

近20年淮河生态经济带粮食生产效率 时空变化与影响因素

刘传明¹, 范观宇^{1,2}, 毛广雄¹, 何品蓉¹

(1. 淮阴师范学院江苏高校哲学社会科学重点研究基地·淮河生态经济带研究院, 淮安 223300;

2. 江苏师范大学地理测绘与城乡规划学院, 徐州 221116)

摘要: 提升主产区粮食生产效率是提高粮食产量、保障粮食安全和生态安全的重要途径,也是学者、政府及农户关注的焦点。选择中国典型的粮食主产区淮河生态经济带为研究区域,构建了包括农户直接投入和政府间接投入的指标体系,借助非径向超效率模型测算了2000—2020年研究区28个地级市的粮食生产效率,并利用地理探测器分析了粮食生产效率空间差异的影响因素。结果显示:研究区域平均生产效率值在1.0附近波动,具有较大提升空间;各地之间的生产效率差距较大,但近20年呈现收敛态势;生产效率变化具有多样性,可分成7大类和11个小类;同级生产效率的地区集聚连片分布,且总体空间格局保持相对稳定;生产效率空间差异是多种因素共同作用的结果。年日照时间、人口密度和农业现代化程度是驱动空间差异的基础影响因子,其他因素解释力大小不等且存在年际变化。

关键词: 粮食生产效率;时空差异;影响因素;非径向超效率模型;地理探测器;淮河生态经济带

保障粮食安全对于中国乃至全球可持续发展都具有至关重要的作用。“十八大”以来,中央确立了“以我为主、立足国内、确保产能、适度进口、科技支撑”的国家粮食安全新战略,深入推进“藏粮于地、藏粮于技”,把提高农业综合生产能力放在更加突出的位置,实现了粮食产量连续7年稳定在1.3万亿斤以上和连续18年丰收,国家粮食安全取得了显著成就。但与此同时,也付出了较高的资源环境 and 经济成本代价。前者主要表现为地下水超采、农药化肥过量施用、土壤肥力下降、边际土地开发等,后者主要表现为农资、劳动力等生产要素投入成本的持续上升^[1]。从而加剧了粮食安全与生态安全之间的矛盾,这一矛盾在粮食主产区表现更加突出^[2]。为此,有学者建议强化粮食主产区农业生产现代要素投入与政策扶植,构建粮食生产—耕地休耕空间转换弹性机制^[2]。另一方面,粮食生产固然与要素投入密不可分,但粮食增产纯粹依赖增加要素投入的空间越来越小,必须转向优化要素投入配置和科技进步以提高粮食生产效率上来^[3]。而主产区粮食生产效率的提高,将是落实“以我为主、立足国内、确保产能”国家粮食安全战略的根本途径^[3]。因此,研究主产区粮食生产效率对于提高粮食产量、降低生产成本、保障国家粮食和生态安全都具有重要意义。

而事实上,粮食生产效率也一直是近年来学者研究的热点问题。据中国知网 (<https://www.cnki.net/>):

收稿日期: 2022-07-22; 修订日期: 2022-08-10

基金项目: 教育部人文社会科学基金青年项目 (12YJCZH127); 江苏省社会科学基金项目 (18EYB008)

作者简介: 刘传明 (1979-), 男, 山东菏泽人, 博士, 副教授, 主要从事区域发展与城乡规划研究。

E-mail: Lcmdoc518@126.com

通讯作者: 毛广雄 (1975-), 男, 江苏涟水人, 博士, 教授, 硕士生导师, 主要从事产业与区域发展研究。

E-mail: Gxmao123@126.com

//www.cnki.net/)检索,自2015年以来以“粮食生产效率”为主题的公开研究成果每年都在40篇以上,个别年份更是达到60篇。在研究内容上,主要涉及粮食生产效率测算、时空演变、空间效应^[4]、影响因素识别、特定因素(比如,生产性服务业^[5]、农户兼业^[6]、农旅融合^[7]、农田水利投资^[8]、土地流转^[9,10]、耕地撂荒^[11]、城镇化^[12]、劳动力转移^[13]、土地利用变化^[14])对粮食生产效率的影响、粮食生产效率提升对策、粮食生产效率与经济发展关系^[15]、与耕地质量关系^[16]等方面。无一例外,粮食生产效率的测算都是重要研究内容和分析基础,测算对象包括粮食生产(全要素^[17,18]、环境^[19]、用水^[20]等)技术效率、生态效率^[21,22]、绿色生产效率^[17,23]等。测算方法主要包括以数据包络分析(DEA)及其各类模型为代表的非参数法和以随机前沿生产函数(SFA)为代表的参数法^[24]。研究尺度包括全国、省域、典型区域(黄淮海平原、江汉平原等)、市域等。研究结果总体显示,全国及各地粮食生产效率整体呈现波动上升态势且区域差异性明显,影响粮食生产效率的主要因素有农业投入要素和社会因素两大方面,前者包括劳动力、土地、化肥农药等物质和农业科技等,后者主要包括社会资本、城镇化、财政支持等方面^[25]。但在影响因素对粮食生产效率的作用效果上,研究结论不尽相同。比如,关于劳动力流动的影响,有学者认为劳动力非农化转移有利于粮食规模化生产和专业化经营,从而提高粮食生产效率^[26];也有学者认为劳动力转移直接削弱了从事粮食生产的劳动力数量和质量,阻碍了粮食生产效率的提高^[27]。综合现有研究成果发现,粮食生产效率研究日益受到政府和学界重视,取得了丰硕研究成果,形成了一些共识,但还存在以下主要不足:一是在选择粮食生产投入指标时,多是聚焦于农户角度的直接要素投入(如化肥等生产资料、土地、劳动力等要素)^[28-30],忽略了政府对粮食生产的公共投资;二是在影响因素研究上,聚焦于影响粮食生产效率的因素^[31],尚无解释粮食生产效率空间差异影响因素的研究成果;三是实证研究多是对全国^[28,30,32,33]或单个省域^[29]层面的考察,部分涉及到华北地区^[31]、长三角地区^[34]、江汉平原^[35]、长江中下游^[36]等区域,个别学者研究了哈萨克斯坦粮食生产效率^[37],总体上对中国典型粮食主产区研究相对不足。

