

鲁西南黄泛区耕地格局变化特征及其影响因素

刘知霏¹, 黎家作², 李文龙³, 魏文杰¹, 郭丰凯¹, 张荣华¹

(1.山东农业大学 林学院, 山东泰山森林生态系统国家定位研究站, 山东 泰安 271018;

2.淮河水利委员会淮河流域水土保持监测中心站, 安徽 蚌埠 233001; 3.淄博市林业发展保护中心, 山东 淄博 255000)

摘要: [目的] 探讨鲁西南黄泛区耕地的空间格局、变化特点及其影响因素, 为区域耕地保护提供科学依据。[方法] 基于 2 m 高分遥感影像, 结合野外调查和《菏泽市统计年鉴》, 采用遥感解译、重心模型、冷热点分析、地理探测器等方法, 分析 2019—2022 年鲁西南黄泛区耕地空间分布、重心迁移、年际变化特征及影响因素。[结果] ①2019—2022 年鲁西南黄泛区耕地面积占区域 60% 以上, 每年均存在耕地流失现象, 流失面积呈现逐年递减趋势, 鄄城县耕地面积减少最多, 达 18.28 km², 鄄城耕地动态变化最大, 达 -2.26%; 耕地重心整体向东北方向迁移。②耕地流出面积高于流入面积, 主要流出方向和流入方向均为建设用地和林地, 耕地变动最集中的区域主要分布在曹县南部。③对耕地变化影响最强的单因子是农村从业人员(X_5), 最强的双因子交互组合是农村劳动力资源数(X_4)和城镇居民人均收入(X_6)。[结论] 鲁西南黄泛区 2019—2022 年耕地流失是经济社会因子为主的多因子综合作用的结果。

关键词: 耕地; 时空变化; 地理探测器; 鲁西南黄泛区

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2024)04-0321-09

中图分类号: F301.21

文献参数: 刘知霏, 黎家作, 李文龙, 等. 鲁西南黄泛区耕地格局变化特征及其影响因素[J]. 水土保持通报, 2024, 44(4): 321-329. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2024.04.033; Liu Zhifei, Li Jiazuo, Li Wenlong, et al. Characteristics and influencing factors of cultivated land pattern changes in Yellow River alluvial area in Southwest Shandong Province [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2024, 44(4): 321-329.

Characteristics and Influencing Factors of Cultivated Land Pattern Changes in Yellow River Alluvial Area in Southwest Shandong Province

Liu Zhifei¹, Li Jiazuo², Li Wenlong³, Wei Wenjie¹, Guo Fengkai¹, Zhang Ronghua¹

(1.College of Forestry, Shandong Agricultural University,

Mountain Tai Forest Ecosystem Research Station of State Forestry,

Taian, Shangdong 271018, China; 2.Monitoring Center Station of Soil and

Water Conservation, Huaihe River Commission, Ministry of Water Resources, Bengbu,

Anhui 233001, China; 3.Zibo Center of Forestry Protection and Development, Zibo, Shandong 255000, China)

Abstract: [Objective] The characteristics and influencing factors of cultivated land changes in the Yellow River alluvial area of Southwest Shandong Province were analysed order to provide a scientific basis for regional cultivated land protection. [Methods] Using 2 m high-resolution remote sensing images and data from the 'Heze statistical yearbook', various methods including remote sensing interpretation, centre of gravity model, cold and hot spot analysis, and geographical detector were used to analyse land change characteristics and influencing factors of cultivated land in the Yellow River alluvial area of Southwest Shandong from 2019 to 2022. [Results] ① During 2019—2022, the arable land in the Yellow River alluvial area of Southwest Shandong Province accounts for more than 60% of the area, and there was annual cultivated land loss in the studied region, with a decreasing trend year by year. The arable land area in Yuncheng County decreased the most, reaching 18.28 km², and farmland dynamic attitude in Juancheng County changed the most, reaching -2.26%. The centre of gravity of cultivated land migrated to the

收稿日期: 2024-01-17

修回日期: 2024-04-02

资助项目: 淮河水利委员会科研项目“基于遥感和土壤侵蚀模型的淮河流域重点预防区水土流失监测遥感数据分析”(SBJ-2020-010); 山东省自然科学基金项目“基于多源信息融合的土壤侵蚀空间变异性与数字地图制图研究”(ZR2020MD023)

第一作者: 刘知霏(1998—), 女(汉族), 山东省青岛市人, 硕士研究生, 研究方向为水土保持监测与评价。Email: 15578810570@163.com。

通信作者: 张荣华(1984—), 女(汉族), 山东省威海市人, 博士, 副教授, 主要从事水土保持监测与评价工作。Email: zrhua5766@163.com。

Southwest and Northeast of Shandong Province. ② The outflow area of cultivated land was higher than that of the inflow area, and the main outflow and inflow directions were both construction and forest land. The area with the most concentrated cultivated land change was mainly distributed in the southern part of Caoxian County. ③ The single factors affecting the change in cultivated land were mainly rural employees (X_5); the two-factor interactive combination was mainly the intersection of the number of rural labour resources (X_4) and the per capita income of urban residents (X_6). [Conclusion] The loss of cultivated land in the Yellow River alluvial area of Southwest Shandong Province from 2019 to 2022 is the result of the comprehensive effect of multiple factors based on economic and social factors.

