

# 中国黑土区粮食生产效率时空格局演化及收敛性分析

——以黑龙江省和吉林省为例

姜常宜<sup>1,2</sup>, 岳慧丽<sup>1</sup>, 张蕙杰<sup>1\*</sup>

(1. 中国农业科学院 农业信息研究所, 北京 100081;

2. 中国农业科学院 研究生院, 北京 100081)



**摘要** 中国黑土区是重要的粮食生产基地, 粮食产量约占全国的1/4。基于黑土地保护利用政策背景, 测算中国黑土区粮食生产效率, 并采用核密度估计、莫兰指数、 $\beta$ 绝对收敛模型和空间 $\beta$ 绝对收敛模型等方法开展时空格局演化及收敛分析。研究发现:(1)在时间演进特征上, 中国黑土区粮食生产效率提升且区域差异明显缩小; 在空间演进特征上, 空间正相关性显著, 在地区分布上存在“高一高”集聚趋势, 呈现“示范带动”“以点带面”的特征。(2)中国黑土区粮食生产效率存在显著 $\beta$ 绝对收敛, 粮食生产效率较低的地区对粮食生产效率较高的地区具有追赶趋势, 逐步向较高粮食生产效率水平发展。(3)中国黑土区粮食生产效率存在显著空间 $\beta$ 绝对收敛, 中国黑土区地区间示范带动效应促使粮食生产效率呈现协同向好趋势。由此提出应加大黑土地保护利用示范县(市、区)培育力度, 注重因地制宜、强化分类施策、循序渐进、梯次推进, 以长期视角稳步推进黑土地资源有效利用、可持续利用。

**关键词** 中国黑土区; 粮食生产效率; 数据包络分析; 收敛分析

**中图分类号**: F323.2 **文献标识码**: A **文章编号**: 1008-3456(2025)06-0024-11

**DOI编码**: 10.13300/j.cnki.hnwxkb.2025.06.003

2020年12月, 中央农村工作会议强调要把黑土地保护作为一件大事来抓, 把黑土地用好养好。黑土地因其肥力高、适耕性强, 被誉为“耕地中的大熊猫”, 是极其珍贵的土地资源。中国科学院发布的《东北黑土地白皮书(2020)》指出, 中国黑土区总面积为109万平方千米, 约占全球黑土区总面积的12%, 主要分布在黑龙江省、吉林省、辽宁省东北部及内蒙古自治区“三市一盟”。2020年, 中国黑土区粮食产量达到1.735亿吨, 占全国粮食总产量的25.9%, 在保障国家粮食安全上具有重要作用<sup>[1]</sup>。但在长期的高强度利用下, 中国东北黑土地各类理化性质呈现明显下降态势<sup>[2-5]</sup>。由于长期高强度开发, 黑土地保护形势严峻而艰巨。中国黑土区是全国重要的商品粮主产区与调出区<sup>[6]</sup>, 黑土地资源的退化问题已直接影响国家粮食安全保障。2000年以来, 中国黑土区全域粮食单产水平呈现明显上升趋势<sup>[7]</sup>, 化肥施用量显著促进了粮食产出提升<sup>[8]</sup>, 并且粮食生产对化肥的依赖越来越严重<sup>[9]</sup>。农业机械也是支撑粮食产出持续增长的重要因素, 其贡献仅次于化肥<sup>[8]</sup>。伴随着中国黑土区粮食产量提升, 学界开始关注黑土地资源的可持续利用, 并分析黑土地高强度和不合理利用问题。化肥的过度施用和大型机械的频繁使用, 对黑土地造成影响, 掠夺式开发利用导致土壤养分结构失衡和物理性状恶化, 使得黑土地逐渐出现了板结和贫瘠化的现象, 加之粮食种植结构单一化以及高强度的集约化利用, 长期透支土壤肥力, 进一步加剧黑土地的地力退化<sup>[10]</sup>。究其原因, 对黑土地“无需保护亦可持续高产”的认知误区, 诱发了长期掠夺式开发, 进而成为黑土地持续退化的重要诱因<sup>[10-12]</sup>, 并陷入“高强度利用

收稿日期: 2024-06-13

基金项目: 国家现代农业产业技术体系专项(CARS-08); 中国农业科学院科技创新工程项目(CAAS-ASTIP-2021-AII)。

\*为通讯作者。

→黑土地肥力下降→粮食产量下降→加大化肥、机械等投入→黑土地肥力进一步下降”的恶性循环<sup>[13]</sup>。在其驱动机理上,部分学者认为主要是粮食支持政策过多强调粮食产量和农业收益,忽视了黑土地的可持续利用<sup>[14]</sup>,并且经营主体对长期价值感知不敏感、追求短期利益最大化也导致黑土地被过度利用<sup>[15]</sup>。

党的二十届四中全会明确提出“要提升农业综合生产能力和质量效益”。黑土地作为保障粮食安全的重要支撑,必须要兼顾高产和可持续利用两方面。自2015年以来,中央为遏制黑土地退化先后开展了东北黑土地保护利用试点项目、东北黑土地保护利用项目,印发了《东北黑土地保护规划纲要(2017—2030年)》《国家黑土地保护工程实施方案(2021—2025年)》等政策文件,出台了黑土地保护法,将黑土地保护列为“三农”工作的重点。通过探索形成了“梨树模式”和“龙江模式”等众多黑土地保护利用模式,在保障粮食产出的同时为实现黑土地保护利用提供了可行的经验支撑<sup>[9]</sup>。黑土地资源不合理开发利用问题是否能得以缓解?试点示范策略下的地区间示范带动作用是否形成?鉴于此,对中国黑土区粮食生产效率进行时空格局演化及收敛分析,以明晰黑土地资源利用情况,保持其可持续发展对保障粮食安全具有十分重要的意义。

## 一、文献回顾

黑土地资源利用一直是学界关注的重点方向,现有研究以黑土地土壤侵蚀为切入点,开展了一系列对黑土地资源利用状况的评价。周宁等基于土壤流失方程计算了土壤侵蚀模数,结合GIS空间分析了开展黑龙江省拉林河流域土壤侵蚀空间特征分析<sup>[16]</sup>。杨小垂等基于GIS数据,采用叠加分析的方法分析了黑土区土壤侵蚀与土地利用<sup>[17]</sup>。曲琛等则基于2000—2020年黑龙江省土地利用数据,利用MCE模型建立黑龙江省土地利用变化适应性图集分析了黑土地保护利用情况<sup>[18]</sup>。雷国平等进一步采用分级标准比例法、德尔斐法和模糊综合评价法,对黑龙江省典型黑土区土壤生态环境质量进行了评价<sup>[19]</sup>。