淮河生态经济带地处中国南北过渡带,横跨东部沿海和中部内陆,水土气热等粮食生产条件优越,小麦、玉米、水稻等主粮生产齐全,农业面源污染较为严重,同时面临着经济发展、生态保护和粮食安全的“三重”压力,在中国粮食主产区中具有明显的典型性。另外,其所涉及的苏鲁豫皖鄂五省粮食产量一直保持在全国产量的1/3左右。其中,2020年该区域内28市以全国11.5%的耕地贡献了全国近20%的粮食,接近同年全国粮食进口总量(1.42亿t)。粮食播种单产也维持在全国平均水平10个百分点以上。所以,淮河生态经济带不仅是中国典型的还是重要的粮食主产区之一。鉴于以上研究不足和淮河生态经济带的典型性和重要性,本文以淮河生态经济带为研究区域,尝试把政府对粮食生产的公共投资一并纳入投入要素,更加全面地测算近20年的粮食生产效率变化,并引入地理探测器模型分析粮食生产效率空间差异形成的影响因素。通过研究,期望为提高粮食主产区生产效率,增加粮食产能,更好地保障国家粮食安全提供依据参考。

1 研究方法 with 数据来源

1.1 研究区概况

按照2018年国务院发布的《淮河生态经济带发展规划》(简称“《规划》”),淮河生态经济带规划范围主要是以淮河干流、一级支流以及沂沭泗水系统流经地区,包括

(个); s_i^- 和 s_r^+ 分别为投入和产出的松弛变量; α_j 为权重向量; x 、 y 分别为投入和产出变量; i 、 r 分别为投入和产出变量序号; k 、 j 分别为决策单元序号。

借鉴参考文献^[3]标准,把生产效率进行分级(表2)。

1.2.2 地理探测器

地理探测器是探测事物或现象的地理空间分异性,并揭示背后驱动因子的一种新的统计学方法,具体包括四种探测器,目前在不同领域已得到广泛应用^[41]。本文选用其中的因子探测和交互探测,且因子探测模型为:

$$q = 1 - \frac{\sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2}{N \sigma^2} \tag{3}$$

式中: q 表示自变量 X 对 y 的解释力, $0 \leq q \leq 1$, q 值越大,自变量 X 对因变量 y 的解释力越强; h 为变量所属分类; L 为变量的分类数(个); N_h 表示类 h 的样本数(个); N 为样本数(个); σ_h^2 表示类 h 的 y 值方差; σ^2 为全样本 y 值方差。

本文中 y 为粮食生产效率,自变量(影响因素) X 包括年均气温($X1$)、年降水量($X2$)、年日照时间($X3$)、耕地面积占比($X4$)、城镇化率($X5$)、人均GDP($X6$)、农村居民人均纯收入($X7$)、人均耕地面积($X8$)、人口密度($X9$)、农业现代化指数($X10$)。其中, $X1$ 、 $X2$ 和 $X3$ 反映粮食生产的气候条件, $X4$ 反映区域适合粮食生产的地形地貌或经济发展条件, $X5$ 反映农村劳动力迁移和经济发展条件, $X6$ 反映区域经济发展及对农业的可能支持程度, $X7$ 反映农村经济发展水平及粮食生产可能对农民的吸引力大小, $X8$ 和 $X9$ 反映人地关系紧张程度及农业生产可能的集约化程度, $X10$ 反映农业生产方式的现代化程度(根据表3指标体系按照熵值法赋权,利用加权求和法计算得出)。因地理探测器模型要求自变量 X 为类型量,采用K-means聚类法确定 X 类型(并满足每一类至少有两个样本的要求)。分析工具采用王劲峰团队^[41]开发的GeoDetector。

1.3 数据来源

各市粮食生产投入产出指标和影响因素指标数据来源于各省市统计年鉴和各省农业或农村统计年鉴,未列入统计年鉴的部分指标(如年降水量、农业用水量等)数据来源于对应省份水资源公报,极个别缺失数据采用临近年份插值与相邻地区同一年份对照推算。全国层面基础数据来源于《中国统计年鉴》。本文分析时段为2000—2020年,典型年份为2000年、2005年、2010年、2015年和2020年。

表1 粮食生产效率评价指标体系

Table 1 Evaluation index systems of grain production efficiency

类型	指标	计算方法
投入	粮食生产化肥施用量 (I1)	化肥施用量 $\times\alpha$
	粮食生产机械总动力 (I2)	农业机械总动力 $\times\alpha$
	粮食生产用电量 (I3)	农村用电量 $\times\alpha$
	粮食生产农药使用量 (I4)	农药使用量 $\times\alpha$
	粮食生产柴油使用量 (I5)	农业柴油使用量 $\times\alpha$
	粮食生产地膜使用量 (I6)	农用地膜使用量 $\times\alpha$
	粮食生产灌溉用水量 (I7)	农业灌溉用水量 $\times\alpha$
	粮食播种面积 (I8)	粮食播种面积
	粮食生产劳动力数量 (I9)	农业从业人员数 $\times\alpha$
	粮食生产政府公共投入 (I10)	农林水事务支出 $\times\alpha\times\beta$
产出	粮食总产量 (O)	

注: α =粮食播种面积/农作物播种面积; β =农业总产值/农林牧渔总产值。

表2 粮食生产效率分级标准

Table 2 Classification standard of grain production efficiency

效率值 (θ)	DEA 有效性	效率分级
$\theta \geq 1.5$	有效	极高
$1.5 > \theta \geq 1.2$	有效	较高
$1.2 > \theta \geq 1.0$	有效	高
$1.0 > \theta \geq 0.7$	无效	低
$0.7 > \theta \geq 0.5$	无效	较低
$\theta < 0.5$	无效	极低

