



赵哲, 许由, 张轩畅. 我国东北黑土区耕地资源时空演变的驱动机制及其空间效应[J]. 中国农业大学学报, 2026, 31(01): 163-179.  
ZHAO Zhe, XU You, ZHANG Xuanchang. Driving mechanisms of the spatial-temporal evolution of cultivated land resources in the Black Soil Region of Northeast China and its spatial effects[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2026, 31(01): 163-179.  
DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2026.01.14

## 我国东北黑土区耕地资源时空演变的驱动机制及其空间效应

赵哲<sup>1</sup> 许由<sup>1</sup> 张轩畅<sup>2\*</sup>

(1. 辽宁大学 经济学院, 沈阳 130136;

2. 中国科学院 地理科学与资源研究所, 北京 100101)

**摘要** 为厘清东北黑土区耕地资源时空演变的驱动机制及其空间效应, 基于东北黑土区1990—2022年逐年土地利用遥感数据和县域统计数据, 采用重心迁移模型、转移矩阵方法、空间面板回归模型等方法, 探究东北黑土区耕地资源时空演变的驱动机制及其空间效应。结果表明: 自1990年以来, 东北黑土区耕地资源总量呈现“M”型波动上升趋势, 累计增加106.77万hm<sup>2</sup>, 增幅为2.39%。其中: 东北黑土区耕地重心向东北方向不断移动, 耕地资源增加的地区主要位于大兴安岭、小兴安岭、三江平原和长白山地区; 耕地资源减少的地区主要位于辽河平原和松嫩平原。此外, 年降水量、产业结构和黑土地保护政策对耕地资源变化具有正向影响; 年均气温、坡度、夜间灯光指数、农机总动力对耕地资源变化具有负向影响。社会经济因素对周边县域耕地具有显著的空间溢出效应, 其中人均GDP、产业结构和黑土地保护政策具有显著正向溢出效应, 夜间灯光指数和农机总动力具有显著负向溢出效应。基于此, 本研究从适时调整区域种植结构、加快推进高标准农田建设和强化黑土地保护政策引导等3个方面提出政策建议。

**关键词** 东北黑土区; 耕地资源; 时空演变规律; 驱动机制; 空间效应

中图分类号 F205

文章编号 1007-4333(2026)01-0163-17

文献标志码 A

## Driving mechanisms of the spatial-temporal evolution of cultivated land resources in the Black Soil Region of Northeast China and its spatial effects

ZHAO Zhe<sup>1</sup>, XU You<sup>1</sup>, ZHANG Xuanchang<sup>2\*</sup>

(1. School of Economics, Liaoning University, Shenyang 110136, China;

2. Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

**Abstract** Understanding the driving mechanisms of the temporal and spatial evolution of cultivated land resources in the Black Soil Region of Northeast China and its spatial effects is important for the protection and utilization of black soil cultivated land. Based on the annual remote sensing data on land use and county-level statistical data of the Black Soil Region of Northeast China from 1990 to 2022, this study uses the Centre of Gravity Migration Model, Transition Matrix Method and Spatial Panel Regression Model to explore the driving mechanisms and spatial effects of the spatial and temporal evolution of cultivated land resources in the region. The results indicate that The total area of cultivated land resources in the Black Soil Region of Northeast China has shown a M-shaped

收稿日期: 2025-04-28; 接受日期: 2025-06-12

基金项目: 国家自然科学基金青年项目(72303087); 国家自然科学基金专项(72442022); 国家重点研发计划(2024YFD1500201)

第一作者: 赵哲(ORCID:0000-0002-2736-9049), 副教授, 主要从事资源环境经济与政策相关研究, E-mail: zhaozhe@lnu.edu.cn

通讯作者: 张轩畅(ORCID:0009-0001-3178-6072), 助理研究员, 主要从事农业地理与乡村发展研究, E-mail: zhangxuanchang@igsrr.ac.cn

upward trend with cumulative growth of 1 067 700 hm<sup>2</sup> (representing a growth rate of 2.39%) since 1990, among which, the centre of gravity of cultivated land in the northeast black soil region has continuously shifted towards the northeast. Regions with increased cultivated land resources are primarily located in the Greater Khingan Mountains, the Lesser Khingan Mountains, the Sanjiang Plain and the Changbai Mountain region, while regions with decreased cultivated land resources are primarily located in the Liaohe Plain and Songnen Plain. Additionally, changes in cultivated land resources are positively impacted by annual precipitation, industrial structure, and black soil protection policies, while average annual temperature, slope, night-time light index, and total agricultural machinery power have a negative impact. Socio-economic factors have a significant spatial spillover effect on cultivated land in neighbouring counties. Among these factors, per capita GDP, industrial structure and black soil protection policies have a positive effect; meanwhile, the night light index and total agricultural machinery power have a negative effect. Based on this, the study puts forward three policy recommendations as follows: timely adjustment of regional crop structures, accelerated construction of high-standard cultivated land, and strengthened policy guidance on black soil protection.

**Keywords** the Black Soil Region of Northeast China; cultivated land resources; space-time evolution law; driving mechanism; spatial effect

耕地作为农业生产的基石,既是重要的农业资源,也是粮食生产的“命根子”,其数量和质量变动必然会对粮食综合生产能力和粮食有效供给产生影响<sup>[1]</sup>。2025年中央一号文件《中共中央、国务院关于进一步深化农村改革扎实推进乡村全面振兴的意见》再次强调,“强化耕地保护和质量提升”。东北黑土区是世界三大黑土区之一,包括黑龙江省、吉林省、辽宁省和内蒙古三市一盟(赤峰市、通辽市、呼伦贝尔市和兴安盟),其耕地面积占全国耕地总面积的22.2%,目前粮食产量占全国粮食总产量的1/4、商品粮总产量的1/3,是我国粮食稳产保供的“压舱石”<sup>[2]</sup>。然而,由于长期不合理耕作方式和高强度开发利用导致黑土耕地面临着“变薄、变瘦、变硬、变污”的窘境<sup>[3]</sup>,对国家粮食安全基础的稳固和区域生态安全产生威胁<sup>[4]</sup>。此外,在快速城镇化和工业化背景下,受城市扩张、生产结构调整、耕地占补政策、人地冲突等因素影响,东北黑土区耕地与其他用地类型间不断转换,导致耕地资源数量变动和空间格局演变,进而影响耕地质量和生产能力<sup>[5]</sup>。在此背景下,从动态视角刻画东北黑土区耕地资源时空演变规律并揭示自然因素和社会经济因素的驱动机制及其空间效应,对于摸清东北黑土区耕地资源本底,精准评估东北黑土区粮食综合生产能力和加强黑土耕地保护利用具有重要的理论价值和实践意义。

近年来,围绕耕地资源演变及其驱动机制开展了研究。在耕地资源演变方面,现有研究大多聚焦于数量变动和质量变动这2个维度。其中:在数量变动方面,主要采用土地利用遥感监测数据探讨耕地与其他

用地类型间的转换特征<sup>[6]</sup>和演变过程<sup>[7]</sup>;在质量变动方面,主要选择土壤质量、土壤肥力、理化性状等指标构建耕地资源质量评价体系进行分析<sup>[8-9]</sup>。王琦等<sup>[10]</sup>认为,耕地资源演变是自然因素和社会经济因素共同作用的结果。自然因素主要包括地形、气候、水文等<sup>[11]</sup>;社会经济因素主要包括政策、人口、经济等<sup>[12-13]</sup>,且社会经济因素的影响更为显著<sup>[10]</sup>。在研究尺度方面,包括省域<sup>[14]</sup>、市域<sup>[15]</sup>、流域<sup>[16]</sup>等尺度。在研究方法方面,通过方差分析<sup>[17]</sup>、耕地流失强度<sup>[18]</sup>、集聚度<sup>[19]</sup>等方法刻画耕地资源演变规律;通过重心模型<sup>[20]</sup>、GIS空间分析<sup>[21]</sup>等方法可视化呈现耕地变动轨迹;通过因子分析<sup>[22]</sup>、主成分分析<sup>[23]</sup>、Logistic回归模型<sup>[24]</sup>、Tobit回归模型<sup>[25]</sup>、地理加权回归模型<sup>[26]</sup>等方法剖析耕地资源演变的驱动机制。

整体来看,尽管已有研究在耕地资源演变及其驱动机制方面取得了较为丰富的成果,但仍存在一些不足:一是在研究尺度方面,目前基于县域小尺度的研究较为鲜见,考虑到不同县域在经济发展水平和资源禀赋等方面的差异,现有研究普遍基于省域和市域的大尺度分析一定程度限制了研究的精细程度和应用价值,并且大多采用的是多期截面数据且时序较短(一般为15~20年)<sup>[27]</sup>,缺乏基于长时间序列数据开展的研究,尤其是缺乏近年来东北黑土区耕地资源时空演变的数据;二是在研究方法方面,虽然部分研究关注到耕地资源的空间关联特征,但仍缺乏基于空间视角探讨耕地资源演变驱动机制的研究,并且忽略了各驱动因素可能产生的空间溢出效应。新经济地理学认为,区域间的经济联

系与空间距离密切相关,即自然因素和社会经济因素对耕地资源演变的影响可能通过空间传导机制实现,考虑空间维度的影响有助于更加准确地揭示东北黑土区耕地资源演变的驱动机制<sup>[28]</sup>。

因此,为深入探究东北黑土区耕地资源时空演变的驱动机制及其空间效应,本研究拟以东北黑土区耕地资源为研究对象,基于东北黑土区 1990—2022 年逐年土地利用遥感数据和县域统计数据,结合重心迁移模型、转移矩阵方法、空间面板回归模型等方法,探究东北黑土区耕地资源时空演变的驱动机制及其空间效应,以期为耕地资源保护相关政策制定提供参考依据。

