起县为例[J].水土保持研究,2022,29(4):300-307.
Wang Z, Wu J H, Bai S, et al. Evaluation of cultivated land fragmentation and land consolidation engineering zoning in the loess hilly and Gully Region: a case study in Wuqi County[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2022, 29(4):300-307.
- [22] 孟梅,杨雅薇,杨磊.新疆耕地后备资源开发与生态环境耦合关系研究[J].浙江农业学报,2020,32(3):543-551.
Meng M, Yang Y W, Yang L. Study on coupling relationship between reserve resources development and ecological environment of in Xinjiang[J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis, 2020, 32(3):543-551.
- [23] 李梦怡,邓铭江,凌红波,等.新疆绿洲格局变化与生态耗水结构分析[J].水科学进展,2023,34(5):719-730.
Li M Y, Deng M J, Ling H B, et al. Analysis on the change of oasis pattern and ecological water consumption structure in Xinjiang[J]. Advances in Water Science, 2023, 34(5):719-730.
- [24] 许雪爽,包安明,常存,等.新疆重点城市建设用地扩张与人地配置协调性分析[J].经济地理,2017,37(10):92-99.
Xu X S, Bao A M, Chang C, et al. Characteristics of urban built-up expansion and coordination of man-land allocation in the major cities in Xinjiang[J]. Economic

- Geography, 2017, 37(10):92-99.
- [25] 李希明, 黄秋昊, 吕剑成, 等. 基于功能分区与多聚类算法集成的耕地细碎化评价及整治[J]. 农业工程学报, 2022, 38(6):274-282.
Li X M, Huang Q H, Lyu J C, et al. Evaluation and consolidation of cultivated land fragmentation based on integration of function zoning and multi-cluster algorithms[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2022, 38(6):274-282.
- [26] 刘晶, 金晓斌, 徐伟义, 等. 江苏省耕地细碎化评价与土地整治分区研究[J]. 地理科学, 2019, 39(5):817-826.
Liu J, Jin X B, Xu W Y, et al. Evaluation of cultivated land fragmentation and guidance of land consolidation at provincial level[J]. Scientia Geographica Sinica, 2019, 39(5):817-826.
- [27] 常玉旻, 张天柱, 张凤荣, 等. 赣东山地丘陵区耕地细碎化时空变异与驱动因子探析:以江西省万年县为例[J]. 水土保持研究, 2021, 28(3):264-271, 280.
Chang Y Y, Zhang T Z, Zhang F R, et al. Analysis on the spatiotemporal variability and driving factors of cultivated land fragmentation in the hilly region of eastern Gansu: a case of Wannian County of Jiangxi Province [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2021, 28(3):264-271, 280.
- [28] 秦淑洁, 钱天陆, 吴朝宁, 等. 基于地理探测器和最大熵模型的人类出行活动强度空间格局模拟:以云南省城为例[J]. 地理科学, 2023, 43(8):1360-1370.
Qin S J, Qian T L, Wu Z N, et al. Simulation of the spatial pattern of human travel activity intensity based on geodetector and maximum entropy model: a case study of Yunnan Province [J]. Scientia Geographica Sinica, 2023, 43(8):1360-1370.

(上接第250页)

- [27] 赵艳华, 苏德, 包扬, 等. 阴山北麓草原生态功能区植被覆盖度遥感动态监测[J]. 环境科学研究, 2017, 30(2):240-248.
Zhao Y H, Su D, Bao Y, et al. Dynamic Monitoring of Fractional Vegetation Cover of Eco-Function Area of Grassland on Northern Foot of Yinshan Mountains through Remote Sensing Technology [J]. Research of Environmental Sciences, 2017, 30(2):240-248.
- [28] 朱霞, 李振林. 基于PSR模型的大都市外围乡村生态安全空间格局优化:以武汉市为例[J]. 现代城市研究, 2021, 36(10):118-124.
Zhu X, Li Z L. Optimization of spatial pattern of rural ecological security in metropolis based on PSR model: a case study of Wuhan [J]. Modern Urban Research, 2021, 36(10):118-124.
- [29] Talukdar S, Singha P, Mahato S, et al. Dynamics of ecosystem services (ESs) in response to land use land cover (LU/LC) changes in the lower Gangetic plain of India [J]. Ecological Indicators, 2020, 112:106121.
- [30] 付梦娣, 唐文家, 刘伟玮, 等. 基于生态系统服务视角的生态风险评估及生态修复空间辨识:以长江源区为例[J]. 生态学报, 2021, 41(10):3846-3855.
Fu M D, Tang W J, Liu W W, et al. Ecological risk assessment and spatial identification of ecological restoration from the ecosystem service perspective: a case study in source region of Yangtze River [J]. Acta Ecologica Sinica, 2021, 41(10):3846-3855.

(上接第259页)

- [26] 方创琳, 崔学刚, 梁龙武. 城镇化与生态环境耦合圈理论及耦合器调控[J]. 地理学报, 2019, 74(12):2529-2546.
Fang C L, Cui X G, Liang L W. Theoretical analysis of urbanization and eco-environment coupling coil and coupler control [J]. Acta Geographica Sinica, 2019, 74(12):2529-2546.
- [27] 周成, 冯学钢, 唐睿. 区域经济—生态环境—旅游产业耦合协调发展分析与预测:以长江经济带沿线各省市为例[J]. 经济地理, 2016, 36(3):186-193.
Zhou C, Feng X G, Tang R. Analysis and forecast of coupling coordination development among the regional economy-ecological environment-tourism industry: a case study of provinces along the Yangtze economic zone [J]. Economic Geography, 2016, 36(3):186-193.
- [28] 殷克东, 张凯, 杨文栋. 基于概率累加的离散GM(1,1)模型及其在海洋天然气产量预测中的应用[J]. 系统工程理论与实践, 2024, 44(8):2733-2748.
Yin K D, Zhang K, Yang W D. A discrete GM(1, 1) model based on probabilistic accumulation and its application to offshore gas production forecasting [J]. Systems Engineering Theory and Practice, 2024, 44(8):2733-2748.