表3 农业现代化评价指标体系

Table 3 Evaluation index systems of agricultural modernization

指标	计算方法	权重
亩均化肥施用量	化肥施用量/农作物播种面积	0.147
亩均机械动力	农业机械总动力/农作物播种面积	0.061
亩均用电量	农村用电量/农作物播种面积	0.248
亩均农药使用量	农药使用量/农作物播种面积	0.224
亩均柴油使用量	农用柴油使用量/农作物播种面积	0.093
亩均地膜使用量	农用地膜使用量/农作物播种面积	0.111
有效灌溉比	有效灌溉面积/农作物播种面积	0.045
农业劳动力人均播种面积	农作物播种面积/农业从业人数	0.072

2 结果分析

2.1 粮食生产效率时空差异与变化趋势

2.1.1 区域平均效率尚可且稳定,提升空间较大

由表4可见,2000年—2015年间4个主要年份,淮河生态经济带粮食生产效率平均值一直略高于1,为DEA有效,生产效率为高水平。2020年粮食生产效率平均值为0.992,略低于1,为DEA无效,生产效率转向低水平。20年间效率平均值虽然呈现先升后降的变化趋势,但变化幅度很小,最高值为2005年的1.059,最低值为2020年的0.992,两者仅差0.067,因此可以说该区域粮食生产平均效率稳定。另外从效率平均值大小看,5个主要年份的效率值一直在0.9~1.1之间,距离生产效率较高等级($1.5 > \theta \geq 1.2$)差别较大。因此,该区域整体生产效率仍有较大提升空间。

2.1.2 各地生产效率差别较大,但呈现差距收敛态势

从各地粮食生产效率等级差异看(表2、表4),各年份效率等级都有极高到较低五个等级(2005年还存在临沂市为极低等级),可见各地生产效率等级差异很大。从效率值(θ)比较看,2000年极差最大,达到1.296,2020年极差最小,为0.98。而变异系数(CV)一直 > 0.2 ,说明2000—2020年各地粮食生产效率差别较大。

从分布动态看(图2),各年份淮河生态经济带粮食生产效率核密度均呈现“双峰”特征。其中,主峰高度不断下降,宽度不断拓展;次峰高度总体抬升(除2005年略有下降),峰顶宽度拓展且峰值中心线总体右移。另外,从核密度曲线延展性(横轴跨度)看,相较于2000年,2005—2020年各年份曲线延展性都有收敛趋势,尤其是2020年收敛程度更加明显。以上综合说明淮河生态经济带各地粮食生产效率差异呈逐步缩小态势,表4中主要年份的变异系数持续下降也能够佐证这一结论。

2.1.3 各地粮食生产效率变化趋势多样

首先,从2000年与2020年两个年份的DEA有效性对比看,粮食生产效率变化具有多样性。在分析的28个DMU中,有16个始终为DEA有效,平顶山和临沂两地始终为DEA无效,徐州、连云港、菏泽和六安4地由DEA无效变为有效,宿迁、济宁、滁州、蚌埠、宿州、南阳等6地由DEA有效变为无效。

其次,从五个主要年份生产效率变化过程与趋势看,同样表现出多样化特征。具体变化类型可分为7大类和11小类(表4)。其中:(1)持续上升型。有连云港和徐州两

表4 2000—2020年淮河生态经济带各市粮食生产效率

Table 4 Grain production efficiency of every DMU in the Huaihe Eco-Economic Belt from 2000 to 2020

DMU	效率值 (θ)					均值 排名	效率状态		变化趋势
	2000年	2005年	2010年	2015年	2020年		2000年	2020年	
徐州	0.541	0.596	0.642	0.768	1.016	27	较低	高	持续上升
连云港	0.599	0.651	0.722	1.000	1.013	24	较低	高	持续上升
宿迁	1.017	0.688	0.669	0.697	0.742	25	高	低	先降后升I
淮安	1.014	1.009	1.033	1.051	1.057	16	高	高	先降后升II
盐城	1.361	1.243	1.143	1.209	1.167	6	较高	高	降升降
泰州	1.039	1.089	1.070	1.149	1.072	12	高	高	升降升降
扬州	1.041	1.062	1.119	1.069	1.059	15	高	高	先升后降II
菏泽	0.645	0.650	1.009	1.004	1.025	22	较低	高	升降升II
济宁	1.006	1.022	1.009	1.001	0.666	19	高	较低	先升后降I
枣庄	1.146	1.130	1.106	1.090	1.078	10	高	高	持续下降
临沂	0.500	0.453	0.527	0.550	0.552	28	较低	较低	先降后升II
滁州	1.136	1.134	1.204	1.110	0.804	13	高	低	降升降
蚌埠	1.028	1.079	1.007	0.787	0.650	20	高	较低	先升后降I
宿州	1.028	1.112	1.018	0.691	0.647	21	高	较低	先升后降I
淮北	1.796	1.378	1.302	1.253	1.339	2	极高	较高	先降后升I
亳州	1.129	1.058	1.090	1.060	1.083	11	高	高	降升降升
淮南	1.157	1.165	1.312	1.113	1.001	8	高	高	先升后降I
阜阳	1.029	1.026	1.037	1.062	1.003	17	高	高	降升降
六安	0.805	1.007	1.000	1.020	1.029	18	低	高	升降升II
商丘	1.116	1.066	1.024	1.053	1.107	14	高	高	先降后升I
周口	1.316	1.082	1.159	1.129	1.196	7	较高	高	降升降升
漯河	1.233	1.629	1.772	1.718	1.532	1	较高	极高	先升后降II
平顶山	0.819	1.000	0.616	0.622	0.663	26	低	较低	升降升I
驻马店	1.128	1.222	1.238	1.319	1.220	5	高	较高	先升后降II
信阳	1.086	1.264	1.196	1.080	1.032	9	高	高	先升后降I
南阳	1.008	1.009	0.737	0.684	0.711	23	高	低	升降升I
随州	1.578	1.281	1.138	1.045	1.137	4	极高	高	先降后升I
孝感	1.197	1.551	1.260	1.235	1.177	3	高	高	先升后降I
平均值	1.054	1.059	1.041	1.020	0.992	—	高	低	先升后降
极大值	1.796	1.629	1.772	1.718	1.532	—	极高	极高	降升降
极小值	0.500	0.453	0.527	0.550	0.552	—	较低	较低	先降后升
CV值	0.263	0.247	0.244	0.234	0.230	—	—	—	持续下降

