

韩晓晨, 刘雨婷. 下辽河平原区耕地绿色利用效率的时空演化及影响因素研究[J]. 沈阳农业大学学报, 2025, 56(1): 156-165.

HAN X C, LIU Y T. Spatial-temporal evolution and influencing factors of green utilization efficiency of cultivated land in lower liaohe plain [J]. Journal of Shenyang Agricultural University, 2025, 56(1): 156-165.

下辽河平原区耕地绿色利用效率的时空演化及影响因素研究

韩晓晨^{1,2}, 刘雨婷¹

(1. 辽宁工程技术大学 工商管理学院, 辽宁 葫芦岛 125105; 2. 辽宁工程技术大学 鄂尔多斯研究院, 内蒙古 鄂尔多斯 017000)

摘要: [目的] 探究下辽河平原区耕地绿色利用效率时空演化规律及影响因素, 为保障国家粮食安全、发展低碳减排和实现农业经济可持续增长提供科学依据。 [方法] 借助超效率SBM模型对2009-2022年下辽河平原区32个农业县(市、区)耕地绿色利用效率进行测度, 在此基础上, 利用空间自相关、Tobit模型等分析各县(市、区)耕地绿色利用效率的时空格局演变特征及影响因素。 [结果] 研究期内下辽河平原区耕地绿色利用效率均值为1.014, 大部分处于最优状态以上, 效率水平呈轻微下降态势。研究区耕地绿色利用效率存在显著的正向空间相关性; 研究区耕地绿色利用效率呈现出一定程度的局部空间集聚现象, 但大多数区域的集聚效应并不明显, 随着时间的推移, 这些集聚区域的位置也在不断变化; 下辽河平原区耕地绿色利用效率自西向东呈轻微倒U形, 且西部略高; 自南向北呈U形, 且南部略高。 [结论] 通过Tobit模型分析得出, 农村居民人均播种面积和政府支农力度对耕地绿色利用效率具有正向影响, 耕地复种指数、单位面积农业机械总动力和农村居民人均可支配收入对效率呈负向影响, 说明目前下辽河平原区各区域耕地绿色利用效率存在明显差异, 未来应进一步优化资源配置, 构建区域协同机制, 发挥高值区域引领作用, 以促进整个区域耕地绿色利用效率的全面提升。

关键词: 超效率SBM模型; 耕地绿色利用效率; 时空演化; 聚集效率; 资源配置效率

中图分类号: F301.21

文献标识码: A

文章编号: 1000-1700(2025)01-0156-10

Spatial-temporal Evolution and Influencing Factors of Green Utilization Efficiency of Cultivated Land in Lower Liaohe Plain

HAN Xiaochen^{1,2}, LIU Yuting¹

(1. School of Business Management, Liaoning Technical University, Huludao Liaoning 125105, China; 2. Ordos Institute of Liaoning Technical University, Erdos Inner Mongolia 017000, China)

Abstract: [Objective] This research examines the laws governing the evolution of green land-use efficiency in cultivated areas of the Liaohe Plain, both temporally and spatially, as well as the underlying factors. It aims to provide a scientific rationale for safeguarding national food security, promoting low-carbon emission reductions, and achieving sustainable agricultural economic development. [Methods] Utilizing the super-efficiency SBM model, we evaluated the green utilization efficiency of cultivated land across 32 agricultural counties (cities, districts) within the lower Liaohe Plain, spanning from 2009 to 2022, and the spatial autocorrelation and the Tobit model, alongside other analytical tools, was employed to investigate the characteristics of the evolution in temporal and spatial patterns, as well as the factors influencing the efficiency of green land utilization across various counties (cities, districts). [Results] The findings indicate that the mean efficiency of green land utilization in the Liaohe Plain's lower region stands at 1.014, most of which are above the optimal state, and the efficiency level shows a slight decline. There is a significant positive spatial

收稿日期: 2024-12-23 修回日期: 2025-01-03

基金项目: 辽宁省教育厅高校基本科研重点项目(LJ112410147069); 鄂尔多斯研究院校企合作项目(YJY-XD-2023-008)

第一作者: 韩晓晨(1976-), 男, 硕士, 副教授, 从事财务管理与资源利用效率研究, E-mail: hxiaochen@126.com

correlation between the green utilization efficiency of cultivated land in the study area; A certain level of spatial clustering is observed in the efficiency of green land utilization for cultivated areas within the study region, but the agglomeration effect in most areas is not significant, and with the passage of time, the agglomeration areas continue to migrate. The efficiency of green land utilization for cultivated land in the lower Liaohe Plain exhibits a slight inverted U-shaped trend, transitioning from the western to the eastern regions, and it is slightly higher in the west. It is U-shaped from south to north, and slightly higher in the south. **[Conclusion]** Through Tobit model analysis, the conclusion drawn is that the size of per capita farmland held by rural inhabitants and government support for agriculture has a beneficial effect on enhancing the efficiency of green land use for cultivated land. Conversely, several factors exert a detrimental influence on this efficiency, including the level of land cultivation intensity, the area-based utilization rate of agricultural machinery, and the average per capita disposable income of rural residents. The current situation reveals notable disparities in the green utilization efficiency of cultivated land across the lower Liaohe Plain. In the future, we should optimize the efficiency of resource allocation, foster regional collaboration, it is essential to establish a synergistic mechanism and harness the exemplary role of high-potential areas, and promote the green utilization efficiency of cultivated land in various regions.

