

中国粮食主产区耕地利用效率区域差异及影响因素 ——基于179个地级市的实证研究

朱梦凡, 李敬锁

[青岛农业大学 经济管理学院(合作社学院), 山东 青岛 266109]

摘 要: [目的] 粮食主产区在实现粮食稳产保供中具有重要的战略地位。研究粮食主产区的耕地利用效率及其时空演变特征,旨在为促进粮食主产区耕地资源高效利用、保障粮食安全及实现农业可持续发展提供参考。[方法] 创新性地运用两阶段动态网络 DEA 模型,测算粮食主产区 2010—2020 年 179 个地级市耕地利用效率,并通过 ArcGIS 可视化技术和核密度估计分析其时空演变特征,构建 Tobit 模型并探究耕地利用效率影响因素。[结果] 2010—2020 年粮食主产区整体效率水平呈“小幅下降—快速上升—波动增长”的阶段趋势,整体效率水平偏低,仍具有较大提升空间。分阶段来看,生产阶段效率水平始终高于消费阶段,且两阶段效率水平差距有进一步增大的态势;粮食主产区耕地利用效率提升受两阶段效率水平共同作用的影响,生产阶段是效率提升的主要动力,阻力来自于消费阶段效率。分区域来看,松花江流域>长江流域>黄河流域的耕地利用效率,区域不均衡性显著。从空间上来看,整体效率、生产阶段效率高值区呈东北—西南空间分布,并逐渐形成“高一高”集聚和“低—低”集聚的空间格局,消费阶段效率高值区呈离散化分布格局,并未呈现出向提升方向收敛的发展态势。整体、生产阶段和消费阶段的外部影响因素不尽相同,涉及社会经济发展水平、城乡发展水平、科技水平及农业基础设施建设。同时不同因素对不同区域的整体及各子阶段耕地利用效率作用强度及作用方向也存在显著差异。[结论] 未来粮食主产区不但要探索区域差异化耕地利用路径,加强各地级市间合作,更要在提升生产阶段效率的同时,重点关注各地级市消费阶段效率提升收敛速度以及与生产阶段效率差距之间的协调。

关键词: 耕地利用效率; 时空特征; 影响因素; DEA 模型; 粮食主产区; 中国

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2024)01-0206-12

中图分类号: F323

文献参数: 朱梦凡, 李敬锁. 中国粮食主产区耕地利用效率区域差异及影响因素[J]. 水土保持通报, 2024, 44(1): 206-217. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.20231030.001; Zhu Mengfan, Li Jingsuo. Regional differences in cultivated land utilization efficiency and its influencing factors for major grain producing areas in China [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2024, 44(1): 206-217.

Regional Differences in Cultivated Land Utilization Efficiency and Its Influencing Factors for Major Grain Producing Areas in China

Zhu Mengfan, Li Jingsuo

[School of Economics and Management (School of Cooperatives), Qingdao Agricultural University, Qingdao, Shandong 266109, China]

Abstract: [Objective] The main grain producing areas have an important strategic position in achieving stable grain production and supply. The cultivated land use efficiency and its spatiotemporal evolution characteristics in the main grain producing areas were studied to promoting the efficient use of cultivated land resources in the main grain producing areas, and ensuring food security and realizing sustainable agricultural development. [Methods] The two-stage dynamic network DEA model was innovatively used to measure cultivated land utilization efficiency of 179 prefecture-level cities in the main grain producing area from 2010 to 2020. The spatial and temporal evolution characteristics of cultivated land use efficiency were analyzed by ArcGIS visualization technology and kernel density estimation. The Tobit model was constructed to explore the influencing factors of cultivated land utilization efficiency. [Results] The overall efficiency level of the

收稿日期: 2023-07-28

修回日期: 2023-09-02

资助项目: 山东省重点研发计划项目(软科学重点项目)“山东省科技特派员助力乡村振兴战略发展研究”(2021RZB06025); 山东省重点研发计划项目“蓝莓产业绿色化和品牌化发展”(2021TZX003-004)

第一作者: 朱梦凡(1997—), 女(汉族), 山东省济宁市人, 硕士研究生, 研究方向为农业科技创新。Email: ZMF09241025@163.com。

通信作者: 李敬锁(1978—), 男(汉族), 山东省滕州市人, 博士, 教授, 主要从事农业科技创新与评价等方面的研究。Email: 200101034@qdu.edu.cn。

main grain producing area from 2010 to 2020 was characterized as “small decline-rapid rise-fluctuating growth”, and the overall efficiency level was low and still had great capacity for improvement. The efficiency level of the production stage was always higher than that of the consumption stage. The gap between the efficiency levels of the two stages had a tendency to further increase. The increase in cultivated land utilization efficiency in the main grain producing area was influenced by the combined effect of the efficiency levels during the two stages, with the production stage being the main driver of efficiency improvement. Resistance to improvement came from the efficiency during the consumption stage. By region, cultivated land utilization efficiency followed the order of Songhua River basin>Yangtze River basin>Yellow River basin, with significant regional imbalance. From the spatial point of view, the overall efficiency and high value areas of production stage efficiency were spatially distributed from northeast to southwest, and gradually formed a spatial pattern of “high-high” clustering and “low-low” clustering. The high value areas of consumption stage efficiency showed a discrete distribution pattern, and did not show the development trend of convergence in the direction of improvement. The external influencing factors of the overall, production, and consumption stages were different, involving the level of socio-economic development, urban and rural development, science and technology, and agricultural infrastructure construction. There were significant differences in the intensity and direction of different factors on the overall and sub-stage cultivated land use efficiency in different regions. [Conclusion] In the future, the main grain producing areas should not only explore the path of regional differentiated cultivated land use, strengthen cooperation among prefecture-level cities, but also focus on the convergence speed of efficiency improvement in consumption stage and the coordination with the efficiency gap in production stage while improving the efficiency of production stage.

Keywords: cultivated land utilization efficiency; spatial and temporal characteristics; influencing factors; DEA model; major grain producing area; China

耕地是人类生存和发展所依存的最基本的自然资源,在保障国家粮食安全,维持社会稳定,实现农业可持续发展等方面发挥着不可替代的战略作用^[1]。粮食主产区作为中国粮食生产的核心地区,贡献了超 75% 的粮食^[2],在农业发展和主要农产品供给中发挥着重要的引擎作用^[3]。伴随着经济的快速运行,人口不断增长,工业化、城镇化的快速发展,加剧了粮食主产区农业生产空间与城乡发展空间之间的矛盾,耕地非农化^[4]、非粮化^[5],耕地抛荒、低效粗放利用^[6]等现象日益突出,耕地质量不断下降^[7],耕地面积也不断减少。据自然资源部第三次发布的全国国土调查主要数据资料,2013—2017 年粮食主产区耕地面积由 89 102.8 hm² 下降至 88 934 hm²,降幅为 0.189%; 2017—2019 年耕地面积减少了 1 568.1 hm²,降幅为 1.763%,呈现出“断崖式”下降态势。因此粮食主产区耕地保护形势依然比较严峻,耕地利用问题仍较为突出。在此背景下,2022 年中央一号文件重点强调了对耕地利用“非粮化”等问题的干预和遏制,严格落实耕地利用的优先序,实现耕地数量、质量、生态“三位一体”的保护。因此,深入探究粮食主产区耕地利用效率现状,有效提升耕地利用效率,对促进粮食主产区耕地资源高效利用,保障粮食安全及实现农业可持续发展具有重要的指导意义。