地，生产效率由较低效率持续上升到高效率，实现了DEA无效到有效的扭转。(2)持续下降型。只有山东枣庄一地，但仍保持高效率状态。(3)先降后升型。细分为两类，先降后升I型是指生产效率先下降后上升但最终升幅小于降幅，2020年效率值低于2000年效率值的变化类型，包括宿迁、淮北、商丘、随州等地；先降后升II型是指生产效率先下降后上升但最终升幅大于降幅、2020年效率值高于2000年效率值的变化类型，包括淮安和临沂两地。(4)先升后降型。细分为两类，先降后升I型是指生产效率先上升后下降

但升幅小于降幅、2020年效率值低于2000年效率值的变化类型,包括济宁、蚌埠、宿州、淮南、信阳和孝感等地;先升后降Ⅱ型是指生产效率先上升后下降但升幅大于降幅、2020年效率值高于2000年效率值的变化类型,包括扬州、漯河和驻马店。(5) 降升降型。包括盐城、滁州和阜阳3地,该类型DMU效率经过波动,最终效率值低于初始效率值。(6) 升降升型。同样分为两类,升降升Ⅰ型是指经过升降升波动,2020年效率值低于2000年效率值,包括平地山和南阳两地;先升后降Ⅱ型是指经过升降升波动,2020年效率值高于2000年效率值,包括菏泽和六安两地。(7) 波动频繁型。包括升降升降型(泰州)和降升降升型(周口)。

2.1.4 空间集聚性特征明显,但分布格局总体稳定

从粮食生产效率分布格局(图3)可见,DEA有效地区($\theta \geq 1$)和DEA无效地区($\theta < 1$)都相对集中连片分布。从不同级别粮食生产效率的空间分布看,较高和极高生产效率DMU($\theta \geq 1.2$)数量虽少,但主要集中分布在淮河生态经济带总体布局中“四轴”之一的京广铁路沿线发展轴的河南漯河、驻马店、信阳和湖北孝感市等地,2010年在安徽淮南和滁州也有集中部分,其他年份在盐城、淮北有零散分布,是形成“多点”格局的重要部分。低和较低生产效率DMU($\theta < 1$)主要集中在分布在淮河生态经济带北部淮海经济区的苏鲁皖部分地市,近10年在中西部内陆崛起区的平顶山和南阳也有小范围集中分布,另外内陆崛起区的六安、蚌埠和东部海江河湖联动区的滁州在不同年份也有零星分布。低和较低生产效率地区在2000年主要是临沂、连云港、徐州、菏泽连片地区;2005年连片地区成员增加宿迁;2010年连片分布变为临沂、徐州、宿迁以及平顶山和南阳两个连片地区;2015年主要分布在临沂、徐州、宿迁、宿州、蚌埠连片地区和南阳、平顶山连片地区;2020年则主要分布在鲁南(临沂和济宁)、苏北皖东北(宿迁、宿州、蚌埠和滁州)、豫西南(平顶山、南阳)三个连片地区。高生产效率DMU($1.2 > \theta \geq 1.0$)集中分布在内陆崛起区东部、淮海经济区西部和海江河湖联动区大部地区,面积最广,范围最大。由上可见,粮食生产效率空间分布格局虽有变化,但总体保持稳定,并且与淮河生态经济带发展规划中的“一带、三区、四轴、多点”总体布局具有较高的一致性,这也反映了粮食生产在该区域生态经济发展中具有重要地位。粮食生产不仅能保障粮食安全,为经济发展奠定坚实基础,而且能通过农业生态系统自身功能为保障生态安全提供强大动力。同时,粮食生产效率的提高还能带来非预期产出的降低(如农药、化肥的减量化使用降低农业面源污染),从而促进生态经济良性发展。

2.2 粮食生产效率空间差异的影响因素

根据地理探测器因子探测分析结果,绘制粮食生产效率空间差异影响因素 q 值变化折线图(图4),按照 q 值大小识别影响因素发现:

(1) 2000—2020年间年日照时间(X_3)、人口密度(X_9)、农业现代化程度(X_{10})一直是影响粮食生产效率空间差异的基础性因素。年日照时间是粮食作物长势、生长周

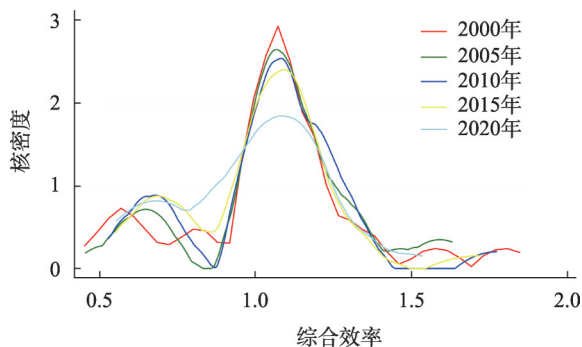


图2 淮河生态经济带粮食生产效率的分布动态

Fig. 2 Distribution dynamics of grain production efficiency in the Huaihe Eco-Economic Belt