Key words: super-efficient SBM model; green utilization efficiency of cultivated land; temporal and spatial evolution; aggregation efficiency; resource allocation efficiency

耕地作为保障国家粮食安全的基础资源,在推动经济社会进步与支撑生态环境保护方面发挥着无可替代的作用。伴随着城市化、工业化及农业现代化步伐的不断加快,农村地区劳动力外迁现象加剧,部分耕地资源转向非农业用途,耕地利用效率低下及粗放经营的问题也愈发凸显^[1]。考虑耕地资源有限,高强度且粗放的生产模式将引发显著的二氧化碳排放,从而在一定程度上阻碍区域生态系统的协调共进^[2]。因此,在我国经济社会结构转型、耕地资源愈发紧张的情境下,依据生态文明建设和绿色发展理念,探究耕地绿色利用效率在时间与空间上的演变特征,识别其主要影响因素,对于实施耕地保护策略、确保国家粮食安全与资源高效配置、推动农业现代化进程及绿色可持续发展,具有重要的理论意义与现实意义。

作为对传统耕地利用效率概念的拓展,耕地绿色利用效率是衡量耕地综合投入与产出效益的关键指标。长久以来,耕地利用的相关研究一直是国内外学术界关注的焦点。在内涵理论方面,XIE等^[3]引入了耕地绿色利用效率的概念,将其阐释为在耕地利用的过程中,通过降低成本实现社会、经济和生态3个层面效益的最大化目标。在研究内容方面,多数学者分别以全国和省级行政区为研究区域,深入研究耕地绿色利用效率的评价体系、区域间的差异性^[4]、收敛性特征及其主要影响因素等相关议题。在测度体系方面,既有研究遵循“投入+产出”逻辑,将土地、劳动力、资本等多个要素投入与耕地资源产出充分考虑在内^[5]。数据包络分析能够妥善处理多投入多产出的问题,学者们往往倾向于采用数据包络分析(Data Envelopment Analysis, DEA)模型、Charnes-Cooper-Rhodes(CCR)模型以及非径向模型等,对耕地绿色利用效率进行量化评估,并借助地理加权回归(Geographically Weighted Regression, GWR)、Tobit等模型来剖析其主要驱动因素^[6-7]。对耕地绿色利用效率产生的影响因素,学者们普遍将其划分为两大类:一是自然环境^[8]、农业生产^[9]以及经济发展^[10]等宏观层面;二是农民家庭特征、农户认知等微观层面^[11]。在研究尺度方面,多数学者倾向于从国家和省级层面的宏观角度探讨耕地绿色利用效率的演变趋势,而对于市县等中微观层面以及特定区域的耕地利用效率研究则较为薄弱。下辽河平原区域为东北黑土带的关键粮食产区,我国重要的商品粮供应基地之一,2022年粮食总产量约占辽宁省59.4%,是辽宁省最大的“粮仓”^[12]。近年来,随着城市化与工业化的迅猛推进,耕地资源的浪费及非农业用途的频繁出现^[13],在此背景下,探究该区域耕地绿色利用效率的时空演变特征及其影响因素具有重要的现实意义和典型意义。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

下辽河平原区位于辽宁省中部,地处辽东丘陵与辽西丘陵之间,120°42'~124°45'E,40°43'~43°27'N,地势低平,呈东北-西南走向,研究区的行政区划包括1个副省级城市沈阳市和盘锦市、锦州市、营口市、辽阳市、鞍山市、铁岭市、阜新市等7个地级市的32个农业县(市、区),总耕地面积为29 567.19 km²,占辽宁省耕地总面积

的 48.55%,其中旱地占领主导地位,成为域内最为主要的土地利用类型。

1.2 超效率SBM模型

超效率SBM模型(Super-SBM Model)比起传统的径向DEA模型,纳入了要素“松弛”的影响,能够规避非期望产出所导致的效率评估偏差,并可以妥善处理因众多决策单元效率值均为最大值1而难以进一步比较的问题^[14]。具体采用MATLAB软件进行计算,公式为:

$$\min \beta = \frac{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (\frac{\bar{x}}{x_{ik}})}{1 + \frac{1}{e_1 + e_2} (\sum_{s=1}^{r_1} \frac{\bar{y}^d}{y_{sk}^d} + \sum_{q=1}^{r_2} \frac{\bar{y}^u}{y_{qk}^u})} \tag{1}$$

$$\begin{aligned} s.t. \bar{x} &\geq \sum_{j=1, \neq k}^m x_{ij} \lambda_j, i = 1, 2, \dots, m \\ \bar{y}^d &\leq y_{sj}^d \lambda_j, s = 1, 2, \dots, e_1 \\ \bar{y}^u &\leq y_{qj}^u \lambda_j, q = 1, 2, \dots, e_2 \\ \lambda_j &\geq 0, j = 1, 2, \dots, n, j \neq 0 \\ \bar{x} &\geq x_k, i = 1, 2, \dots, m \\ \bar{y}^d &\leq y_k^d, s = 1, 2, \dots, e_1 \\ \bar{y}^u &\leq y_k^u, q = 1, 2, \dots, e_2 \end{aligned} \tag{2}$$

式中: β 为决策单元的效率值; m 为每个决策单元投入; e_1 和 e_2 分别为期望产出和非期望产出; \bar{x} 、 \bar{y}^d 和 \bar{y}^u 分别为投入、期望产出和非期望产出的松弛变量; λ 为权重向量。

1.3 空间自相关模型

为分析研究变量的区域差异及空间相关性,通常运用莫兰指数进行考察,分析类型主要分为全局性和局部性两种,其计算公式为:

$$I_{\text{全局}} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{s^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}} \tag{3}$$

$$I_{\text{局部}} = \frac{(x_i - \bar{x})}{s^2} \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_j - \bar{x}) \tag{4}$$

式中: I 为莫兰指数; n 为空间区域单元的个数; x_i 和 x_j 为空间区域*i*和*j*的观测值, \bar{x} 为观测值均值; s^2 为样本方差; w_{ij} 为空间权重矩阵。

1.4 趋势面分析

趋势面分析技术是通过运用空间数据来构建和拟合一个三维的数学曲面模型,并将结果可视化,旨在探究地理要素的空间分布规律,并评估其整体变化趋势。采用趋势面分析法拓展研究下辽河平原区耕地绿色利用效率的空间格局变化特征^[15],并将各区域耕地绿色利用效率对应值投影到XY、XZ和YZ平面上。

1.5 Tobit模型

超效率SBM模型评估的耕地绿色利用效率值均超过0,被视为一种受限制的因变量。因此采用Tobit回归模型来分析耕地绿色利用效率的影响因素,具体模型为:

$$y_{ij}^* = \begin{cases} y_{ij}^* = \alpha + \sum_{i=1}^n \beta_k x_{ij} + e_{ij} y_{ij}^* > 0 \\ 0 & y_{ij}^* \leq 0 \end{cases} \tag{5}$$