当前学术界对耕地利用效率进行了诸多有益的探索,其研究尺度、角度由单一转向多样,由静态研究转向动态研究。从研究尺度来看,主要涉及国家、单个省域的宏观层面考察^[8],而关于小尺度区域研究较少,部分涉及黄河流域、东北地区等区域^[9-10]。从研究内容来看,关于耕地利用效率研究内容随社会经济发展迁移而变换,现有研究在测算耕地利用效率的同时^[11],还伴随着对其时空特征差异^[12]、影响因素^[13]等方面的进一步探究,以形象地呈现测算结果和剖析内在机理。从研究方法来看,学者们基于耕地利用效率内涵,认为以土地、资本、劳动力等为核心的多要素投入与耕地产出具有密切的联系,而数据包络分析模型(DEA)可以处理多投入、多产出的效率评价问题,且不需要建立具体函数,因此在耕地利用效率测算方面应用较为普遍^[14]。其中数据包络分析测算模型中多以 SBM 模型^[11]、超效率模型^[15]、CCR 模型^[16]等单阶段效率测算模型为主,即仅包含一个阶段的投入—产出模型,但由于单阶段 DEA 忽视了耕地利用过程中的中间过程及内部特质,导致耕地利用效率评价结果出现偏倚。Guan Jiancheng 等^[17]基于 DMU 的内部结构构建了网络数据包络分析模型,在很大程度上弥补了传统 DEA 模型的不足;Kao Chiang 等^[18]、Despotis 等^[19]构建了关联型网络 DEA 模型,有效解

决了传统模型缺乏动态性的问题。此外,也有学者运用随机前沿生产函数(SFA)^[20]测算耕地利用效率。以上效率测算方法常与灰色关联度^[21]、Tobit 模型^[22]、空间计量模型^[9]等方法相结合应用于耕地利用效率影响因素的研究。

已有研究为进一步分析粮食主产区耕地利用效率提供了重要的科学依据,但从上述文献来看,关于耕地利用效率研究方面仍有待拓展的空间。①在研究尺度上,目前主要侧重对全国、省域耕地利用效率进行评价分析,但缺乏基于国家发展战略视角下特定区域地级市尺度耕地利用效率的研究,导致区域发展和国家粮食安全方面的政策供给不足^[23],而粮食主产区是保障国家粮食安全的核心区,对其进行研究更具代表性。②在研究方法上,现有研究通常运用单阶段 DEA 模型对耕地利用效率进行测算,鲜有学者结合两阶段动态网络 DEA 模型探究耕地利用效率。单阶段 DEA 模型通过投入(劳动力、播种、农用化学物质、机械、灌溉等)直接得到产出(农作物产量、农业总产值等),实际上,农作物产量为农业生产过程中的产出,农业生产总值则是农业生产的最终产物,这两个产出应分别属于农业生产过程的不同阶段,进而推断耕地利用整个过程应包含不同的子阶段。为深入探究该推测,本文拟在测算耕地利用效率时引入两阶段动态网络 DEA 模型对粮食主产区耕地利用效率进行评估。③在影响因素选取方面,现有研究对于耕地利用效率影响因素的选取侧重于投入要素角度,而本文从外生变量角度选取指标,对粮食主产区耕地利用效率外部影响因素进行分析,进而为制定区域土地管理相关政策提供理论依据。

1 研究区概况

黑龙江、吉林、辽宁、内蒙古、河北、山东、河南、江苏、安徽、湖北、湖南、四川和江西是中国的 13 个粮食主产区。该区域耕地面积 $8.81 \times 10^7 \text{ hm}^2$, 占全国耕地面积的 65.30%, 是中国重要的粮食生产基地,也是商品粮供应的核心区域。凭借其优越的耕地资源和自然资源条件,2020 年粮食主产区农作物播种面积 $1.16 \times 10^8 \text{ hm}^2$, 粮食总产量 $5.26 \times 10^8 \text{ t}$, 占全国粮食总产量的 78.56%, 对保障国家粮食安全, 巩固农业基础及战略地位具有重要的现实意义。

2 材料与方法

2.1 两阶段动态网络 DEA 模型

两阶段动态网络 DEA 模型兼具动态 DEA 模型和网络 DEA 模型优势,是一种新型效率测算方法。

采用该模型对粮食主产区耕地利用效率进行测算,更接近其真实效率。计算公式为:

$$y = \begin{cases} \min[\theta - \epsilon(\sum_{i=1}^m S^{i-} + \sum_{r=1}^s S^{r+})] \\ \text{s.t.} \sum_{j=1}^n x_{ij}(t)\lambda_j + S^i = \theta x_{ij0}(t) \\ \sum_{j=1}^n y_{rj}(t+k)\lambda_j - S^{r+} = y_{ry0}(t+k) \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \\ i = (1, 2, \dots, m), r = (1, 2, \dots, s), j = (1, 2, \dots, n) \\ \theta, \lambda_j, S^{i-}, S^{r+} \geq 0 \end{cases} \quad (1)$$

式中: θ 为测算的效率值; n 为决策单元(DMU)数量; x, y 分别为输入和输出变量; k 为滞后期; λ_j 为输入和输出变量的权重系数; m, s 分别为输入、输出变量的个数; x_{ij0}, y_{ry0} 表示第 j_0 个 DMU 第 i 项输入和第 r 项输出; S^{i-} 和 S^{r+} 分别为输入变量、输出变量的松弛变量; ϵ 为非阿基米德无穷小,通常取 10^{-6} 。

模型具体含义为:

(1) 当 $\theta = 1$ 且 $S^{i-} = S^{r+} = 0$ 时,说明该决策单元 DEA 有效。

(2) 当 $\theta = 1$ 且 $S^{i-} \neq 0, S^{r+} \neq 0$ 时,说明该决策单元 DEA 弱有效。

(3) 当 $\theta < 1$ 或 $S^{i-} \neq 0, S^{r+} \neq 0$ 时,说明该决策单元 DEA 无效。

2.2 核密度估计

核密度是一种非参数的估计方法,主要通过核密度曲线捕捉耕地利用效率值的分布特征,描绘其研究期间分布动态,有效避免参数估计主观性,使其结果更具真实性。本文采用高斯核函数对粮食主产耕地利用效率的时空动态演化趋势进行可视化表达。具体计算公式为:

$$f(x) = \frac{1}{Nh} \sum_{i=1}^N K\left(\frac{X_i - \bar{X}}{h}\right) \quad (2)$$

$$K(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) \quad (3)$$

式中: $f(x)$ 表示耕地利用效率的密度函数; $K(x)$ 表示高斯核函数; N 为观测值数量; X_i 表示样本值且服从独立同分布; \bar{X} 表示样本值的均值; h 表示带宽。

2.3 面板 Tobit 模型

运用两阶段动态网络 DEA 模型计算得到的效率值均大于 0,属于受限被解释变量,运用面板 Tobit 模型分区域分阶段对粮食主产区耕地利用效率的外部影响因素进行分析。计算公式为:

$$Y_i = \alpha + \sum \beta_i X_i + \epsilon \quad (4)$$

式中： Y_i 表示 i 市的耕地利用效率； X_i 为各市耕地利用效率的影响因素； α 为截距项； β_i 为待估参数； ϵ 为随机误差项。

2.4 耕地利用效率指标体系构建

基于两阶段动态网络 DEA 模型对粮食主产区 179 个地级市的耕地利用效率进行测算。基于耕地

利用效率含义构建合理的投入—产出指标体系(见表 1)。遵循指标数据的可量化性、可获取性、合理性和具有代表性等原则,考虑到耕地产出的影响因素,将土地、劳动力、资本三方面作为核心要素对生产阶段和消费阶段的投入、产出、中间产出及准固定投入变量进行评价指标的选取。

表 1 耕地利用效率投入—产出指标评价体系
Table 1 Indicator evaluation system of input and output of cultivated land utilization efficiency

指标属性	变量	指标名称	指标说明	评价阶段
投入指标	I_1	农作物播种面积/ 10^3 hm^2	全年实际播种的谷物、豆类、薯类等粮食作物和棉花、油料、糖料等经济作物的面积	生产阶段
	I_2	农业机械总动力/ 10^4 kW	用于农业生产的各种动力机械的动力总和	
	I_3	农用化肥使用量/t	折纯后的氮肥、磷肥、钾肥和复合肥用量	
	I_4	有效灌溉面积/ 10^3 hm^2	当年能够进行正常灌溉的耕地面积	
中间指标	Z_1	粮食作物产量/t	农业生产经营者日历年度内生产的粮食数量的总和	生产阶段
	Z_2	油料产量/t	油料产量指全部油料作物的生产量,包括油菜籽、花生等	
产出指标	O	农业总产值/ 10^4 元	除林业、畜牧业、渔业产值	消费阶段
准固定投入	B	第一产业从业人员/ 10^4 人	从事农业生产的劳动力数量	生产阶段