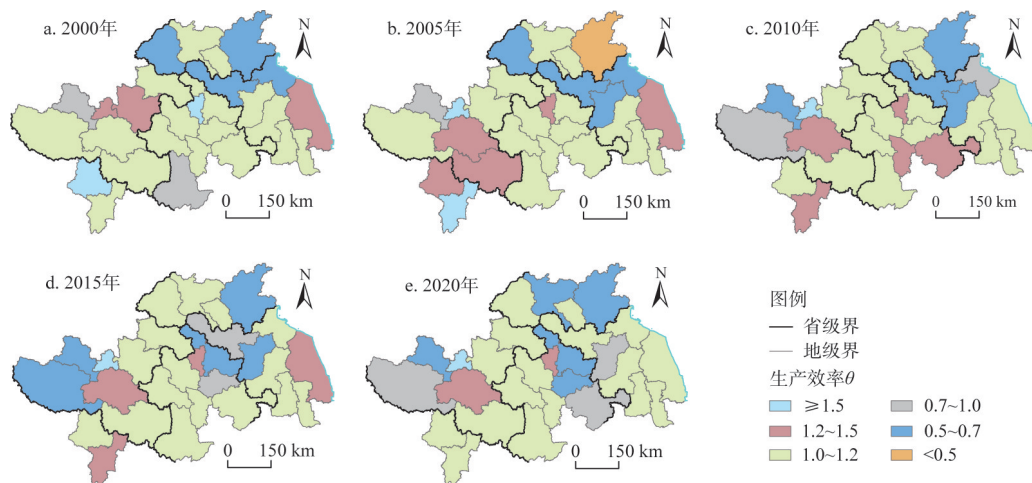
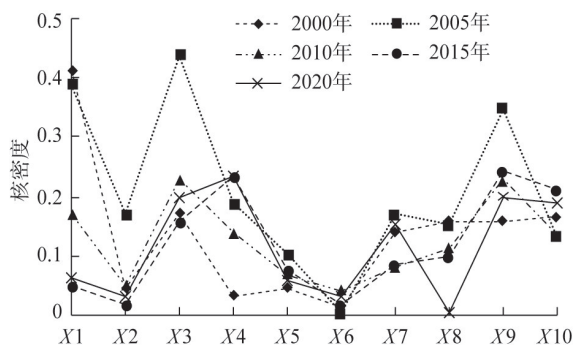


图3 淮河生态经济带粮食生产效率分布格局

Fig. 3 Distribution pattern of grain production efficiency in the Huaihe Eco-Economic Belt

期和产量的重要影响指标,受自然条件与人类活动的共同影响,与自然地理位置(地理维度)、天气条件(晴阴天数)、大气污染情况具有密切关系,具有自然的时空差异特征,一般对粮食生产效率产生正向影响,是生产效率空间差异的直接基础性自然因素。人口密度是反映人地关系和社会经济发展的综合性指标,是生产效率空间差异的间接基础性人文因素。因为:其一,对于外来人口多导致人口密度大的经济发达地区,粮食生产比较收益较低,农业劳动力投入少,粮食生产更多依靠技术进步,粮食生产要素投入配比更为合理,因此可以实现较高的生产效率;其二,对于本底人口密度大的地区,经济往往不够发达,农业劳动力充裕,粮食生产自然条件较为优越,精耕细作历史悠久,农业现代化水平不断提高,因此也能实现较好的生产效率。而本底人口密度低的地区,往往是粮食生产自然条件尤其是地形、降水和气温条件较差的地区,不适合大规模粮食生产,更多依靠劳动力、农药、化肥等生产要素的增加实现增产,生产要素投入冗余较多,要素配置比例不协调,因此粮食生产效率也难以提高。农业现代化程度是区域粮食现代化生产方式的集中反映,因自然条件、农业基础和经济支撑能力等多方面差异,各地农业现代化发展并不均衡。对比传统粮食生产方式而言,农业现代化是提高粮食生产效率的直接重要途径,也是粮食生产效率空间差异的直接基础性人文因素。

(2) 经济因素对生产效率空间差异影响较小。城镇化率(X_5)、人均GDP(X_6)和农村居民人均纯收入(X_7)三个经济因素的解釋力多数年份都是低于1%,只有2005年

图4 粮食生产效率空间差异影响因素的因子探测 q 值变化Fig. 4 Factor detection q value change of influencing factors of spatial differences in grain production efficiency

的城镇化率解释力大于10%,2005年和2020年的农村居民人均纯收入解释力大于15%。主要原因是这三个经济因素基本反映了各地的综合经济发展水平,虽然近20年各地经济都取得了长足发展,但在快速工业化城镇化和农民兼业发展背景下,农业对经济发展及粮食收入对农民收入的贡献都呈下降趋势,粮食生产效率的提高并不能明显改善农民收入和经济发展,经济发展与粮食生产效率之间并不存在显著的线性关系。另一方面,受发展基础和区位条件等因素影响,研究区域中的淮河上中下游的“V”型发展梯度差异格局始终没有发生根本变化^[38],与粮食生产效率的空间匹配度较低,故对粮食生产效率空间差异的解释力较小。

(3) 粮食生产效率空间差异主导影响因素的变化具有复杂性。一是不同年份空间差异的主导影响因素不尽相同。按照解释力大小排序的前三位主导因素,2000年是年均气温、年日照时间和农业现代化程度,2005年是年日照时间、年均气温和人口密度,2010年是年日照时间、人口密度和年均气温,2015年是人口密度、耕地面积占比和农业现代化程度,2020年是耕地面积占比、人口密度和年日照时间。这一方面反映了年日照时间等基础因素主导粮食生产效率空间差异的稳固性;另一方面也反映了人类活动(耕地面积变化)对粮食生产效率空间差异的影响越来越大。二是同一主导影响因素的解释力有明显变化。如年均气温因素($X1$)的解释力持续下降,由2000年的41.2%下降到2020年的6.5%,其对生产效率空间差异的影响越来越弱。这可能是由于年均气温的空间差异主要受海陆位置及地理维度的影响,而各地海陆位置和地理维度固定不变,虽然全球气候变暖带来了各地年均气温的整体上升,但各地之间的年均气温极差始终保持在2.0℃左右,那么近20年间研究区域年均气温的空间格局就基本没有发生变化,而各地粮食生产效率在其他因素影响下发生了不同程度的升降。因此,年均气温虽然仍是粮食生产效率的重要影响因素之一,但对粮食生产效率空间差异的解释力不断下降。再如,耕地面积占比因素($X4$)解释力则由2000年的3.5%上升到2020年的23.6%,这是因为耕地面积占比主要受地形高程条件和土地利用变化两方面的影响,前者虽然保持稳定但其是造成耕地面积占比空间差异的根本因素,后者在退耕还林还湖还草政策实施、休闲及设施农业和工业化城镇化发展等驱动下变化较为剧烈,造成了耕地面积占比空间格局的较大变化。而耕地面积占比变化较大的地区往往也是粮食生产效率变化较大的区域,且两者变化保持了相对一致性。还如,年降水量($X2$)因素在2005年解释力高达17.1%,其他年份则不足5%。一方面,说明在农业现代化程度不断提高尤其是农业灌溉条件不断改善的情况下,粮食生产对自然降水的依赖性降低,粮食生产的稳定性提高(连续18年丰收即佐证了该论点);另一方面,2005年降水在空间分布上存在极端不均匀情况,安徽淮河流域长时间高强度降雨造成严重洪涝^[42],直接降低了该区域粮食生产效率。结果提高了当年降水量与粮食生产效率空间分布的一致性,降水量对本年粮食生产效率空间差异的解释力也就有了明显提高。