Keywords: cultivated land; spatiotemporal changes; geographical detector; the Yellow River alluvial area of Southwest Shandong Province

耕地是人类社会赖以生存和发展的基础,耕地变化是影响中国可持续发展的关键问题^[1]。随着经济发展和城市规模的扩张,导致耕地减少问题突出,耕地保护形势不容乐观^[2]。开展耕地时空变化研究,能更好地为区域耕地管理提供数据支撑,对于区域耕地保护具有重要意义。目前已有许多学者对耕地变化开展了研究,主要聚焦于长时间序列的耕地格局变化、影响因素以及相关政策等方面。在耕地格局变化及影响因素方面,学者们采用转移矩阵、核密度分析、空间自相关、重心模型、冷热点分析、地理探测器等方法对耕地的空间分布、格局变化、重心迁移及影响因素进行了研究。Zhao Suxia 等^[3]探讨了 2000—2020 年全国三大功能粮区耕地的时空格局和影响因素,认为农村人口规模、人均 GDP、第一产业比重是全国耕地流转的重要影响因素;袁承程等^[4]研究了 2009—2018 年中国耕地时空变化,发现城市化发展是耕地减少的主导因子;王谢等^[5]研究了 1999—2018 年四川省耕地变化特征,发现农业发展基础、经济发展水平是影响耕地面积变化的主要因素;Liu Yanan 等^[6]研究了 1995—2015 年河南省耕地变化及影响因素,发现耕地面积逐年减少,人为因素是耕地流失的主要影响因素;李宏鹏等^[7]研究了 2000—2020 年陕西省延安市的耕地变化及影响因素,发现耕地流失面积呈现逐年上升趋势,其主要影响因素是人口增长和城镇扩张;李辉丹等^[8]研究了 2000—2018 年重庆市坡耕地时空变化特征及影响因素,发现坡耕地面积呈减少趋势,集中转向了建设用地,主要影响因素是农村居民人均纯收入、城镇化率等经济社会因子。在耕地变化的相关政策研究方面,有学者从优化责任制度的角度提出将不合理占用耕地的行为纳入政府考评制度,进一步夯实各级政府的耕地保护责任^[9];有学者从耕地产权流转、农业产业结构调整的角度提出对耕地利用方式加以调控^[10]。但是现有研究大多着眼于长时期的耕地变化,较少关注相邻年份间的年际耕地空间变化,并且现有研究大多以全国、某省或某市为单一

研究区,未考虑到多个相邻县域间耕地变化情况的对比研究。

鲁西南黄泛区地势平坦,属暖温带大陆性季风气候,是中国重要的农耕区之一。近年来,当地耕地受到了一系列人类活动的干扰。本研究以鲁西南黄泛区为研究区,以 2019—2022 年遥感影像和《菏泽市统计年鉴》为基础,采用耕地动态度、冷热点、重心模型、地理探测器等方法,研究耕地格局变化,探讨耕地变化的主要影响因子,为鲁西南黄泛区耕地变化及耕地保护提供数据支撑。

1 研究区概况

鲁西南黄泛区(114°48′39.6″—116°23′27.6″E, 34°33′21.6″—35°52′26.4″N)包括菏泽市牡丹区、曹县、单县、鄄城县、郓城县、东明县,位于山东省西南部,行政面积为 9 104 km²。地处黄河下游,属于暖温带大陆性季风气候,常年光照充足,雨热同季,年均气温 15.67 ℃,年均降水量 1 101.57 mm,降水季节性特征明显,地势平缓,土层深厚。2022 年常住人口为 610.04 万人,粮食总产量为 603.65 t,GDP 为 2 600.89 亿元。

2 研究数据与方法

2.1 数据与处理

本研究主要数据来源于 2019—2022 年 2 m 分辨率高分一号卫星影像(时相为 4—5 月)和《菏泽市统计年鉴》。遥感影像采取辐射校正、大气校正、几何校正、融合拼接、裁剪等处理。依据《土地利用现状分类(GB/T21010—2017)》,结合鲁西南黄泛区的土地利用特点,通过人机交互解译法,结合野外调查验证,野外复核图斑占总图斑个数的 0.52%,解译正确率 > 93%,kappa 值为 0.902,最终获取 2019—2022 年土地利用数据。基于《菏泽市统计年鉴》数据,参考前人研究,结合研究区特点,从自然、社会经济两个维度选取耕地变化影响因子,采用自然断点法对数据进行离散化处理,剔除异常值。

2.2 研究方法

2.2.1 耕地时空变化

(1) 耕地重心模型。借助重心迁移模型,获取 2019—2022 年耕地重心迁移的方向、距离和速度,反映耕地空间格局变化的规律。

(2) 耕地面积变化动态度。利用耕地数据计算耕地面积变化动态度,反映研究区耕地面积的变化情况,数学表达式为:

$$K = \frac{U_b - U_a}{U_a} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (1)$$

式中: K 为研究时段内耕地面积变化动态度(%); U_a, U_b 分别为耕地在研究初期、末期的面积(km^2); T 为研究年度(年)。

(3) 土地利用转移分析。使用 ArcGIS 10.2 获取研究区 2019—2022 年相邻年份土地利用转移数

据,以 Origin 为平台绘制土地利用转移弦图,以反映不同土地利用类型间面积转移的方向和数量。

(4) 冷热点分析。采用 Getis-Ord G_i^* 指数分析 2022 年研究区耕地分布的冷点区域和热点区域,反映 2022 年研究区耕地分布的集中情况。将 Getis-Ord G_i^* 指数与耕地动态度结合,分析 2019—2022 年研究区耕地动态度的冷点区域和热点区域的分布特征,反映 2019—2022 年研究区耕地变化的集中情况。

2.2.2 耕地变化影响因素 参考已有的耕地变化影响因子研究^[11-13]及研究区特点,从自然、社会经济两个维度选取了 12 个影响因子(表 1)。2019—2022 年研究区自然因子变化较小,因此重点选取社会经济因子。利用地理探测器的单因子探测和双因子交互作用探测对耕地面积变化的影响因子进行分析。

表 1 耕地变化影响因子

Table 1 Influencing factors of cultivated land change

分类	影响因子
自然环境	年均气温(X_1), 年均降水量(X_2)
社会经济	常住人口(X_3), 农村劳动力资源数(X_4), 农村从业人员(X_5), 城镇居民人均收入(X_6), 农村居民人均收入(X_7), 地区生产总值(X_8), 第一产业生产总值(X_9), 农业机械总动力(X_{10}), 农林牧渔总产值(X_{11}), 农业产值(X_{12})