纵观现有研究,在黑土地资源利用评价及分析策略上主要采用综合评价法以及GIS空间分析法,关注的重点集中于黑土地土壤侵蚀评价。此类研究虽然可以反映土壤质量及退化风险,但在表征资源利用成效方面仍显不足,无法系统刻画黑土地资源利用行为及其结果。对比相关领域的研究,已有学者将基于生产前沿面的效率测度方法应用于土地资源利用评价<sup>[20-21]</sup>,从要素配置、要素利用有效性的层面开展分析。

已有研究显示,数据包络分析(data envelopment analysis, DEA)为评价中国黑土区黑土地资源开发利用提供了有效的方法<sup>[22]</sup>。从一般经济系统看,生产过程是消耗资源以获得产品的过程,研究其生产是否有效则是辨析经济系统资源利用是否达到合理状态,通常依据投入导向型DEA模型测算,以评价资源的过度利用程度<sup>[23]</sup>。投入导向型DEA模型所表达的经济含义是在保证产出不减少的情况下,所能实现的各投入要素减量增效的程度,从长远看其目的是实现资源可持续利用,不依赖于过度资源消耗以换取产出增长<sup>[24]</sup>。从应用情况看,冀正欣等依托投入导向型DEA模型,以粮食生产投入、产出为基础,分析了南阳盆地的耕地利用效果<sup>[25]</sup>;Mwambo等则以玉米为例,基于“以更少资源获得既定产出的生产系统是更有效和可持续的”思路,分析了撒哈拉以南非洲农户玉米生产的资源使用效果及可持续性,并提出了以实现可持续农业为目标的土地利用政策<sup>[26]</sup>。

鉴于此,本研究基于黑土地保护利用政策背景,以投入导向型DEA模型测算的粮食生产效率为依托,采用核密度估计、莫兰指数、 $\beta$ 绝对收敛模型、空间 $\beta$ 绝对收敛模型,分析黑土地资源利用情况,并进行时空格局演化及收敛分析。研究可能的边际贡献在于:将投入导向型DEA分析方法应用于中国黑土区粮食生产效率测算,将保障粮食产出目标和黑土地资源可持续利用要求相结合,为评价黑土地资源利用状况提供思路;基于 $\beta$ 收敛模型分析黑土区粮食生产效率的收敛性,辨析2015年东北黑土地保护利用相关项目实施以来,黑土区粮食生产效率是否实现向好发展,掠夺式黑土地资源利用问题是否得以缓解,并将空间计量模型与 $\beta$ 收敛模型相结合,辨析黑土区各地区之间是否存在示范带动效应。

## 二、研究设计与数据来源

### 1. 中国黑土区粮食生产效率测度方法

投入导向型DEA为测算中国黑土区“用养结合”思路下的粮食生产效率提供了理论模型,其基本思路是在保证产出的前提下尽可能实现投入资源的有效利用<sup>[27]</sup>,契合当前保障粮食产出和黑土地资源可持续利用的“双赢”目标。并且在其测算上,相较于依赖特定函数形式的参数方法,DEA不受生产函数设定限制,能够避免因函数设定不当引起的估计偏差<sup>[27]</sup>,结果更为客观。因此,投入导向型DEA在分析黑土地资源利用上,具有情景适配、方法成熟和结果客观等优势,其Shephard距离函数如下<sup>[28]</sup>:

$$\min \theta$$

$$s.t. \begin{cases} \sum_{k=1}^K \lambda_k X_k \leq \theta X \\ \sum_{k=1}^K \lambda_k Y_k \geq Y \\ \lambda_k \geq 0, k=1, 2, \dots, K \end{cases} \quad (1)$$

其中, $X_k$ 为投入要素, $Y_k$ 为产出要素; $\lambda_k$ 为强度变量; $X$ 为实际投入值, $\sum_{k=1}^K \lambda_k X_k$ 为目标投入值; $Y$ 为实际产出值, $\sum_{k=1}^K \lambda_k Y_k$ 为目标产出值,依托投入和产出向量构造生产前沿。

当 $\theta$ 不断变小时,则会导致 $\theta X$ 逐渐接近目标值,最后当 $\theta$ 取值为最小时, $\theta X$ 达到生产前沿,实现资源最大化利用效果。据此,基于投入导向型DEA思路,构建中国黑土区粮食生产情况分析框架。

参考现有研究<sup>[29]</sup>,设定粮食生产的投入要素为土地( $L$ )以及其他要素组合( $M$ ),绘制图1,进一步结合生产实际直观表述分析思路。图中的点为决策单元,曲线 $f$ 为粮食生产前沿,表示当前既定产出下的最优资源投入,反映了决策单元生产单位产量时有效率的投入的所有可能组合。其中 $C$ 点处于生产前沿面上,说明 $C$ 点为有效率的决策单元。参考Mwambo等的分析策略“以更少资源获得既定产出的生产系统是更有效和可持续的”<sup>[26]</sup>,认为决策单元 $C$ 在生产中通过对土地及其他要素组合的合理配置利用,实现有效且可持续的生产。就黑土区的粮食生产而言,决策单元 $C$ 对黑土地的利用更符合保护性可持续利用的原则。而不在曲线 $f$ 上的点则存在生产效率损失,例如决策单元 $D$ ,其在曲线外侧,说明其未能实现对土地资源的合理开发利用,存在生产效率损失,损失的程度表示为 $OC/OD$ 。此分析框架下,测得的黑土区粮食生产效率的经济含义为在保障粮食产出基本目标下,实现黑土地与其他生产要素的优化组合,实现黑土地资源的有效利用、可持续利用的程度。

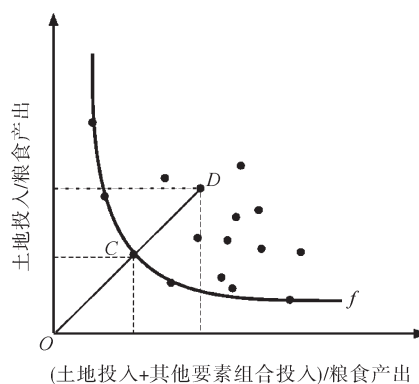


图1 投入导向型DEA分析

### 2. 中国黑土区粮食生产效率时空格局演化分析

基于核密度估计、莫兰指数等方法,分析中国黑土区粮食生产效率时空格局演化,明晰当前中国黑土区粮食生产效率变化情况。核密度分析是能够将离散的点数据转化为连续密度图的一种空间平滑方法,能够直观表达中国黑土区粮食生产效率的空间分布形态和集聚位置<sup>[30]</sup>,核密度估计函数形式如下<sup>[31]</sup>:

$$f(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n k\left(\frac{x_i - \bar{x}}{h}\right) \quad (2)$$

