

doi: 10.7621/cjarrp.1005-9121.20221202

· 粮食安全 ·

冬小麦—夏玉米复种的生产效率及其时空分异*

陈宏伟¹, 穆月英^{1*}, 侯玲玲²

(1. 中国农业大学经济管理学院, 北京 100083; 2. 北京大学现代农学院, 北京 100871)

摘要 [目的] 提高粮食生产效率是保障国家粮食安全的重要任务, 对粮食生产中典型的冬小麦—夏玉米复种模式的生产效率进行分析, 可以精确把握粮食生产效率, 为粮食生产相关政策制定提供参考。[方法] 文章基于2007—2018年6省(市)面板数据, 运用SBM-DEA和Fare-Primont模型从静态和动态视角对冬小麦—夏玉米复种模式的技术效率和全要素生产率的空间分布和时序变动特征进行测算及比较。[结果] 冬小麦—夏玉米复种模式的平均技术效率和全要素生产率水平值分别为0.793和0.744; 机械投入、农药投入和水资源投入的平均冗余率较高, 分别为28.693%、26.670%和21.578%。剩余混合效率即投入产出混合比例优化是造成冬小麦—夏玉米全要素生产率地区差异的主要原因; 冬小麦—夏玉米复种模式的全要素生产率波动中小幅上升, 技术进步、技术效率和剩余混合效率是主要影响因素。[结论] 冬小麦—夏玉米复种模式的低生产效率客观存在, 应通过生产资料的科学合理投入, 加快科技创新推广, 推动粮食生产适度规模经营等方式来推动粮食高质量发展。

关键词 复种模式 技术效率 全要素生产率 时空分异 Fare-Primont模型

中图分类号: F326.11 **文献标识码**: A **文章编号**: 1005-9121[2022]12-0009-09

0 引言

在粮食安全的战略目标引领下我国粮食生产快速发展,《全国粮食生产发展规划(2006—2020年)》实施以来,粮食产量已经实现十二连增,连续5年稳定在0.65万亿kg(1.3万亿斤)以上,为国家粮食安全和经济发展做出了重大贡献。与此同时,粮食主产区农药和化肥长期过量使用给生态环境造成了巨大压力,农村劳动力大量非农转移造成粮食生产劳动力严重短缺。因此,过度依赖要素投入来提高粮食生产能力不可持续,而应该注重提高粮食生产效率。多年来粮食全要素生产率(TFP)分析框架主要应用于测算和分解粮食全要素生产率^[1-4],分析粮食全要素生产率的影响因素^[5-6],而较少有文献考察粮食种植模式下TFP的变化。事实上,粮食经营主体以周年种植模式为生产的基本单元,对单茬作物的生产效率测度不符合生产实际^[7]。因此,准确测定我国北方地区冬小麦—夏玉米种植模式的生产效率,对于进一步优化粮食生产要素配置效率,确保国家粮食安全具有重要意义。

对于种植模式的研究主要围绕两个方面,一是种植模式的成本效益评价。林正雨等^[8]分析了12种粮经种植模式,得出三熟制全要素生产率衰退速度慢于两熟制,冬小麦—夏玉米衰退最小。周海波等^[9]认为绿肥—稻—稻种植模式相较传统的冬闲—稻—稻种植模式和一季稻种植模式具有更好的经济和生态效益。还有学者分析了冬小麦—夏玉米种植模式的灌溉需水量及碳足迹的变化^[10,11]。二是种植模式结构及模式选择的影响因素。既有研究得出我国粮食生产布局发生较大改变,长江流域、南方稻区双改单现象严重^[12,13],双季稻产投比、利润率均低于单季稻^[14]。影响南方稻区种植户单季—双季水稻种植决策的因素包括气候变化^[15],地块特征^[16,17],资产专用性^[18,19],比较收益^[20]等。

收稿日期: 2021-09-03

作者简介: 陈宏伟(1994—),男,安徽亳州人,博士生。研究方向: 农业经济理论与政策

*通讯作者: 穆月英(1963—),女,山西大同人,博士、教授。研究方向: 农业经济理论与政策。Email: yueyingmu@cau.edu.cn

*资助项目: 国家社会科学基金重大项目“我国粮食生产的水资源时空匹配及优化路径研究”(18ZDA074)

关于粮食种植模式和全要素生产率的研究均取得了一定的成果，但在两者结合上仍存在不足。首先，对粮食全要素生产率的研究集中在考察单个粮食品种或粮食整体，较少按照种植模式划分；其次，Malmquist等方法得到的是全要素生产率的变化，不能直接比较同一时期不同决策单元之间的生产率水平，不满足乘积完备性和传递性，而Fare-Primont模型通过对TFP进行彻底分解，能够测度各决策单元的TFP水平值，进行纵向和横向比较分析^[21,22]。文章以北京、天津、河北、山西、山东和河南6省（市）粮食生产的冬小麦—夏玉米复种模式为例，基于2007—2018年省级面板数据，运用SBM-DEA模型和Fare-Primont模型分别从静态和动态视角对冬小麦—夏玉米复种模式的综合技术效率和全要素生产率的空间分布和时序变动效应进行评价，以期对粮食生产相关政策制定提供参考。