基于表(1)粮食主产区耕地利用效率数据指标体系,搭建粮食主产区耕地得利用效率测算结构图(见图 1)。将粮食主产区耕地利用看作一个系统,整个耕地利用系统内部将农作物播种面积(I_1)、农业机械总动力(I_2)、化肥使用量(I_3)、有效灌溉面积(I_4)作为生产阶段的投入变量;粮食产量(Z_1)、油料产量(Z_2)作为生产阶段的产出,同时也作为消费阶段的投入,

因此称作中间变量;农业总产值(O)则是消费阶段(第二阶段)的产出,因此称为最终产出;第一产业从业人员连接不同研究周期,该指标不仅是第 t 年份生产阶段的产出,在动态情境下,也作为第 $t+1$ 年份生产阶段的投入,因此称作衔接变量。

基于上述分析,便构建了粮食主产区耕地利用的两阶段动态网络 DEA 测算模型。

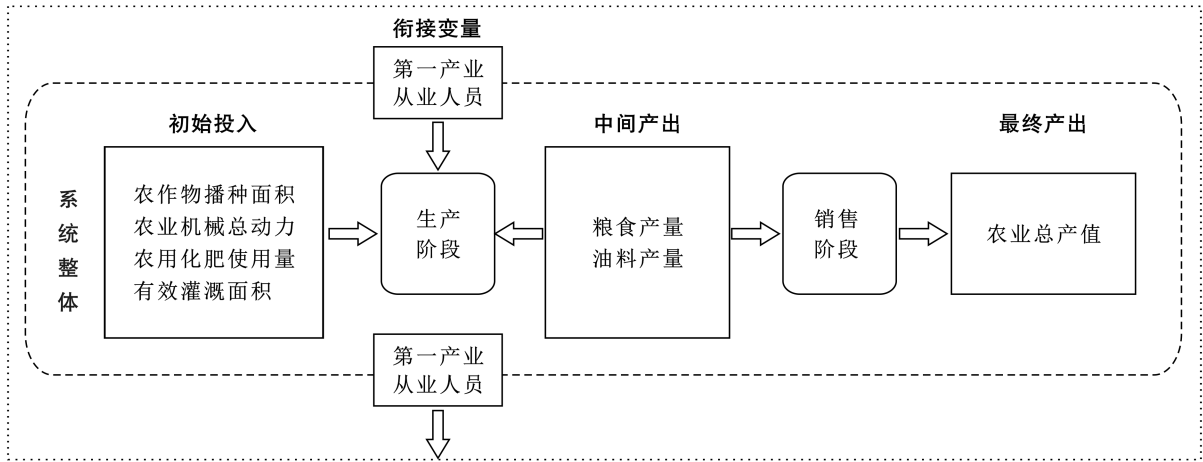


图 1 粮食主产区耕地利用效率测算结构

Fig.1 Structure of cultivated land utilization efficiency measurement in main grain producing area

2.5 耕地利用效率影响因素选取

粮食主产区耕地利用效率不仅受内部因素影响,还受资源禀赋、社会经济发展水平和科学技术等外生变量的影响。由于改进的两阶段动态网络 DEA 模型已考虑了对粮食主产区耕地利用效率影响的内部因素,遂选取社会经济发展状况、科学技术水平、农业

基础设施建设、城乡发展水平差异等外生变量对其影响进行分析。在地区社会经济发展水平方面,选取产业结构和固定资产投资为表征指标,产业结构和固定资产投资在一定程度上影响农业生产规模和生产经验。在科技发展水平方面,选取科学技术支出占比作为表征指标,科技支出比例在一定程度上反映农业

现代化水平,对农业生产方式的转型升级,耕地利用效率的提升至关重要。选取农村电气化情况表征农村基础设施建设,农村电气化的建设与完善会加深农业生产要素间的深度融合,促进农业生产技术的普及,提升生产效率^[24]。在城乡发展水平差异方面,选取城镇化率和城乡居民收入比为表征指标,城镇化水

平的提升有利于促进农民收入水平的提升和农民素质的提高,促进农业规模化生产和农业现代化经营;但也有可能导致农村劳动力外流,产生不利的影响。城乡居民收入差距的缩小能够缓解农村居民家庭资金的约束,可在一定程度上影响农业生产要素投入(见表 2)。

表 2 耕地利用效率影响因素指标选取及说明		
Table 2 Indicator selection and description of influencing factors of cultivated land utilization efficiency		
指 标	变 量	指标说明
经济发展水平	产业结构/%	第一产业产值/地区生产总值
	固定资产投资/ 10^4 元	全社会固定资产投资
城乡发展水平差异	城镇化率/%	城镇常住人口/年末常住人口
	城乡居民收入比/%	城镇居民可支配收入/农村居民可支配收入
科技水平	科技支出比例/%	地区科技支出/财政支出
农村基础设施建设	农村电气化情况/(10^4 kW·h)	农村用电量

2.6 数据来源

对 2010—2020 年粮食主产区 179 个地级市耕地利用效率进行了测算。地级市的耕地利用效率测算指标及影响因素指标均来源于《中国区域经济统计年鉴》《中国城市统计年鉴》《中国农村统计年鉴》及粮食主产区 13 省、地级市统计年鉴、国民经济统计公报。同时,由于河南省、山东省行政区划的变动,以及湖北省部分地级市数据难以获得,在样本中剔除了河南省的济源市、山东省的莱芜市,以及湖北省的天门市、潜江市、仙桃市和神农架林区的数据。部分地级市数据指标的缺失值,运用插值法合理进行补全。

3 结果与分析

3.1 粮食主产区耕地利用效率分析

3.1.1 耕地利用效率的总体分析 根据 2010—2020 年粮食主产区各地级市投入及产出数据,基于两阶段动态网络 DEA 模型,运用 MaxDEA 软件,对粮食主产区整体效率、生产阶段效率及消费阶段效率进行测算,结果见图 2。近 10 a 间,粮食主产区耕地利用整体效率可分为“小幅下降—快速上升—波动增长”三个阶段。2010—2013 年间效率值呈下降趋势,降幅为 25.78%;2013 年之后总体保持上升,增幅为 20.63%,其中 2013—2014 年增长幅度最大,增幅为 27.35%。这主要是由于一系列农业产业政策红利的倾斜和释放,地方政府加大了对粮食主产区各省份相关基础设施建设力度,实施积极的农业支持政策,如粮食补贴、农业科技投入与推广等,在一定程度上加速了粮食主产区整体效率的提升。耕地利用生产阶

段效率变化趋势与整体效率基本保持一致,消费阶段效率总体呈下降的发展态势,且生产阶段效率始终大于消费阶段效率。这说明尽管耕地在生产过程利用中的投入得到了较好的产出,资源得到了较充分的利用,但在消费过程中的资源利用程度有待提高,其资源投入和人力投入并未带来良好产出,即农业产出和农业收入没有达到理想状态。因此,即使生产阶段效率水平较优,整体效率水平会因为消费阶段效率水平没能达到最优化而呈现为效率水平较低的状态。这说明整体效率受两阶段效率的共同作用,只有当两阶段效率均处于较优的状态时,整体效率才会得到提升,达到耕地利用的“真有效”。

3.1.2 耕地利用效率区域差异分析 为分析粮食主产区耕地利用效率区域差异和特点,参考文献[25],根据农业区域划分方法,将粮食主产区 13 个省份划分为三大流域:黄河流域(山东、河北、河南、内蒙古)、长江流域(江西、湖北、湖南、江苏、安徽、四川)、松花江流域(黑龙江、吉林、辽宁)。具体情况如表 3 所示。