(1) 单因子探测。单因子探测器探测耕地变化 Y 的空间分异性和影响因子 X 对耕地变化 Y 的解释力,用 q 值衡量, q 值越大表明 X 对 Y 的解释力越强^[8,14]。

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

$$SSW = \sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2, \quad SST = N \sigma^2 \quad (3)$$

式中: q 的值为 $[0, 1]$; $h = 1 \dots L$; L 为变量 Y 或因子

X 的分层(即分类或分区); N_h, N 分别为层 h 和全区的单元数; σ_h^2, σ^2 分别是层 h 和全区的 Y 值的方差。 SSW 和 SST 分别为层内方差之和和全区总方差。

(2) 双因子交互作用探测。双因子交互作用探测可以表征两个不同的影响因子对耕地变化的影响是否存在交互作用,其交互作用方式可分为非线性减弱、单因子非线性减弱、双因子增强、独立、非线性增强(表 2)。

表 2 交互作用方式

Table 2 Interaction mode of influencing factors

交互表达式	交互作用
$q(X_1 \cap X_2) < \min(q(X_1), q(X_2))$	非线性减弱
$\min(q(X_1), q(X_2)) < q(X_1 \cap X_2) < \max(q(X_1), q(X_2))$	单因子非线性减弱
$q(X_1 \cap X_2) > \max(q(X_1), q(X_2))$	双因子增强
$q(X_1 \cap X_2) = q(X_1) + q(X_2)$	独立
$q(X_1 \cap X_2) > q(X_1) + q(X_2)$	非线性增强

注: X_1 和 X_2 为影响耕地变化的影响因子。

3 结果与分析

3.1 耕地空间格局变化及重心迁移

3.1.1 耕地空间格局变化 利用 ArcGIS 10.2 解译并绘制 2022 年研究区的耕地空间分布及冷热点图

(图 1)。从耕地空间分布看,鲁西南黄泛区 2022 年的耕地面积为 5 861.99 km^2 , 占研究区总面积的 64.39%。从各县耕地分布情况看,东明县比例最高,耕地面积占县域面积的 70.32%;其次为鄄城县、鄆城县、单县、曹县,分别占各县域面积的 66.41%, 66.24%,

65.35%, 63.98%; 牡丹区比例最低, 仅占 54.38%。从耕地冷热点空间分布看, 耕地分布集中性最强的是东

明县, 主要集中分布在县域南部及东部地区, 其次是鄆城县, 主要集中分布在北部地区。

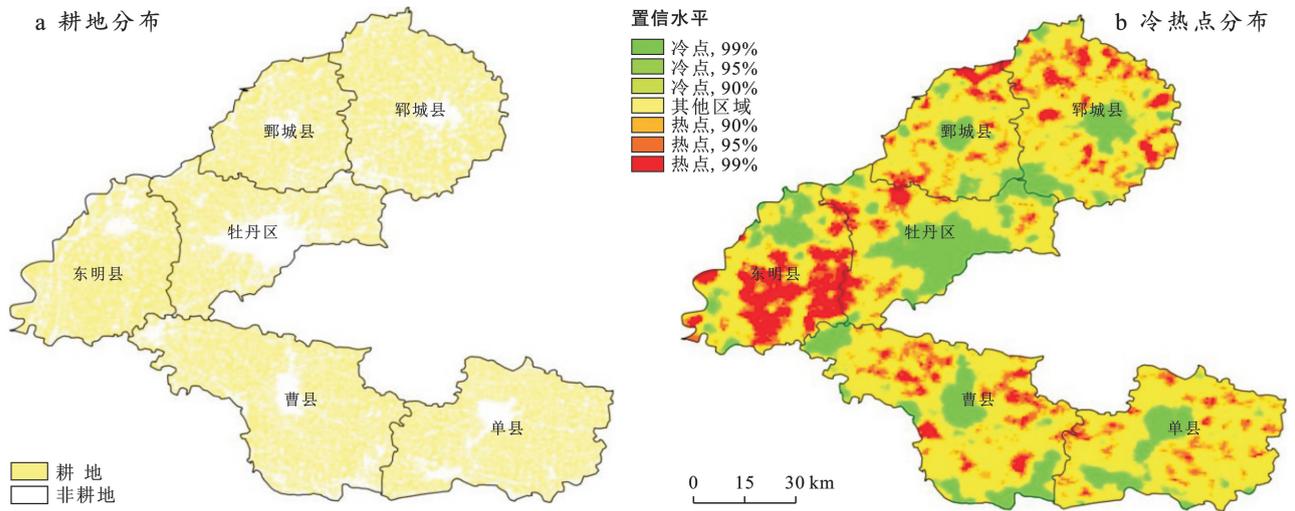


图1 鲁西南黄泛区 2022 年耕地分布及冷热点图

Fig.1 Cultivated land distribution and cold and hot spot in Yellow River alluvial area of Southwest Shandong Province in 2022

2019—2022 年研究区耕地空间格局变化不大, 但面积呈逐年递减趋势(表 3)。

2022 年研究区耕地面积较 2019 年减少了 77.75 km², 动态度为 -1.31%。从耕地面积变化看, 耕地面积减少最多的是鄆城县, 减少了 18.28 km²; 其次是曹县、鄆城县、单县、牡丹区, 耕地面积分别减少了 17.51, 15.77, 13.28 和 11.85 km²; 减少最少的是东

明县, 仅减少 1.06 km²。从动态度变化看, 鄆城县变化最剧烈, 达 -2.26%; 其次是鄆城县、牡丹区、曹县、单县, 动态度分别为 -1.65%, -1.52%, -1.37%, -1.20%; 东明县耕地变化最微弱, 动态度为 -0.11%。牡丹区、单县、鄆城县、鄆城县耕地面积呈现逐年下降趋势, 而曹县、东明县呈现先减后增, 但减幅大于增幅的趋势。

表 3 鲁西南黄泛区 2019—2022 年耕地面积变化及动态度

Table 3 Change and attitude of cultivated land area in Yellow River alluvial area of Southwest Shandong Province from 2019 to 2022