式(2)中, $n$ 为观测值数量, $i$ 表示各个地区, $x_i$ 表示独立同分布的观测值, $\bar{x}$ 为均值。 $f(x)$ 为密度



函数,  $k\left(\frac{x_i - \bar{x}}{h}\right)$  是核函数,  $h$  为带宽。

莫兰指数(Moran's  $I$ )可视为观测值与空间滞后的相关系数,可以分析中国黑土区各地区粮食生产效率空间自相关及空间集聚情况。其中,全局莫兰指数能够识别地区间的空间自相关情况,取值为 $-1 \sim 1$ ,大于0表示正自相关,小于0表示负自相关。局部莫兰指数则可以识别空间集聚性,其将空间集聚划分为四个区域,“高一高”“低—高”“低—低”“高一低”四种集聚形态。依据对莫兰指数的分析可以进一步了解中国黑土区各地区粮食生产效率的空间分布和空间影响。全局莫兰指数和局部莫兰指数公式分别如下<sup>[31]</sup>:

$$I_i = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{i,j} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{S^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{i,j}} \quad (3)$$

$$I_i = \frac{(x_i - \bar{x})}{S^2} \sum_{j=1}^n W_{i,j} (x_j - \bar{x}) \quad (4)$$

式(3)和(4)中,  $S^2$  为样本方差,  $W_{i,j}$  为空间权重矩阵,  $i$  和  $j$  元素用来度量区域  $i$  与区域  $j$  间的距离,  $x_i$  和  $x_j$  为相应空间单元上的取值,  $\bar{x}$  是各个空间单元取值的平均数。

### 3. 中国黑土区粮食生产效率收敛分析

中国黑土区粮食生产效率长期如何演变是本研究重点关注的问题。那么,中国黑土区整体能否实现粮食生产效率向好发展? 粮食生产效率较低的地区能否依托示范带动效应实现生产效率稳步提升? 对此,参考现有研究<sup>[32-35]</sup>,将 $\beta$ 绝对收敛模型应用于中国黑土区粮食生产效率分析。 $\beta$ 绝对收敛是指研究对象最终会收敛于稳态<sup>[36-37]</sup>,其被广泛应用于农业生产效率、农业绿色全要素生产率、农业高质量发展水平及土地利用效率的区域收敛分析中<sup>[38-42]</sup>。例如,赵蕾等验证了中国农业生产效率存在 $\beta$ 绝对收敛,地区间农业生产效率将收敛至高水平稳态,并将其解释为技术在地区间的学习与扩散<sup>[41]</sup>。对此,借鉴Barro等的研究,构建中国黑土区粮食生产效率 $\beta$ 绝对收敛模型<sup>[32]</sup>:

$$\ln(y_{i,t+T}/y_{i,t})/T = \alpha + \beta \ln y_{i,t} + \epsilon_{i,t} \quad (5)$$

其中,  $y_{i,t}$  和  $y_{i,t+T}$  分别表示各地区在  $t$  期和  $t+T$  期的粮食生产效率,  $T$  为样本时间跨度,  $\alpha$  为常数项,  $\beta$  为收敛系数,  $\epsilon_{i,t}$  为随机扰动项。当收敛系数  $\beta$  为负且显著时,表示粮食生产效率较低的地区增长速度快于粮食生产效率较高的地区,粮食生产效率存在 $\beta$ 绝对收敛。从长期来看,若存在显著 $\beta$ 绝对收敛,则中国黑土区能够逐步实现黑土地资源有效和可持续的利用。

试点示范带动作用是否能够形成? 中国黑土区粮食生产效率较高的地区能否带动其他地区实现粮食生产效率的共同增长? 也是本研究关注的重点。将空间计量分析引入前述分析框架,在考虑空间效应的前提下,将 $\beta$ 绝对收敛与空间计量模型结合,在现有研究的基础上,进一步构建空间 $\beta$ 绝对收敛模型<sup>[43]</sup>。空间 $\beta$ 绝对收敛在 $\beta$ 绝对收敛的基础上进一步考虑了空间溢出效应。地理学第一定律认为所有事物都与其他事物相关联,较近事物比较远事物关联度更强<sup>[44]</sup>,一个地区的发展会对周边地区的发展产生影响,空间 $\beta$ 绝对收敛模型则是将这种影响纳入 $\beta$ 绝对收敛分析,认为发展较好的地区存在溢出效应,能够带动周边地区协同发展,学者们将其解释为“扩散效应”“涟漪效应”“涓滴效应”<sup>[45-46]</sup>。对此,若存在空间 $\beta$ 绝对收敛,则认为黑土区粮食生产效率较高的地区能够依托示范带动作用,通过“扩散效应”“涟漪效应”“涓滴效应”将生产技术模式向邻近粮食生产效率较低的地区扩散,从而加速粮食生产效率整体收敛速度,实现协同提升<sup>[45-46]</sup>。

在模型设计上,选取空间滞后模型(SAR),将SAR模型与 $\beta$ 绝对收敛模型相结合,构建空间 $\beta$ 绝对收敛模型。SAR模型的核心假设是一个地区的粮食生产效率不仅受到自身因素的影响,还与周边地区的效率水平密切相关,存在示范带动机制,这与前述思想相契合。其模型形式如下<sup>[43]</sup>:

$$\ln(y_{i,t+T}/y_{i,t})=\alpha+\rho\sum_{j=1}^nW_{i,j}\ln(y_{i,t+T}/y_{i,t})+\beta\ln y_{i,t}+\epsilon_{i,t}$$

(6)

其中, $\rho$ 表示空间滞后项回归系数, $W_{i,j}$ 表示第*i*个地区与第*j*个地区的空间作用关系量化形式,参考现有研究采用反距离空间权重矩阵<sup>[47-48]</sup>。其他变量含义同 $\beta$ 绝对收敛模型。

4. 变量选择与数据来源

本研究以粮食生产理论模型为核心<sup>[49]</sup>,结合黑土地保护利用所关切的投入要素,选择土地投入、农业机械投入和化肥投入作为投入要素,以粮食产量为产出要素<sup>[50]</sup>。土地投入指标用粮食作物播种面积表示,东北地区大田作物均为一年一季,播种面积是对土地利用的直接体现。