由表 3 可知,2010—2020 年不同流域、不同省份的整体效率、生产阶段效率及消费阶段效率呈现出不尽相同的波动。分区域来看,无论是整体效率还是两阶段效率都呈现为:松花江流域>长江流域>黄河流域。这可能是因为东北地区得天独厚的土地资源与技术水平较高的农业现代化程度,使其耕地利用效率水平明显高于长江流域和黄河流域。分省份来看,粮食主产区 13 省份整体效率偏低,生产阶段效率均在 0.6 以上,说明该阶段效率水平相对较优;消费阶

段效率处于 0.3 左右,相对较低。因此粮食主产区大多数省份需要重点提升和改善消费阶段的效率水平。此外对于某一阶段效率排名相对优先,而在其他阶段效率排名较为落后的省份,例如,河北省、湖北省、江苏省在消费阶段效率排名较为理想,而在生产阶段排

名较为落后,应该着力改善生产阶段的耕地利用效率,补齐生产阶段效率落后的短板。对于内蒙古、河南、安徽等在各阶段排名都相对落后的省份,则应参照效率领先的省份,全面提升生产阶段、消费阶段的效率水平。

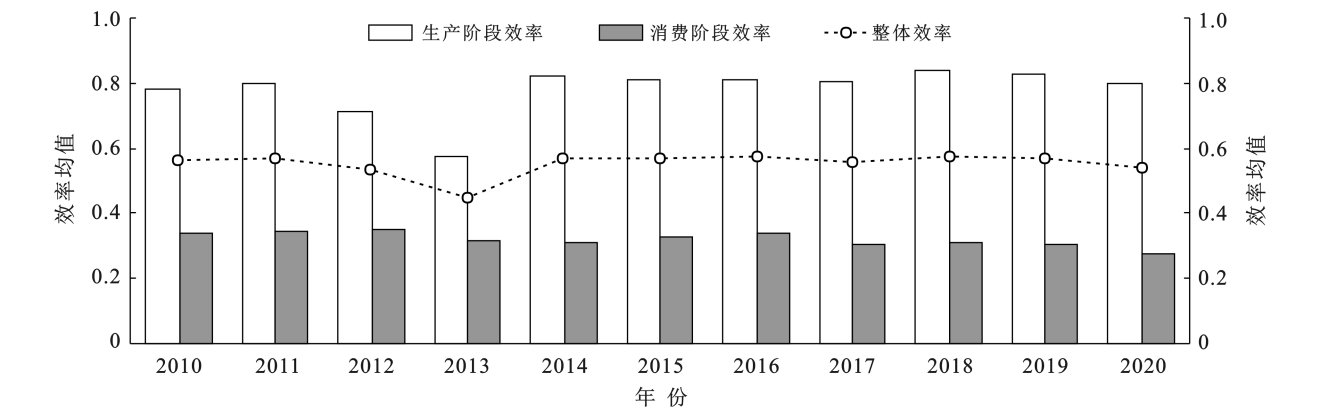


图 2 2010—2020 年粮食主产区分阶段耕地利用效率均值

Fig.2 Mean value of cultivated land utilization efficiency at different stages in major grain producing area from 2010 to 2020

表 3 2010—2020 年粮食主产区不同区域及省份耕地利用效率均值

Table 3 Mean value of cultivated land utilization efficiency in different regions and provinces of main grain producing area from 2010 to 2020

区 域		整体效率		生产阶段效率		消费阶段效率	
		效率值	排名	效率值	排名	效率值	排名
松花江流域	黑 龙 江	0.692 5	2	0.947 3	1	0.437 6	3
	吉 林	0.629 5	4	0.879 7	3	0.379 4	5
	辽 宁	0.655 2	3	0.869 6	4	0.440 8	2
	均 值	0.659 1		0.898 9		0.419 3	
黄河流域	山 东	0.541 5	6	0.767 7	7	0.315 4	7
	河 北	0.510 1	8	0.655 7	12	0.364 5	6
	河 南	0.482 4	10	0.741 3	8	0.223 5	10
	内 蒙 古	0.429 8	13	0.676 6	11	0.183 0	13
	均 值	0.491 0		0.710 3		0.271 6	
长江流域	江 西	0.476 5	11	0.768 0	6	0.184 9	12
	湖 北	0.740 8	1	0.861 2	5	0.620 4	1
	湖 南	0.483 3	9	0.713 1	9	0.253 5	9
	江 苏	0.516 6	7	0.641 8	13	0.391 5	4
	安 徽	0.446 7	12	0.701 5	10	0.192 0	11
	四 川	0.585 9	5	0.895 6	2	0.276 2	8
	均 值	0.541 6		0.763 5		0.319 7	
省均值		0.553 1		0.778 4		0.327 9	

3.1.3 耕地利用效率地级市差异分析 为直观分析各地级市耕地利用效率变化趋势,采用自然断点法,将粮食主产区不同阶段耕地利用效率划分为 5 级

(Ⅰ,Ⅱ,Ⅲ,Ⅳ,Ⅴ),其中Ⅰ级效率最高,Ⅴ级效率最低。基于分类结果,运用 ArcGIS 软件分别绘制粮食主产区 2010,2015,2020 年 3 期 179 个地级市的空间分布图,对其进行空间可视化分析,结果如图 3 所示。

由图 3 可知,不同地级市耕地利用效率存在显著的空间差异,同一地级市耕地利用效率在不同年份也存在差异。整体效率和生产阶段效率高值区主要分布在东北—西南方向,消费阶段效率高值区呈离散化分布态势,并未呈现出向提升方向收敛的趋势。由表 4 可见,2010,2015,2020 年粮食主产区 179 个地级市整体效率达Ⅰ级的城市数量呈先增加后减少的趋势,Ⅰ级地级市主要分布在黑龙江省的黑河、伊春,吉林的辽源、白山,辽宁省的本溪、盘锦、营口,湖北省的十堰、武汉、宜昌、鄂州等,而内蒙古自治区的包头、呼和浩特、赤峰,河南的郑州,河北省的唐山、衡水、邯郸等整体效率相对较低。从生产阶段效率来看,2010,2015,2020 年粮食主产区各地级市耕地利用效率均高于当年整体效率和消费阶段效率水平,且生产阶段高效率主要分布于东北及西南地区,中部地区效率偏低。从消费阶段效率来看,2010,2015,2020 年粮食主产区各地级市耕地利用效率平均值分别为 0.345 0,0.336 1,0.273 1,远低于生产阶段效率,且整体波动幅度较小,耕地利用效率Ⅰ级的地级市占总数的比例呈逐渐下降的发展趋势,说明消费阶段资源利用与配置仍然低效,存在投入不足或冗余情况,因此需引起高度重视。