式中: y_{ij}^* 为因变量; x_{ij} 为自变量; β_k 为回归系数; α 为常数项; e_{ij} 为随机误差项。

1.6 耕地绿色利用效率的测度指标

借鉴已有研究^[16-17],按照“投入-产出”的逻辑规律构建耕地绿色利用效率评价指标体系。由表1可知,出于对指标更加科学、全面的考虑,该体系在产出指标设定部分,将耕地碳汇总量与碳排放一同纳入。其中,投入

指标包括土地、劳动力、资本等要素投入,具体以农作物播种面积、农业从业人员、有效灌溉面积、化肥使用量、农药使用量、农村塑料薄膜使用量和农业机械总动力为表征指标。在期望产出方面,分为经济、社会和生态 3 个维度,具体以粮食总产量、农业总产值、耕地碳汇总量为表征指标。其中耕地碳汇总量计算公式^[18]为:

$$C = \sum_{i=1}^k C_i \cdot Y_i \cdot (1 - q) / H_i \quad (6)$$

式中: C 为耕地碳汇总量; C_i 为农作物碳吸收率; k 为农作物种类, Y_i 为农作物经济产量; q 为农作物含水率; H_i 为农作物经济系数。

对于非期望产出,选取耕地生产活动中所释放的碳排放总量为评估指标,碳排放主要源自耕地利用过程中翻耕、灌溉、施肥、喷洒农药、农膜使用和机械^[19]。计算公式为:

$$E = \sum E_i = \sum (T_i \times Q_i) \quad (7)$$

式中: E 为耕地利用碳排放总量; T_i 和 Q_i 分别为各碳源的原始量和碳排放系数。

表1 耕地绿色利用效率评价指标体系

Table 1 Green utilization efficiency of cultivated land evaluation index system

一级指标 Primary index	二级指标 Secondary index	变量说明 Variable declaration	单位 Unit
投入 Input	土地投入 Land input	农作物播种总面积 Total sown area of crops	万 hm ²
	劳动力投入 Labor input	农业从业人员 Agricultural employees	万人
	灌溉投入 Irrigation input	有效灌溉面积 Effective irrigation area	万 hm ²
	化肥投入 Fertilizer input	农用化肥施用量(折纯) Application amount of agricultural chemical fertilizer (converted to pure)	万 t
	农药投入 Pesticide input	农药使用量 Pesticide consumption	万 t
	农膜投入 Agricultural film investment	农村塑料薄膜使用量 Usage of plastic film in rural areas	万 t
	农机投入 Agricultural machinery investment	农业机械总动力 Total power of agricultural machinery	万 kW
期望产出 Expected output	社会产出 Social output	粮食总产量 Total grain output	万 t
	经济产出 Economic output	农业总产值 Total agricultural output value	万元
	环境产出 Environmental output	耕地碳汇总量 Total carbon sink of cultivated land	万 t
非期望产出 Unexpected output	碳排放 Carbon dioxide emission	碳排放总量 Carbon emissions	万 t

1.7 耕地绿色利用效率的影响因素指标

基于下辽河平原区耕地利用的实际状况及数据获取的可能性,从自然环境条件、耕地资源禀赋、农业科技水平、经济发展水平以及政府支农力度等多个维度,筛选出了影响耕地绿色利用效率的因素(表2)。

1.8 数据来源

以下辽河平原区 32 个农业县(市、区)为研究区,研究时段为 2009–2022 年。统计数据包括耕地绿色利用效率和影响因素数据,来自《辽宁省统计年鉴》《中国县域经济统计年鉴(县市卷)》以及各相应县区的《国民经济和社会发展统计公报》。针对部分缺失数据,采用插值法进行补全,并剔除严重缺失数据。

2 结果与分析

2.1 耕地绿色利用效率测度与结果分析

基于 2009–2022 年的面板数据,利用 MATLAB 软件对下辽河平原区耕地绿色利用效率进行了计算。由表 3 可知,2009–2022 年下辽河平原区耕地绿色利用效率均值为 1.014,整体大部分处于最优状态以上,效率水平呈

表2 耕地绿色利用效率影响因素指标选取及说明

Table 2 Selection and explanation of influencing factors of green utilization efficiency of cultivated land

影响因素 Influencing factor	具体指标 Specific indicators	指标描述 Indicator description	单位 Unit
自然环境条件 Natural environmental conditions	耕地复种指数 Cultivated land multiple cropping index	农作物播种总面积/耕地总面积 Total sown area of crops/total cultivated area	%
耕地资源禀赋 Cultivated land resource endowment	农村居民人均播种面积 Per capita sown area of rural residents	耕地总面积/总人口 Total cultivated land area/population	hm ² ·人 ⁻¹
农业科技水平 Agricultural science and technology level	单位面积农业机械总动力 Total power of agricultural machinery per unit area	农业机械总动力/耕地总面积 Total power of agricultural machinery/total cultivated land area	kW·hm ⁻²
经济发展水平 Level of economic development	人均可支配收入 Per capita disposable income	农村居民人均可支配收入 Per capita disposable income of rural residents	元
政府支农力度 Government's efforts to support agriculture	农林水事务支出 Expenditure on agriculture, forestry and water affairs	政府对农业、林业等方面的资金投入 Government investment in agriculture, forestry, etc.	万元

轻微下降态势,由2009年的1.119降至2022年的1.036。从各区域来看,耕地绿色利用效率变化差异较为平稳,盘锦市效率均值为1.218,其投入产出效率均值最高,但各年份间的波动较为显著,需加以重视;营口市、铁岭市效率均值高于区域平均水平,说明这些地区在注重经济产出的同时也着重控制了非期望产出,应当继续保持;辽阳市、沈阳市、鞍山市和锦州市效率均值都高于0.9,这些地区展现出在经济发展层次、耕地资源条件以及农业生产环境上的优势,有潜力达到最佳状态;相比之下,阜新市的效率均值仅为0.599,这表明该区域在耕地投入要素的配置上尚未有优化空间,存在资源分配不合理的情况,这在一定程度上阻碍了耕地绿色利用效率的提高。