研究以 2015—2022 年黑龙江省和吉林省黑土区县级面板数据为样本。中国黑土区分布在黑龙江省、吉林省以及辽宁省北部和内蒙古东部,黑龙江省和吉林省为主要集中区,黑土地面积广阔<sup>[51]</sup>。在充分考虑中国黑土区分布和数据可得性的前提下,以黑龙江省和吉林省两省黑土区为例,共计 97 个县(市、区)776 个样本,其中包括黑土地保护利用试点县(市、区)12 个<sup>①</sup>。数据来源于各省统计年鉴、地级市统计年鉴,以及县(市、区)统计年鉴和政府统计公报,个别缺失数据采用插值法予以补全。各变量描述性统计详见表 1。

表 1 变量描述性统计 N=776

| 变量     | 变量说明         | 均值     | 标准差    | 最小值   | 最大值     |
|--------|--------------|--------|--------|-------|---------|
| 粮食产量   | 粮食产量/万吨      | 94.776 | 69.439 | 1.728 | 364.071 |
| 土地投入   | 粮食播种面积/万公顷   | 16.251 | 10.779 | 0.432 | 65.095  |
| 农业机械投入 | 农业机械总动力/万千瓦时 | 76.707 | 48.653 | 1.800 | 315.400 |
| 化肥投入   | 化肥施用量折纯量/万吨  | 3.821  | 3.332  | 0.106 | 17.179  |

三、中国黑土区粮食生产效率的时空格局演化

1. 粮食生产效率时间演进特征分析

中国黑土区粮食生产效率提升且区域差异明显缩小,在保障粮食产出基本目标下,黑土地资源的有效利用、可持续利用程度提升。2022 年黑土区粮食生产效率均值为 0.786,较 2015 年提升 9.42%。黑土区粮食生产效率的地区差距缩小,2015 年黑土地保护利用试点县(市、区)和非试点县(市、区)的粮食生产效率差距为 0.120,2022 年降低至 0.048,降幅达到 59.68%。绘制三维核密度图(如图 2),依据曲线分布位置、分布形态等进一步分析黑土区粮食生产效率演化趋势。由图可知,2015—2022 年,曲线中心位置存在向右移动趋势,中国黑土区粮食生产效率提升。2022 年波峰高度较 2015 年提高且曲线宽度缩小,反映了各地区粮食生产效率提升且区域差异缩小。尤其是 2018 年后,峰值及曲线宽度变化明显,峰值存在明显地向更高效率区间移动趋势且曲线宽度明显缩小,反映不同区域间的粮食生产效率差距缩小进程加快。

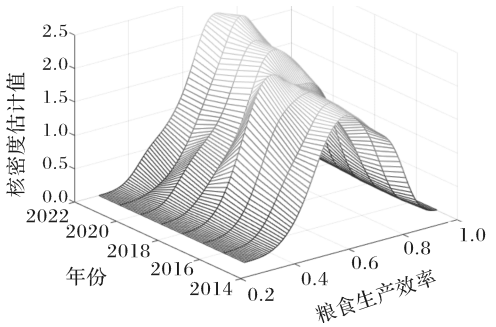


图 2 中国黑土区粮食生产效率核密度分布

2018 年中央一号文件对黑土地保护作出进一步要求,强调要加大东北黑土地保护力度。同年,中央将 2015 年开展的黑土地保护利用试点项目转为黑土地保护利用项目,并且每年安排 8 亿元专项资金在中国黑土区开展黑土地保护利用项目示范推广<sup>②</sup>。2015 年以来在黑土地保护利用试点项目助力

① 2015 年以来,中央财政每年安排 5 亿元资金,在中国黑土区的 17 个县(市、区、旗)开展黑土地保护利用试点,其中黑龙江省和吉林省涉及 12 个县(市、区),包括哈尔滨市双城区、哈尔滨市呼兰区、龙江县、桦川县、海伦市、克山县、宁安市、嫩江市、绥化市北林区、农安县、公主岭市和榆树市。

② 数据来源于农业农村部官网, [http://www.moa.gov.cn/gk/jyta/201909/t20190917\\_6328113.htm](http://www.moa.gov.cn/gk/jyta/201909/t20190917_6328113.htm)。

下,形成了一批具有突出效果的技术模式,兼顾了黑土地保护与粮食安全保障,实现了黑土地可持续利用。截至2023年,“梨树模式”推广应用面积达3293万亩<sup>①</sup>,“龙江模式”推广应用面积达4730万亩<sup>②</sup>。从当前黑土区粮食生产效率演变看,整体粮食生产效率提升,区域间粮食生产效率差距缩小,粮食生产效率向高值集中,是当前黑土区粮食生产效率主要演变趋势。

## 2. 粮食生产效率空间演进特征分析

中国黑土区粮食生产效率“高一高”集聚趋势强化,示范带动效应显现。莫兰指数分析结果表明,在2015—2022年期间,莫兰指数显著为正,各地区间存在显著的正向空间自相关关系。认为地区间粮食生产效率在空间上存在正向作用机制。

进一步借助莫兰散点图分析中国黑土区粮食生产效率空间演进特征。从莫兰散点分布来看(见图3和图4),2022年较2015年分布更为集中,并且第一象限的点更为密集,“高一高”集聚态势更为明显。试点县(市、区)表现出较好的示范带动效应,其中哈尔滨市双城区、哈尔滨市呼兰区、龙江县、桦川县、绥化市北林区、农安县、公主岭市和榆树市等8个县(市、区)处于第一象限“高一高”集聚区,试点县(市、区)周围地区,依托示范带动效应,其粮食生产效率提升较快。整体来看,黑土区粮食生产效率呈现“示范带动”“以点带面”的空间演进特征。其实质是政策助力与技术溢出的空间叠加效应,在黑土地保护利用试点项目助力下,形成的具有突出效果的技术模式依托技术溢出,带动其他地区协同提升。从其效果看,2022年非试点县与试点县的粮食生产效率差距明显缩小,由2015年的0.120降低至0.048。从分省结果看,黑龙江省和吉林省也均保持此趋势,并且黑龙江省依托试点数量多,且区域内资源禀赋差异相对较小,2022年试点县和非试点县粮食生产效率已基本趋于相同,差距由2015年的0.041缩小至0.001。