地区	耕地面积/km ²				动态度/%			
	2019 年	2020 年	2021 年	2022 年	2019—2020 年	2020—2021 年	2021—2022 年	2019—2022 年
牡丹区	781.36	778.75	772.31	769.51	-0.33	-0.83	-0.36	-1.52
曹县	1 280.50	1 266.76	1 261.50	1 262.99	-1.07	-0.42	0.12	-1.37
单县	1 104.66	1 097.74	1 092.84	1 091.38	-0.63	-0.45	-0.13	-1.20
鄆城县	1 109.42	1 096.82	1 095.08	1 091.14	-1.14	-0.16	-0.36	-1.65
鄆城县	699.33	687.28	684.19	683.56	-1.72	-0.45	-0.09	-2.26
东明县	964.47	962.63	963.31	963.41	-0.19	0.07	0.01	-0.11
合计	5 939.74	5 889.98	5 869.23	5 861.99	-0.84	-0.35	-0.12	-1.31

3.1.2 耕地重心迁移 计算 2019—2022 年研究区及 6 个区县的耕地重心坐标, 将各个重心点依年份连接, 获取耕地重心的迁移趋势(图 2)。从重心移动距离和速度来看, 呈先增后减的趋势, 2019—2020 年重心移动了 1 137.87 m, 2020—2021 年移动了 2 738.30 m, 2021—2022 年移动了 113.31 m, 年均移动了 997.37 m。从移动方向看, 耕地重心先向东北移动, 再向西南移动, 后期有向西北方向移动的微弱趋势, 整体上呈现

向东北方向移动的“波浪型”态势。从不同县域角度分析, 鄆城县耕地重心先向西移动, 再向西北方向移动; 东明县耕地重心先向东北移动, 再向西北方向移动, 后期向西移动; 曹县耕地重心先向西北方向移动, 再向东北移动, 后期向西南移动; 鄆城县耕地重心先向东南移动, 再向东北移动, 后期向南移动; 牡丹区耕地重心先向东移动, 再向东北移动, 后期向北有微弱移动趋势; 单县耕地重心先向西南移动, 再向东北移

动,后期有向西南移动的微弱趋势。鄆城县、东明县、曹县耕地重心整体向西北方向迁移;郓城县、牡丹区、单县耕地重心整体向东北方向迁移。2019—2020 年曹县重心迁移速度较快,为 77.84 m/a;2020—2021 年鄆城县、单县、牡丹区、郓城县、东明县耕地重心迁移速度较快,分别是 160.27,140.25,84.55,64.19 和 62.81 m/a;2021—2022 年鄆城县重心迁移较快,为 70.77 m/a,其他区县的重心都相对稳定。从县域看,耕地重心年均移动速度最快的是鄆城县,为 86.47 m/a,其次是单县,为 62.17 m/a,而曹县、牡丹区、郓城县、东明县耕

地重心年均移动速度较慢,分别为 42.39,33.15,31.48 和 26.02 m/a;从时间看,2020—2021 年耕地重心迁移速度最快,2019—2020 年次之,2021—2022 年耕地重心迁移速度较小,处于相对稳定的状态。鄆城县和单县耕地重心移动速度最快,说明耕地空间分布格局有较大调整,自 2018 年,鄆城县和单县被列为省级新型城镇化试点县,城镇化建设速度加快,在一定程度上对耕地的占用增大,同时要加快发展高效农业,维持着建设活动与耕地总量动态平衡,导致耕地重心迁移较快。