### 1 研究区概况、研究方法与数据来源

#### 1.1 研究区概况

东北黑土区作为世界仅存的“三大黑土区”之

一,在我国农业生产格局中占据着极为重要的地位,详见图 1。从地理位置来看,其主要分布于黑龙江省、吉林省、辽宁省以及内蒙古自治区境内,大致位于北纬 45 度线附近,涵盖了呼伦贝尔草原、大小兴安岭地区、三江平原、松嫩平原、松辽平原部分地区和长白山地区。东北黑土区在气候条件方面呈现出鲜明的寒温带特征,整体气候干燥且寒冷。降水分布不均,7—9 月集中了全年约 70% 的降水量,且多为暴雨,年平均降水量在 400~700 mm。在此气候影响下,水资源总量达 1 415.99 亿 m<sup>3</sup>,人均占有量为 1 213.98 m<sup>3</sup>。伴随长期不合理耕作方式以及土壤侵蚀等原因,黑土地退化严重,土壤板结、地力下降。同时,化肥农药的过量使用导致土壤污染日趋严重,镉、铅、锌含量明显增加,土壤生物多样性和群落结构稳定性下降、土壤生物代谢功能改变、生物原始生态平衡遭到破坏、土传病害发生率

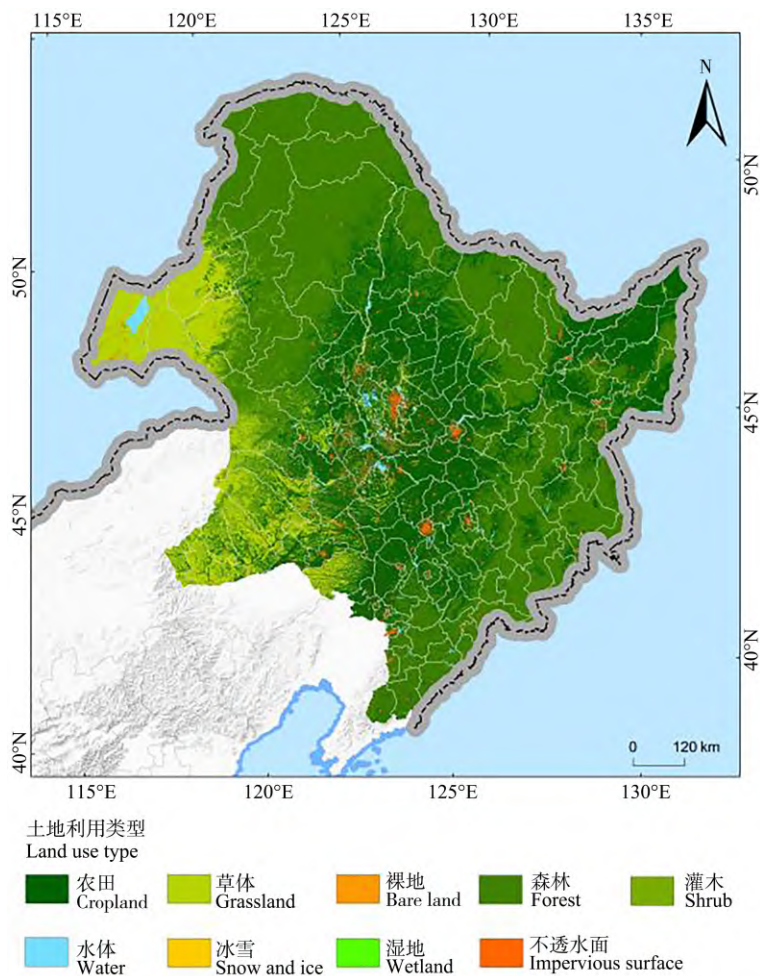


图 1 研究区概况

Fig. 1 Overview of the study area

提高,对该地区的粮食综合生产能力产生消极影响,进而威胁国家粮食安全。在此背景下,以东北黑土区作为研究区域,探讨耕地资源演变的驱动机制及其空间效应具有重要的理论和现实意义。

1.2 模型方法

1.2.1 重心迁移模型

重心迁移模型可以精准辨识耕地重心的空间变动趋势<sup>[5]</sup>。本研究以此考察1990—2022年东北黑土区耕地重心的空间变动特征。具体计算公式如下:

$$X_t = \sum_{i=1}^N (C_{it} \times X_i) / C_{it} \quad (1)$$

$$Y_t = \sum_{i=1}^N (C_{it} \times Y_i) / \sum_{i=1}^N C_{it} \quad (2)$$

式中: $X_t$ 、 $Y_t$ 分别为耕地重心在第 $t$ 年的经、纬度坐标; $C_{it}$ 为第 $i$ 个耕地斑块在第 $t$ 年的面积; $X_i$ 和 $Y_i$ 为第 $i$ 个耕地斑块分布重心的经纬度坐标。

1.2.2 转移矩阵方法

转移矩阵方法可以厘清不同时期各土地利用类型间的相互转换与变动特征<sup>[6]</sup>。本研究采用如式(3)所示的转移矩阵方法分析不同时期东北黑土区耕地资源转入与转出的空间分布特征。具体计算公式如下:

$$A_{k,l} = \begin{pmatrix} A_{11} & \cdots & A_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ A_{n1} & \cdots & A_{nm} \end{pmatrix} \quad (3)$$

式中: $A_{k,l}$ 为第 $k$ 种土地利用类型转换为第 $l$ 种土地利用类型的面积; $n$ 为土地利用类型的数量; $k$ 为研究期初的土地利用类型; $l$ 为研究期末的土地利用类型。

1.2.3 线性回归分析

本研究采用线性回归分析方法计算1990—2022年东北黑土区县域尺度耕地资源演变趋势。具体计算公式如下:

$$\text{slope} = \frac{n \times \sum_{i=1}^n (i \times \text{Land}_i) - (\sum_{i=1}^n i)(\sum_{i=1}^n \text{Land}_i)}{n \times (\sum_{i=1}^n i^2) - (\sum_{i=1}^n i)^2} \quad (4)$$

式中:slope为斜率,当slope > 0时,耕地资源呈增长趋势,反之,则呈下降趋势; $n$ 为研究的时间跨度; $\text{Land}_i$ 为第 $i$ 年该县域耕地资源数量, $i=1,2,\dots,m$ 。

1.2.4 空间自相关

本研究采用莫兰指数(Moran's I)考察东北黑

土区耕地资源的空间关联性。具体计算公式如下:

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij}} \quad (5)$$

$$I_m = \frac{n(x_i - \bar{x})}{\sum_i (x_i - \bar{x})^2} \sum_{j=1}^n W_{ij} (x_j - \bar{x}) \quad (6)$$

式中: $I$ 和 $I_m$ 为全局和局部莫兰指数,指数>0、<0和=0分别表示研究对象存在空间正相关、空间无关和空间负相关关系; $x_i$ 、 $x_j$ 为县域 $i$ 和 $j$ 的观测值 $n$ 为县域个数(6 076); $W_{ij}$ 为县域 $i$ 和 $j$ 的空间权重矩阵; $\bar{x}$ 为观测值均值。

1.2.5 空间面板回归模型

本研究通过加入空间权重矩阵构建如式(7)和(8)所示的空间面板回归模型进一步剖析东北黑土区耕地资源演变的驱动机制及其可能产生的空间溢出效应。具体计算公式如下:

$$Y_{it} = \beta_0 + \rho \sum W_{ij} Y_{jt} + \beta X_{it} + \gamma \sum W_{ij} X_{jt} + \alpha_i + \epsilon_{it} \quad (7)$$

$$\epsilon_{it} = \lambda W_{ij} \epsilon_{jt} + v_{it} \quad (8)$$

式中: $Y_{it}$ 和 $X_{it}$ 分别为被解释变量和解释变量的观测值; $\beta_0$ 为常数项; $\rho$ 和 $\gamma$ 分别为被解释变量和解释变量的空间回归系数; $\beta$ 为解释变量的回归系数; $\alpha$ 为个体效应(具体根据后文检验结果确定固定效应或随机效应); $\lambda$ 为空间误差系数; $\epsilon$ 为随机误差项; $W$ 为空间权重矩阵,具体通过构建空间反距离矩阵将空间单元相互关系进行量化。

空间反距离矩阵 $w_{ij}$ 是基于地区间地理距离,采用反距离法构建的矩阵类型,构建方式如式(9)所示。此外,本研究假定任意2个空间单元之间均存在联系,故不设定阈值。

$$w_{ij} = \begin{cases} 1/d_{ij}, & i \neq j \\ 0, & i = j \end{cases} \quad (9)$$

式中: $w_{ij}$ 为县域 $i$ 和县域 $j$ 之间的空间关联水平; $d_{ij}$ 为县域 $i$ 和县域 $j$ 之间的空间距离。在开展空间分析前对矩阵进行标准化处理,消除量纲影响。

在此基础上,对模型选择进行检验。首先进行LM检验。其次,通过Wald检验和LR检验判断SDM模型能否退化为SEM模型或SLM模型。最后,通过Hausman检验判断选择固定效应模型还是

随机效应模型。最后,对空间反距离矩阵的模型设定进行稳健性检验,可以得出反距离矩阵中 LR 检验的空间滞后模型结果并不稳健,结合邻接矩阵和

$K$  阶矩阵的检验结果详见表 1。确定选择固定个体效应的空间杜宾模型 (Spatial Dobin Model, SDM)。

表 1 空间模型设定检验  
Table 1 Spatial model setting tests

检验方法 Inspection method	检验指标 Inspection indicator	反距离矩阵检验 Inverse distance matrix test		邻接矩阵检验 Adjacency matrix test		K 阶矩阵检验 K order matrix test	
		检验值 Inspection value	P 值 P value	检验值 Inspection value	P 值 P value	检验值 Inspection value	P 值 P value
		LM 检验 LM test	LM-err LM-lag	17 000 1 299.53	0.00 0.00	14 000 1 245.36	0.00 0.00
Robust LM 检验 Robust LM test	R-LM-err R-LM-lag	16 000 49.51	0.00 0.00	13 000 102.15	0.00 0.00	5 456.17 53.79	0.00 0.00
Hausman 检验 Hausman test	Hausman	262.50	0.00	94.81	0.00	15.93	0.03
LR 检验 LR test	LR-err LR-lag LR-个体 LR-时间	241.09 -383.29 229.59 -23 178.75	0.00 1.00 0.00 1.00	384.91 387.91 320.15 -22 773.15	0.00 0.00 0.61 1.00	98.66 90.82 159.46 -23 339.35	0.00 0.00 0.00 1.00
Wald 检验 Wald test	Wald-err Wald-lag	243.66 285.99	0.00 0.00	375.01 385.21	0.00 0.00	99.49 56.82	0.00 0.00