表3 下辽河平原区耕地绿色利用效率均值变化

Table 3 Mean change table of green utilization efficiency of cultivated land in the lower Liaohe Plain area

年份 Year	沈阳市 Shenyang	鞍山市 Anshan	锦州市 Jinzhou	营口市 Yingkou	阜新市 Fuxin	辽阳市 Liaoyang	盘锦市 Panjin	铁岭市 Tieling	整体 Whole
2009	1.045	0.969	0.944	1.161	1.008	1.033	1.376	1.371	1.119
2010	1.006	0.912	0.932	1.121	1.034	0.972	1.427	1.403	1.104
2011	1.127	0.758	0.925	1.091	1.037	1.032	0.974	1.323	1.056
2012	1.061	0.780	0.921	1.077	1.036	1.061	1.002	1.254	1.019
2013	1.121	0.913	0.822	1.082	0.548	0.951	1.094	1.255	1.031
2014	1.007	0.766	0.837	1.075	0.497	1.013	1.238	1.196	1.005
2015	0.833	0.612	0.811	1.038	0.341	0.958	1.183	1.124	0.911
2016	0.774	1.014	0.921	1.048	0.391	0.908	1.163	1.135	0.946
2017	0.834	1.032	0.943	1.072	0.429	1.049	1.169	1.120	0.985
2018	0.661	0.813	0.899	1.035	0.386	1.047	1.178	1.109	0.910
2019	0.834	1.042	0.919	1.086	0.407	1.037	1.191	1.102	0.981
2020	0.928	1.055	0.932	1.105	0.423	1.039	1.359	1.103	1.031
2021	0.965	1.085	0.951	1.206	0.415	1.047	1.451	1.105	1.065
2022	0.991	1.094	0.935	1.249	0.431	0.962	1.243	1.105	1.036
均值 Average	0.942	0.918	0.906	1.103	0.599	0.998	1.218	1.193	1.014

为揭示下辽河平原区耕地绿色利用效率分地区演化特征,基于ArcGIS 10.6自然断点分类法将研究期内下辽河平原区耕地绿色利用效率值进行5级分层。由图1可知,下辽河平原区在不同时间节点上城市耕地的绿色利用效率存在显著差异,其分布呈现不均衡状态,并且各时期均有所变化。2009,2013,2016,2019,2022年下辽河平原区分别有27,24,22,25,26个地区的耕地绿色利用效率达最优状态,分别占比为84.4%、75%、68.75%、78.13%、81.25%;昌图县、开原市、太和区、双台子区、兴隆台区、大洼区、盘山县、弓长岭区、太子河区、黑山县、海城市、台安县、于洪区、辽中区、新民市、老边区、大石桥市等耕地绿色利用效率较高,西丰县、彰武县、义县、凌海市、北镇市、法库县等地的耕地绿色利用效率,与其他地区相比处于较低水平。