1 研究思路与模型构建

1.1 研究思路

基于全要素生产率分析框架，本文将粮食周年种植模式的增效机制总结为图1，从单个作物和种植模式两个层面进行对比分析。种植制度是根据当地生产条件和作物的生态适应性所确定的作物种植结构和顺序，包括轮作、间作、套作、连作等。该文研究的周年种植模式是指为了保护地力，在同一地块上轮换种植不同作物的轮作方式，轮作的作物种类是农作制度长期演变的结果，受自然和经济条件等因素的制约，典型的两熟制粮食种植模式如小麦—玉米轮作、小麦—水稻轮作等，下面以两熟制轮作为例进行分析。

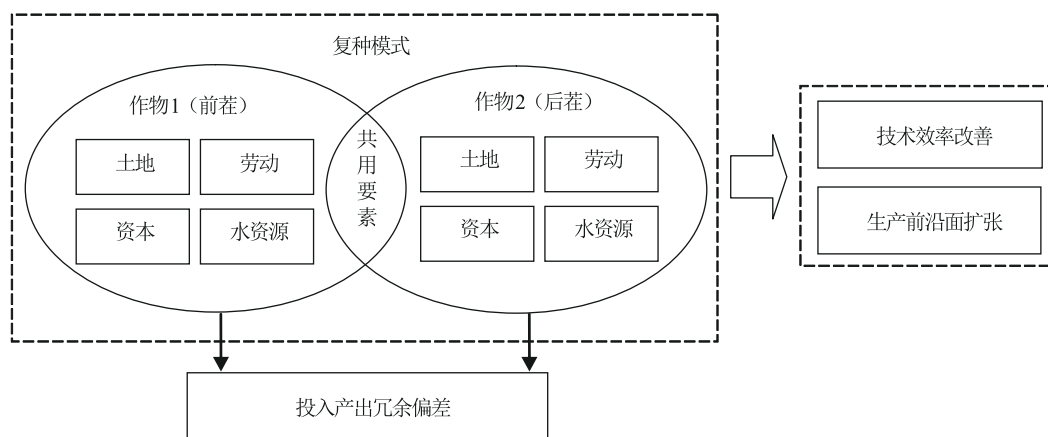


图1 周年复种模式的增效机制

生产效率在成本收益层面体现为剔除物质投入后的全要素生产率，种植模式生产效率的提升包括技术效率改善和前沿面扩张两个层面，前者源于合理使用生产投入要素对要素组合的优化配置，后者则是技术进步带来的生产前沿面推进^[23]。在一年两熟的轮作区域内，前茬和后茬共同构成一个生产系统，经营主体的投入产出决策以周年为单元，统筹进行田间管理，而不是按单茬或作物品种进行核算；同时，受生产条件、种植习惯的影响，周年种植模式普遍存在要素配置不合理、资源浪费的现象。作为周年生产的前茬，大量生产资料、劳动力等作为基础性投入用于前期土地整理、秸秆还田、施肥、灌水等，而后茬则一部分依靠雨水及前茬化肥后效，所需生产要素投入相对较少。由于两茬作物间存在部分共用要素，分别测算生产效率会造成较大的投入产出偏差，即将其简单归为前茬所耗费的生产要素投入易造成前茬生产效率的低估、后茬生产效率的高估。因此，将前、后茬作为同一种种植模式进行整体分析，能够更为精确地测算生产效率，与包含共用要素的前茬相比，种植模式在空间分布上表现为生产要素的组合更为合理，在时间变动上表现为技术进步，即技术效率的改善与生产前沿面扩张。

1.2 模型构建

1.2.1 SBM-DEA 模型

Tone^[24]提出基于松弛量测算技术效率的SBM-DEA模型,能够解决DEA-BCC和DEA-CCR模型中的松弛性以及径向选择偏差问题。第 t 期第 i 个DMU,利用SBM-DEA模型衡量技术效率的目标函数可表示为:

$$\min \rho = \frac{1 - \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M s_m^x / x_{im}}{1 + \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K s_k^y / y_{ik}} \quad (1)$$

$$s.t. \begin{cases} \sum_{n=1}^N \lambda_n^t x_{nm}^t + s_m^x = x_{im}^t, \quad \forall m \\ \sum_{n=1}^N \lambda_n^t y_{nk}^t + s_k^y = y_{ik}^t, \quad \forall k \\ \lambda_n^t \geq 0, \quad s_m^x \geq 0, \quad s_k^y \geq 0 \end{cases} \quad (2)$$

式(1)(2)中, ρ 表示效率值, N 、 M 分别表示投入、产出个数, x 、 y 分别表示投入、产出向量, s 表示松弛量, λ 表示权重值,当 $\rho=1$ 时,决策单元处于生产前沿面上,不存在投入产出不足和冗余;当 $\rho < 1$ 时,需要调整投入产出比例和结构以减小效率损失。