在确定使用 SDM 模型的基础上,还需进一步开展直接效应和间接效应的分解研究。本研究通过偏微分方法分解得出直接效应和间接效应,从而剖析各关键驱动因素的空间溢出效应,并将 SDM 模型改写成矩阵形式。首先,通过  $(I_n - \delta W)Y$  滤除原始被解释变量  $Y$  中由空间自相关引起的部分,将空间杜宾模型的一般形式转化为式(10):

$$(I_n - \delta W)Y = \omega_n \gamma'_0 + \gamma X + \lambda W X + \epsilon \tag{10}$$

式中:  $Y$  和  $X$  分别为被解释变量和解释变量。令  $P(W) = (I_n - \delta W)^{-1}$ ,  $Q(W) = P(W) \times (I_n \beta_m + \lambda_m W)$ 。则式(11)可转化为:

$$Y = \sum_{m=1}^k Q_m(W) X_m + P(W)(\omega_n \gamma'_0 + \epsilon) \tag{11}$$

式中:  $m = 1, 2, \dots, n$ ;  $k$  表示第  $m$  个解释变量;  $Q_m(W)$  为估计空间效应中直接效应和间接效应大小的偏微分矩阵,对角线上和非对角线上的元素分别反映自变量对因变量的直接影响和溢出

影响,总效应为  $Q_m(W)_{ii} + Q_m(W)_{ij} = \partial Y_i / \partial X_{im} + \partial Y_j / \partial X_{jm}$ 。

### 1.3 变量选取

#### 1.3.1 被解释变量

选取东北黑土区县域耕地面积(land)作为被解释变量,用于考察耕地资源在不同县域上的变动和分布情况。

#### 1.3.2 解释变量

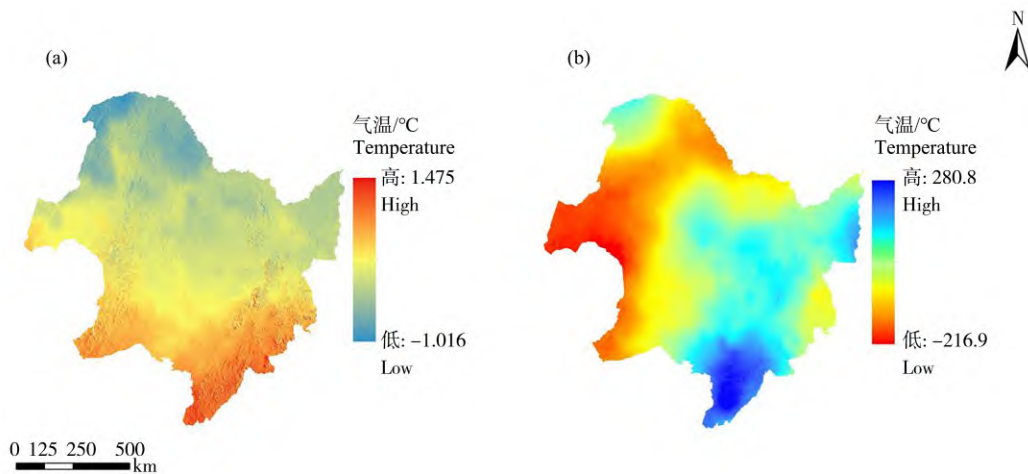
在充分参考现有研究的基础上<sup>[10,18,20,22]</sup>,结合数据可得性与变量选取的科学性,具体从自然和社会经济 2 个维度遴选解释变量。

1)自然因素。气温、降水和坡度是影响耕地资源变化的主要自然因素<sup>[10,29]</sup>。本研究具体选取年均气温(temp)<sup>[10]</sup>、年降水量(preci)<sup>[29]</sup>和坡度(slo)<sup>[30]</sup>进行表征。其中,气温对耕地的影响主要在于气温升高导致蒸发量增加,对耕地产生负向影响<sup>[10]</sup>。降水量对耕地的影响主要在于降水量增加有助于区域农作物生长,为耕地面积增加创造有利条件<sup>[29]</sup>。本

研究绘制了1990—2022年东北黑土区年均气温和年降水量分布图,详见图2。可见年均气温和年降水量的变化幅度较大,可以一定程度对耕地资源变化进行解释。此外,较高的坡度会降低耕地的适宜性,对耕地产生负向影响<sup>[30]</sup>。

2)社会经济因素。①经济发展水平和产业结构。经济发展水平和产业结构是导致耕地资源变化的重要因素。本研究采用人均地区生产总值(pgdp)表征经济发展水平,随着经济发展水平不断提高,耕地保护在粮食安全和生态安全中的作用日益凸显,相关政策措施和耕地保护投入能够有效遏制耕地减少趋势<sup>[29]</sup>。采用第三产业和第二产业增加值之比表征产业结构(ind),若第二产业占比过高,则必然会增加建设用地需求,出现侵占和破坏耕地的情况,并且工业废弃物排放也会对耕地生态环境产生威胁<sup>[16]</sup>。②人类活动强度。人类活动强

度同样是导致耕地资源变化的重要因素。夜间灯光指数(light)可以直接反映人类活动强度的空间分布情况,夜间灯光指数越高表明人类活动强度越大,可能对耕地产生负向影响<sup>[31]</sup>。③农业机械化水平。农业机械化水平可能对耕地资源变化产生影响。农机总动力(machi)是反映农业机械化水平的重要指标,农业机械化水平提升有助于提高土地生产效率,缓解耕地压力<sup>[10]</sup>;也可能造成低效耕地主动退出,对耕地产生负向影响<sup>[32]</sup>。④黑土地保护政策。近年来,黑土地保护工作受到国家高度重视,先后出台的一系列政策措施对东北黑土区耕地资源变化产生重要影响<sup>[33]</sup>。本研究采用黑土地保护面积占比(policy),即黑土地保护面积与县级行政区域面积比值表征黑土地保护政策对耕地的影响。一般来说,黑土地保护面积占比越大,对于耕地的正向影响越明显。



基于审图号GS(2020)4619。下同。

Based on drawing review number GS(2020)4619. The same below.

图2 1990—2022年东北黑土区年均气温(a)和年降水量(b)分布图

Fig. 2 Annual average temperature (a) and annual precipitation (b) distribution map of the Black Soil Region of Northeast China, 1990-2022

#### 1.4 数据来源

本研究使用的县域矢量行政边界来源于国家基础地理信息中心(<http://www.ngcc.cn/>),时间为2020年,并以此为基础对涉及行政区划调整的行政单元进行归并等处理。1990—2022年土地利用类型数据(分辨率30 m)来源于武汉大学逐年土地利用覆盖数据(<https://zenodo.org/records/8176941>),该数据将土地利用分为耕地、森林、灌木、草地、水体、冰川、裸地、建设用地和湿地9种类型。年均气温数

据(分辨率1 km)和年降水数据(分辨率1 km)来源于国家青藏高原科学数据中心(<https://data.tpdc.ac.cn/home>)。坡度数据通过ArcGIS软件计算所得。夜间灯光数据(分辨率1 km)来源于中国科学院资源环境科学与数据中心(<https://www.resdc.cn/>)。各县域农业机械总动力、产业结构等指标均来源于黑龙江省、吉林省、辽宁省和内蒙古自治区省级统计年鉴,部分缺失数据通过中国县域统计年鉴、相应地级市统计年鉴或县级统计公报补充。

表 2 变量的描述性统计

Table 2 Descriptive statistics of variables

变量 Variable	单位 Unit	样本量 Observation	均值 Mean	标准差 SD	最小值 Minimum	最大值 Maximum
耕地面积 (land) Arable land	km <sup>2</sup>	6 076	144.59	104.90	1.21	559.59
年均气温 (temp) Average annual temperature	°C	6 076	4.92	3.05	-5.14	11.24
年降水量 (preci) Annual precipitation	mm	6 076	567.00	171.82	152.92	1 394.84
坡度 (slo) Slope	°	6 076	7.89	3.31	1.45	20.24
人均 GDP (pgdp) GDP per capita	万元	6 076	2.09	2.27	0.00	18.87
产业结构 (ind) Industrial structure		6 076	1.52	1.48	0.06	22.57
夜间灯光指数 (light) Night light index		6 076	2.16	4.21	0.00	48.12
农机总动力 (machi) Total power of agricultural machinery	10 <sup>4</sup> kW	6 076	37.46	34.78	0.50	310.00
黑土地保护政策 (policy) Black soil protection policy	%	6 076	3.42	2.14	0.01	15.10

## 2 结果与分析

### 2.1 东北黑土区耕地资源时空演变格局

#### 2.1.1 东北黑土区耕地资源总量变化特征

1990—2022 年东北黑土区耕地资源总量变化

特征结果见图 3。整体来看：东北黑土区耕地资源总量呈现“M”型波动上升趋势，累计增加 106.77 万 hm<sup>2</sup>，增幅为 2.55%；分段线性回归模型探测出耕地资源总量变化拐点分别出现在 1997、2008 和 2017 年。其中：1990—1997 年持续增加 (Slope=