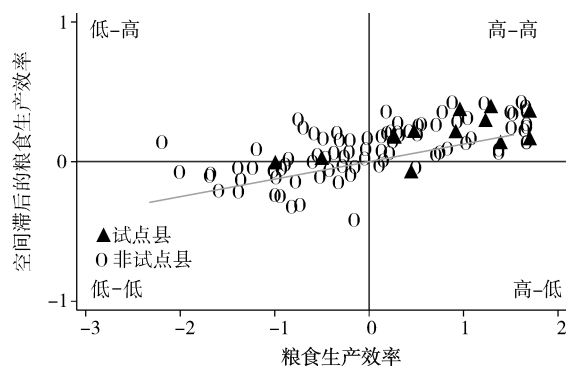


图3 2015年莫兰散点分布

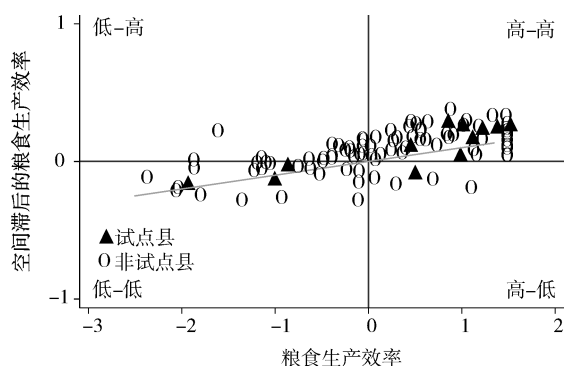


图4 2022年莫兰散点分布

## 四、中国黑土区粮食生产效率收敛分析

### 1. $\beta$ 绝对收敛分析

中国黑土区粮食生产效率的时空格局演化情况显示,自2015年以来黑土区粮食生产效率得以提升且区域差异缩小。对此,依据 $\beta$ 绝对收敛模型进一步验证中国黑土区粮食生产效率收敛情况,辨析中国黑土区粮食生产效率能否向好发展。采用STATA17软件进行中国黑土区粮食生产效率 $\beta$ 绝对收敛分析,结果如表2。在单向固定效应模型(One-way FE)下, $\beta$ 系数在1%的水平上显著为负,数值为0.448,中国黑土区粮食生产效率存在 $\beta$ 绝对收敛,收敛速度为8.484%。进一步控制时间效应,采用双向固定效应模型(Two-way FE), $\beta$ 系数仍在1%的水平上显著为负,数值为0.506,收敛速度为10.081%。从结果看,中国黑土区粮食生产效率能够收敛至稳态,粮食生产效率较低的地区对粮食生产效率较高的地区具有追赶趋势,逐步向较高粮食生产效率水平发展。长期来看,依据投入导向型粮食生产效率的逻辑框架,在保障粮食安全首要目标下,黑土区能够实现黑土地资源可持续利用。

① 数据来源于吉林省政府官网, [https://www.jl.gov.cn/szfzt/jlssxsxnyxdh/gzjz/202307/t20230724\\_2450350.html](https://www.jl.gov.cn/szfzt/jlssxsxnyxdh/gzjz/202307/t20230724_2450350.html)。

② 数据来源于光明网, [https://m.gmw.cn/2023-08/01/content\\_1303463424.htm](https://m.gmw.cn/2023-08/01/content_1303463424.htm)。



2. 空间 $\beta$ 绝对收敛分析

进一步采用空间 $\beta$ 绝对收敛模型,分析中国黑土区地区间示范带动效应。莫兰指数分析结果显示(如表2),在1%的水平上拒绝“Moran’s  $I=0$ ”的原假设,认为可以开展空间 $\beta$ 绝对收敛模型分析。拉格朗日乘数检验显示,在1%的水平上拒绝“不存在空间滞后效应”的原假设,认为SAR模型适用性较好,空间作用机制通过示范带动效应发生。从结果看,估计系数 $\beta$ 在1%的水平上显著为负,且空间滞后项系数 $\rho$ 也在1%的水平上显著,认为中国黑土区粮食生产效率存在显著的空间 $\beta$ 绝对收敛,即各地区之间的粮食生产效率差异随着时间的推移逐渐缩小,且这种收敛趋势受到空间溢出效应影响。为比较估计结果的稳健性,同时考虑双向固定效应下的空间滞后模型(SAR)结果(如表3),其仍存在显著的空间 $\beta$ 绝对收敛。黑土区粮食生产效率较高的地区能够依托示范带动作用,通过“扩散效应”“涟漪效应”等将生产技术模式向邻近粮食生产效率较低的地区扩散,从而加速粮食生产效率区域收敛速度,实现黑土区粮食生产效率协同向好。

3. 稳健性检验

(1)分样本收敛分析。由于不同的样本对于所得的结果具有不同的敏感性,参考现有研究<sup>[52-54]</sup>,采用分样本方法开展稳健性检验,分别对黑龙江省和吉林省进行收敛分析。在分样本下, $\beta$ 绝对收敛结果显示(如表4),黑龙江省和吉林省均存在显著的 $\beta$ 绝对收敛,并在双向固定效应模型下仍然显著,认为前述结论较为稳健。从省际差异看,黑龙江省粮食生产效率收敛速度为11.387%,吉林省粮食生产效率收敛速度为8.159%,黑龙江省黑土区粮食生产效率较低地区对较高地区追赶速度高于吉林省,收敛至稳态的时间更短。空间 $\beta$ 绝对收敛结果显示(如表5),黑龙江省和吉林省均存在空间 $\beta$ 绝对收敛,从估计系数 $\beta$ 看,吉林省空间收敛速度慢于黑龙江省,且在考虑双向固定效应下其空间滞后项不显著。

从两省情况看,黑龙江省黑土地保护利用试点示范带动效果强于吉林省,能够在保障粮食产出

表2 中国黑土区粮食生产效率 $\beta$ 绝对收敛

N=679

| 变量           | OLS(One-way FE)      | OLS(Two-way FE)      |
|--------------|----------------------|----------------------|
| $\beta$      | -0.448***<br>(0.042) | -0.506***<br>(0.042) |
| 常数项          | -0.128***<br>(0.013) | -0.199***<br>(0.017) |
| 县级固定效应       | 控制                   | 控制                   |
| 时间固定效应       | 未控制                  | 控制                   |
| 收敛情况         | 收敛                   | 收敛                   |
| 收敛速度/%       | 8.484                | 10.081               |
| $R^2$        | 0.258                | 0.373                |
| Hausman Test | 146.82***            | 182.47***            |

注:\*\*\*、\*\*和\*分别表示在1%、5%、10%的水平上显著,括号内为标准误,下同。其中, $\beta$ 绝对收敛模型需计算两个相邻时点的增长量,样本较原时间维度减少一年,样本量由776变为679。

表3 中国黑土区粮食生产效率空间 $\beta$ 绝对收敛

N=679

| 变量      | SAR                  | SAR                  |
|---------|----------------------|----------------------|
| $\beta$ | -0.398***<br>(0.027) | -0.488***<br>(0.029) |
| $\rho$  | 0.761***<br>(0.062)  | 0.702***<br>(0.096)  |
| 县级固定效应  | 控制                   | 控制                   |
| 时间固定效应  | 未控制                  | 控制                   |
| $R^2$   | 0.119                | 0.143                |