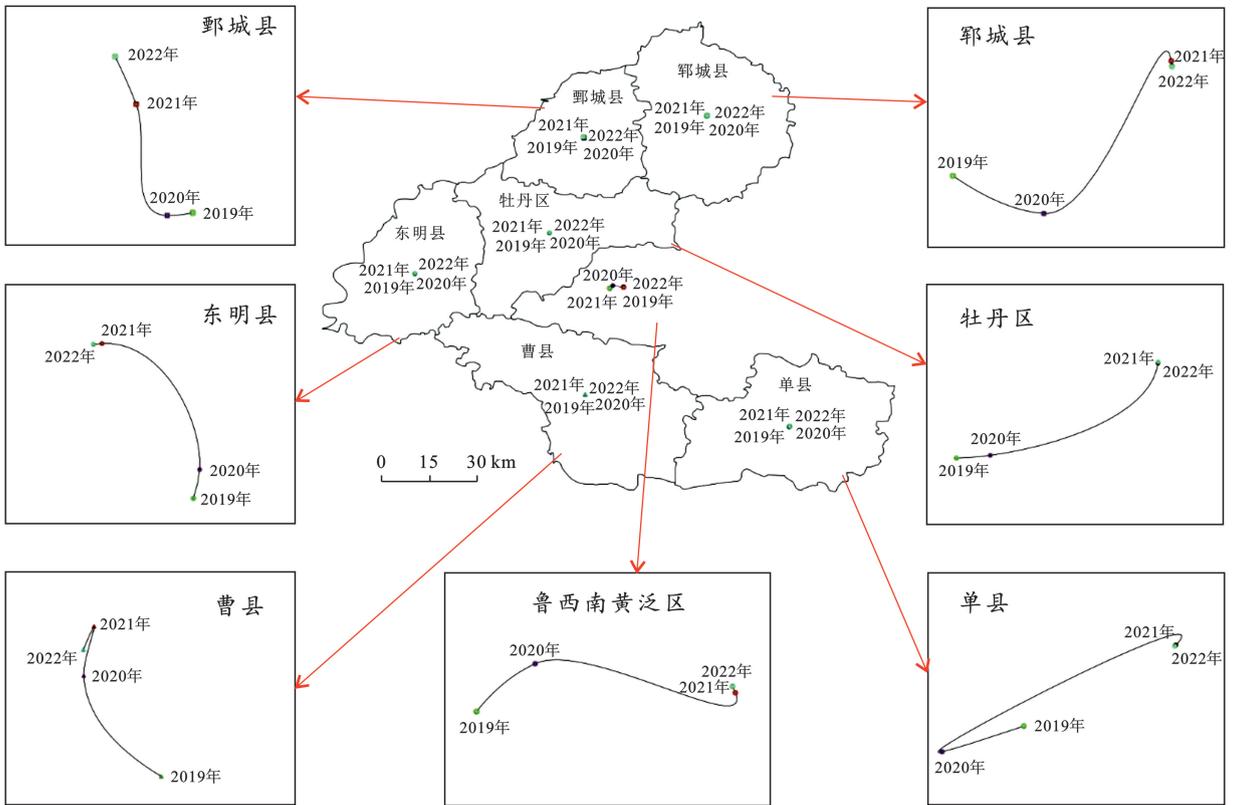


图 2 鲁西南黄泛区 2019—2022 年耕地重心迁移轨迹

Fig.2 Gravity migration track chart of cultivated land in Yellow River alluvial area of Southwest Shandong Province from 2019 to 2022

3.2 耕地流转格局变化

3.2.1 耕地流转分析 根据研究区耕地与其他各土地利用类型面积流转分析得到耕地格局变化流量与流向关系弦图(图 3)。由图 3 可知,2019—2020 年,耕地向园地、林地、草地、建设用地和水域 5 个地类均有流出,其中最主要的流出方向是建设用地和林地,分别是 30.55 km²,28.52 km²。改建农村自建房过程中存在较多扰动,占据了大面积的耕地,郓城县(7.82 km²)、鄆城县(7.78 km²)、牡丹区(4.48 km²)、单县(4.45 km²)现象较为突出;城镇扩张导致农村大量青壮年劳动力向城市流动,乡村人口老龄化导致农

村耕作力量不足,部分农民选择种植杨树等速生树种,曹县(12.67 km²)和单县(7 km²)耕地流向林地现象较为严重。在向耕地流转的地类中,建设用地占据主导地位,面积为 16.08 km²。由于合村并居工作完成后,旧村落会被推平,重新成为耕地,因此不仅存在耕地转为建设用地,同时也存在建设用地转为耕地的情况,主要存在于曹县(4.39 km²)、牡丹区(4.35 km²)、单县(4.19 km²)。2020—2021 年,耕地的主要流出方向为建设用地,为 30.64 km²,主要分布于单县(7.01 km²)、曹县(5.93 km²)、牡丹区(5.87 km²)。同时,建设用地也是耕地的主要流入来源,为 19.53 km²,

主要存在于东明县(6.6 km²)、单县(3.61 km²)。2021—2022 年,耕地的主要流出方向为建设用地和林地,分别是 24.26 和 16.04 km²。耕地转为建设用地主要是由于房地产开发、工业园区建设、新修道路工程等生产建设活动,加上城镇化建设,引起耕地向人为扰动用地转变,主要分布于鄆城县(5.53 km²)、牡丹区(5.14 km²);虽已有《国务院办公厅关于坚决

制止耕地“非农化”行为的通知》等相关政策禁止耕地转为林地,但耕转林现象仍未完全消失,依旧存在部分耕转林区域,主要分布于鄆城县(6.67 km²)、郓城县(5.73 km²)。耕地的主要转入来源为建设用地,为 27.62 km²,临时扰动用地的复耕是其主要来源,主要分布于鄆城县(8.09 km²)、东明县(6.69 km²)、郓城县(5.73 km²)。

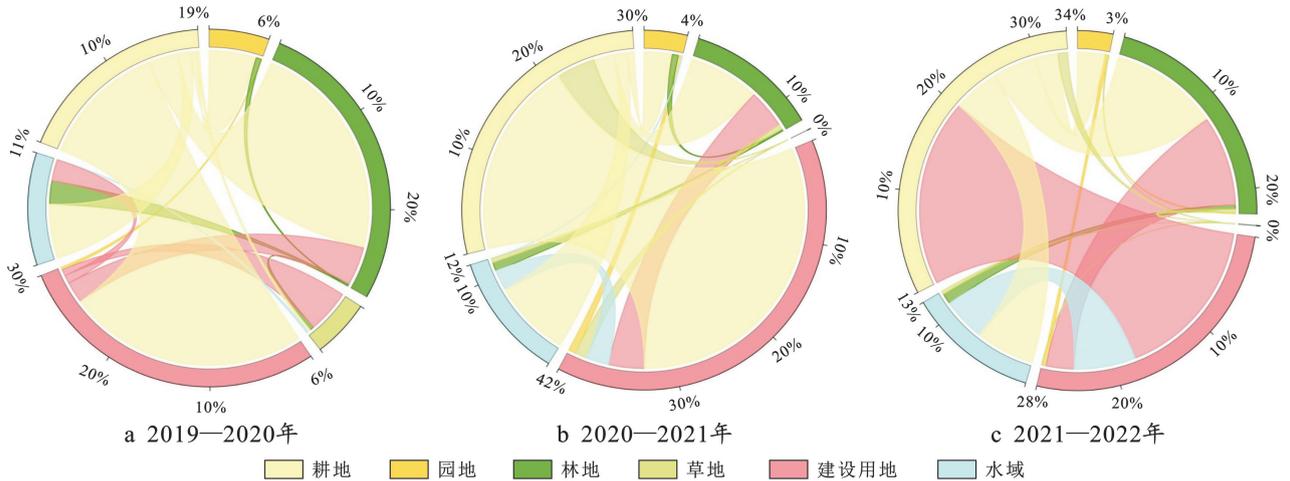


图 3 鲁西南黄泛区 2019—2022 年土地利用转移情况

Fig.3 Land use transfer in Yellow River alluvial area of Southwest Shandong Province from 2019 to 2022

3.2.2 耕地动态冷热点分析 由图 4 可以看出,2019—2020 年耕地热点区分布于曹县中南部、牡丹区中部及单县东南部,表现出耕地流入较为活跃的特点;耕地冷点区主要分布在鄆城县中部,曹县中部、南部以及东南部,郓城县西北及东部,牡丹区中部偏北,单县中部,呈现出耕地流出较为活跃的状态。2020—2021 年耕地热点区主要分布于东明县中部偏北,鄆城县南部及北部,郓城县东部及中部偏西北;冷点区主要分布于郓城县中部,鄆城县中部,牡丹区中部及西部,东明县北部。2021—2022 年耕地热点区主要