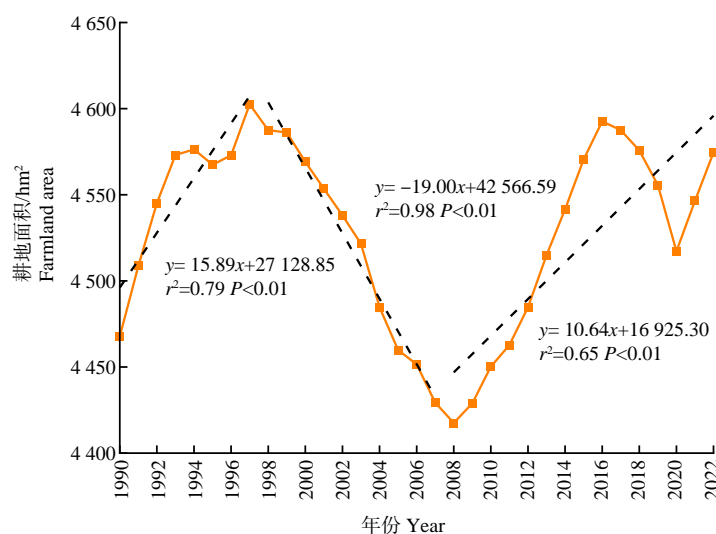


图 3 1990—2022 年东北黑土区耕地资源总量变动特征

Fig. 3 Characteristics of changes in the total amount of farmland resources in the Black Soil Region of Northeast China, 1990-2022

15.89),增幅为3.02%;1997—2008年持续减少(Slope=-19.00),减幅为4.02%;2008—2022年总体呈现增加趋势(Slope=10.64),增幅为3.55%,但在2017—2020年出现短暂减少的情况。

### 2.1.2 东北黑土区耕地资源空间格局变化特征

本研究基于重心迁移模型考察东北黑土区耕地资源空间格局变化特征。1990—2022年,东北黑土区耕地重心呈现向东北方向移动的趋势,1990年位于宁江区,1995—2022年位于扶余市。其中,1990—1995年,向东北方向移动16.93 km,在所有时段中移动幅度最大;1995—2000年,向东北方向移动7.43 km;2000—2005年,向东南方向移动4.40 km;2005—2010年,向西北方向移动2.98 km,在所有时段中移动幅度最小;2010—2015年,向东北方向移动3.72 km;2015—2022年,向东北方向移动3.74 km。东北黑土区耕地重心向东北方向不断移动,表明耕地开垦向更寒冷(北方)和更湿润、低洼(东方)方向移动。

### 2.2 东北黑土区耕地资源转移规律

东北黑土区耕地资源转入转出结果见图4。1990—2000年,耕地资源转入面积最大,达到531.44万 $\text{hm}^2$ ,高于同期转出面积(430.03万 $\text{hm}^2$ );2000—2010年,耕地资源转入面积快速减少,仅为319.59万 $\text{hm}^2$ ,低于同期转出面积(438.57万 $\text{hm}^2$ );2010—2022年,受国家耕地保护政策不断强化以及土地整治与复垦补充耕地等因素的影响,耕地资源转入数量明显增加,达到426.07万 $\text{hm}^2$ ,耕地资源转出面积明显减少,为301.73万 $\text{hm}^2$ 。张瑞等<sup>[5]</sup>研究也指出,2010年之后,废弃居民点和采矿用地等得以复垦使得东北地区耕地有所增加。结合图4和图5可以看出,耕地资源增加的地区主要位于大兴安岭、小兴安岭、三江平原和长白山地区;耕地资源减少的地区主要位于辽河平原和松嫩平原。其中,鄂伦春自治旗、嫩江市和逊克县耕地资源增加幅度最大,科尔沁左翼中旗耕地资源减少幅度最大。

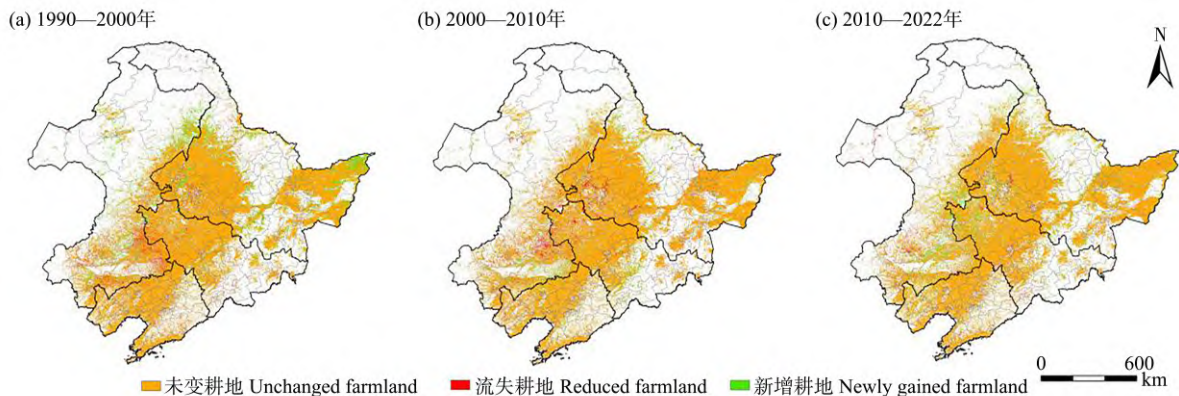


图4 东北黑土区耕地资源转入转出情况

Fig. 4 Transfers in and out of farmland resources in the Black Soil Region of Northeast China

### 2.3 东北黑土区耕地资源演变驱动机制

#### 2.3.1 空间自相关检验

本研究采用空间面板回归模型进一步剖析东北黑土区耕地资源演变的驱动机制及其空间效应。全局空间自相关结果见图6。可见:莫兰指数(Moran's I)整体呈现上升态势且均在1%水平上显著,表明东北黑土区耕地资源存在显著且不断增强的空间正相关性,可以采用空间面板回归模型开展后续研究。

本研究进一步考察东北黑土区各县域与周边县域耕地的局部空间关联情况,主要年份的局部莫

兰指数结果见图7。整体来看:东北黑土区耕地资源的局部空间关联呈现出高-高集聚、高-低集聚、低-高集聚和低-低集聚共4种类型。其中,高-高集聚(热点区域)主要分布在大兴安岭、东北平原和三江平原的广阔地区,该区域内各县域和周边县域耕地资源总量均处于较高水平。低-高集聚主要包括内蒙古自治区乌兰浩特市、霍林郭勒市和黑龙江省萨尔图区等,该区域内各县域耕地资源总量显著低于周边县域。高-低集聚主要包括辽宁省铁岭市、新民市、黑山县以及黑龙江省萝北县、依兰县等,该区域内各县域耕地资源总量显著高于周边县域。低-

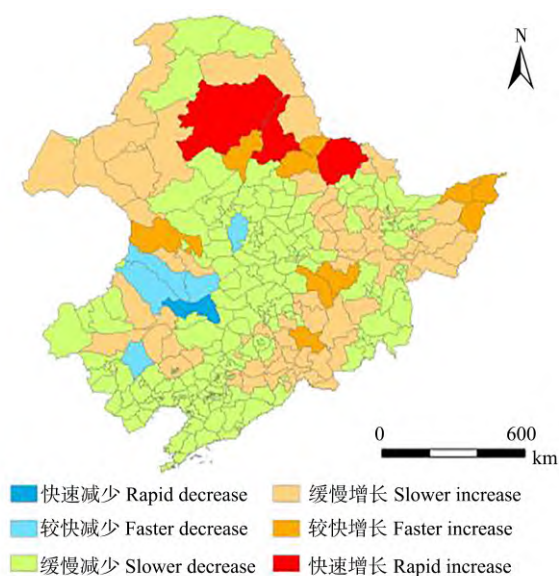


图 5 1990—2022 年东北黑土区耕地资源变化强度  
Fig. 5 Change intensity in farmland resources in the Black Soil Region of Northeast China, 1990-2022

低集聚(冷点区域)主要分布在辽宁省和吉林省交界的长白山地区,该区域内各县域和周边县域耕地

资源总量均处于较低水平。整体来看,东北黑土区耕地资源局部空间关联以高-高集聚为主,呈现出显著的空间正向关联特征和时间惯性,绝大部分县域的空间关联类型没有发生改变,体现出较为稳定的局部空间关系。

### 2.3.2 基准回归结果

空间效应模型估算结果见表 3。可见:年均气温、年降水量、坡度、产业结构、夜间灯光指数、农机总动力、黑土地保护政策均在至少 10% 水平上通过了显著性检验。其中,年降水量、产业结构和黑土地保护政策的系数显著为正,表明降水量增加、产业结构优化和黑土地保护政策的实施有利于耕地面积增加;年均气温、坡度、夜间灯光指数、农机总动力系数显著为负,表明气温升高、坡度增加、人类活动强度增加和农业机械化水平提升不利于耕地面积增加。此外,坡度、人均 GDP、产业结构、夜间灯光指数和农机总动力均通过了 1% 水平的显著性检验,年均气温和年降水量分别通过了 5% 和 10% 水平的显著性检验,表明上述因素对于周边地区耕地资源变动会产生空间溢出效应。

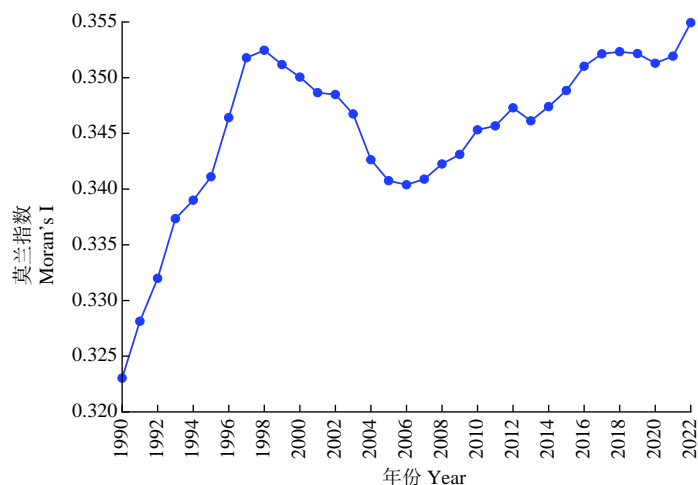


图 6 东北黑土区耕地资源的空间相关性变动情况

Fig. 6 Spatial correlation changes of farmland resources in the Black Soil Region of Northeast China