1.2.2 Fare-Primont 模型

农业生产效率根据生产要素投入和产出进行测算,SBM-DEA模型假定在技术水平一定的条件下测算生产效率,而全要素生产率将技术的变化考虑进来,用产出的增长率减去所有投入要素的增长率表示,即除了生产要素投入能够带来产出增加以外,科技投入、技术水平等的提升同样会提高产出,技术进步可以根据全要素生产率分解得到,体现科技投入以及生产前沿面的改变。Fare-Primont模型将全要素生产率定义为总投入和总产出之比^[25],即第 i 个决策单元在 t 时期的全要素生产率定义为:

$$TFP_{it} = \frac{Q_{it}}{X_{it}} = \frac{Q(q_{it})}{X(x_{it})} \quad (3)$$

式(3)中, $Q(\cdot)$ 和 $X(\cdot)$ 分别表示加总投入和加总产出,为非负、非递减的线性齐次加总函数, x_{it} 、 q_{it} 分别表示 t 年第 i 个决策单元(DMU _{i})的投入和产出向量,用 t_0 期投入及产出向量不变的距离函数定义加总函数 $Q(\cdot)$ 和 $X(\cdot)$ 为:

$$Q(q_{it}) = D_0(x_0, q_{it}, t_0) \quad (4)$$

$$X(x_{it}) = D_1(x_{it}, q_0, t_0) \quad (5)$$

用 t 年 i 决策单元的实际农业 TFP_{it} 与 t 年可行技术条件下最大农业 TFP_{it}^* 的比值表示 t 年 i 决策单元的农业全要素生产率效率 $TFPE_{it}$ 为:

$$TFPE_{it} = \frac{TFP_{it}}{TFP_{it}^*} = \frac{Q_{it}/X_{it}}{Q_{it}^*/X_{it}^*} = \frac{Q_{it}/X_{it}}{\bar{Q}_{it}/\bar{X}_{it}} * \frac{\bar{Q}_{it}/\bar{X}_{it}}{Q_{it}^*/X_{it}^*} \quad (6)$$

$$= OTE_{it} * OSE_{it} * RME_{it}$$

式(6)中, OTE_{it} 表示技术效率, OSE_{it} 表示规模效率, RME_{it} 表示剩余混合效率。 Q_{it}^* 和 X_{it}^* 为最大TFP值下的农业总产出和总投入, \bar{Q}_{it} 为投入产出组合不变时的最大加总产出; \bar{Q}_{it} 和 \bar{X}_{it} 为产出组合不变且TFP达到最大时的加总产出和加总投入。

因此,衡量决策单元 i 在 t 时期和决策单元 h 在 s 时期生产率变化的Fare-Primont指数可以表示为:

$$TFP_{hs, it} = \frac{TFP_{it}}{TFP_{hs}} = \frac{Q_{it}/X_{it}}{Q_{hs}/X_{hs}} = \frac{Q_{hs, it}}{X_{hs, it}} = \frac{D_0(x_0, q_{it}, t_0)}{D_0(x_0, q_{hs}, t_0)} * \frac{D_1(x_{hs}, q_0, t_0)}{D_1(x_{it}, q_0, t_0)} \quad (7)$$

$$= \Delta TFP^* * \Delta OTE * \Delta OSE * \Delta RME$$

式(7)中, $D_0(x, q, t)$ 和 $D_1(x, q, t)$ 分别表示产出导向和投入导向距离函数,Fare-Primont指数可以进一步分解为技术进步指数 ΔTFP^* 、技术效率指数 ΔOTE 、规模效率指数 ΔOSE 以及剩余混合效率指数 ΔRME 。

2 数据来源与指标选取

2.1 数据来源

选取冬小麦—夏玉米种植模式主要分布地区进行考察,包括北京市、天津市、河北省、山东省、河南省和山西省等6省市。鉴于2007年以后的农林牧渔业产值数据依据第三次全国农业普查结果进行了调整,因此,该文选取2008年—2019年各地统计年鉴和《国民经济和社会发展统计公报》的相关数据进行分析。冬小麦—夏玉米一年两熟的种植模式主要分布在长城以南、长江以北的广大区域,气候和光热条件适宜冬季小麦和夏季玉米生长。冬小麦一般为10月初播种,于第2年的5月下旬到6月初成熟,夏玉米在冬小麦收获后播种,9月底收获。2018年北京市、天津市、河北省、山东省、河南省和山西省6省(市)冬小麦、玉米播种面积分别占全国冬小麦、玉米总播种面积的56.34%和31.49%^①。

2.2 指标选取

该文从成本收益的角度选定评价指标,借鉴胡迪等^[26]、赵丽平等^[27]的方法,冬小麦—夏玉米种植模式的生产投入要素包括土地、劳动力和资本3个层面,其中,资本投入包括机械、化肥、农药和水资源。由于无法获得粮食投入方面的宏观数据,运用广义权重系数法计算粮食生产要素投入量,各投入指标根据以下公式进行换算:(1)土地投入为冬小麦、夏玉米播种面积,(2)种粮劳动力投入=第一产业从业人员 \times (冬小麦、夏玉米种植面积/农作物总播种面积) \times (农业产值/农林牧渔业产值),(3)机械投入、化肥投入、农药投入和水资源投入均依据比例系数:冬小麦、夏玉米播种面积/农作物总播种面积进行换算。产出指标为各省(市)冬小麦、夏玉米年产量。指标说明如表1所示。