分布在曹县南部和东明县南部,而冷点区则 6 个县均有分布,主要分布单县中部及南部,曹县中部,牡丹区中部及中部偏南,东明县北部,鄆城县中部,郓城县中部偏东南。冷热点区域的减少,反映了在政府耕地保护政策推动下,耕地整体逐渐趋于稳定状态,耕地稳定发展区域面积扩大。综上所述,2019—2022 年耕地流入最集中的地区是曹县南部,郓城县东部;耕地流出最集中的地区为鄆城县中部,牡丹区中部,单县中部,东明县北部。从县域看,耕地流入最集中的是曹县,其次是郓城县、牡丹区、东明县,而鄆城县、单县较为分散。

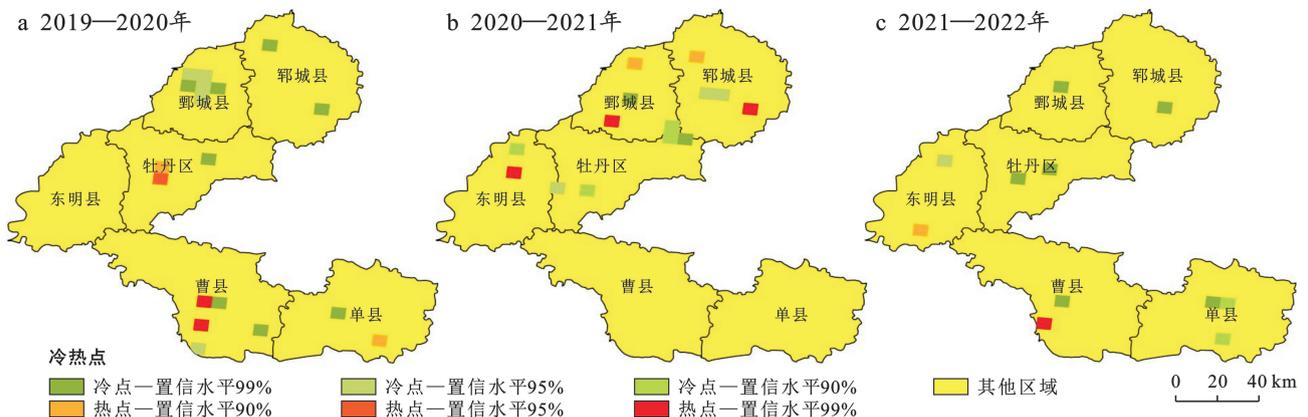


图 4 鲁西南黄泛区 2019—2022 年耕地动态冷热点分布

Fig.4 Cold and hot spot of cultivated land dynamic in Yellow River alluvial area of Southwest Shandong Province from 2019 to 2022

3.3 耕地格局变化影响因素

3.3.1 单因子探测分析 基于地理探测器的单因子分析模块获取各因子影响耕地变化的单因子解释力(图 5)。由图 5 可以看出,社会经济因子中农村从业人员(X_5)、农村劳动力资源数(X_4)和第一产业生产总值(X_9)、农林牧渔总产值(X_{11})、常住人口(X_3)、农业产值(X_{12})、地区生产总值(X_8)对耕地变化有较高解释力, q 值分别为 0.917,0.867,0.750,0.742,0.671,0.604 和 0.592,均在 59% 以上,对耕地变化影响较大;自然因素中年均气温(X_1)、年均降水量(X_2)的 q 值分别为 0.190 和 0.269,且不满足 $p < 0.05$,因此对耕地变化的影响较小。在 $p < 0.05$ 显著水平上,共 7 个因子对耕地变化有显著影响, q 值排序为:农村从业人员(X_5)>农村劳动力资源数(X_4)>第一产业生产总值(X_9)>农林牧渔总产值(X_{11})>常住人口(X_3)>农业产值(X_{12})>地区生产总值(X_8)。综上所述,社会经济因素对耕地变化的影响高于自然因素,解释力最强的因素是农村从业人员(X_5),反映出劳动力水平对耕地变化的影响作用较强。

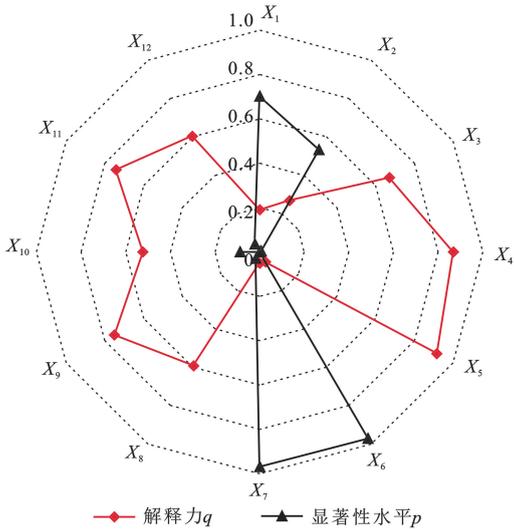


图 5 耕地变化影响因素的单因子贡献率雷达图
Fig.5 Radar map of single-factor contribution rate of cultivated land change factors

3.3.2 双因子探测分析 基于地理探测器模型中的双因子探测分析模块获取双因子对耕地变化影响的解释力,利用 Origin 绘制双因子解释力的热力图(图 6)。可以看出,双因子交互作用表现为双因子增强关系和非线性增强关系,说明研究区耕地变化是多因子共同作用的结果。在 $p < 0.05$ 显著水平上,农村劳动力资源数(X_4)、农村从业人员(X_5)与其他因子交互后的 q 值均有较强的交互作用,说明在多因子共同作用下,农村劳动力及从业人员的数量依旧处于主导地位;双因子交互作用最强的是农村劳动力资源数