### 2.3.3 空间效应分解

本研究将总效应进一步分解为直接效应和间接效应,直接效应即为各变量对本县域耕地面积的影响;间接效应即为各变量对周边县域耕地面积的影响。不同空间矩阵下 SDM 模型的空间效应分解结果见表 4。可见:气候因素中,年均气温的直接效应为 -2.88,且通过了 5% 水平的显著性检验,表明

气温升高带来的蒸发量增加导致耕地水分丧失,不利于农作物耕种,相应对耕地资源变化产生负向影响。年降水量通过了 10% 水平的显著性检验,表明降水量增加对耕地资源变化产生正向影响。降水量增加有助于提升区域农作物耕种的适宜性,为耕地资源增加创造有利的自然条件,并且越是干旱地区,降水量的变化对于耕地资源变动的的影响越大,

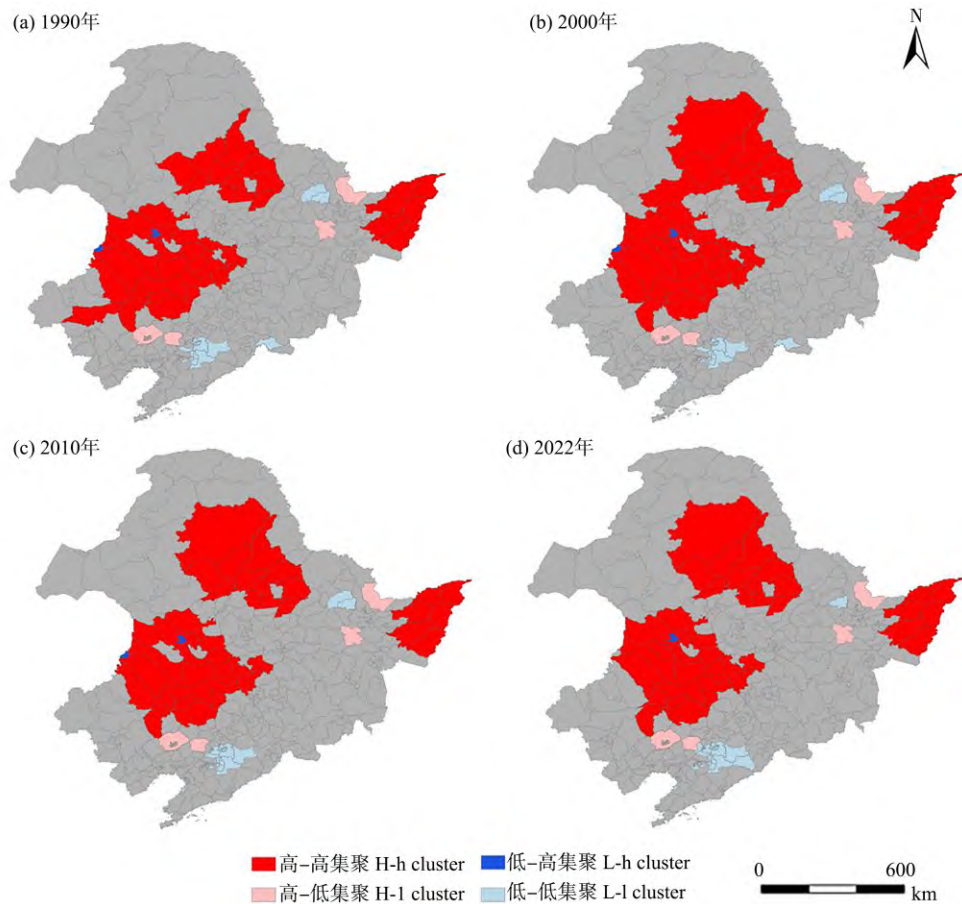


图7 东北黑土区耕地资源的局部空间自相关集聚图

Fig. 7 Local indicators of spatial association agglomeration map of farmland resources in the Black Soil Region of Northeast China

这与刘沁萍等<sup>[29]</sup>的研究结论相一致。年均气温和降水量的空间溢出效应均没有通过显著性检验,表明自然因素的变动不会对周边县域耕地资源变化产生影响。

由表4可见:社会经济因素中,夜间灯光指数的直接效应和间接效均在1%水平上显著为负,表明人类活动强度增加不利于本县域和周边县域耕地面积增加。近年来,城镇化进程加剧导致建设用地需求不断增加,城镇扩张侵占耕地现象频发<sup>[27]</sup>。张学渊等<sup>[32]</sup>的研究指出,夜间灯光指数适合在大范围区域内监测人类活动强度,能够综合反映城镇化水平、经济密度、人口密度等情况,并且得到了与本研究相一致的结论。产业结构的直接效应和间接效应均在1%水平上显著为正,表明产业结构优化调整有利于本县域耕地增加,并且在产业结构优化调整的过程当中,周边县域由于产业结构相近且相互学习,产生正向的空间溢出效应<sup>[10]</sup>。杜辉等<sup>[33]</sup>的研

究进一步指出,耕地与建设用地之间的转化会反过来对产业结构产生影响,进而影响碳排放强度。农业机械总动力的直接效应和间接效应均在1%水平上显著为负,表明机械化水平提升一定程度上对耕地资源变化产生负向影响。这或许是由于农业生产效率提升后的“隐性减量”,农业机械化提升大幅增加了粮食单产,部分低效耕地或边际地块可能主动退出,甚至出现撂荒问题。蔡键等<sup>[34]</sup>的研究指出,地块土壤质量等级是影响农户耕作意愿的重要因素,低效地块数量越多,农户的撂荒意愿越高。庄健和罗必良<sup>[35]</sup>的研究也指出,当耕地资源禀赋较差时,将会增加机械替代劳动力的难度和成本,提升农户的撂荒意愿。在东北黑土区的长白山脉、小兴安岭等山区,由于耕地条件较差,更容易发生撂荒问题,这也是该地区耕地资源变化较为活跃的重要原因<sup>[5]</sup>。黑土地保护政策的直接效应为2.57,且通过了1%水平的显著性检验,表明国家实施的黑

表 3 空间效应模型估计结果  
Table 3 Spatial effect model estimation results

变量 Variable	面板回归 Panel regression		SDM 模型 SDM model	SDM 空间滞后项 SDM space lag term
	不控制个体和 时间固定效应 Without controlling individual and time effects	控制个体和 时间固定效应 Controlling individual and time effects		
年均气温 Average annual temperature	-2.93*** (-7.15)	-2.71*** (-3.42)	-2.91*** (-2.65)	2.55** (2.18)
年降水量 Annual precipitation	-0.06*** (-10.61)	0.00*** (3.14)	0.00* (1.77)	-0.01* (-1.86)
坡度 Slope	-5.61*** (-14.47)	-8.21* (-1.67)	-15.13** (-2.52)	38.15*** (4.13)
人均 GDP GDP per capita	-4.59*** (-10.27)	0.27*** (2.79)	0.03 (0.22)	2.60*** (5.11)
产业结构 Industrial structure	2.10*** (2.73)	1.23*** (6.46)	1.01*** (7.72)	1.86*** (3.80)
夜间灯光指数 Night light index	-6.58*** (-14.23)	-0.68*** (-10.33)	-0.36*** (-3.81)	-1.25*** (-3.84)
农机总动力 Total power of agricultural machinery	1.16*** (30.73)	-0.08*** (-7.67)	-0.05*** (-5.42)	-0.15*** (-3.70)
黑土地保护政策 Black soil protection policy	15.19*** (20.61)	2.60*** (7.26)	2.51*** (11.15)	1.08 (0.62)
观测值 Observations	6 076	6 076	6 076	6 076
$R^2$	0.53	0.99	0.15	0.15

注：括号内数值为  $t$  值；“是”代表控制，“否”代表未控制。 $^*P<0.10$ ， $^{**}P<0.05$ ， $^{***}P<0.01$ 。下同。

Note: The values in parentheses are  $t$  values, 'Yes' means control, and 'no' means no control.  $^*P<0.10$ ,  $^{**}P<0.05$ ,  $^{***}P<0.01$ . The same below.