表1 各省(市)冬小麦和夏玉米生产投入产出指标说明

	指标	指标说明	单位
投入	土地投入	各省(市)冬小麦、夏玉米播种面积	千hm ²
	劳动力投入	各省(市)第一产业从业人员数 \times (冬小麦、夏玉米播种面积/农作物总播种面积) \times (农业产值/农林牧渔业产值)	万人
	机械投入	各省(市)农业机械总动力 \times (冬小麦、夏玉米播种面积/农作物总播种面积)	万kW
	化肥投入	各省(市)农用化肥施用量 \times (冬小麦、夏玉米播种面积/农作物总播种面积)	万t
	农药投入	各省(市)农药使用量 \times (冬小麦、夏玉米播种面积/农作物总播种面积)	万t
	水资源投入	各省(市)有效灌溉面积 \times (冬小麦、夏玉米播种面积/农作物总播种面积)	千hm ²
	产出	粮食产出	各省(市)冬小麦、夏玉米产量

3 结果分析

运用SBM-DEA模型从静态角度测算2007—2018年6省(市)的冬小麦—夏玉米生产的技术效率及投入产出冗余特征,进一步运用Fare-Primont模型动态分析全要素生产率的时空变动。

3.1 冬小麦—夏玉米技术效率总体特征

选取投入导向型规模可变的SBM-DEA模型分析2007—2018年冬小麦—夏玉米生产技术效率及投入产出冗余特征。为使得冬小麦、夏玉米以及冬小麦—夏玉米三者之间的技术效率具备可比性,将同一地区的不同品种均设为不同的DMU决策单元,使其处于同一技术前沿面之内,结果见表2。可以看出,夏玉米的平均技术效率为0.824,远高于冬小麦的0.744,其中,河南省、河北省和山东省冬小麦生产的技术效率较高,山东省、山西省和河南省夏玉米生产的技术效率高于平均值。将技术效率进一步分解为纯技术效率和规模效率,可以看出,河北省、山东省和河南省冬小麦生产的规模效率均为1,河北省、山东省、

^①数据来源:2019年各省(市)统计年鉴

河南省和山西省夏玉米生产的规模效率均为 1, 即按比例投入生产要素仅能够带来等额的产出增加, 表明上述省份通过追加生产要素投入以提高生产效率的空间较小, 仅能通过技术进步提高生产效率^[8], 而北京市冬小麦生产的纯技术效率大于规模效率, 仍处于规模报酬递增的生产阶段。

而将冬小麦—夏玉米作为同一种植模式进行考察, 得到 6 省(市)冬小麦—夏玉米种植模式的平均综合技术效率为 0.793, 高于冬小麦技术效率均值, 低于夏玉米技术效率均值, 表明仍存在效率损失, 生产点离前沿面有一定距离, 即在现有技术水平下, 其投入产出有进一步改进的空间。其中, 河南省、山东省和山西省的综合技术效率值高于平均水平, 表明能够利用现有的技术条件对其生产要素进行较为有效配置。从效率分解来看, 各省(市)规模效率均高于纯技术效率, 规模报酬递减, 但规模效率均小于 1, 表明仍需适度扩大生产规模, 同时辅以技术进步来提高冬小麦—夏玉米种植模式的技术效率。因此, 与分品种测算结果对比可以得出, 从种植模式视角考察技术效率与现实更为相符。

表 2 2007—2018 年 6 省(市)冬小麦、夏玉米技术效率分解及投入产出冗余

品种	省(市)	技术效率分解			冗余率(%)						
		综合技术效率	纯技术效率	规模效率	土地投入	劳动力投入	机械投入	化肥投入	农药投入	水资源投入	粮食产出
冬小麦	北京	0.607	0.874	0.706	11.860	2.147	13.812	9.485	19.529	18.473	0.607
	天津	0.722	0.788	0.916	10.818	13.332	34.510	28.584	27.754	12.380	0.722
	河北	0.810	0.813	0.997	12.333	9.626	38.423	0.627	19.239	32.141	0.810
	山西	0.605	0.622	0.972	41.429	43.654	46.840	18.727	36.562	39.608	0.605
	山东	0.800	0.800	0.999	9.517	8.928	34.367	2.004	41.860	23.110	0.800
	河南	0.919	0.920	0.999	6.829	12.420	10.276	3.639	10.207	4.890	0.919
	平均值	0.744	0.803	0.931	15.464	15.018	29.705	10.511	25.859	21.767	0.744
夏玉米	北京	0.778	0.872	0.893	3.413	4.514	11.046	9.621	24.831	23.418	0.778
	天津	0.753	0.769	0.978	8.936	16.057	36.097	29.596	35.498	12.697	0.753
	河北	0.764	0.766	0.998	16.187	9.152	47.483	0.459	26.118	41.162	0.764
	山西	0.917	0.919	0.997	7.637	8.011	22.506	0.526	7.208	2.783	0.917
	山东	0.885	0.886	0.999	1.625	10.266	19.959	2.118	27.284	7.153	0.885
	河南	0.848	0.850	0.998	13.845	19.082	17.652	10.728	17.033	11.704	0.848
	平均值	0.824	0.844	0.977	8.607	11.180	25.790	8.841	22.995	16.486	0.824
冬小麦—夏玉米	北京	0.702	0.767	0.914	6.058	11.968	22.605	16.979	43.443	38.860	0.702
	天津	0.741	0.753	0.984	11.624	13.109	39.252	29.557	31.655	23.110	0.741
	河北	0.780	0.792	0.988	14.233	10.021	41.173	0.417	22.824	36.117	0.780
	山西	0.807	0.823	0.984	18.215	20.349	35.859	0.388	16.993	14.566	0.807
	山东	0.839	0.864	0.972	3.378	8.036	24.719	0.519	32.235	12.726	0.839
	河南	0.888	0.923	0.963	5.686	10.206	8.548	4.985	12.870	4.088	0.888
	平均值	0.793	0.820	0.968	9.866	12.282	28.693	8.808	26.670	21.578	0.793