表4 分省域黑土区粮食生产效率 $\beta$ 绝对收敛

| 变量           | 黑龙江省                 | 黑龙江省                 | 吉林省                  | 吉林省                  |
|--------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| $\beta$      | -0.563***<br>(0.064) | -0.549***<br>(0.057) | -0.277***<br>(0.031) | -0.435***<br>(0.048) |
| 常数项          | -0.164***<br>(0.019) | -0.195***<br>(0.021) | -0.068***<br>(0.011) | -0.195***<br>(0.023) |
| 县级固定效应       | 控制                   | 控制                   | 控制                   | 控制                   |
| 时间固定效应       | 未控制                  | 控制                   | 未控制                  | 控制                   |
| 收敛情况         | 收敛                   | 收敛                   | 收敛                   | 收敛                   |
| 收敛速度/%       | 11.821               | 11.387               | 4.641                | 8.159                |
| $R^2$        | 0.311                | 0.423                | 0.183                | 0.333                |
| Hausman Test | 136.30***            | 133.08***            | 23.51***             | 47.28***             |
| 样本量          | 420                  | 420                  | 259                  | 259                  |

表5 分省域黑土区粮食生产效率空间 $\beta$ 绝对收敛

| 变量      | 黑龙江省(SAR)            | 黑龙江省(SAR)            | 吉林省(SAR)             | 吉林省(SAR)             |
|---------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| $\beta$ | -0.490***<br>(0.038) | -0.533***<br>(0.039) | -0.250***<br>(0.036) | -0.433***<br>(0.046) |
| $\rho$  | 0.701***<br>(0.069)  | 0.595***<br>(0.125)  | 0.483***<br>(0.115)  | 0.278<br>(0.175)     |
| 县级固定效应  | 控制                   | 控制                   | 控制                   | 控制                   |
| 时间固定效应  | 未控制                  | 控制                   | 未控制                  | 控制                   |
| $R^2$   | 0.272                | 0.296                | 0.113                | 0.147                |
| 样本量     | 420                  | 420                  | 259                  | 259                  |

基本目标下,更好地实现黑土地与其他生产要素的优化组合,实现黑土地资源的有效利用、可持续利用。结合前述东北黑土地保护利用试点政策,黑龙江省是主要实施区域,试点县(市、区)数量较吉林省更多。在实践中黑龙江省依托试点政策联合多家单位,在试点县(市、区)建立黑土地保护利用技术试验示范创新区,形成涉及平地玉米连作区、平地轮作区、缓坡型、低洼易涝型、西部风沙干旱区及水田等六大黑土地保护利用试点模式<sup>①</sup>,试点示范带动效应较吉林省更强。此外,从黑土地资源禀赋现状和经济发展差异看,黑龙江省黑土区面积占中国黑土区总面积的56.22%<sup>[55]</sup>,其面积广阔、分布更为集中,且黑土区地势较吉林省更为平坦<sup>[56-57]</sup>,有利于技术模式在空间上扩散;并且相较于吉林省,2015—2022年黑龙江省在地区经济(地区生产总值)和农业经济(农业总产值)上均高于吉林省,能够为试点示范到推广提供更好的经济支持,加速技术模式扩散,促进区域整体粮食生产效率提升。

(2)更换空间权重矩阵。为进一步验证空间 $\beta$ 绝对收敛结论,参考现有研究<sup>[58-60]</sup>,采用更换空间权重矩阵的方式验证结论稳健性。采用反距离平方空间权重矩阵、经济地理嵌套空间权重矩阵替换反距离空间权重矩阵进行检验。结果显示(如表6),在更换空间权重矩阵下,仍存在显著的空间 $\beta$ 绝对收敛,认为前述结论较为稳健。

表6 替换空间权重矩阵的空间 $\beta$ 绝对收敛

| 变量      | SAR                  | SAR                  |
|---------|----------------------|----------------------|
|         | (反距离平方空间权重矩阵)        | (经济地理嵌套空间权重矩阵)       |
| $\beta$ | -0.471***<br>(0.029) | -0.491***<br>(0.029) |
| $\rho$  | 0.500***<br>(0.063)  | 0.696***<br>(0.099)  |
| 县级固定效应  | 控制                   | 控制                   |
| 时间固定效应  | 控制                   | 控制                   |
| $R^2$   | 0.204                | 0.133                |

五、结论与启示

1. 结 论

本文以黑龙江省和吉林省为例,分析了黑土地资源利用情况,并进行了时空格局演化及收敛分析。研究表明,当前中国黑土区黑土地资源的有效利用和可持续利用的程度提升,在示范带动效应下,可以避免掠夺式开发利用导致的恶性循环,具体如下:黑土区粮食生产效率时空格局演化表现出整体提升且区域差异明显缩小,空间正相关性显著,“高一高”集聚趋势强化等特征。中国黑土区粮食生产效率存在显著 $\beta$ 绝对收敛,粮食生产效率较低的地区对粮食生产效率较高的地区具有追赶趋势,逐步向较高粮食生产效率水平发展,长期来看中国黑土区黑土地资源利用向好发展。中国黑土区粮食生产效率存在显著空间 $\beta$ 绝对收敛,黑土区粮食生产效率较高的地区能够依托示范带动作用,通过“扩散效应”“涟漪效应”等将生产技术模式向邻近粮食生产效率较低的地区扩散,从而加速粮食生产效率整体收敛速度,实现黑土区粮食生产效率协同向好。

2. 启 示

第一,应加大黑土地保护利用示范县(市、区)培育力度,确保黑土区示范县(市、区)分布密度。加大培育力度,确保黑土区示范县(市、区)分布密度,是示范带动的重要条件。在现有黑土地保护利

① 见农业农村部官网, [http://www.moa.gov.cn/ztzl/nylsfz/gsgbd\\_lsfz/hlj/201709/t20170914\\_5816195.htm](http://www.moa.gov.cn/ztzl/nylsfz/gsgbd_lsfz/hlj/201709/t20170914_5816195.htm).