土地保护政策对耕地资源变化产生显著的正向影响。国家相关部门自 2015 年在东北地区实施黑土地保护和利用项目建设以来,先后印发了《东北黑土地保护利用规划纲要(2017—2030 年)》《东北黑土地保护性耕作行动计划(2020—2025)》等规划纲要,对黑土地保护利用的宏观布局进行明确部署。各地区在探索黑土地保护利用的过程中也形成了各具特色的黑土地保护性耕作技术模式,如以玉米秸秆深翻还田为核心的“梨树模式”和以秸秆粉碎翻埋还田、碎混还田和免(少)耕秸秆覆盖为主要技术模式的“龙江模式”等<sup>[36-37]</sup>,这些技术模式在推广和实施过程中,也会通过技术扩散对周边县域产生技术溢出效应。上述情况为东北黑土区耕地资源增加提供了坚实的制度保障和技术支撑。

#### 2.3.4 稳健性检验

为进一步验证研究结果的可靠性,本研究在参考相关研究的基础上<sup>[10,32]</sup>,选择  $K$  阶最近邻矩阵、空间邻接权重矩阵和替换空间权重比重共 3 种方式进行稳健性检验,结果见表 5。可见: $K$  阶最近邻矩阵和空间邻接权重矩阵结果与表 4 对应所示,在不同空间权重矩阵下,各驱动因素对东北黑土区耕地资源影响的总效应和显著性与基准回归结果总体一致,表明研究结果具有稳健性。表 5 为替换空间权重比重的检验结果。可见:除自然因素变量中年均气温变量的空间效应和年均降水变量的直接效应外,其余关键变量的作用强度、作用方向和显著性均与基准回归结果一致。综上所述,不同空间矩阵和邻近阶数下,社会经济因素的

表4 不同空间权重矩阵下SDM模型空间效应分解结果  
Table 4 Spatial effect decomposition results of SDM model under different spatial weight matrices

变量 Variable	直接效应 Direct effect			间接效应 Indirect effect			总效应 Total effect		
	空间反距离矩阵 Spatial inverse distance matrix	K阶矩阵 K order matrix	邻接矩阵 Adjacency matrix	空间反距离矩阵 Spatial inverse distance matrix	K阶矩阵 K order matrix	邻接矩阵 Adjacency matrix	空间反距离矩阵 Spatial inverse distance matrix	K阶矩阵 K order matrix	邻接矩阵 Adjacency matrix
年均气温 Average annual temperature	-2.88* (-2.56)	-2.45*** (-3.11)	-2.47*** (-2.75)	3.11 (1.20)	2.79*** (3.41)	1.79* (1.82)	0.23 (0.10)	0.34 (1.30)	-0.68 (-1.61)
年降水量 Annual precipitation	0.00* (1.93)	0.00** (2.52)	0.01** (2.94)	-0.02 (-1.29)	-0.00* (-1.95)	-0.00 (-0.35)	-0.01 (-1.02)	-0.00 (-0.13)	0.00 (1.58)
坡度 Slope	-0.00 (-0.00)	0.00 (0.00)	-0.00 (-0.02)	-0.01 (-0.03)	0.00 (0.00)	-0.00 (-0.00)	-0.01 (-0.02)	0.00 (0.00)	-0.00 (-0.00)
人均GDP GDP per capita	0.17 (1.40)	0.33*** (2.89)	0.09 (0.79)	20.31*** (4.00)	0.74 (1.21)	-4.14** (-3.15)	20.48*** (4.03)	1.07* (1.75)	-4.05*** (-3.06)
产业结构 Industrial structure	1.11*** (8.57)	1.24*** (9.46)	1.09*** (8.15)	18.31*** (3.78)	-0.31 (-0.59)	-2.76*** (-2.79)	19.42*** (4.00)	0.93* (1.76)	-1.67* (-1.69)
夜间灯光指数 Night light index	-0.35*** (-4.08)	-0.66*** (-8.46)	-0.52*** (-6.70)	-11.28*** (-3.96)	-0.26 (-0.63)	-3.70*** (-5.39)	-11.63*** (-4.08)	-0.92** (-2.20)	-4.22*** (-6.20)
农机总动力 Total power of agricultural machinery	-0.05*** (-6.33)	-0.07*** (-8.83)	-0.06*** (-6.90)	-1.04*** (-3.11)	0.12** (2.10)	0.68*** (5.55)	-1.10*** (-3.27)	0.05 (0.83)	0.62*** (5.01)
黑土地保护政策 Black soil protection policy	2.57*** (12.10)	2.66*** (12.19)	2.93*** (13.54)	15.75 (1.16)	20.27*** (9.35)	24.75*** (6.83)	18.32 (1.35)	22.93*** (10.63)	27.68*** (7.63)
个体固定效应 Individual fixation effect	是	是	是	是	是	是	是	是	是
时间固定效应 Time fixation effect	否	否	否	否	否	否	否	否	否
观测值 Observations	6 076	6 076	6 076	6 076	6 076	6 076	6 076	6 076	6 076
R <sup>2</sup>	0.15	0.06	0.04	0.15	0.06	0.04	0.15	0.06	0.04

回归结果高度一致,表明基准结论对模型设定不敏感。自然因素的轻微波动可能源于其空间溢出效应较弱,但整体趋势稳健,进一步证明研究结果具有稳健性。

表 5 替换空间权重比重的稳健性检验结果

Table 5 Robustness test results

变量 Variable	3阶邻近权重矩阵 3rd order proximity weight matrix			5阶邻近权重矩阵 5th order proximity weight matrix		
	直接效应 Direct effect	间接效应 Indirect effect	总效应 Total effect	直接效应 Direct effect	间接效应 Indirect effect	总效应 Total effect
	年均气温 Average annual temperature	-0.50 (-1.02)	0.61 (1.23)	0.15 (0.28)	0.09 (0.10)	-0.37 (-0.40)
年降水量 Annual precipitation	-0.00 (-0.25)	0.00* (1.86)	0.00* (1.71)	-0.00 (-1.01)	0.00* (1.85)	0.00 (1.34)
坡度 Slope	-0.00 (-0.01)	-0.00 (-0.04)	-0.00 (-0.03)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)
人均GDP GDP per capita	0.04 (0.39)	1.10*** (7.49)	1.14*** (6.50)	0.14 (1.30)	0.96*** (4.81)	1.10*** (5.09)
产业结构 Industrial structure	0.79*** (7.18)	0.95*** (4.66)	1.75*** (6.84)	0.94*** (8.29)	1.57*** (5.92)	2.51*** (8.08)
夜间灯光指数 Night light index	-0.25*** (-3.43)	-0.59*** (-5.21)	-0.84*** (-5.49)	-0.25*** (-3.15)	-0.55*** (-4.22)	-0.80*** (-4.69)
农机总动力 Total power of agricultural machinery	-0.02*** (-2.77)	-0.03*** (-3.49)	-0.05*** (-4.67)	-0.00 (-0.30)	-0.07*** (-5.16)	-0.07*** (-5.18)
黑土地保护政策 Black soil protection policy	2.55*** (12.94)	3.16*** (7.83)	5.71*** (11.18)	2.34*** (11.59)	2.85*** (4.35)	5.18*** (6.94)
个体固定效应 Individual fixation effect	是	是	是	是	是	是
时间固定效应 Time fixation effect	否	否	否	否	否	否
观测值 Observations	6 076	6 076	6 076	6 076	6 076	6 076
$R^2$	0.20	0.20	0.20	0.31	0.31	0.31

### 3 讨论、结论与政策建议

#### 3.1 讨论

东北黑土区是我国粮食稳产保供的“压舱石”,研究该区域耕地资源时空演变规律及驱动机制,对优化土地资源管理、保障粮食安全和促进区域可持续发展具有重要意义。尽管已有研究对耕地资源演变及其驱动机制进行了丰富探讨,例如:李玉恒等<sup>[30]</sup>分析了东北黑土区土地总面积、生境质量的演

化情境;肖红叶等<sup>[7]</sup>、姚东恒等<sup>[9]</sup>对东北典型黑土区土地利用、耕地质量时空变化进行研究。但前者仅针对东北黑土区中三江平原和黑龙江省的特定区域进行研究,后者主要采用部分时间节点的流域数据作点线图、重心图等可视化分析,在研究对象、研究尺度和研究方法上存在不够全面、不够细化、不够量化的问题,缺乏基于空间视角,对东北黑土区县域层面空间溢出效应的长时间序列研究。

在耕地总量和空间格局变动方面,本研究发

现:1990—2022年,东北黑土区耕地资源呈现“M”型波动上升趋势,耕地重心向东北方向迁移,这与张瑞等<sup>[5]</sup>的研究结论一致。基于其多期截面数据的研究基础,本文提供了更连续的动态特征,一定程度上验证了黑土区耕地资源动态变化的不均衡性和土地复垦政策的效果。在驱动机制方面,气候因素与刘沁萍等<sup>[29]</sup>的研究结论一致,认为气温降低和降水量增加对本地区耕地资源变化产生正向影响,但对周边地区影响不显著。社会经济因素中,人类活动强度的减少和产业结构优化调整有利于本县域和周边县域耕地面积增加。但与黄绘青等<sup>[27]</sup>不同的是,本研究认为机械化水平的提升一定程度上会对耕地资源变化产生负向影响。产生结果差异的原因主要在于研究范围的区别,根据蔡键等<sup>[34]</sup>、庄健和罗必良<sup>[35]</sup>的研究,农户撂荒意愿受土壤质量影响较大,因此农业机械化水平提升导致部分低效耕地或边际地块主动退出。在东北黑土区的长白山脉、小兴安岭等山区,由于耕地条件较差,相较于长株潭城市群更容易发生撂荒问题。

需要指出的是,本研究主要集中于自然因素和社会经济因素的驱动分析,并从耕作意愿的角度初步探讨了微观活动对耕地资源的影响。农户作为农业行为主体,其耕作意愿、决策行为和不确定性可能也是导致耕地资源变动的重要因素。由于微观数据异质性较大和与县域维度不匹配等问题,本研究未深入分析农户个体行为对耕地资源变化的具体影响,未来可结合农户调研数据验证个体因素对耕地资源变化的微观驱动机制,为精准制定耕地保护政策提供依据。

### 3.2 结论

本研究基于东北黑土区1990—2022年逐年土地利用遥感数据和县域统计数据,结合重心迁移模型、转移矩阵方法、空间面板回归模型等方法,探究了东北黑土区耕地资源演变规律的驱动机制及其空间效应,主要得到以下结论:其一,从总量上来看,东北黑土区耕地资源总量呈现波动增加趋势。其二,从空间格局变化来看,东北黑土区耕地重心呈现不断向东北方向移动的趋势,且区域间耕地变化呈现显著分异。耕地资源增加的地区主要位于大兴安岭、小兴安岭、三江平原和长白山地区,耕地资源减少的地区主要位于辽河平原和松嫩平原。其三,从空间溢出效应来看,东北黑土区耕地资源