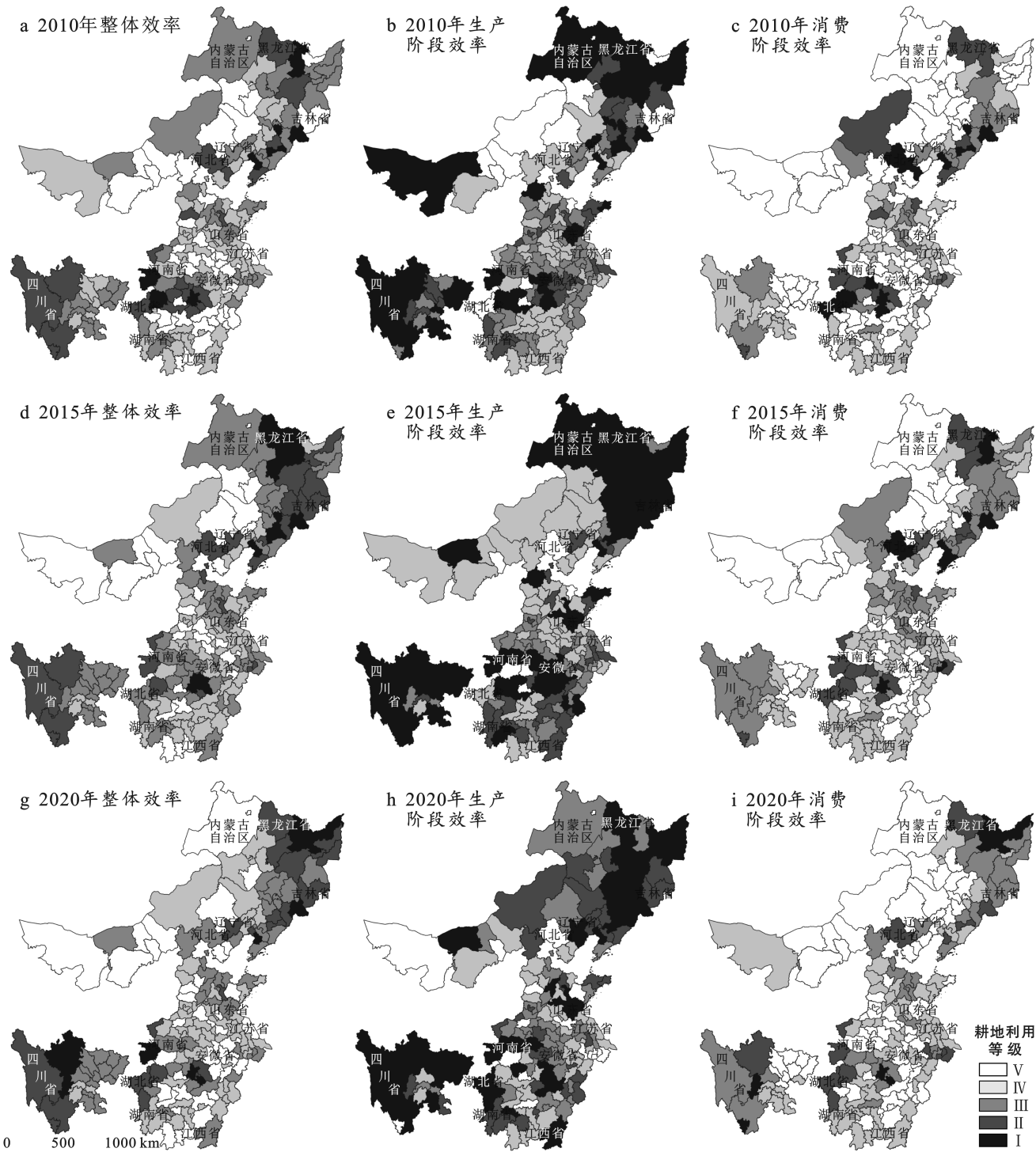


图 3 2010—2020 年粮食主产区各地级市不同时期耕地利用效率值分布
Fig.3 Distribution of cultivated land utilization efficiency value at different stages of each city in major grain producing area from 2010—2020

3.2 耕地利用效率时空演变特征分析

为科学反映粮食主产区耕地利用效率的演变过程,借助 stata.17 软件,对 2000,2012,2014,2016,2018,2020 年粮食主产区耕地利用整体效率、生产阶段效率及消费阶段效率进行核密度估计,可得耕地利用效率的分布形态、位置及延展性等特征(见图 4)。

粮食主产区不同阶段耕地利用效率演变趋势存

在显著性差异(见图 4)。由图 4a 可见,粮食主产区耕地利用整体效率核密度估计曲线呈明显右拖尾,主峰峰值呈“上升—下降—上升”的变化趋势,波峰宽度变窄,说明整体效率具有提升趋势,各地级市差距不断缩小。这与上文分析结果保持一致。另外,核密度图显示由多峰变为单峰,说明极化趋势变弱,高效率值地区呈集聚态势。由图 4b 可见,生产阶段粮食

主产区核密度曲线从左到右,从高到低,呈明显的双峰特征,说明该区域内高效率值与低效率值同时存在;主峰高度增高,侧峰高度呈先降低—后升高态势,说明在生产阶段各地级市的耕地利用效率逐年提升,而高效率水平地区与低效率水平地区之间的差距则呈先增大后减小的趋势,并逐渐向“高一高”集聚

和“低—低”集聚的空间格局演变。由图 4c 可见,消费阶段粮食主产区核密度曲线主峰位置逐渐向左移动,说明消费阶段耕地利用效率在不断下降,同时其区域差异变大;主峰峰值呈现下降—后上升的趋势,说明各区域耕地利用效率差距有进一步收敛的发展趋势。

表 4 2010—2020 年粮食主产区不同级别耕地利用效率值数量及其比例
Table 4 Number and proportion of different levels of cultivated land utilization efficiency
value of major grain producing areas in 2010, 2015 and 2020

等级	2010 年耕地利用效率						2015 年耕地利用效率						2020 年耕地利用效率					
	整体阶段		生产阶段		消费阶段		整体阶段		生产阶段		消费阶段		整体阶段		生产阶段		消费阶段	
	个数	比例/%	个数	比例/%	个数	比例/%	个数	比例/%	个数	比例/%	个数	比例/%	个数	比例/%	个数	比例/%	个数	比例/%
I	10	5.59	43	24.02	13	7.26	12	6.70	68	37.99	10	5.59	10	5.59	56	31.28	7	3.91
II	21	11.73	30	16.76	14	7.82	21	11.73	25	13.97	16	8.94	22	12.29	31	17.32	14	7.82
III	49	27.37	49	27.37	26	14.53	63	35.20	32	17.88	37	20.67	52	29.05	40	22.35	31	17.32
IV	60	33.52	46	25.70	48	26.82	58	32.40	49	27.37	71	39.66	57	31.84	38	21.23	60	33.52
V	39	21.79	11	6.15	78	43.58	25	13.97	5	2.79	45	25.14	38	21.23	14	7.82	67	37.43

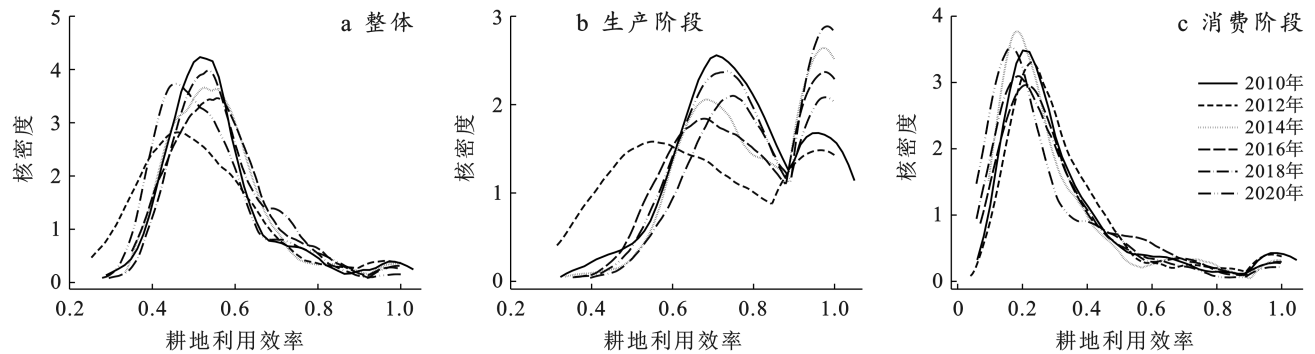


图 4 2010—2020 年粮食主产区耕地利用效率核密度曲线
Fig.4 Kernel density curve of cultivated land utilization efficiency in major grain producing areas from 2010 to 2020

3.3 耕地利用效率外部影响因素分析

本文对选取的粮食主产区耕地利用效率外生变量影响因素数据做标准化处理,以确保 Tobit 模型回归结果的可靠性和稳健性。为更加全面的分析粮食主产区耕地利用效率的外部影响因素,分别对整体效率和两子阶段效率进行回归分析。