2.2 耕地绿色利用效率空间相关性分析

2.2.1 全局空间格局演变特征分析 为探究下辽河平原区耕地绿色利用效率在空间上的关联性与差异性特

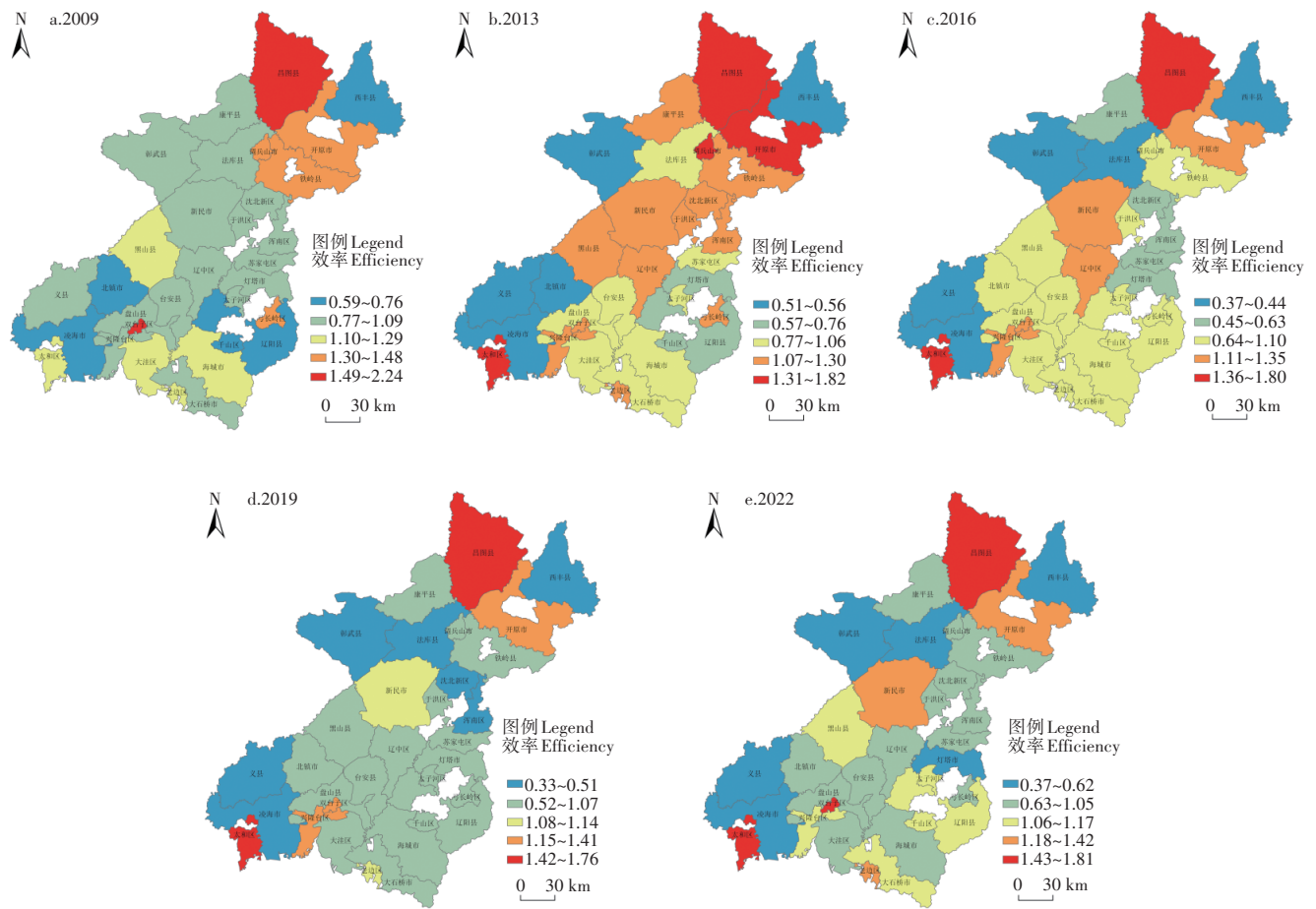


图1 下辽河平原区耕地绿色利用效率空间分布

Figure 1 Spatial distribution map of green utilization efficiency of cultivated land in lower Liaohe Plain

征,采用了空间自相关模型,并利用Stata 17.0与GeoDa软件,基于地理邻接关系的空间矩阵对各县(市、区)耕地绿色利用效率的相关性进行了系统的检验与分析。由于篇幅有限,选取2009,2013,2016,2019,2022年进行展示。由表4可知,下辽河平原区耕地绿色利用效率的Moran’I指数在1%、5%及10%的显著性水平下均顺利通过验证,这一结果揭示了该区域耕地绿色利用效率呈现出显著的空间正相关特性。即相邻县(区)的耕地绿色利用效率在地理空间上的分布并非随机,而是展现出一种空间集聚特征。从动态演变的视角分析,2009-2022年,Moran’I指数从0.177 7增长至0.195 0,这一增长趋势反映出下辽河平原区耕地绿色利用效率的空间相关性有所加强,其集聚特征愈加明显。

2.2.2 局部空间演变特征分析 为了更清晰地揭示下辽河平原区耕地绿色利用效率的局部集聚特征以及区域差异分布状况,采用GeoDa和ArcGIS 10.2软件,得出局部莫兰指数,并据此绘制5个节点年份的LISA集聚图(图2)。该图展示了4种不同类型的集聚区域,具体包括高-高集聚、高-低集聚、低-高集聚以及低-低集聚。

高-高集聚区指的是某一区域及其邻近地域的耕地在绿色利用效率方面均展现出较高水平的特征,2009-2022年下辽河平原区耕地绿色利用效率高-高集聚区主要从北部地区转至西南部地区,并有扩大趋势。2013年该集聚区位于康平县,2016年位于台安县,2019年位于大洼区,2022年有所增加,位于大洼区和盘山县。高-低集聚区指的是区域的耕地绿色利用效率高,而周边区域低,除了2016年下辽河平原区耕地绿色利用效率高-低集聚区位于于洪区,2009,2013,2019,2022年该集聚区均位于太和区。低-高集聚区指的是区域的耕地绿色利用效率低,而周边区域高,2009年下辽河平原区耕地绿色利用效率低-高集聚区位于盘山县,2016年该集聚区位于凌海市。低-低集聚区指的是区域及其周边地区的耕地绿色利用效率均低,2009年下辽河平原区耕地绿色利用效率低-低集聚区位于义县,2016年该集聚区位于彰武县。

表4 下辽河平原区耕地绿色利用效率全局Moran's I指数

Table 4 Global Moran's I Index of green utilization efficiency of cultivated land in lower Liaohe Plain

年份 Year	Moran's I	Z	P
2009	0.177 7	2.546 6	0.010 9
2013	0.178 5	2.556 0	0.010 6
2016	0.179 6	2.569 4	0.010 2
2019	0.196 2	2.807 9	0.005 0
2022	0.195 0	2.793 6	0.005 2