(X_4)∩城镇居民人均收入(X_6)、农村劳动力资源数(X_4)∩农村居民人均收入(X_7)以及农村从业人员(X_5)∩农村居民人均收入(X_7), q 值均为 0.993,说明农村劳动力与人均收入的协同作用对耕地变化有较强的影响。在交互作用影响下,社会经济因子依旧在耕地变化中占据主导地位。与社会经济因子交互后,自然因子的解释力较单因子解释力显著提升,这表明在满足一定的社会经济条件后,自然因子也会对耕地变化产生一定的影响。

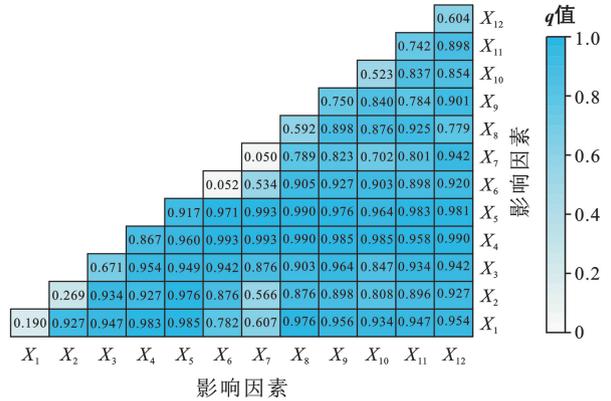


图 6 耕地变化影响因素双因子交互探测热力图
Fig.6 Heat map of two-factor interactive detection of cultivated land change factors

4 讨论

2019—2022 年研究区耕地面积呈现逐年下降趋势,耕地流出为建设用地的面积最大,其中城市扩张、农村建设及其带来的扰动是建设用地占用耕地的主要途径,与尹登玉等^[15]、Xu Dehe 等^[16]的研究结果一致,但与孙善良等^[17]的研究结果有差异。孙善良等^[17]发现 2000—2018 年榆林市和延安市等陕北地区的耕地主要向林地和草地转移。这种差异的原因主要由于研究区域土地利用格局不一致,陕北地区生态环境脆弱,加大对林草地的保护,采取了植树造林等一系列措施,而鲁西南黄泛区最主要的功能是农耕,林地不作为重点发展对象,同时,鲁西南黄泛区近年来城市化发展迅速,鲁南高铁、日兰高速巨荷段等交通网络以及滩区迁建等民生工程的建设,导致了建设用地对耕地的占用,因此造成研究结果差异。2019—2022 年研究区耕地面积持续下降,对农业发展有一定的制约作用,但农业科技提高了粮食单产,因此研究区耕地面积减少对粮食总产量影响较小。若是不进一步遏制耕地减少趋势,那未来也会给粮食安全带来一定的威胁。为实现农业的可持续发展,应当加强对耕地的保护,减少对耕地的占用,保障基本农田面积,增加优质农田产量。

本研究从自然、社会经济 2 个方面,分析了鲁西南黄泛区 2019—2022 年耕地变化的影响因子,单因子探测结果表现为社会经济是耕地变化的主要影响因子,与刘卫林等^[18]的研究结果类似。

在双因子交互分析中,各因子间交互作用均表现出双因子增强和非线性增强,未出现交互作用减弱和相互独立的情况,自然因子在交互后解释力有所增强,但社会经济因子交互后的解释力依旧高于自然因子,这与郭健斌等^[19]研究结果一致。根据地理探测结果,研究区应当加大对青壮年返乡就业的鼓励力度,保障城乡人均收入水平,提升当地第一产业生产总值、农林牧渔总产值、农业产值等经济发展指标。

本研究采用了 2019—2022 年鲁西南黄泛区耕地数据进行研究,相邻年份的研究可以更加精准地把握其动态变化,但仅采用了 4 a 数据,研究期较短,后期可进一步增长研究年限,后续可增加 2019 年之前或 2022 年之后相邻年份的数据,进行更长时间段相邻年份的研究,以增强研究年份的代表性。同时,研究区位于黄泛平原风沙国家级重点预防区,对耕地保护较为重视,因此优先选取曹县等 6 个县作为研究区,但考虑到政策的实施、经济的发展等多以市级为研究尺度,因此后续可将研究区扩展为整个菏泽市,以增强研究结果的典型性。

5 结论

(1) 鲁西南黄泛区 2019—2020 年耕地面积减少了 49.76 km², 2020—2021 年减少了 20.75 km², 2021—2022 年减少 7.24 km², 耕地流失面积呈现逐年递减趋势;鄆城县耕地面积减少最多(18.28 km²), 鄆城县动态度最大(-2.26%)。鄆城县、东明县、曹县耕地重心呈现向西北迁移的趋势,鄆城县、牡丹区、单县耕地重心呈现向东北方向迁移的趋势,研究区耕地重心总体呈向东北方向迁移的趋势。

(2) 耕地流出最主要的方向是建设用地,共流出了 85.45 km², 主要分布在鄆城县、牡丹区、单县;其次是林地,共流出了 51.57 km², 主要分布在鄆城县、曹县、单县。同时,建设用地也是耕地流入最主要的方向,共流入了 63.23 km², 主要分布在鄆城县、东明县、曹县;其次是林地,共流入了 12.33 km², 主要分布在鄆城县、东明县、曹县。整体上,耕地流出面积高于流入面积。耕地流入最集中的热点区域主要集中在曹县南部、鄆城县东部等地区,耕地流出较集中的冷点区域主要分布在鄆城县中部、牡丹区中部,单县中部、东明县北部等地区。

(3) 鲁西南黄泛区耕地时空格局变化是多因子共

同作用的结果,对耕地变化影响最强的单因子为农村从业人员(X_5);双因子交互组合解释力均高于单因子解释力,对耕地变化影响最强的双因子交互组合为农村劳动力资源数(X_4)∩城镇居民人均收入(X_6)。

参考文献 (References)