由表 5 可见,Tobit 的回归结果表明,产业结构对整体阶段、生产阶段及消费阶段耕地利用效率具有正向影响。第一产业产值比例的提高能够促进地区耕地效率的提升,原因在于第一产业所占比例的增大有利于促进农业产业链的发展与完善,进而促进耕地利用效率提升;固定资产投资对各阶段效率具有负向影响,说明固定资产投资一定程度上阻碍耕地利用效率的提升。城镇化水平对整体效率和消费阶段效率提升具有促进作用,可能的原因是随着城镇化水平的提升,农村剩余劳动力产生的负面影响可以得到有效缓解。另外,人们的生活水平和消费水平也随之提升,

使得整体效率和消费阶段效率耕地利用效率提升;城乡居民收入比对整体和生产阶段效率具有负向影响,随着城乡收入比的扩大,农村大量优质劳动力为获得更高收益向城镇转移,导致农村形成以老龄化、低技能化为主的劳动力局面,这将会带来耕地的撂荒,对现代农业科学生产知识和科学技术的推广具有一定的阻碍作用,导致科学技术投入的冗余,因此会对生产阶段效率产生一定的负向影响。农村电气化情况对整体效率和消费阶段效率具有正向影响。随着农村电气化的提升会加深与农业生产的深度融合,为农村实现农业现代化、智慧化提供坚实的电能基础,进而促进农业资源的合理配置^[24];对于生产阶段效率具有负向影响,但并未通过显著检验,说明农村电气化在生产阶段可能存在一定的冗余。

3.4 区域异质性分析

考虑到粮食主产区不同地区间社会经济发展存在较强的复杂性以及多维性,不同因素对粮食主产

区内部不同地区的各阶段耕地利用效率影响强度和影响方向可能存在显著差异,因此本文运用 Tobit 模型分别对黄河流域、长江流域及松花江流域各阶段耕地利用效率影响因素进行异质性分析。

表 5 粮食主产区耕地利用效率影响因素分析
Table 5 Analysis on influencing factors of cultivated land utilization efficiency in major grain producing areas

影响因素	整体效率	生产阶段效率	消费阶段效率
产业结构	0.002 0*** (3.87)	0.004 5*** (5.20)	0.002 0** (2.53)
固定资产投资	−0.031 5*** (−6.89)	−0.044 0*** (−5.92)	−0.034 5*** (−5.02)
城镇化水平	0.001 2*** (4.64)	−0.000 3(−0.72)	0.003 1*** (7.70)
城乡居民收入比	−0.033 4*** (−4.02)	−0.074 6*** (−5.50)	−0.016 7(−1.34)
科技水平	−0.003 1(−1.18)	−0.015 2*** (−3.74)	0.006 4* (1.65)
农村电气化情况	0.004 6** (2.11)	−0.005 6(−1.62)	0.015 7*** (4.75)
常数项	1.002 0*** (12.88)	1.751 0*** (13.82)	0.547 0*** (4.67)
样本数	1 969	1 969	1 969
Log likelihood	852.884 2	−392.648 9	21.502 0
LR 检验	131.69***	256.94***	104.91***

注：*，**和***分别表示 10%，5%和 1%的显著性水平；括号内为 *t* 统计量。下同。

从表 6 结果可以看出,由于各区域社会经济发展水平、城镇化水平、科学技术水平及农业生产基础设施条件不同,导致粮食主产区不同阶段耕地利用效率的区域主导影响因素具有空间上的异质性,这也充分彰显了国家在因地制宜制定粮食主产区差异化耕地高效利用和农业可持续发展等相关扶持政策上的必要性。今后应根据各区域生产发展特点因地制宜的制定并实施差异化的耕地高效集约利用管控政策,切实保障粮食主产区各区域耕地利用效率的协同提升。

表 6 粮食主产区耕地利用效率区域异质性分析
Table 6 Analysis of regional heterogeneity of cultivated land utilization efficiency in major grain producing areas

阶段	影响因素	黄河流域	长江流域	松花江流域
整体效率	产业结构	−0.000 2(−0.22)	0.001 4(1.47)	−0.000 3(−0.26)
	固定资产投资	0.016 9*** (3.86)	−0.011 1(1.54)	−0.002 5(−0.26)
	城镇化水平	0.000 7* (1.95)	0.002 6*** (3.91)	0.002 0** (3.09)
	城乡居民收入比	0.006 8(0.58)	0.053 3*** (4.24)	−0.083 6** (−2.51)
	科技水平	0.023 9*** (3.99)	−0.010 2*** (−3.47)	−0.012 7(−1.17)
	农村电气化情况	−0.003 1(0.70)	0.011 7*** (4.85)	−0.027 0*** (6.60)
生产阶段	产业结构	0.008 2*** (5.06)	−0.001 0(−0.61)	0.001 8(0.56)
	固定资产投资	0.008 2(0.55)	0.007 8(0.69)	−0.073 1* (−2.76)
	城镇化水平	−0.000 5(−0.71)	−0.003 8*** (−3.52)	0.002 6** (2.42)
	城乡居民收入比	−0.104 9*** (−4.41)	0.040 3* (1.95)	−0.171 6*** (−3.36)
	科技水平	0.049 9*** (4.12)	−0.017 8*** (−3.84)	−0.052 6** (−2.11)
	农村电气化情况	−0.007 9(−0.82)	−0.004 4(−1.17)	0.004 3(0.13)
消费阶段	产业结构	−0.002 4(−2.36)	0.005 0*** (3.46)	0.001 8(0.98)
	固定资产投资	0.012 6* (1.65)	−0.031 2*** (−2.90)	0.027 5(1.35)
	城镇化水平	0.002 1*** (4.53)	0.009 0*** (8.95)	0.004 7*** (4.50)
	城乡居民收入比	0.064 4*** (4.86)	0.085 6*** (4.56)	−0.061 0(−1.26)
	科技水平	−0.018 2*** (−2.86)	−0.005 1(−1.16)	0.020 0(1.26)
	农村电气化情况	−0.032 0*** (−2.60)	0.029 9*** (8.34)	−0.084 7** (2.31)

3.4.1 黄河流域各阶段耕地利用效率影响因素分析

产业结构对生产阶段耕地利用效率具有正向影响,说明第一产业投入的增加有利于促进黄河流域生产阶段效率提升;对消费阶段效率具有负向影响,说明对消费阶段效率的提升具有一定的抑制作用。固定资产投资正向影响着整体效率,说明该流域固定资产投资可有效带动耕地利用整体效率的提升,但也要警惕社会经济发展和工业化发展对农业生产要素的

“虹吸效应”,该虹吸效应可能会导致农村劳动力资源吸入第二、三产业,优质耕地资源占用。城镇化水平和城乡居民收入对该地区整体及消费阶段效率具有正向影响。一方面城镇化水平的提升会促进农村剩余劳动力转移,另一方面城乡收入比提升会提高城镇居民消费,进而提高消费阶段效率,带动整体效率提升。这两个指标对生产阶段具有负向影响,究其原因,随着城镇化水平的提升,会导致一部分耕地撂荒,

降低农业生产总体产量,因此对生产阶段会有一定的负向影响。科技水平的提升会促进农业生产的现代化,优化资源配置,进而促进生产阶段效率的提升。农村电气化对各阶段效率具有负向影响,说明黄河流域农村电气化投入方面存在一定的冗余,应更加注重向提质方向发展。

3.4.2 长江流域各阶段耕地利用效率影响因素分析

产业结构正向影响消费阶段效率,第一产业所占比例的提高有利于促进消费阶段效率的提升。固定资产投资对其具有负向影响,说明该流域固定资产投资对消费阶段效率提升具有抑制作用。城镇化水平对整体和消费阶段效率具有正向影响,对生产阶段效率具有负向影响,说明城镇化水平的提升可以有效提高整体和消费阶段效率,但是随着人口城镇化的提高,农村劳动力短缺,可能会导致耕地利用生产过程中机械的冗余,进而导致生产阶段效率降低。城乡居民收入比对各阶段效率具有正向影响,可能的原因是城乡收入差距扩大会导致耕地从业人员的减少,劳动力冗余降低,进而促进耕地效率的提升。科技水平与整体和消费阶段效率呈负相关,说明该流域农作物生产过程中存在技术投入冗余或技术投入不足,要素配置与产出发展错位。农村电气化情况对整体效率和消费阶段效率具有正向影响,说明其有利于该流域效率水平的提升。