根据地理探测器交互探测结果发现:各年份因子交互作用均为非线性加强或者双因子加强。其中,交互作用 $q \geq 0.7$ 的因子交互关系见表5,表中两因子交互作用对粮食生产效率空间差异的解释力均超过70%,远高于单个因子的解释力。由此可以判定,粮食生产效率空间差异是多种因素共同作用的结果。其中,各年份交互作用 $q \geq 0.7$ 的因子组中都有 $X3$ 因子存在,进一步验证了因子探测中得出的年日照时间($X3$)是生产效率空间差异的基础因子论断。另外,表5交互作用解释力明显加强的因子交互组合中,除 $X1$ 与 $X3$

表5 粮食生产效率空间差异影响因素的交互探测结果

Table 5 The interactive detection results of influencing factors of spatial differences in grain production efficiency	
年份	交互因子
2000	$X1 \cap X3$; $X3 \cap X5$
2005	$X1 \cap X3^*$; $X1 \cap X5$; $X1 \cap X7$; $X1 \cap X9^*$; $X2 \cap X7$; $X3 \cap X5$; $X3 \cap X9^*$; $X3 \cap X10$; $X5 \cap X9$; $X7 \cap X9$; $X7 \cap X10$
2010	$X3 \cap X4$; $X3 \cap X8$; $X7 \cap X9$
2015	$X3 \cap X7$; $X3 \cap X8$; $X8 \cap X10$
2020	$X3 \cap X7$

注：此表仅列出 $q(Xi \cap Xj) \geq 0.7$ 的交互因子。其中，右上标有*表示此组因子交互作用为双因子加强，即 $q(Xi \cap Xj) > \text{Max}[q(Xi), q(Xj)]$ ；未标有*为非线性加强，即 $q(Xi \cap Xj) > q(Xi) + q(Xj)$ 。

为自然因子交互组合外，其他均为自然与人文因子或者人文与人文因子交互组合，这也高度契合了粮食生产是以自然条件为基础、人类活动为驱动的客观规律认知。

3 结论与讨论

3.1 结论

- (1) 把粮食生产中政府的间接投入和农户的直接投入统一作为粮食生产投入要素进行生产效率评价，相对以往分析框架更具有全面性和科学性。在数据包络分析的众多模型中，非径向超效率模型是评价粮食生产效率的优选模型。
- (2) 淮河生态经济带粮食生产平均效率值维持在1.0附近波动，且28个决策单元(DMU)中只有少数地方生产效率在较高水平以上，说明研究区域粮食生产效率仍有较大的提升空间。从投入产出松弛变量看，目前粮食生产主要存在投入要素结构性冗余问题。因此建议投入要素的减量化(农药、化肥、劳动力)和合理化配比是提高粮食生产效率的可行方向，也是该区域生态经济转型的必要路径。
- (3) 近20年各地粮食生产效率差距呈现收敛趋势，且各地变化具有多样化特点。从粮食生产效率变化过程看，28个DMU可分成7大类11小类。其中，只有徐州、连云港和枣庄3地粮食生产效率保持单一变化态势，前两者持续上升，枣庄持续下降；其他25地均是繁简不一的波动变化。就始(2000年)末(2020年)期效率值相比，仅有徐州、连云港、淮安、泰州、扬州、菏泽、临沂、漯河、驻马店和六安等10个地方的末期效率值高于始期效率值。这似乎违背了人们的通常认知(经过20年的发展，粮食生产效率应该得到提高)，但恰恰说明了粮食生产效率受多因素影响，具有时间波动性和空间差异性特征。
- (4) 粮食生产效率的空间分布具有集聚性特征。较高和极高生产效率单元主要分布在河南湖北京广沿线地区，低和较低生产效率单元主要分布在豫西南平顶山和南阳连片区、苏鲁豫皖交界连片区，高生产效率单元则分布在其他连片区。这一空间分布格局在20年间保持相对稳定。这也反映出粮食生产效率空间格局具有一定的“锁定”效应，难以通过人为因素实现彻底扭转或改变。因此，因地制宜地提高各地粮食生产效率才是科学之道。
- (5) 粮食生产效率空间差异是多种因素共同作用的结果。年日照时间、人口密度和农业现代化程度是粮食生产效率空间差异的基础性因子。城镇化率和人均GDP的解释力一直较弱，其他因子在不同年份的解释力具有明显波动。其中，年均气温的影响越来越