用政策框架下,应选取一批示范县(市、区)进行重点支持,继续加大培育力度,进一步开展黑土地保护利用技术模式创新,形成示范效应、强化带动作用。示范带动作用发挥依赖于空间地理距离、经济距离,因此应重视示范县(市、区)的空间分布格局,使其在空间上分布相对均匀,保障示范带动效果充分发挥。

第二,应注重因地制宜,强化分类施策,促进区域黑土地资源利用向好发展。在试点示范策略下,存在高效率地区“带动主体”与低效率地区“被带动主体”,应重视因地制宜,强化分类施策,对高效率地区,已探索出有效技术模式的地区,应在宣传推广上予以支持,打造跨地区技术模式推广平台,例如刊发专报等。对于低效率地区,应重视强化农田基础设施建设,为黑土地保护技术模式推广创造有利条件。

第三,应循序渐进、梯次推进,以长期视角稳步推进黑土地资源有效利用、可持续利用。从长期来看,中国黑土区能够实现黑土地资源的有效利用、可持续利用,但也需看到地区发展在时间截面上存在不同步性,应允许各地区存在一定的学习与探索期,不能急于求成,确保制定的保护策略能够稳步实施。

## 参 考 文 献

- [1] 王志刚. 充分发挥科技创新在保护利用黑土地中的关键支撑作用[J]. 中国科学院院刊, 2021, 36(10): 1127-1132.
- [2] 郭庆海, 张美琪, 刘帅. 农户耕地质量保护行为及其机制建设——基于东北黑土地的分析[J]. 农村经济, 2023(11): 35-44.
- [3] 刘慧, 秦富. “十三五”时期东北地区种植业结构调整进展与“十四五”时期推进路径[J]. 经济纵横, 2021(2): 82-89.
- [4] 宋冬林, 谢文帅. 东北黑土地保护利用的政治经济学解析——基于梨树模式[J]. 政治经济学评论, 2021, 12(1): 47-62.
- [5] 张佳宝, 孙波, 朱教君, 等. 黑土地保护利用与山水林田湖草沙系统的协调及生态屏障建设战略[J]. 中国科学院院刊, 2021, 36(10): 1155-1164.
- [6] 邓祥征, 梁立, 廖晓勇, 等. 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.
- [7] 李全峰, 黄宇, 杜国明, 等. 2000—2020年东北黑土区耕地单产时空格局演化特征[J]. 中国农业大学学报, 2023, 28(3): 188-197.
- [8] 聂英, 夏英. 东北地区粮食产能变化及影响因素[J]. 经济纵横, 2016(4): 70-76.
- [9] 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.
- [10] 王蕾, 王佳轩, 姚允龙, 等. 基于文献计量与对比分析法的黑土监测进展及趋势研究[J]. 国土资源科技管理, 2023, 40(1): 38-52.
- [11] 闫庆武, 陈宇涵, 移明昊, 等. 东北地区土地利用碳排放演变及影响因素研究[J]. 国土资源科技管理, 2024, 41(3): 39-48.
- [12] 李勇, 赵云泽, 卓志清, 等. 小兴安岭——三江平原区生态问题辨析及山水林田湖草保护修复策略[J]. 生态科学, 2023, 42(1): 95-104.
- [13] 葛全胜, 王介勇, 朱会义. 统筹推进黑土地保护与乡村振兴: 内在逻辑、主要路径及政策建议[J]. 中国科学院院刊, 2021, 36(10): 1175-1183.
- [14] 崔宁波, 巴雪真. 黑龙江省耕地生态安全压力与农业经济发展的脱钩分析[J]. 水土保持研究, 2021, 28(5): 308-315.
- [15] 郭珍. 耕地功能性流失的表现、驱动机制及其治理[J]. 吉首大学学报(社会科学版), 2020, 41(5): 56-63.
- [16] 周宁, 李超, 满秀玲. 基于GIS的黑龙省拉林河流域土壤侵蚀空间特征分析[J]. 水土保持研究, 2014, 21(6): 10-15.
- [17] 杨小垂, 王玉玺, 解运杰. 黑土区土壤侵蚀与土地利用关系分析——以黑龙江省克山县为例[J]. 水土保持研究, 2009, 16(1): 55-58.
- [18] 曲琛, 李文, 徐嘉, 等. 黑龙江黑土地保护利用对碳储量的潜在影响[J]. 西北林学院学报, 2023, 38(5): 194-203.
- [19] 雷国平, 代路, 宋戈. 黑龙江省典型黑土区土壤生态环境质量评价[J]. 农业工程学报, 2009, 25(7): 243-248.
- [20] 牛星, 吴岳婷, 吴冠岑. 流转水平差异下农地利用效率的变化研究——以江苏省45个县(市)为例[J]. 中国农业资源与区划, 2021, 42(6): 127-135.
- [21] 廖柳文, 高晓路, 龙花楼, 等. 基于农户利用效率的平原和山区耕地利用形态比较[J]. 地理学报, 2021, 76(2): 471-486.
- [22] 马占新, 侯鹏波. DEA效率度量与有效决策单元的投影[J]. 系统工程理论与实践, 2023, 43(6): 1852-1874.
- [23] 褚保金, 张兰, 王娟. 中国农村信用社运行效率及其影响因素分析——以苏北地区为例[J]. 中国农村观察, 2007(1): 11-23.
- [24] 许晓婷, 周艺婷, 焦俏, 等. 关中汉唐帝陵区土地利用与粮食产能协调发展评价[J]. 国土资源科技管理, 2023, 40(3): 107-116.
- [25] 冀正欣, 王秀丽, 李玲, 等. 南阳盆地耕地利用效率演变及其影响因素[J]. 自然资源学报, 2021, 36(3): 688-701.
- [26] MWAMBO F M, FÜRST C, MARTIUS C, et al. Combined application of the EM-DEA and EX-ACT approaches for integrated assessment of resource use efficiency, sustainability and carbon footprint of smallholder maize production practices in sub-Saharan