3.4.3 松花江流域各阶段耕地利用效率影响因素分析 固定资产投资对生产阶段效率具有负向影响,究其原因,松花江流域形成了以重工业为主的固定资产投资,对农业生产要素具有一定的“虹吸效应”,导致生产阶段效率降低。科学技术水平对生产阶段效率值具有负向影响。根据历年人口普查数据发现,随着城镇化的提升,松花江流域当前人口发展方面面临的主要挑战是严重的人口流失和劳动力结构呈现出深度老龄化^[26],影响了农业生产中创新技术的推广和使用,一定程度上阻碍土地流转和集约化利用。因此应降低生产阶段耕地利用效率。城乡居民收入水平对整体和各阶段效率影响显著为负,意味着松花江流域城乡收入差距的扩大,不利于该流域耕地利用效率的提升。农村电气化情况对整体效率和消费阶段效率具有负向影响,对生产阶段效率具有正向影响,说明农村电气化的提升为松花江流域农业生产提供了稳固的电力保障,促进生产阶段效率的提升,但也要注意农村电气化投入的质量问题,避免因出现冗余导致整体效率的降低。

4 结论

(1) 从效率评估结果来看,粮食主产区整体耕地

利用效率大致呈“小幅下降—快速上升—波动增长”的阶段趋势,整体效率水平偏低,仍具有很大的提升空间。分区域来看,松花江流域>长江流域>黄河流域。

(2) 从时空特征来看,粮食主产区耕地利用效率在空间上具有显著的非均衡性,各阶段效率高值区逐渐向东北方向及西南方向转移。核密度估计结果显示,整体效率水平呈波动变化的发展态势,极化趋势不断减弱,高效率水平地区呈集聚态势;生产阶段效率值不断提升,且高效率水平地区与低效率水平地区之间的差距呈先增大后减小,并逐渐向“高一高”集聚和“低—低”集聚的空间格局演变;消费阶段效率值呈现下降趋势,高效率值分布呈离散化态势,区域差异有进一步收敛的趋势。

(3) Tobit 模型回归结果显示,整体、生产阶段及消费阶段影响因素存在显著差异,其中产业结构、城镇化水平、农村电气化对整体效率具有显著的正向影响,固定资产投资及城乡居民收入比对其具有负向影响。产业结构对生产阶段效率具有正向影响,固定资产投资、城乡居民收入比及科学技术水平对其具有负向影响。产业结构、城镇化水平、科技水平、农村电气化对消费阶段效率具有正向影响,固定资产投资对其具有负向影响。另外,不同区域、不同因素对整体、生产阶段及消费阶段的耕地利用效率的作用强度及作用方向也存在显著差异。

5 讨论

本文以地级市为研究单元,通过对粮食主产区整体及各子阶段耕地利用效率的测算、时空动态演变趋势的分析,较全面地掌握了粮食主产区耕地利用效率的时空格局演变特征及影响因素机制,可为未来制定耕地资源高效利用和区域土地管理相关决策提供科学借鉴。从研究结果来看,粮食主产区耕地利用整体效率呈波动增长趋势,这与王良健等^[27]、张立新等^[28]的研究结果趋于一致,但耕地利用效率值相较于运用单阶段 DEA 模型测算的效率值偏小^[27-28],这同 Kao Chiang^[29]、Witte K. D.^[30] 等研究结论相符合。究其原因,两阶段动态网络 DEA 模型相较于单阶段 DEA 模型约束条件变多,该模型将横向各子阶段和纵向时间两维度纳入模型构建中,因此整体效率值计算出来会偏小。此外,与刘玉海等^[11]的研究相比,通过对耕地利用效率影响因素的探究,发现粮食主产区总体、分区域的整体效率和两子阶段效率的影响因素作用方向及显著性存在明显差异,因此,以往仅考虑耕地利用整体效率存在一定局限性,耕地利用的整体效率是衡量耕地资源利用程度的一个重要指标,同时,对

于生产阶段效率和消费阶段效率的细化研究也不应该忽视,更不应顾此失彼,两阶段的投入、产出都应得到重视。为促进粮食主产区耕地利用效率水平的持续提升,本文基于研究结论并结合粮食主产区发展定位、农业科技水平、地区资源禀赋等差异提出粮食主产区总体及分区域耕地可持续利用的政策启示。

本研究尚存在一定的不足之处,在分析粮食主产区耕地利用效率外部影响因素时,仅从社会经济发展、城乡发展差异、农业科技水平及农村基础设施方面进行了研究,未将自然因素,如地形条件、自然灾害等、农户价值认知等影响因素纳入指标体系,在后续的研究中有待进一步的深化和拓展,为粮食主产区耕地资源的可持续利用及国家粮食安全提供更为合理的参考。

[参 考 文 献]

- [1] 刘彦随,乔陆印.中国新型城镇化背景下耕地保护制度与政策创新[J].经济地理,2014,34(4):1-6.
Liu Yansui, Qiao Luyin. Cultivated land protection system and policy innovation in the context of China's new urbanisation [J]. Economic Geography, 2014,34(4):1-6.
- [2] 邹金浪,杨子生.不同城市化水平下中国粮食主产区耕地集约利用差异及其政策启示:以江西省和江苏省为例[J].资源科学,2013,35(2):370-379.
Zou Jinlang, Yang Zisheng. Cultivated land use and policy implications in Chinese main grain producing areas with different urbanization levels: Taking Jiangxi and Jiangsu Provinces as examples [J]. Resource Science, 2013,35(2):370-379.
- [3] 陈秧分,李先德.中国粮食产量变化的时空格局与影响因素[J].农业工程学报,2013,29(20):1-10.
Chen Yangfen, Li Xiande. Spatial-temporal characteristics and influencing factors of grain yield change in China [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2013,29(20):1-10.
- [4] 汪险生,郭忠兴.基于 DEA 方法的农地非农化效率研究[J].自然资源学报,2014,29(6):944-955.
Wang Xiansheng, Guo Zhongxing. Research on farmland conversion efficiency based on the DEA model [J]. Journal of Natural Resources, 2014,29(6):944-955.
- [5] 匡远配,刘洋.农地流通过程中的“非农化”、“非粮化”辨析[J].农村经济,2018(4):1-6.
Kuang Yuanpei, Liu Yang. Discussion on“non-agriculturalisation”and“non-grainisation”in the process of farmland transfer [J]. Rural Economy, 2018(4):1-6.
- [6] 饶静,张闻龙,郭晨晓,等.乡村振兴背景下耕地抛荒“社会生态治理路径”研究:以河南省 L 市 D 镇为例[J].中国农业大学学报(社会科学版),2021,38(6):31-43.
Rao Jing, Zhang Wenlong, Guo Chenxiao, et al. A study on

the “social-ecological governance approach” of arable land abandonment in the process of rural vitalization in China: Taking town D in city L of Henan Province as an example [J]. Journal of China Agricultural University (Social Science Edition), 2021,38(6):31-43.