存在逐年增强的空间正相关性,本县域耕地资源变化受到自然因素和社会经济因素共同驱动,而周边县域耕地资源变化则更多受社会经济因素影响,表明社会经济因素具有更强的空间溢出效应,其中人均GDP、产业结构和黑土地保护政策具有显著正向空间溢出效应,夜间灯光指数和农机总动力具有显著负向空间溢出效应。

### 3.3 政策建议

基于上述结论,本研究进一步提出加强东北黑土区耕地资源保护的政策建议:一是动态优化种植结构与布局,适配耕地重心迁移与水热变化。科学评估三江平原等耕地增加区域的水热条件变化趋势,主动引导种植结构向耐寒、耐湿或生育期更短的优质作物调整。更新农业区划,在辽河平原、松嫩平原等耕地减少但基础较好的区域,优先保障主粮,稳定核心产能带。建立基于遥感与气象数据的动态预警与调整机制,减少气候变化对耕地的负面影响。二是加快推动高标准农田建设。通过加快推进土地综合整治,尤其是高标准农田建设和农田综合整治改善耕地禀赋条件。三是强化黑土地保护政策的空间协同与制度创新。建立省级统筹、县域联动的黑土地保护协作区,促进保护性耕作技术的跨区域示范推广与技术溢出。统一区域保护标准,避免政策洼地效应。严格落实耕地占补平衡制度,强化对城市边界扩张侵占优质耕地的刚性约束,特别是在夜间灯光指数高、城镇化压力较大的区域及其周边县域。

### 参考文献 References

- [1] 梁鑫源,金晓斌,韩博,孙瑞,张晓琳,周寅康. 藏粮于地背景下国家耕地战略储备制度演进[J]. 资源科学, 2022, 44(1): 181-196  
Liang X Y, Jin X B, Han B Sun R, Zhang X L, Zhou Y K. Evolution of the national cultivated land strategic reserve system under the background of storing grain in the land[J]. *Resource Science*, 2022, 44(1): 181-196 (in Chinese)
- [2] Zhao Z., Jiang S J, Zhang X C. Scenario analysis of the environmental impacts of breeding structure change from the perspective of farming and breeding balance in Northeast China[J]. *Chinese Journal of Population, Resources and Environment*, 2025, 23(1), 132-142
- [3] 邓祥征,梁立,廖晓勇,刘玉洁,李志慧,岳天祥,董金玮,孙志刚,陈明星. 国际粮食贸易影响下东北黑土地生产压力变化与保护策略[J]. 自然资源学报, 2022, 37(9): 2209-2217  
Deng X Z, Liang L, Liao X Y, Liu Y J, Li Z H, Yue T X, Dong J W, Sun Z G, Chen M X. Research on changes in grain production pressure and

- protection strategies in the black soil region of Northeast China under the influence of international grain trade[J]. *Journal of Natural Resources*, 2022, 37(9): 2209-2217 (in Chinese)
- [4] 韩晓增, 邹文秀, 杨帆. 东北黑土地保护利用取得的主要成绩、面临挑战与对策建议[J]. 中国科学院院刊, 2021, 36(10): 1194-1202
- Han X Z, Zou W X, Yang F. Main achievements, challenges, and recommendations of black soil conservation and utilization of black soil in Northeast China[J]. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2021, 36(10): 1194-1202 (in Chinese)
- [5] 张瑞, 杜国明, 张树文. 1986—2020年东北典型黑土区耕地资源时空变化及其驱动因素[J]. 资源科学, 2023, 45(5): 939-950
- Zhang R, Du G M, Zhang S W. Spatiotemporal changes and the driving factors of cultivated land resources of the typical black soil region in Northeast China from 1986 to 2020[J]. *Resources Science*, 2023, 45(5): 939-950 (in Chinese)
- [6] 匡文慧, 张树文, 杜国明, 颜长珍, 吴世新, 李仁东, 陆灯盛, 潘涛, 宁静, 郭长庆, 董金玮, 包玉海, 迟云峰, 窦银银, 侯亚丽, 尹哲睿, 常丽萍, 杨久春, 谢家丽, 邱娟, 张汉松, 张宇博, 杨仕琪, 萨日盖, 刘纪远. 2015—2020年中国土地利用变化遥感制图及时空特征分析[J]. 地理学报, 2022, 77(5): 1056-1071
- Kuang W H, Zhang S W, Du G M, Yan C Z, Wu S X, Li R D, Lu D S, Pan T, Ning J, Guo C Q, Dong J W, Bao Y H, Chi W F, Dou Y Y, Hou Y L, Yin Z R, Chang L P, Yang J C, Xie J L, Qiu J, Zhang H S, Zhang Y B, Yang S Q, Sa R G, Liu J Y. Remotely sensed mapping and analysis of spatio-temporal patterns of land use change across China in 2015-2020[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2022, 77(5): 1056-1071 (in Chinese)
- [7] 肖红叶, 刘国栋, 杨泽, 房娜娜, 戴慧敏, 刘凯, 韩晓萌, 朱恒. 东北黑土区近半世纪土地利用变化时空特征分析[J]. 物探与化探, 2022, 46(5): 1037-1049
- Xiao H Y, Liu G D, Yang Z, Fang N N, Dai H M, Liu K, Han X M, Zhu H. Spatio-temporal change in land uses of the black soil area in Northeast China over the past half century [J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 2022, 46(5): 1037-1049 (in Chinese)
- [8] 吴克宁, 刘嘉慧, 马金亮, 董建会. 耕地资源质量分类及等级转换方法研究: 以广西北海市为例[J]. 土壤通报, 2022, 53(6): 1261-1272
- Wu K N, Liu J H, Ma J L, Dong J H. Cultivated land resource quality classification and grade conversion method: Take Beihai in Guangxi as an example[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2022, 53(6): 1261-1272 (in Chinese)
- [9] 姚东恒, 裴久渤, 汪景宽. 东北典型黑土区耕地质量时空变化研究[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2020, 28(1): 104-114
- Yao D H, Pei J B, Wang J K. Temporal-spatial changes in cultivated land quality in a black soil region of Northeast China[J]. *Chinese Journal of Ecological Agriculture*, 2020, 28(1): 104-114 (in Chinese)
- [10] 王琦, 刘子刚, 周隽伊. 三江平原沼泽湿地变化的影响因素及其空间效应[J]. 中国人口·资源与环境, 2023, 33(7): 44-54
- Wang Q, Liu Z G, Zhou J Y. Influencing factors and spatial effects of marsh wetland changes in the Sanjiang Plain[J]. *China Population-Resources and Environment*, 2023, 33(7): 44-54 (in Chinese)
- [11] 杨晓潇, 王秀兰, 秦福莹. 达里诺尔自然保护区近30年湿地动态变化及其影响因素分析[J]. 西北林学院学报, 2019, 34(4): 171-178, 222
- Yang X X, Wang X L, Qin F Y. Analysis of dynamic changes and influencing factors of wetland in dalinur nature reserve in recent 30 years[J]. *Journal of Northwest Forestry University*, 2019, 34(4): 171-178, 222 (in Chinese)
- [12] 刘洪彬, 高嘉鞠, 吴梦瑶, 刘新华, 曾妍, 董秀茹. 东北三省黑土区耕地数量时空格局变化及其驱动机制研究[J]. 沈阳农业大学学报, 2022, 53(4): 444-453
- Liu H B, Gao J J, Wu M Y, Liu X H, Zeng Y, Dong X R. Spatial-temporal pattern change of cultivated land quantity and its driving mechanism in black soil area of Northeast China [J]. *Journal of Shenyang Agricultural University*, 2022, 53(4): 444-453 (in Chinese)
- [13] 高祖桥, 白永平, 周亮, 乔富伟, 宋龙军, 陈小宁. 宁夏沿黄城市带湿地景观格局演变特征及驱动力[J]. 应用生态学报, 2020, 31(10): 3499-3508
- Gao Z Q, Bai Y P, Zhou L, Qiao F W, Song L J, Chen X N. Characteristics and driving forces of wetland landscape pattern evolution of the city belt along the Yellow River in Ningxia, China[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2020, 31(10): 3499-3508 (in Chinese)
- [14] 赵育恒, 谭永忠. 中国第二次土地调查以来省域耕地利用时空变化[J]. 水土保持通报, 2020, 40(1): 204-212
- Zhao Y H, Tan Y Z. Spatial-temporal changes of cultivated land use at provincial level since second national land survey in China[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2020, 40(1): 204-212 (in Chinese)
- [15] 禹文东, 吴涛, 罗云建, 李晓明. 城镇化进程中耕地时空格局演变及其驱动机制研究: 以扬州市为例[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2023, 45(7): 147-159
- Yu W D, Wu T, Luo Y J, Li X M. Study on the evolution of spatio-temporal pattern of arable land and its driving mechanism in the process of urbanization: Taking Yangzhou City as an example[J]. *Journal of Southwest University: Natural Science Edition*, 2023, 45(07): 147-159 (in Chinese)
- [16] 张天媛, 沈石, 程昌秀, 叶思菁. 2000—2015年雅鲁藏布江流域耕地格局动态变化影响因素分析[J]. 北京师范大学学报: 自然科学版, 2023, 59(1): 136-146
- Zhang T Y, Shen S, Cheng C X, Ye S J. Dynamic changes and influencing factors of farmland pattern in Yarlung Zangbo River basin from 2000 to 2015 [J]. *Journal of Beijing Normal University: Natural Science Edition*, 2023, 59(1): 136-146 (in Chinese)
- [17] 张欣, 李梦佳, 刘洪斌, 王伟. 丘陵区耕地土壤剖面有机质含量分布特征及其影响因素分析[J]. 长江流域资源与环境, 2020, 29(12): 2696-2708
- Zhang X, Li M J, Liu H B, Wu W. Distribution characteristics and influence factors of organic matter content in cultivated soil in different horizons in hilly areas[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2020, 29(12): 2696-2708 (in Chinese)
- [18] 袁承程, 张定祥, 刘黎明, 叶津炜. 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 C C, Zhang D X, Liu L M, Ye J W. 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 (in Chinese)
- [19] 杨绪红, 金晓斌, 盛修深, 范渊, 贾培宏, 周寅康. 综合适宜性与迫切性的非