- [1] 李秀彬. 中国近 20 年来耕地面积的变化及其政策启示 [J]. 自然资源学报, 1999, 14(4): 329-333.
Li Xiubin. Change of arable land area in China during the past 20 years and its policy implications [J]. Journal of Natural Resources, 1999, 14(4): 329-333.
- [2] 张金懿, 郝晋珉, 王楠, 等. 山东省耕地质量空间自相关分析与耕地保护分区研究 [J]. 土壤通报, 2023, 54(4): 757-767.
Zhang Jinyi, Hao Jinmin, Wang Nan, et al. Protection zoning of cultivated land based on spatial autocorrelation in Shandong Province [J]. Chinese Journal of Soil Science, 2023, 54(4): 757-767.
- [3] Zhao Suxia, Xiao Dongyang, Yin Mengmeng. Spatio-temporal patterns and driving factors of non-grain cultivated land in China's three main functional grain areas [J]. Sustainability, 2023, 15(18): 13720.
- [4] 袁承程, 张定祥, 刘黎明, 等. 近 10 年中国耕地变化的区域特征及演变态势 [J]. 农业工程学报, 2021, 37(1): 267-278.
Yuan Chengcheng, Zhang Dingxiang, Liu Liming, et al. Regional characteristics and spatial-temporal distribution of cultivated land change in China during 2009-2018 [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2021, 37(1): 267-278.
- [5] 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.
- [6] Liu Yanan, Wu Kening, Cao Hailong. Land-use change and its driving factors in Henan Province from 1995 to 2015 [J]. Arabian Journal of Geosciences, 2022, 15(3): 247.
- [7] 李宏鹏, 田达睿, 谭静斌. 延安市 2000—2020 年耕地非农化时空格局演变及其影响因素 [J]. 水土保持通报, 2022, 42(4): 330-337.
Li Hongpeng, Tian Darui, Tan Jingbin. Spatio-temporal pattern evolution and influencing factors of cultivated land non-agriculturalization in Yan'an City [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2022, 42(4): 330-337.
- [8] 李辉丹, 史东梅, 夏蕊, 等. 基于地理探测器的重庆坡耕地时空格局演变特征及驱动机制 [J]. 农业工程学报, 2022,

- 38(12):280-290.
- Li Huidan, Shi Dongmei, Xia Rui, et al. Evolution characteristics and driving mechanism for the spatiotemporal pattern of sloping farmland in Chongqing based on geodetector [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2022,38(12):280-290.
- [9] 黄天能,许进龙.近40年来广西耕地非农化的时空演变特征、成因与对策[J].中国农业资源与区划,2023,44(10):40-51.
- Huang Tianneng, Xu Jinlong. The characteristics, causes and countermeasures of spatial-temporal evolution of Guangxi cultivated land deagriculturalization in the past 40 years [J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2023,44(10):40-51.
- [10] 禹文东,吴涛,罗云建,等.城镇化进程中耕地时空格局演化及其驱动机制研究:以扬州市为例[J].西南大学学报(自然科学版),2023,45(7):147-159.
- Yu Wendong, Wu Tao, Luo Yunjian, et al. Spatiotemporal pattern evolution and driving mechanism of cultivated land in urbanization process: Taking Yangzhou city as an example [J]. Journal of Southwest University (Natural Science Edition), 2023,45(7):147-159.
- [11] 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.
- [12] 孙博,吴雨珂,闫白冰,等.1990—2020年淮河生态经济带耕地资源分布变化特征与驱动机制[J].农业工程学报,2023,39(23):247-258.
- Sun Bo, Wu Yuke, Yan Baibing, et al. Spatiotemporal variations and impacts on cultivated land resources in Huaihe Eco-Economic Belt during 1990-2020 [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2023,39(23):247-258.
- [13] Zhao Yanru, Zhao Xiaomin, Huang Xinyi, et al. Identifying a period of spatial land use conflicts and their driving forces in the Pearl River Delta [J]. Sustainability, 2022,15(1):392.
- [14] 王劲峰,徐成东.地理探测器:原理与展望[J].地理学报,2017,72(1):116-134.
- Wang Jinfeng, Xu Chengdong. Geodetector: Principle and prospective [J]. Acta Geographica Sinica, 2017,72(1):116-134.
- [15] 尹登玉,张全景,翟腾腾.山东省土地利用变化及其对生态系统服务价值的影响[J].水土保持通报,2018,38(5):134-143.
- Yin Dengyu, Zhang Quanjing, Zhai Tengting. Land use change and its impact on ecosystem service value in Shandong Province [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2018,38(5):134-143.
- [16] Xu Dehe, Zhang Ke, Cao Lianhai, et al. Driving forces and prediction of urban land use change based on the geodetector and CA-Markov model: A case study of Zhengzhou, China [J]. International Journal of Digital Earth, 2022,15(1):2246-2267.
- [17] 孙善良,张小平,张志斌.陕西省2000—2018年土地利用时空演变及驱动因素[J].水土保持通报,2021,41(4):339-349.
- Sun Shanliang, Zhang Xiaoping, Zhang Zhibin. Spatiotemporal changes and driving forces of land use in Shaanxi Province during 2000—2018 [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2021,41(4):339-349.
- [18] 刘卫林,何昊,朱圣男,等.1980—2015年江西省土地利用迁移变化分析及驱动机制研究[J].水土保持研究,2023,30(2):361-368.
- Liu Weilin, He Hao, Zhu Shengnan, et al. Spatial and temporal variability characteristics and driving mechanisms of land use in Jiangxi Province from 1980 to 2015 [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2023,30(2):361-368.
- [19] 郭健斌,张英,张志伟,等.基于地理探测器的藏东南高山峡谷区土地利用变化及其驱动机制:以西藏林芝市为例[J].中国农业大学学报,2023,28(4):210-226.
- Guo Jianbin, Zhang Ying, Zhang Zhiwei, et al. Land use change and its driving mechanism in the alpine gorge of southeast Tibet based on geodetector: A case study of Nyingchi City [J]. Journal of China Agricultural University, 2023,28(4):210-226.