投入产出冗余及改进分析。为了便于比较, 将投入产出冗余转化为百分比的形式, 即冗余率=冗余量/原投入量^[28]。分品种来看, 6 省(市)冬小麦和夏玉米的各项生产投入中, 机械投入、农药投入和水资源投入的冗余率均为最高, 其次是土地投入和劳动力投入, 化肥投入的冗余率最低。冬小麦和夏玉米生产中秸秆还田、农家肥和商品有机肥的施用均对化肥投入产生了替代作用, 减少了化肥的过量施用, 化肥投入冗余率较低。而由于有机肥的有效成分含量较低、施用量大, 因此相较于化肥需要更多的劳动力投入。山西省、天津市和河北省冬小麦的整体投入冗余率较高, 夏玉米生产的投入冗余率远低于冬小麦, 6 省(市)中仅天津市、河北省和河南省的夏玉米投入冗余相对较高, 这是由于, 在一年两熟轮作区内, 经营主体的生产决策周期一般为一年, 而不是按单季作物进行核算。冬小麦作为周年生产的前茬, 大

量生产资料作为基础性投入用于前期土地整理、增强土壤肥力等，测算结果也进一步验证了该文的研究思路。

因此，将冬小麦、夏玉米作为同一种植模式重新测算，得出整体平均投入冗余率相较于小麦显著下降，其中土地投入、劳动力投入和化肥投入冗余下降幅度明显，表明按小麦单茬计算高估了投入冗余率，将冬小麦和夏玉米作为同一种植模式测算投入产出冗余更为精确，冬小麦—夏玉米轮作的种植模式能够提高生产投入利用效率，促进光、温等农业气候资源的充分利用^[29]。而机械投入、农药投入和水资源投入的冗余率仍处于较高水平，分别为28.693%、26.670%和21.578%，这是由于我国农业灌溉方式仍较为落后，农业灌溉用水浪费现象严重。分地区来看，北京市、天津市和河北省的水资源投入明显过剩，地下水超采问题严重，已成为世界上面积最大的地下水漏斗区域，北京市、天津市和山东省农药投入冗余率远高于平均水平，天津市、河北省和山西省机械投入冗余率较高。因此，可以通过提高农业用水效率，多种形式的病虫害防治等措施以减少相应的冗余投入量，优化投入结构，在确保小麦和玉米总产量不变的前提下实现效率改进。

3.2 冬小麦—夏玉米全要素生产率的空间分布特征

由于SBM-DEA模型仅能对各决策单元的技术效率进行静态对比，无法对全要素生产率的历年变化趋势进行分解，因此，基于DPIN3.0S软件，进一步利用Fare-Primont模型测算了共前沿框架下的2007—2018年6省（市）冬小麦、夏玉米、冬小麦—夏玉米的年均全要素生产率（TFP）、年均全要素生产率前沿（TFP*）、年均技术效率（OTE）、年均规模效率（OSE）以及年均剩余混合效率（RME）等，如表3所示。

从空间分布来看，冬小麦和夏玉米全要素生产率（TFP）水平值均值分别为0.699和0.760，不同省（市）的变异系数差距较大，即地区间TFP存在显著差异且均处于较低水平，其中，河南省冬小麦、山东省夏玉米的全要素生产率最高，且技术效率水平等于1，表明在全要素生产率效率及技术进步上都取得了较好成绩。而山西省冬小麦和夏玉米的全要素生产率远低于平均水平，在技术进步以及效率改善方面仍处于劣势。从各分解项指标及其变异系数来看，规模效率（OSE）水平均较高且变异系数较小，冬小麦TFP的地区差异主要来自于技术效率（OTE），夏玉米TFP的地区差异主要来自于剩余混合效率（RME）。