- 粮化耕地整治分区方法[J]. 农业工程学报, 2022, 38(15): 287-296  
Yang X H, Jin X B, Sheng X S, Fan Y, Jia P H, Zhou Y K. Consolidation zoning method for non-grain cropland integrating suitability and urgency[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2022, 38(15): 287-296 (in Chinese)
- [20] 余志刚, 陈琛, 崔钊达. 东北三省耕地利用格局变化对粮食全要素生产率的影响[J]. 农业资源与环境学报, 2024, 41(1): 1-14  
Yu Z G, Chen C, Cui Z D. Impacts of changes in cultivated land use patterns on total factor productivity of grain in the three northeastern provinces, China [J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2024, 41(1): 1-14 (in Chinese)
- [21] 谢贤健. 四川省耕地压力与经济发 展的时空耦合分析[J]. 甘肃农业大学学报, 2023, 58(6): 180-188  
Xie X J. Spatial-temporal coupling analysis of cultivated land pressure and economic development in Sichuan Province [J]. *Journal of Gansu Agricultural University*, 2023, 58(6): 180-188 (in Chinese)
- [22] 李坤衡, 张岩, 陈昶, 张俊彬, 梁彦荣, 王佳希. 松嫩典型黑土区耕地切沟密度分布特征及影响因子[J]. 农业工程学报, 2023, 39(6): 130-138  
Li K H, Zhang Y, Chen C, Zhang J B, Liang Y R, Wang J X. Distribution characteristics and influencing factors of gully density on cropland in the Songnen typical black soil region [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2023, 39(6): 130-138 (in Chinese)
- [23] 陈浮, 刘俊娜, 常媛媛, 张琦, 于昊辰, 张绍良. 中国耕地非粮化空间格局分异及驱动机制[J]. 中国土地科学, 2021, 35(9): 33-43  
Chen F, Liu J N, Chang Y Y, Zhang Q, Yu H C, Zhang S L. Spatial pattern differentiation of non-grain cultivated land and its driving factors in China [J]. *China Land Science*, 2021, 35(9): 33-43 (in Chinese)
- [24] 舒瑞, 孙鸿睿, 邹业斌, 侯琴. 宁夏沿黄生态经济带耕地的时空演变及驱动力[J]. 水土保持通报, 2021, 41(3): 267-274+365  
Shu R, Sun H R, Zou Y B, Hou Q. Driving forces of spatio-temporal changes in cultivated land in Ningxia eco-economic belt along Yellow River [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2021, 41(3): 267-274, 365 (in Chinese)
- [25] 刘涛, 尚晓菲, 苏原原, 霍静娟. “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, Huo J J. 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 (in Chinese)
- [26] 常媛媛, 刘俊娜, 马静, 于昊辰, 陈浮. 干旱半干旱区耕地非粮化空间格局及驱动因素[J]. 农业资源与环境学报, 2023, 40(2): 333-344  
Chang Y Y, Liu J N, Ma J, Yu H C, Chen F. Spatial pattern and driving factors of non-grain conversion on cultivated land in arid and semi-arid regions [J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2023, 40(2): 333-344 (in Chinese)
- [27] 黄绘青, 王伟, 刘莉. 长株潭城市群耕地资源数量时空演变及驱动机制分析[J]. 测绘地理信息, 2023, 48(4): 90-95  
Huang H Q, Wang W, Liu L. Spatial-temporal evolution of cultivated land resources and analysis of driving mechanism in Changsha-Zhuzhou-Xiangtan urban agglomeration [J]. *Journal of Geomatics*, 2023, 48(4): 90-95 (in Chinese)
- [28] Zhang Y, Zhao Z, Teng Z Y, Wang J Y. Can an energy-consuming rights trading system control environmental inequality? [J]. *Energy & Environment*, 2024, 0958305X241300423
- [29] 刘沁萍, 朱闯, 田洪阵, 乔荣锋, 刘鑫. 基于MODIS数据的中国耕地时空变化及其影响因素[J]. 兰州大学学报: 自然科学版, 2022, 58(5): 689-697  
Liu Q P, Zhu C, Tian H Z, Qiao R F, Liu X. Spatio-temporal changes in cultivated land and their influencing factors in China based on MODIS data [J]. *Journal of Lanzhou University: Natural Sciences*, 2022, 58(5): 689-697 (in Chinese)
- [30] 李玉恒, 赵宁, 张云, Monika Stanny, 杜国明. 东北黑土区土地生境质量演化及多情景预测: 以黑龙江省为例[J/OL]. 环境科学, 2025: 1-21 (2025-03-10). <https://link.cnki.net/doi/10.13227/j.hjkk.202409094>  
Li Y H, Zhao N, Zhang Y, Stanny M, Du G M. Evolution and multi-scenario prediction of land habitat quality in black soil region of Northeast China: A case study of Heilongjiang Province [J/OL]. *Environmental Science*, 2025: 1-21 (2025-03-10). <https://link.cnki.net/doi/10.13227/j.hjkk.202409094>
- [31] 张斌, 卫丹琪, 丁乙, 姜洪涛, 尹剑. 基于夜间灯光和土地利用的珠江流域城市碳排放估算及其时空动态特征研究[J]. 地球科学进展, 2024, 39(3): 317-328  
Zhang B, Wei D Q, Ding Y, Jiang H T, Yin J. Research on cities' carbon emissions and their spatiotemporal evolution coupled with nighttime light image and land use data in the Pearl River Basin [J]. *Advances in Earth Science*, 2024, 39(3): 317-328 (in Chinese)
- [32] 张学渊, 魏伟, 周亮, 郭泽呈, 李振亚, 张静, 颜斌斌. 西北干旱区生态脆弱性时空演变分析[J]. 生态学报, 2021, 41(12): 4707-4719  
Zhang X Y, Wei W, Zhou L, Guo Z C, Li Z Y, Zhang J, Xie B B. Analysis on spatio-temporal evolution of ecological vulnerability in arid areas of Northwest China [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2021, 41(12): 4707-4719 (in Chinese)
- [33] 杜辉, 张学儒, 张世国, 张清勇. 耕地转变为建设用地的碳排放效应: 基于中国224个地级市的经验与证据[J]. 华中农业大学学报, 2024, 43(6): 65-74  
Du H, Zhang X, Zhang S G, Zhang Q Y. Effects of transforming farmland into construction land on carbon emission: Based on experience and evidence of 224 prefecture-level cities in China [J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2024, 43(6): 65-74 (in Chinese)
- [34] 蔡健, 谢佳轩, 吴润民. 农机服务外包对耕地撂荒的抑制效应: 来自广东1071户水稻种植户的 证据[J/OL]. 农业技术经济, 2025: 1-20 (2025-04-23). <https://link.cnki.net/doi/10.13246/j.cnki.jae.20250423.002>  
Cai J, Xie J X, Wu R M. The inhibitory effect of agricultural machinery service outsourcing on farmland abandonment: Evidence from 1071 rice growers in Guangdong [J/OL]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2025: 1-20 (2025-04-23). <https://link.cnki.net/doi/10.13246/j.cnki.jae.20250423.002> (in Chinese)
- [35] 庄健, 罗必良. 农地撂荒的成因及其治理策略: 基于“劳动力转移—耕地禀赋—农地撂荒”的分析线索[J]. 经济与管理研究, 2025, 46(1): 71-89  
Zhuang J, Luo B L. Causes of farmland abandonment and its management

strategy: Based on framework of labor transfer-farmland endowment-farmland abandonment[J]. *Research on Economics and Management*, 2025, 46(1): 71-89 (in Chinese)

- [36] 杜奕璇, 赵哲. 基于CiteSpace分析的中国黑土地保护利用研究热点与趋势[J]. *湖南师范大学自然科学学报*, 2024, 47(5): 60-67

Du Y X, Zhao Z. Research hotspots and trends of China's black soil protection and utilization in China based on the CiteSpace analysis[J]. *Journal of Natural Science of Hunan Normal University*, 2024, 47(5): 60-

67 (in Chinese)

- [37] 张帆, 韩鹏, 贝金娣. 黑土地保护政策的变迁历程与演进特征[J]. *中国农业大学学报*, 2025, 30(1): 234-249

Zhang F, Han P, Bei J D. Change process and evolution characteristics of the black soil protection policy[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2025, 30(1): 234-249 (in Chinese)

责任编辑: 杨爱东



**第一作者简介:** 赵哲, 博士、硕士生导师, 辽宁大学经济学院副教授。主要从事农业经济、资源环境经济与政策等相关研究。入选辽宁省哲学社会科学青年人才培养计划和沈阳市高层次人才。先后在 *Technological Forecasting and Social Change*、*Agricultural Economics*、《大连理工大学学报(哲学社会科学版)》等期刊上发表学术论文 20 余篇, 出版专著 1 部, 撰写的多份咨政报告得到省部级相关领导肯定性批示。先后主持国家自然科学基金青年项目、辽宁省哲学社会科学规划基金、辽宁省经济社会发展研究课题等国家及省部级课题 10 项。



**通讯作者简介:** 张轩畅, 博士, 中国科学院地理科学与资源研究所助理研究员。国家精准扶贫成效第三方评估总体组骨干。主要从事乡村地域系统演化、土地整治与农业地理工程等方面研究。主持国家自然科学基金青年项目、中国博士后基金面上资助项目, 参与国家自然科学基金重大、重点和面上项目、国家重点研发、中国科学院先导 A 类专项等 10 余项。在 *Catena*、*Science of the Total Environment*、*Land Degradation & Development* 等发表学术论文 20 余篇。