- [7] 刘继为,李雪飞,高鹏怀,等.基于 DEA 模型的河北省农业生产效率及影响因素研究[J].东北农业科学,2020,45(3):86-91,107.
Liu Jiwei, Li Xuefei, Gao Penghuai, et al. Study on agricultural production efficiency and its influencing factors in Hebei Province based on DEA model [J]. North-east Agricultural Science, 2020,45(3):86-91,107.
- [8] Wang Kaiyong, Zhang Pengyan. The research on impact factors and characteristic of cultivated land resources use efficiency: Take Henan Province, China as a case study [J]. Ieri Procedia, 2013,5:2-9.
- [9] 吴欣,刘仕鑫,李敬锁,等.黄河流域耕地利用效率评估及其提升路径研究[J].农业现代化研究,2022,43(4):702-714.
Wu Xin, Liu Shixin, Li Jingsuo, et al. Study on the improvement of farmland use efficiency in the Yellow River basin from the perspective of high-quality development [J]. Research of Agricultural Modernisation, 2022,43(4):702-714.
- [10] 崔宁波,王欣媛,于尊.东北粮食主产区耕地生态效率评价及影响因素分析[J].生态经济,2021,37(7):104-110.
Cui Ningbo, Wang Xinyuan, Yu Zun. Analysis ecological efficiency evaluation and influencing factors of cultivated land of grain production in northeast main production area [J]. Ecological Economy, 2021,37(7):104-110.
- [11] 刘玉海,张丽.耕地生产率与全要素耕地利用效率:基于 SBM-DEA 方法的省际数据比较[J].农业技术经济,2012,(6):47-56.
Liu Yuhai, Zhang Li. Cultivated land productivity and total factor arable land utilization efficiency: Comparison of provincial data based on SBM-DEA method [J]. Journal of Agrotechnical Economics, 2012(6):47-56.
- [12] 马林燕,张仁慧,潘子纯,等.中国省际耕地利用生态效率时空格局演变及影响因素分析:基于 2000—2019 年面板数据[J].中国土地科学,2022,36(3):74-85.
Ma Linyan, Zhang Renhui, Pan Zichun, et al. Analysis of the evolution and influencing factors of temporal and spatial pattern of eco-efficiency of cultivated land use among provinces in China: Based on panel data from 2000 to 2019 [J]. China Land Science, 2022,36(3):74-85.
- [13] Yang Chinha, Wu Leah, Lin Huilin. Analysis of total-factor cultivated land efficiency in China's agriculture [J]. Agriculture Economics, 2010,56(5):231-242.
- [14] 文高辉,刘蒙罢,胡贤辉,等.洞庭湖平原耕地利用生态效率空间相关性与空间效应[J].地理科学,2022,42(6):1102-1112.

- Wen Gaohui, Liu Mengba, Hu Xianhui, et al. Spatial correlation and spatial effect of cultivated land use ecological efficiency in the Dongting Lake Plain [J]. *Geographical Sciences*, 2022, 42(6): 1102-1112.
- [15] 臧俊梅, 唐春云, 王秋香, 等. 基于 Super-SBM 模型的广东省耕地利用效率空间非均衡性及影响因素研究[J]. *中国土地科学*, 2021, 35(10): 64-74.
- Zang Junmei, Tang Chunyun, Wang Qiuxiang, et al. Research on spatial imbalance and influencing factors of cultivated land use efficiency in Guangdong Province based on super-SBM model [J]. *China Land Science*, 2021, 35(10): 64-74.
- [16] 封永刚, 彭珏, 邓宗兵, 等. 面源污染、碳排放双重视角下中国耕地利用效率的时空分异[J]. *中国人口·资源与环境*, 2015, 25(8): 18-25.
- Feng Yonggang, Peng Jue, Deng Zongbing, et al. Spatial-temporal variation of cultivated land's utilization efficiency in China based on the dual perspective of non-point source pollution and carbon emission [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2015, 25(8): 18-25.
- [17] Guan Jiancheng, Chen Kaihua. Measuring the innovation production process: Across-region empirical study of China's high-tech innovations [J]. *Technovation*, 2010, 30(5/6): 348-358.
- [18] Kao Chiang, Hwang Shiuh'nan. Multi-period efficiency and malmquist productivity index in two-stage production system [J]. *European Journal of Operational Research*, 2014, 232(3): 512-521.
- [19] Despotis D K, Sotiros D, Koronakos G. A net-work DEA approach for series multi-stage processes [J]. *Omega-International Journal of Management Science*, 2016, 61: 35-48.
- [20] 王玲玲, 王成军, 吕晓泓, 等. 外生环境因素对浙江省耕地利用效率的影响[J]. *江苏农业科学*, 2016, 44(1): 435-439.
- Wang Lingling, Wang Chengjun, Lv Xiaohong, et al. Effects of exogenous environmental factors of cultivated land use efficiency in Zhejiang Province [J]. *Jiangsu Agricultural Science*, 2016, 44(1): 435-439.
- [21] 余艳, 伍国勇. 基于灰色关联的安徽省耕地资源利用效率影响因素分析[J]. *江苏农业科学*, 2018, 46(3): 258-262.
- Yu Yan, Wu Guoyong. Analysis of factors influencing the use efficiency of cultivated land resources in Anhui Province based on grey correlation [J]. *Jiangsu Agricultural Science*, 2018, 46(3): 258-262.
- [22] 徐秋, 雷国平, 杨厚翔. 黑龙江省耕地利用效率时空差异及影响因素研究[J]. *中国农业资源与区划*, 2017, 38(12): 33-40.
- Xu Qiu, Lei Guoping, Yang Houxiang. Research on spatial-temporal difference and influencing factors of cultivated land use efficiency in Heilongjiang Province [J]. *China Agricultural Resources and Zoning*, 2017, 38(12): 33-40.
- [23] 柳可, 张安录. 耕地利用效率研究进展: 基于文献计量视角[J]. *资源科学*, 2023, 45(3): 494-511.
- Liu Ke, Zhang Anlu. Research progress and hotspots of cultivated land use efficiency in China and internationally: Based on a bibliometric analysis [J]. *Resource Science*, 2023, 45(3): 494-511.
- [24] 罗斯炫, 何可, 张俊飏. 改革开放以来中国农业全要素生产率再探讨: 基于生产要素质量与基础设施的视角[J]. *中国农村经济*, 2022, (2): 115-136.
- Luo Sixuan, He Ke, Zhang Junbiao. Re-exploration of total factor productivity of agriculture since China's reform and opening-up: The role of production factor quality and infrastructure [J]. *China Rural Economy*, 2022, (2): 115-136.
- [25] 徐祥. 中国粮食主产区农业生态效率评价、收敛性及影响因素研究[D]. 安徽 蚌埠: 安徽财经大学, 2020.
- Xu Xiang. Study on evaluation, convergence and influencing factors of agricultural ecoefficiency in major grain production areas of China [D]. Bengbu, Anhui: Anhui University of Finance and Economics, 2020.
- [26] 王朋岗, 王力, 朱贺, 等. 基于分类视角的中国陆地边境地区人口发展状况及其对策[J]. *西北人口*, 2020, 41(3): 69-78, 91.
- Wang Penggang, Wang Li, Zhu He, et al. Population development and countermeasures in China's land border areas based on the perspective of classification [J]. *Northwest Population*, 2020, 41(3): 69-78, 91.
- [27] 王良健, 李辉. 中国耕地利用效率及其影响因素的区域差异: 基于 281 个市的面板数据与随机前沿生产函数方法[J]. *地理研究*, 2014, 33(11): 1995-2004.
- Wang Liangjian, Li Hui. Cultivated land use efficiency and the regional characteristics of its influencing factors in China: By using a panel data of 281 prefectural cities and the stochastic frontier production function [J]. *Geographical Research*, 2014, 33(11): 1995-2004.
- [28] 张立新, 朱道林, 谢保鹏, 等. 中国粮食主产区耕地利用效率时空格局演变及影响因素: 基于 180 个地级市的实证研究[J]. *资源科学*, 2017, 39(4): 608-619.
- Zhang Lixin, Zhu Daolin, Xie Baopeng, et al. Spatio-temporal pattern evolvement and driving factors of cultivated land utilization efficiency of the major grain producing area in China [J]. *Resources Science*, 2017, 39(4): 608-619.
- [29] Kao Chiang. Dynamic data envelopment analysis: A relational analysis [J]. *European Journal of Operational Research*, 2013, 227(2): 325-330.
- [30] Witte K D, Geys B. Evaluating efficient public good provision: Theory and evidence from generalised conditional efficiency model for public libraries [J]. *Journal of Urban Economics*, 2011, 69(3): 319-327.