从种植模式来看，冬小麦—夏玉米种植模式的全要素生产率水平值均值为0.744，介于冬小麦和夏玉米之间，其中，山东省和河南省的全要素

表3 2007—2018年6省（市）粮食全要素生产率指数均值及分解

品种	省(市)	全要素生产率 (TFP)	全要素生产率前沿 (TFP*)	技术效率 (OTE)	规模效率 (OSE)	剩余混合效率 (RME)	
冬小麦	北京	0.661	0.853	0.986	0.823	0.956	
	天津	0.702	0.853	0.996	0.945	0.875	
	河北	0.758	0.853	0.977	0.992	0.916	
	山西	0.493	0.853	0.695	0.977	0.850	
	山东	0.767	0.853	0.918	0.992	0.989	
	河南	0.810	0.853	0.999	1.000	0.951	
	平均值	0.699	0.853	0.928	0.955	0.923	
	变异系数	0.163	0.000	0.127	0.071	0.057	
	夏玉米	北京	0.796	0.853	0.983	0.994	0.956
		天津	0.731	0.853	0.987	0.992	0.875
河北		0.725	0.853	0.954	0.975	0.916	
山西		0.713	0.853	0.984	0.999	0.850	
山东		0.841	0.853	0.998	0.999	0.989	
河南		0.751	0.853	0.930	0.998	0.951	
平均值		0.760	0.853	0.973	0.993	0.923	
变异系数		0.065	0.000	0.026	0.009	0.057	
冬小麦—夏玉米		北京	0.763	0.853	0.952	0.985	0.956
		天津	0.720	0.853	0.996	0.968	0.875
	河北	0.738	0.853	0.991	0.955	0.916	
	山西	0.654	0.853	0.950	0.948	0.850	
	山东	0.802	0.853	1.000	0.952	0.989	
	河南	0.786	0.853	1.000	0.970	0.951	
	平均值	0.744	0.853	0.982	0.963	0.923	
	变异系数	0.072	0.000	0.024	0.014	0.057	

注：变异系数=样本标准差/样本均值

生产率水平值最接近技术可行条件下全要素生产率前沿 (TFP^{*}), 分别为 0.802 和 0.786, 山西省最低仅为 0.654。6 省 (市) 技术效率和规模效率均处在接近于 1 的较高水平且变异系数较小, 全要素生产率的地区差异主要来自于剩余混合效率, 即 6 省 (市) 在投入产出混合比例的优化上存在显著差异, 规模效率和技术效率对 TFP 地区差异的作用较小。

3.3 冬小麦—夏玉米全要素生产率的时间变动趋势

进一步分析 2007—2018 年冬小麦、夏玉米全要素生产率及各组成随时间的变动趋势, 如表 4 所示。结果显示, 2007—2018 年夏玉米的全要素生产率水平值显著高于冬小麦, 冬小麦 TFP 水平值由 2007 年的 0.648 增长到 2018 年的 0.737, 增长 13.735%, 夏玉米 TFP 维持正增长, 但增幅较小, 由 0.729 增长到 0.811, 增长 11.248%。从全要素生产率分解来看, 冬小麦全要素生产率增长主要来自于技术进步、技术效率和剩余混合效率, 玉米全要素生产率增长来自于技术进步和剩余混合效率。

从种植模式来看, 2007—2018 年冬小麦—夏玉米种植模式的全要素生产率整体呈波动上升趋势, 由 2007 年的 0.699 增长到 2018 年的 0.793, 其中, 2010—2011 年和 2015—2017 年增幅较大, 2009 年和 2014 年出现小幅下降。从各分解项来看, 全要素生产率前沿 (TFP^{*}) 与剩余混合效率逐年增长, 技术效率的波动幅度较大, 且与全要素生产率的变化步调基本一致, 即技术效率的阶段性损失, 削弱了技术进步与剩余混合效率对 TFP 的贡献, 而规模效率的变化相对平稳, 表明技术进步和投入产出混合比例优化是冬小麦—夏玉米种植模式全要素生产率增长的主要源泉, 技术效率的阶段性下降不利于 TFP 的提升。

表 4 2007—2018 年冬小麦、夏玉米全要素生产率及其构成变化

品种	指标	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
冬小麦	TFP	0.648	0.670	0.659	0.651	0.667	0.695	0.697	0.716	0.737	0.744	0.763	0.737
	TFP [*]	0.800	0.847	0.847	0.847	0.854	0.857	0.857	0.857	0.857	0.857	0.877	0.877
	OTE	0.921	0.930	0.908	0.886	0.905	0.935	0.925	0.940	0.943	0.952	0.951	0.945
	OSE	0.962	0.955	0.953	0.951	0.940	0.947	0.957	0.960	0.965	0.964	0.963	0.940
	RME	0.911	0.891	0.898	0.909	0.917	0.916	0.922	0.927	0.946	0.944	0.946	0.945
夏玉米	TFP	0.729	0.752	0.734	0.737	0.776	0.770	0.776	0.731	0.743	0.765	0.793	0.811
	TFP [*]	0.800	0.847	0.847	0.847	0.854	0.857	0.857	0.857	0.857	0.857	0.877	0.877
	OTE	1.000	0.999	0.970	0.966	0.994	0.986	0.985	0.935	0.934	0.957	0.962	0.983
	OSE	1.000	0.997	0.994	0.993	0.997	0.995	0.997	0.985	0.980	0.990	0.995	0.995
	RME	0.911	0.891	0.898	0.909	0.917	0.916	0.922	0.927	0.946	0.944	0.946	0.945
冬小麦—夏玉米	TFP	0.699	0.721	0.708	0.709	0.740	0.747	0.758	0.735	0.750	0.771	0.794	0.793
	TFP [*]	0.800	0.847	0.847	0.847	0.854	0.857	0.857	0.857	0.857	0.857	0.877	0.877
	OTE	0.989	0.994	0.960	0.953	0.987	0.991	0.986	0.967	0.972	0.992	0.995	0.994
	OSE	0.968	0.960	0.968	0.968	0.958	0.961	0.974	0.959	0.952	0.961	0.962	0.963
	RME	0.911	0.891	0.898	0.909	0.917	0.916	0.922	0.927	0.946	0.944	0.946	0.945