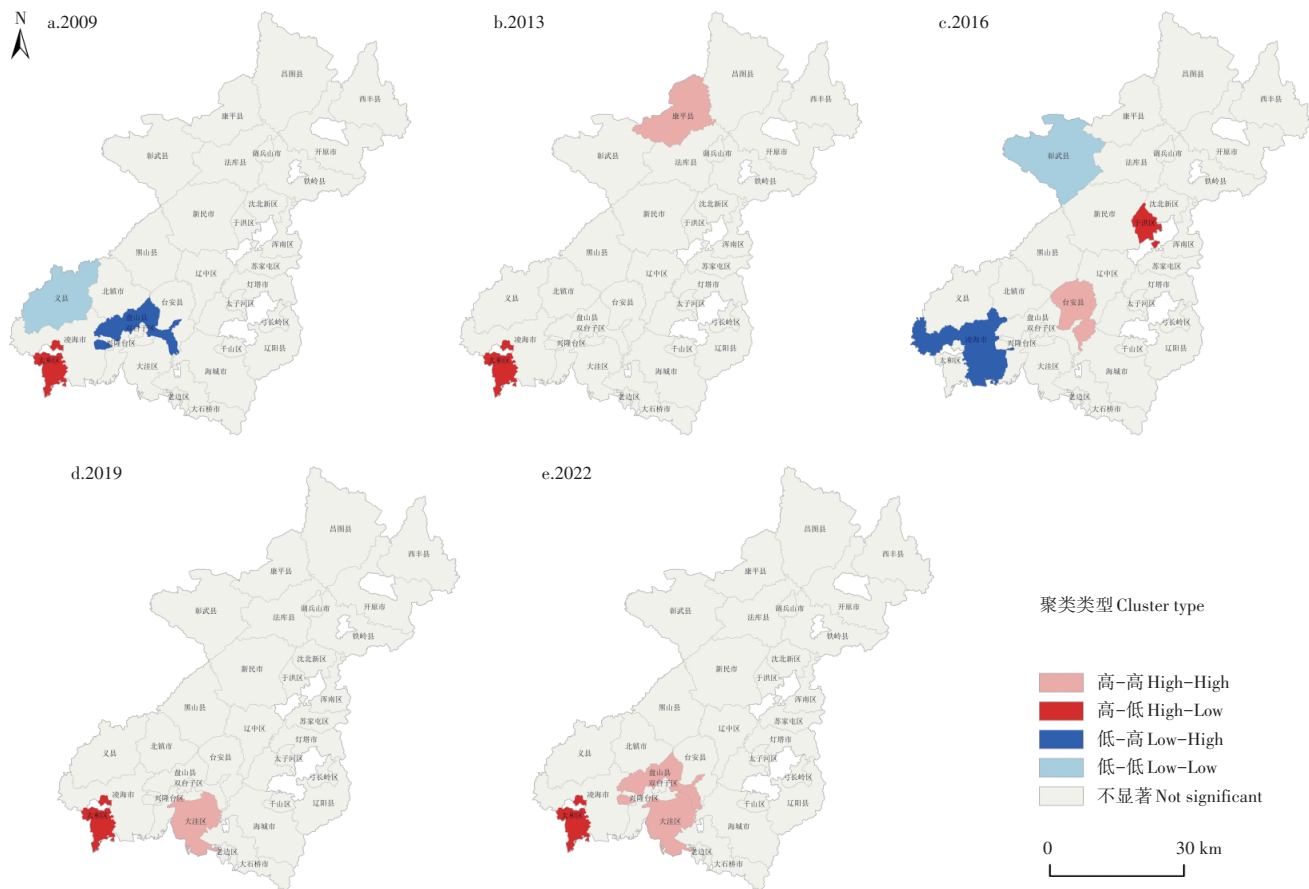


图2 下辽河平原区耕地绿色利用效率LISA集聚图

Figure 2 LISA cluster diagram of cultivated land green utilization efficiency in lower Liaohe Plain

分析5个时间的LISA集聚格局,下辽河平原地区的耕地绿色利用效率呈现出一定程度的局部空间集聚现象,但大多数区域的集聚效应并不明显。随着时间的推移,这些集聚区域的位置也在不断变化。

2.3 耕地绿色利用效率动态演进特征分析

由图3可知,将耕地绿色利用效率值设为因变量,标记为Z;同时,X轴的正向代表东方,用以指示纬度,而Y轴的正向则指向北方,代表经度。2009年,XZ平面上的投影曲线平滑,表明此时东西方向的耕地绿色利用效率并无显著差异。自2013年起,XZ平面上的投影逐渐出现中部地区的“凸起”,同时西部地区效率值有所上升,投影逐渐趋向轻微倒U形。YZ平面2009年与2013年的投影均是北部地区高于其他地区,自2016年起南部地区效率值大幅增加,逐渐呈现“中间低,两边高”的U形结构。总体而言,下辽河平原地区耕地绿色利用效率展现出了显著的区域性差异规律,自西向东呈轻微倒U形,且西部略高;自南向北呈U形,且南部略高。

2.4 耕地绿色利用效率影响因素分析

采用Tobit模型分析自然环境条件、耕地资源禀赋、农业科技水平、经济发展水平以及政府支农力度等对下

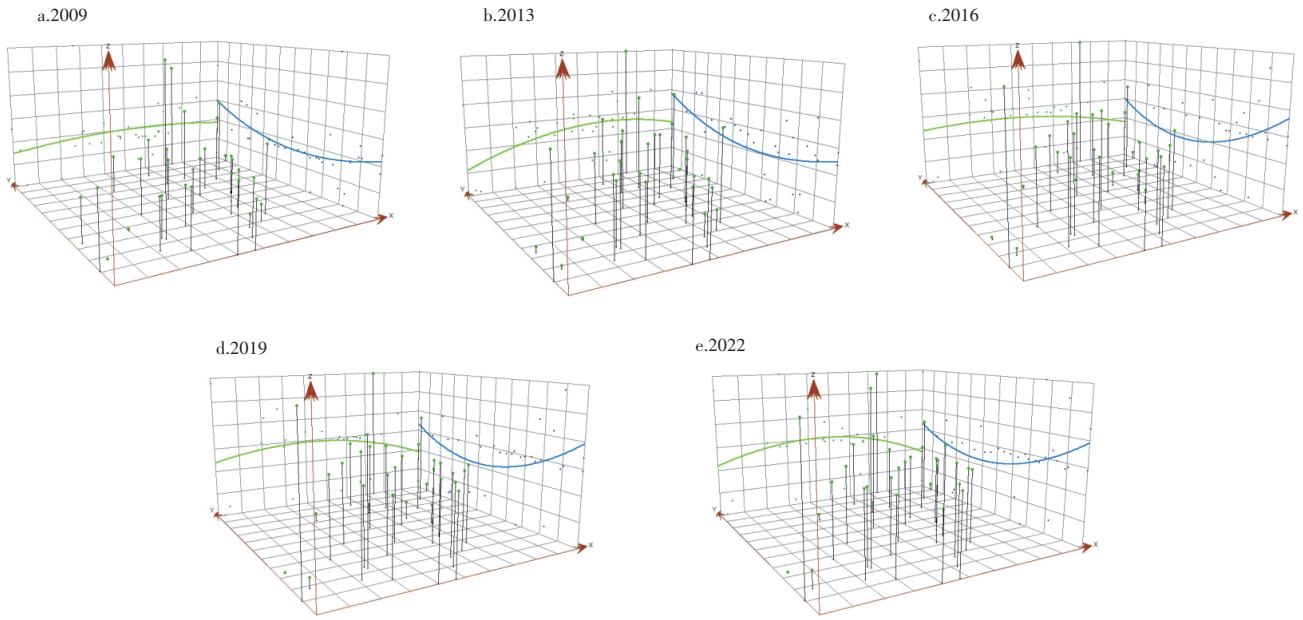


图3 下辽河平原区耕地绿色利用效率趋势面

Figure 3 Trend surface of green utilization efficiency of cultivated land in lower Liaohe Plain

辽河平原区耕地绿色利用效率的影响。由表 5 可知,对耕地绿色利用效率影响程度的排序如下:农村居民人均播种面积>单位面积农业机械总动力>耕地复种指数>农村居民人均可支配收入>农林水事务支出。