- Africa[J].Journal of cleaner production,2021,302:126-132.
- [27] 王晓云,魏琦,胡贤辉.我国城市绿色经济效率综合测度及时空分异——基于DEA-BCC和Malmquist模型[J].生态经济,2016,32(3):40-45.
- [28] 张宁,杜克瑞.效率与生产率分析教程[M].济南:山东大学出版社,2022.
- [29] 蒋伟,李蓉,强林飞,等.环境约束下的中国全要素能源效率研究[J].统计与信息论坛,2015,30(5):22-28.
- [30] 邹晨曦,徐菲菲,胡明星,等.不同层级城市共享住宿的时空演变及影响因素——以上海、苏州和镇江为例[J].地域研究与开发,2023,42(2):40-46,52.
- [31] 郑家喜,赵妍,卫增.基于空间马尔科夫链的粮食生产韧性动态演进及趋势预测[J].华中农业大学学报(社会科学版),2024(3):104-117.
- [32] BARRO R J, SALA-I-MARTIN X. Convergence[J]. Journal of political economy, 1992, 100(2): 223-251.
- [33] 郑准,陈曦.长江中游城市群城市创新潜力的分布动态与空间收敛性研究[J].长江流域资源与环境,2024,33(2):271-284.
- [34] 崔瑜,刘文新,蔡瑜,等.中国农村绿色化发展效率收敛了吗——基于1997—2017年的实证分析[J].农业技术经济,2021(2):72-87.
- [35] 纪小美,陈金华,付业勤.中国入境旅游流的收敛与空间溢出效应分析[J].旅游科学,2015,29(4):47-60.
- [36] 吴昊玥,何宇,黄瀚蛟,等.中国种植业碳补偿率测算及空间收敛性[J].中国人口·资源与环境,2021,31(6):113-123.
- [37] 孙杰.论欧元区的波动发展——冲击的异质性影响与趋同的理论逻辑[J].欧洲研究,2021,39(1):1-27,161.
- [38] 李明贤,贺佳斌.数字经济赋能农业高质量发展研究——基于湖南省2012—2020年面板数据的分析[J].湖南农业大学学报(社会科学版),2023,24(1):14-23.
- [39] 葛鹏飞,王颂吉,黄秀路.中国农业绿色全要素生产率测算[J].中国人口·资源与环境,2018,28(5):66-74.
- [40] 詹礼辉,苏时鹏,董艳会,等.福建县域农业全要素生产率测算及其收敛分析[J].资源开发与市场,2016,32(1):60-63,124.
- [41] 赵蕾,王怀明.中国农业生产率的增长及收敛性分析[J].农业技术经济,2007,160(2):93-98.
- [42] 赵可,徐唐奇,李平,等.不同规模城市土地利用效率的差异及收敛性研究[J].干旱区资源与环境,2015,29(12):1-6.
- [43] 黄磊.1998—2021年长江上游地区环境压力的时空格局特征[J].地理学报,2024,79(5):1192-1210.
- [44] 程名望,贾晓佳,仇焕广.中国经济增长(1978—2015):灵感还是汗水?[J].经济研究,2019,54(7):30-46.
- [45] 高鸣,宋洪远.粮食生产技术效率的空间收敛及功能区差异——兼论技术扩散的空间涟漪效应[J].管理世界,2014(7):83-92.
- [46] 贾卓,赵锦瑶,杨永春,等.黄河流域兰西城市群环境规制效率的空间格局及其空间收敛性[J].地理科学,2022,42(4):568-578.
- [47] 郑蔚,许文璐,陈越.跨区域城市群经济网络的动态演化——基于海西、长三角、珠三角城市群分析[J].经济地理,2019,39(7):58-66,75.
- [48] 左万水,古恒宇,周麟,等.中国市域数字经济创新空间格局演化及其驱动机制[J].经济地理,2024,44(6):102-112.
- [49] 蔡保忠,曾福生.中国农业基础设施投资的粮食增产效应分析——基于省级面板数据的实证分析[J].农业技术经济,2017(7):31-40.
- [50] 田聪颖,肖海峰.生产者补贴政策与农户种植结构调整——基于“镰刀弯”地区农户的模拟分析[J].哈尔滨工业大学学报(社会科学版),2018,20(3):132-140.
- [51] 谭洋,姜瑞刚,刘骅欣,等.基于多尺度SNV-CWT特征的黑土有机质、水分、总铁及pH值估测[J].光谱学与光谱分析,2021,41(11):3424-3430.
- [52] 许志成,孙天事.传统铁路道口改造、交通便利性与城区空间演化[J].经济学(季刊),2023,23(5):1936-1953.
- [53] 高天志,冯辉,陆迁.黄土高原区农户保护性耕作技术采用的提效与减贫效应[J].资源科学,2023,45(3):579-592.
- [54] 王永贵,李霞.促进还是抑制:政府研发补助对企业绿色创新绩效的影响[J].中国工业经济,2023(2):131-149.
- [55] 刘亚男,吴克宁,李晓亮,等.基于黑土地保护目标的省级尺度土地类型划分研究——以黑龙江省为例[J].地理科学,2022,42(8):1348-1359.
- [56] 李丹,郭翔宇.黑龙江省发展现代化大农业的理论思考[J].商业研究,2013(8):178-182.
- [57] 吴运军,郭峰,张树文,等.基于RS和GIS的吉林省城乡居民地区划特征分析[J].干旱区资源与环境,2006(1):108-112.
- [58] 陈锐,张社梅.示范抑或挤出?——农民合作社示范社的空间溢出效应[J].中国农村经济,2022(11):122-144.
- [59] 段莉芝,李玉双.土地资源错配与经济波动的空间溢出效应实证分析[J].经济地理,2020,40(3):207-215.
- [60] 陈晓华,周琼,刘慧.生产性服务业与制造业协同集聚对城市创新的影响研究[J].首都经济贸易大学学报,2024,26(2):48-63.

## Spatio-temporal Evolution and Convergence Analysis of Grain Production Efficiency in China's Black Soil Region

——A Case Study of Heilongjiang and Jilin Provinces

JIANG Changyi, YUE Huili, ZHANG Huijie

**Abstract** China's black soil region is a critical grain production base, contributing approximately one quarter of the nation's total grain output. Against the policy backdrop of black soil conservation and utilization, this study measures the grain production efficiency in China's black soil area and employs methods such as Kernel Density Estimation, Moran's I,  $\beta$  absolute convergence model, and spatial  $\beta$  absolute convergence model to conduct spatio-temporal evolution and convergence analyses. The findings are as follows: 1) Temporally, the grain production efficiency in China's black soil region has improved, accompanied by a noticeable reduction in regional disparities. Spatially, there is a notable positive spatial correlation, exhibiting a "high-high" clustering trend in geographical distribution, reflecting characteristics such as "demonstration-driven" and "point-to-area" development. 2) There is significant  $\beta$  absolute convergence in grain production efficiency in China's black soil region, where areas with lower efficiency tend to catch up with more efficient regions, gradually approaching higher levels of grain production efficiency. 3) Significant spatial  $\beta$  absolute convergence is also observed, suggesting that the demonstration-driven effect among regions has promoted a synergistic improvement in grain production efficiency. Accordingly, the study recommends strengthening the development of demonstration counties (cities or districts) for black soil protection and utilization, adhering to local conditions, enhancing category-specific and phased policies, and promoting a gradual, long-term approach to the effective and sustainable use of black soil resources.

**Key words** China's black soil region; grain production efficiency; data envelopment analysis; convergence analysis

(责任编辑:陈万红)