4 结论与启示

4.1 结论

该文基于北京、天津、河北、山西、山东和河南 6 省 (市) 2007—2018 年的面板数据, 运用 SBM-DEA 模型从静态视角测算了冬小麦—夏玉米种植模式的技术效率及冗余特征, 进一步运用 Fare-Primont 模型从动态层面考察了全要素生产率的空间分布和时序变动趋势, 主要研究结论概括如下。

(1) 冬小麦—夏玉米种植模式的平均技术效率和全要素生产率分别为 0.793 和 0.744。相较于测算单茬作物的技术效率和全要素生产率, 从周年生产的种植模式视角进行分析结果更为精确, 更符合经营主体的生产实际。

(2) 6省(市)冬小麦—夏玉米种植模式的规模效率均高于纯技术效率,且规模报酬递减,通过适度扩大生产规模,同时辅以技术进步来提高种植模式的技术效率;投入冗余特征上,冬小麦—夏玉米种植模式的机械投入、农药投入和水资源投入的冗余率较高,分别为28.693%、26.670%和21.578%。

(3) 空间分布方面,6省(市)冬小麦—夏玉米种植模式全要素生产率水平值由高到低依次为山东省、河南省、北京市、河北省、天津市和山西省,剩余混合效率即投入产出混合比例的优化是造成地区差异的主要原因;时序变动上,冬小麦—夏玉米种植模式的TFP在波动中小幅上升,技术进步和剩余混合效率的提升是冬小麦—夏玉米种植模式TFP增长的主要源泉,技术效率的阶段性下降不利于TFP的提升。

4.2 启示

(1) 提倡生产资料的科学合理投入。通过小麦晚播玉米晚收、高效节水灌溉、多种形式的病虫害防治等方式以提高粮食生产投入品的利用效率,减少不必要的冗余投入量,优化投入结构,在保证小麦和玉米产量的前提下实现效率改进。

(2) 加快科技创新推广,提升农业生产技术效率和全要素生产率水平。加大对农业科技研发和推广应用的资金投入,强化对农业技术推广机构的支持,提高技术推广服务覆盖率和普及力度,充分挖掘农业技术效率的潜力。

(3) 推动粮食适度规模经营。培育种粮大户、农民合作社等新型农业经营主体,通过土地流转、土地托管、订单农业等方式推动粮食适度规模经营。同时,在耕地细碎化程度较高的区域,推广粮食生产的社会化服务,从而提升规模效益。

参考文献

- [1] 张利国, 鲍丙飞. 我国粮食主产区粮食全要素生产率时空演变及驱动因素. 经济地理, 2016, 36(3): 147-152.
- [2] 李学林, 李隆伟, 董晓波, 等. 云南省粮食全要素生产率分解研究. 农业技术经济, 2019(10): 102-113.
- [3] 贾娟琪, 孙致陆, 李先德. 粮食价格支持政策提高了我国粮食全要素生产率吗?——以小麦最低收购价政策为例. 农村经济, 2019(1): 67-72.
- [4] 邓灿辉, 马巧云, 魏莉丽. 基于碳排放的河南省粮食绿色全要素生产率分析及对策建议. 中国农业资源与区划, 2019, 40(9): 12-19.
- [5] 卓乐, 曾福生. 农村基础设施对粮食全要素生产率的影响. 农业技术经济, 2018(11): 92-101.
- [6] 尹朝静, 李谷成, 葛静芳. 粮食安全: 气候变化与粮食生产率增长——基于HP滤波和序列DEA方法的实证分析. 资源科学, 2016, 38(4): 665-675.
- [7] 张心怡, 孟俊杰, 王静, 等. 基于DEA的中部平原农区粮食适度规模经营分析——以河南小麦—玉米轮作为例. 河南师范大学学报(自然科学版), 2020(1): 18-23.
- [8] 林正雨, 李晓, 杜兴端, 等. 成都平原粮经种植模式生产效率变动特征研究. 农业技术经济, 2015(3): 121-127.
- [9] 周海波, 付江凡, 王长松. 江西省双季稻田三熟制种植模式综合效益评价. 江苏农业科学, 2019, 47(4): 294-299.
- [10] 史磊刚, 陈阜, 孔凡磊, 等. 华北平原冬小麦—夏玉米种植模式碳足迹研究. 中国人口·资源与环境, 2011, 21(9): 93-98.
- [11] 魏童彤, 彭致功, 刘福胜, 等. 华北小麦—玉米轮作净灌溉需水量变化趋势——以大兴区为例. 灌溉排水学报, 2019, 38(9): 63-72.
- [12] 王全忠, 陈欢, 张倩, 等. 农户水稻“双改单”与收入增长: 来自农村社会化服务的视角. 中国人口·资源与环境, 2015, 25(3): 153-162.
- [13] 辛良杰, 李秀彬. 近年来我国南方双季稻区复种的变化及其政策启示. 自然资源学报, 2009, 24(1): 58-65.
- [14] 杨若璐, 于天一, 王婧, 等. 湖南水稻主产区农户熟制选择行为分析. 中国农业资源与区划, 2013, 34(5): 48-54.
- [15] 曹大宇, 陈昭玖, 蔡波. 气候变化对江西水稻种植模式的影响——基于鄱阳湖地区村级数据的实证分析. 生态经济, 2015, 31(11): 56-59.
- [16] 李鹏, 肖池伟, 封志明, 等. 鄱阳湖平原粮食主产区农户水稻熟制决策行为分析. 地理研究, 2015, 34(12): 2257-2267.
- [17] 罗观长, 陈风波, 王建军. 地块特征、农户差异与水稻种植模式选择——基于长江中下游地区样本分析. 农业现代化研究, 2017, 38(3): 437-444.
- [18] 杨万江, 王绎. 我国双季稻区复种变化及影响因素分析——基于10个水稻主产省的实证研究. 农村经济, 2013(11): 24-28.
- [19] 陈江华, 罗明忠. 资产专用性、不确定性与水稻种植模式选择. 华南农业大学学报(社会科学版), 2017, 16(5): 86-97.
- [20] 刘朝旭, 刘黎明, 彭倩. 南方双季稻区农户水稻种植模式的决策行为分析——基于湖南省长沙县农户调查的实证研究. 资源科学, 2012, 34(12): 2234-2241.
- [21] 郭萍, 余康, 黄玉. 中国农业全要素生产率地区差异的变动与分解——基于Fare-Primont生产率指数的研究. 经济地理, 2013, 33(2):