(1)自然环境条件。耕地复种指数代表了耕地被利用的程度,该指数与下辽河平原区耕地绿色利用效率呈负相关关系,表明该指数高的时候,耕地绿色利用效率呈下降趋势,一定程度上说明了局部追求种植作物的次数,会破坏土壤的肥力,同时,增加化肥、农药等化学品的投入所带来的环境污染问题,也会阻碍耕地绿色利用效率的提高。亟须推广科学的轮作制度,鼓励农民合理安排作物种类和轮作周期,以提高土壤肥力和耕地绿色利用效率。

(2)耕地资源禀赋。农村人均播种面积与下辽河平原区耕地绿色利用效率呈正相关关系,表明增加农村人均播种面积有助于推动农业劳动的集约化管理,进而提升劳动生产效率,并促使耕地绿色利用效率得以提高。

(3)农业科技水平。单位面积农业机械总动力与下辽河平原区耕地绿色利用效率呈负相关关系。可能的原因在于,虽然大量的农机投入有助于减少劳动成本并提升农户的收益,但这种做法同时也可能引发柴油等石化资源的过度使用,从而造成耕地环境的污染,最终对耕地绿色利用效率的提升产生抑制作用。适当减少单位耕地投入的农业机械动力,会提高下辽河平原区耕地绿色利用效率。

(4)经济发展水平。农民人均可支配收入与下辽河平原区耕地绿色利用效率呈负相关关系,表明随着收入的增加,部分农民可能会更倾向于追求短期经济效益,耕作中依赖过多的化肥和农药以期提高产量,而忽视

表5 下辽河平原区耕地绿色利用效率影响因素的面板tobit回归

Table 5 Panel tobit regression of influencing factors of green utilization efficiency of cultivated land in lower Liaohe Plain

解释变量 Explanatory variables	系数 Coefficient	标准误差 Standard error	t	P
耕地复种指数 Cultivated land multiple cropping index	-0.003	0.001	-2.04	0.042
农村居民人均播种面积 Per capita sown area of rural residents	0.972	0.433	2.25	0.025
单位面积农业机械总动力 Total power of agricultural machinery per unit area	-0.026	0.013	-1.93	0.054
农村居民人均可支配收入 Per capita disposable income of rural residents	1.57e-05	8.53e-06	-1.84	0.066
农林水事务支出 Expenditure on agriculture, forestry and water affairs	2.65e-06	1.33e-06	1.99	0.047

了对土地长期可持续利用的考虑。另外,也有农民可能会向非农业行业进军,导致农业人力资源短缺。这表明提高农民收入的同时,必须加强对可持续农业和环境保护的引导与教育,以实现经济与生态的双赢。

(5)政府支农水平。农林事务水支出与下辽河平原区耕地绿色利用效率呈正相关关系,表明通过加大农村、农民补贴以及农业设施、技术创新、资源保护方面的投入,推动农业生产条件升级,提高耕地生态质量,有效提高了耕地绿色利用效率。

3 讨论与结论

本研究对2009–2022年下辽河平原区耕地绿色利用效率时空演化及影响因素进行了分析,通过解析LISA集聚图,发现下辽河平原地区的耕地绿色利用效率呈现出一定程度的局部空间集聚现象,且其集聚区域的位置随着时间推移在不断变化。这可能是由于各区域经济发展水平的差异以及环境规制强度的不同,加之超效率SBM模型受到经济、社会及环境等多方面因素的综合作用,测算结果并未因邻近区域某一特定相似性的显著增强而受到影响,从而导致耕地绿色利用效率的集聚效应表现并不明显。趋势面分析表明下辽河平原区耕地绿色利用效率西部与南部略高,可能的是由于自然条件优越、农业技术与管理水平较高、种植多样性、政策支持以及市场需求等多方面因素的综合作用。通过对耕地绿色利用效率影响因素的探究,发现农村居民人均播种面积对下辽河平原区耕地绿色利用效率产生主要影响,这与李美莲等^[6]的研究结果趋于一致。这反映了提高居民人均播种面积有助于优化资源的集中利用,调动农民积极性,同时也为实现更高的绿色利用效率创造了良好的条件。

本研究结果表明,2009–2022年下辽河平原区耕地绿色利用效率均值为1.014,整体大部分处于最优状态以上,效率水平呈轻微下降态势,由2009年的1.119降至2022年的1.036。从整体来看,研究区耕地绿色利用效率存在显著的正向空间相关性;从局部来看,研究区耕地绿色利用效率呈现出一定程度的局部空间集聚现象,但大多数区域的集聚效应并不明显,并随着时间的推移,这些集聚区域的位置也在不断变化;深入分析研究区耕地绿色利用效率的动态演变趋势,发现研究区域内效率值自西向东呈轻微倒U形,且西部略高;自南向北呈U形,且南部略高。通过Tobit模型测算可以得出,农村居民人均播种面积和政府支农力度对耕地绿色利用效率具有正向影响,耕地复种指数、单位面积农业机械总动力和农村居民人均可支配收入对效率呈负向影响。

未来的研究可以关注区域性功能性农业发展条块划分,提升部分县区的引领作用,也降低区域内农业产业内的低效竞争。科学的区域划分,将不同县区根据土壤类型、气候条件、资源禀赋和市场需求等因素进行功能性分类,能够明确各区域在农业生产中的特定角色。同时,建立农业发展示范区,推动领先县区在技术、管理、市场化等方面的创新与实践,带动周边地区的农业升级和优化,进一步加强产业协同,提升整体的农业效益。

参考文献:

- [1] 袁晓妮,鲁春阳,吕开云,等.我国耕地非农化研究进展及展望[J].中国农业资源与区划,2019,40(1):128–133.
YUAN X N,LU C Y,LÜ K Y,et al.Research progress and prospect of non-agriculturalization of arable land in China[J].Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning,2019,40(1):128–133.
- [2] GAO L P,ERDA L. Carbon sink in cropland soils and the emission of greenhouse gases from paddy soils:A review of work in China[J]. Chemosphere-Global Change Science,2001,3(4):413–418.
- [3] XIE H,CHEN Q,WANG W,et al. Analyzing the green efficiency of arable land use in China[J]. Technological Forecasting and Social Change,2018,133:15–28.
- [4] 吕添贵,付舒斐,胡 晗,等.农业绿色转型约束下耕地利用生态效率时空分异特征及空间效应[J].水土保持研究,2024,31(1):269–279,289.
LÜ T G,FU S F,HU H,et al. Spatiotemporal differentiation characteristics and spatial effects of ecological efficiency of cultivated land use based on the constraints of agricultural green transformation[J]. Research of Soil and Water Conservation,2024,31(1):269–279,289.
- [5] 李美莲,许进龙,张河雄,等.“双碳”目标下广西石漠化片区耕地绿色利用效率时空分异研究[J].水土保持研究,2024,31(6):365–374.
LI M L,XU J L,ZHANG H X,et al. Study on the temporal and spatial differentiation of the green utilization efficiency of cultivated land in rocky desertification area of Guangxi under “dual carbon” goals[J]. Research of Soil and Water Conservation,2024,31(6):365–374.
- [6] 刘 涛,尚晓菲,苏原原,等.“双碳”目标下黄河下游耕地绿色利用效率、收敛性与影响因素[J].水土保持通报,2023,43(1):

- 291-299.
- LIU T, SHANG X F, SU Y Y, et al. Green utilization efficiency, convergence, and influencing factors of cultivated land in Lower Yellow River under "double carbon" target[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2023, 43(1): 291-299.
- [7] 丁宝成, 段思琦. 低碳视角下辽宁省物流业效率及影响因素分析[J]. *辽宁工程技术大学学报(社会科学版)*, 2023, 25(5): 327-334.
- DING BC, DUAN S Q. Analysis of logistics efficiency and its influencing factors in Liaoning Province from the perspective of low carbon[J]. *Journal of Liaoning Technical University (Social Science Edition)*, 2023, 25(5): 327-334.
- [8] 关皓泽, 江 洪. 交通运输设备制造业技术创新效率研究: 基于 2016—2020 年 A 股上市公司经验数据[J]. *辽宁工程技术大学学报(社会科学版)*, 2024, 26(1): 24-30.
- GUAN H Z, JIANG H. Research on technological innovation efficiency of transportation equipment manufacturing industry: based on the empirical data of A-share listed enterprise from 2016 to 2020[J]. *Journal of Liaoning Technical University (Social Science Edition)*, 2024, 26(1): 24-30.
- [9] ZHANG J, ZHANG P, LIU Y, et al. An analysis of the spatiotemporal evolution and driving force of cultivated land green utilization in karst region of southwest China[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2024, 434: 140002.
- [10] 王鹏程, 张利国, 陆汝成. "边境-粮食-生态"安全视域下耕地利用生态效率演变特征与机制: 以中越边境地区为例[J]. *生态学报*, 2024, 44(11): 4637-4649.
- WANG P C, ZHANG L G, LU R C. Evolution characteristics and mechanism of cultivated land use eco-efficiency from the triple-security perspective in China-Vietnam border area[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2024, 44(11): 4637-4649.
- [11] HE W, WANG F F, FENG N. Research on the characteristics and influencing factors of the spatial correlation network of cultivated land utilization ecological efficiency in the upper reaches of the Yangtze River, China[J]. *PLoS One*, 2024, 19(2): e0297933.
- [12] LU X, QU Y, SUN P, et al. Green transition of cultivated land use in the Yellow River Basin: A perspective of green utilization efficiency evaluation[J]. *Land*, 2020, 9(12): 475.
- [13] 孙守延, 裴久瀚, 汪景宽, 等. 下辽河平原区耕地质量演变及障碍因素诊断[J]. *中国农业资源与区划*, 2023, 44(11): 92-102.
- SUN S Y, PEI J B, WANG J K, et al. Cultivated quality evolution and obstacle factors diagnosis in the Lower Liaohe River Plain[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2023, 44(11): 92-102.
- [14] 许彩彩, 吕春娟, 陈 卓, 等. 省域视角下耕地自然质量空间格局与影响因素[J]. *中国农业资源与区划*, 2022, 43(3): 253-264.
- XU C C, LÜ C J, CHEN Z, et al. The spatial pattern and influencing factors of cultivated land natural quality from the perspective of province[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2022, 43(3): 253-264.
- [15] 刘继为, 姜安隆. "双碳"目标下河北省农业生态效率时空演进特征及影响因素[J/OL]. *农业资源与环境学报*, 1-16[2024-12-21].
- LIU J W, JIANG A L. Characteristics of spatial and temporal evolution of agriculture eco-efficiency and the influencing factors in Hebei Province under the goal of "carbon peaking and carbon neutrality"[J/OL]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 1-16[2024-12-21].
- [16] 周镛基, 刘 璇, 皮修平. 外部性视阈下湖南省水稻生产净碳汇时空演绎及驱动因素分析[J/OL]. *环境科学*, 1-19[2024-12-20].
- ZHOU R J, LIU X, PI X P. Spatiotemporal evolution and driving factors of net carbon sink in rice production in Hunan Province: An externality perspective[J/OL]. *Environmental Science*, 1-19[2024-12-20].
- [17] 张 慧, 何正弘, 张力文, 等. 2005—2020 年黑龙江省松嫩平原耕地低碳利用效率时空格局演变及影响因素[J]. *水土保持通报*, 2024, 44(3): 335-346.
- ZHANG H, HE Z H, ZHANG L W, et al. Spatiotemporal evolution pattern and influencing factors of low carbon utilization efficiency of cultivated land in Songnen Plain, Heilongjiang Province during 2005—2020[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2024, 44(3): 335-346.
- [18] 田 云, 张俊飏. 中国农业生产净碳效应分异研究[J]. *自然资源学报*, 2013, 28(8): 1298-1309.
- TIAN Y, ZHANG J B. Regional differentiation research on net carbon effect of agricultural production in China[J]. *Journal of Natural Resources*, 2013, 28(8): 1298-1309.
- [19] 移明昊, 闫庆武, 张定祥, 等. 吉林省耕地利用碳排放测度及其与粮食生产脱钩分析[J]. *中国农业资源与区划*, 2023, 44(4): 45-56.
- YI M H, YAN Q W, ZHANG D X, et al. Measurement of carbon emission from cultivated land use and analysis of its decoupling from grain production in Jilin Province[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2023, 44(4): 45-56.