- 141-145.
- [22] 葛静芳,李谷成,尹朝静.我国农业全要素生产率核算与地区差距分解——基于 Fare-Primont 指数的分析.中国农业大学学报,2016,21(11):117-126.
- [23] 董莹,穆月英.农户环境友好型技术采纳的路径选择与增效机制实证.中国农村观察,2019(2):34-48.
- [24] Tone K. A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis. European Journal of Operational Research, 2001(3): 498-509.
- [25] O'donnell C J. Nonparametric estimates of the components of productivity and profitability change in US agriculture. American Journal of Agricultural Economics, 2012, 94(4): 873-890.
- [26] 胡迪,杨向阳,王舒娟.劳动力转移影响粮食生产技术效率的区域差异及门槛效应研究.农村经济,2019(2):47-53.
- [27] 赵丽平,侯德林,王雅鹏,等.城镇化对粮食生产环境技术效率影响研究.中国人口·资源与环境,2016,26(3):153-162.
- [28] 谭忠昕,郭翔宇.基于超效率DEA方法的中国粮食生产效率评价分析.农业现代化研究,2019,40(3):431-440.
- [29] 常清,王靖,余卫东,等.河南小麦—玉米轮作系统热量利用率时空分布.资源科学,2019,41(6):1176-1187.

STUDY ON THE PRODUCTION EFFICIENCY AND ITS SPATIAL-TEMPORAL VARIATION OF WINTER WHEAT AND SUMMER MAIZE MULTIPLE CROPPING *

Chen Hongwei¹, Mu Yueying^{1*}, Hou Lingling²

(1. College of Economics and Management, China Agricultural University, Beijing 100083, China;

2. School of Advanced Agricultural Sciences, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract To improve grain production efficiency is an important task to ensure national food security, and this research aims to analyze the production efficiency of the typical winter wheat and summer maize multiple cropping pattern in grain production, so as to accurately grasp the grain production efficiency and provide reference for the formulation of grain production related policies. Based on the panel data of 6 provinces (cities) from 2007 to 2018, this paper used SBM-DEA and Fare-Primont model to measure the spatial distribution and temporal variation trend of technical efficiency and total factor productivity of winter wheat and summer maize multiple cropping pattern from the static and dynamic perspectives. The results showed that the average technical efficiency and total factor productivity of winter wheat and summer maize multiple cropping pattern were 0.793 and 0.744, the average redundancy rate of machinery input, pesticide input and water resource input were 28.693%, 26.670% and 21.578%, respectively. Residual mix efficiency as the optimization of mixed proportion of input and output was the main reason for the regional difference of TFP in the winter wheat and summer maize multiple cropping pattern, the total factor productivity of winter wheat and summer maize multiple cropping pattern rose slightly in fluctuation, and technical progress, technical efficiency and residual mixed efficiency were the main influencing factors. It concludes that the low production efficiency of winter wheat and summer maize multiple cropping pattern objectively exists, so it should promote the development of high quality grain by scientific and reasonable input of means of production, accelerating the promotion of technological innovation, and promoting the moderate scale operation of grain production.

Keywords multiple cropping pattern; technical efficiency; total factor productivity; spatio-temporal variation; Fare-Primont model