低,耕地面积占比因子的解释力却愈来愈强。各因子的解释力及解释力变化的差异各有不同原因,但因子交互作用相对于单因子对空间差异的解释力明显增强。

3.2 讨论

淮河生态经济带是中国重要的粮食主产区之一,研究该区域粮食生产效率空间差异及影响因素,对于正确认识粮食生产规律、制定差异化的效率提升对策和保障粮食安全具有重要理论和现实意义。本文在测算粮食生产效率选择投入指标时兼顾了农户和政府两方面投入,并利用地理探测器研究了粮食生产效率空间差异的影响因素,在一定程度上可以权且认为是对粮食生产效率研究视角的创新和研究内容的拓展。但也存在以下需要后续深化研究的地方:一是粮食生产效率的波动性特征决定了要更加精准地揭示变化过程和发展趋势,需要进行连续时间序列分析;二是如何进一步把政府对农户的粮食补贴政策纳入生产效率分析框架,以更加全面评价粮食生产效率;三是如何合理配置粮食生产投入要素比例,提高生产效率并降低农业面源污染等非期望产出。这对研究区域破解“经济发展、粮食安全和生态安全”三重压力,坚持走生态经济之路更具有指导意义。

参考文献(References):

- [1] 陈秧分,王介勇. 对外开放背景下中国粮食安全形势研判与战略选择. 自然资源学报, 2021, 36(6): 1616-1630. [CHEN Y F, WANG J Y. China's food security situation and strategy under the background of opening-up. Journal of Natural Resources, 2021, 36(6): 1616-1630.]
- [2] 钱宸,李凡,李先德,等. 基于农户经济和环境“双优”目标的粮食主产区化肥施用优化模拟分析. 自然资源学报, 2021, 36(6): 1481-1493. [QIAN C, LI F, LI X D, et al. Analysis of fertilizer-use optimization under the joint framework of economic rationality and environmental sustainability. Journal of Natural Resources, 2021, 36(6): 1481-1493.]
- [3] 杨骞,司祥慧,王珏. 减排增汇目标下中国粮食生产效率的测度及分布动态演进. 自然资源学报, 2022, 37(3): 600-615. [YANG Q, SI X H, WANG J. The measurement and its distribution dynamic evolution of grain production efficiency in China under the goal of reducing pollution emissions and increasing carbon sink. Journal of Natural Resources, 2022, 37(3): 600-615.]
- [4] 张启楠,张凡凡,麦强,等. 中国粮食生产效率空间溢出网络及提升路径. 地理学报, 2022, 77(4): 996-1008. [ZHANG Q N, ZHANG F F, MAI Q, et al. Spatial spillover networks and enhancement paths of grain production efficiency in China. Acta Geographica Sinica, 2022, 77(4): 996-1008.]
- [5] 闫晗,乔均,邱玉琢. 生产性服务业发展能促进粮食生产综合技术效率提升吗: 基于2008—2019年中国省级面板数据的实证分析. 南京社会科学, 2022, (2): 18-29. [YAN H, QIAO J, QIU Y Z. Can the development of producer services promote the comprehensive technical efficiency of grain production: An answer from the empirical study based on China's provincial panel data from 2008 to 2019. Nanjing Social Sciences, 2022, (2): 18-29.]
- [6] 黄炎忠,罗小锋,李兆亮,等. 农户兼业对粮食生产效率的非线性影响. 资源科学, 2021, 43(8): 1605-1614. [HUANG Y Z, LUO X F, LI Z L, et al. Nonlinear effect of farmer's off-farm employment on grain production efficiency. Resources Science, 2021, 43(8): 1605-1614.]
- [7] 江艳军,王凯. 农旅融合对粮食生产效率的异质性影响: 基于124个地级市的实证检验. 农业现代化研究, 2022, 43(1): 89-99. [JIANG Y J, WANG K. Heterogeneous impacts of agricultural tourism integration on grain production efficiency: Empirical test based on a sample of 124 prefecture-level cities in China. Research of Agricultural Modernization, 2022, 43(1): 89-99.]
- [8] 张长征,李嘉雯,孙杰. 农田水利基础设施投资缺口对粮食生产效率损失的影响. 资源科学, 2022, 44(1): 169-180. [ZHANG C Z, LI J W, SUN J. Influence of investment gap in farmland water conservancy infrastructure on the loss of grain production efficiency. Resources Science, 2022, 44(1): 169-180.]
- [9] 阮华. 土地流转对粮食绿色生产技术效率的影响: 基于流入户视角. 南昌: 江西财经大学, 2021. [RUAN H. Impact of land transfer on technical efficiency of grain green production: From the perspective of inflow household. Nanchang:

- Jiangxi University of Finance and Economics, 2021.]
- [10] 匡远配, 张容. 农地流转对粮食生产生态效率的影响. 中国人口·资源与环境, 2021, 31(4): 172-180. [KUANG Y P, ZHANG R. Effect of farmland transfer on the ecological efficiency of food production. China Population, Resources and Environment, 2021, 31(4): 172-180.]
- [11] 李雨凌, 马雯秋, 姜广辉, 等. 中国粮食主产区耕地撂荒程度及其对粮食产量的影响. 自然资源学报, 2021, 36(6): 1439-1454. [LI Y L, MA W Q, JIANG G H, et al. The degree of cultivated land abandonment and its influence on grain yield in main grain producing areas of China. Journal of Natural Resources, 2021, 36(6): 1439-1454.]
- [12] 章乐, 郑循刚. 城镇化与粮食生产效率关系的VAR模型分析. 中国农业资源与区划, 2017, 38(1): 96-100. [ZHANG L, ZHENG X G. The relationship between urbanization and food production efficiency based on the VAR model analysis. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2017, 38(1): 96-100.]
- [13] 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. [HU D, YANG X Y, WANG S J. Study on regional difference and threshold effect of labor transfer on technical efficiency of grain production. Rural Economy, 2019, (2): 47-53.]
- [14] 杨勇, 邓祥征, 李志慧, 等. 2000—2015年华北平原土地利用变化对粮食生产效率的影响. 地理研究, 2017, 36(11): 2171-2183. [YANG Y, DENG X Z, LI Z H, et al. Impact of land use change on grain production efficiency in North China Plain during 2000-2015. Geographical Research, 2017, 36(11): 2171-2183.]
- [15] 殷伟, 姚成胜, 黄琳. 中国粮食生产与经济发展耦合协调性的时空演变. 中国农业资源与区划, 2020, 41(11): 110-121. [YIN W, YAO C S, HUANG L. Spatial-temporal evolution of coupling coordination of grain production and economic development in China. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2020, 41(11): 110-121.]
- [16] 王帅奇, 张爱儒. 中国粮食生产效率与耕地质量关系研究. 江西农业学报, 2021, 33(8): 110-117. [WANG S Q, ZHANG A R. Research on relationship between grain production efficiency and cultivated land quality in China. Acta Agriculture Jiangxi, 2021, 33(8): 110-117.]
- [17] 罗丽丽. 中国粮食生产的绿色技术效率和绿色全要素生产率研究. 武汉: 华中科技大学, 2016. [LUO L L. Study on China's green technical efficiency and green total factor productivity of grain production. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2016.]
- [18] 张利国, 鲍丙飞. 中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. [ZHANG L G, BAO B F. Empirical analysis on spatio-temporal evolution and driving forces of food total factor production in major grain producing areas of our country. Economic Geography, 2016, 36(3): 147-152.]
- [19] 李礼连, 程名望, 夏经霖. 粮食生产环境技术效率的减贫效应及其作用机制. 经济地理, 2022, 42(3): 113-121. [LI L L, CHENG M W, XIA J L. Poverty reduction effect and its mechanism of environmental technical efficiency of grain production. Economic Geography, 2022, 42(3): 113-121.]
- [20] 吴兆丹, 张依, 吴兆磊, 等. 中国粮食主产区农作物生产广义用水经济效率时空演变及影响因素研究. 长江流域资源与环境, 2021, 30(11): 2763-2777. [WU Z D, ZHANG Y, WU Z L, et al. Study on the spatio-temporal evolution and influencing factors of economic efficiency of generalized water use for crop production in China's major grain producing area. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2021, 30(11): 2763-2777.]
- [21] 鲁庆尧, 王树进, 孟祥海. 基于SBM模型的中国粮食生产生态效率测度与PS收敛检验. 农村经济, 2020, (12): 24-32. [LU Q Y, WANG S J, MEGN X H. Ecological efficiency measurement and PS convergence test of grain production in China based on SBM model. Rural Economy, 2020, (12): 24-32.]
- [22] 李雪, 顾莉丽, 李瑞. 中国粮食主产区粮食生产生态效率评价研究. 中国农机化学报, 2022, 43(2): 205-213. [LI X, GU L L, LI R. Study on evaluation of eco-efficiency of grain production in major grain producing areas of China. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2022, 43(2): 205-213.]
- [23] 李思勉, 何蒲明. 中国粮食绿色生产效率及影响因素研究: 基于粮食功能区的比较分析. 生态经济, 2020, 36(9): 116-120. [LI S M, HE P M. Study on green production efficiency of grain and its influencing factors in China: A comparative analysis based on the grain functional area. Ecological Economy, 2020, 36(9): 116-120.]
- [24] 姜宇博, 李金霞, 唐晓东, 等. 中国粮食生产效率研究方法概述. 农业研究与应用, 2020, 33(4): 59-63. [JIANG Y B, LI J X, TANG X D, et al. Overview on research methods of grain production efficiency in China. Agricultural Research and Application, 2020, 33(4): 59-63.]
- [25] 项升, 江激宇, 方莹. 粮食生产效率的影响因素: 一个文献综述. 新疆农垦经济, 2020, (12): 85-92. [XIANG S, JI-

- ANG J Y, FANG Y. Influencing factors of food production efficiency: A literature review. *Xinjiang State Farms Economy*, 2020, (12): 85-92.]
- [26] 马林静, 欧阳金琼, 王雅鹏. 农村劳动力资源变迁对粮食生产效率影响研究. *中国人口·资源与环境*, 2014, 24(9): 103-109. [MA L J, OUYANG J Q, WANG Y P. The influence of evolvement of rural labor resources on grain production efficiency. *China Population, Resources and Environment*, 2014, 24(9): 103-109.]
- [27] 魏素豪. 兼业对农户种粮技术效率的影响研究: 基于随机前沿生产函数的实证. *商业研究*, 2019, (5): 121-138. [WEI S H. The impact of part-time business on technical efficiency of farmer's grain planting: An empirical study based on stochastic frontier analysis. *Commercial Research*, 2019, (5): 121-128.]
- [28] 伍国勇, 张启楠, 张凡凡. 中国粮食生产效率测度及其空间溢出效应. *经济地理*, 2019, 39(9): 207-212. [WU G Y, ZHANG Q N, ZHANG F F. Research on grain production efficiency and its spatial spillover effects in China. *Economic Geography*, 2019, 39(9): 207-212.]
- [29] 范文慧, 吴鹏. 江苏省粮食生产效率及影响因素研究. *安徽农学通报*, 2021, 27(13): 57-59. [FANG W H, WU P. Study on grain production efficiency and its influencing factors in Jiangsu province. *Anhui Agriculture Science Bull*, 2021, 27(13): 57-59.]
- [30] 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. [TAN Z X, GUO X Y. Evaluation and analysis of China's grain production efficiency: Based on the super efficiency DEA model. *Research of Agricultural Modernization*, 2019, 40(3): 431-440.]
- [31] 林振宇, 张朝飞, 杨翔飞. 耕地粮食生产效率测算及影响因素分析: 以华北平原河南区域为例. *测绘与空间地理信息*, 2021, 44(7): 146-150. [LIN Z Y, ZHANG C F, YANG X F. Estimation of farmland grain production efficiency and analysis of influencing factors: Taking Henan area of North China Plain as an example. *Geomatics & Spatial Information Technology*, 2021, 44(7): 146-150.]
- [32] 范丽霞. 中国粮食全要素生产率的分布动态与趋势演进: 基于1978—2012年省级面板数据的实证. *农村经济*, 2017, (3): 49-54. [FAN L X. Distribution dynamics and trend evolution of total factor productivity of grain in China: Based on provincial panel data from 1978 to 2012. *Rural Economy*, 2017, (3): 49-54.]
- [33] 郭永奇, 侯林岐. 中国粮食主产区粮食农业绿色全要素生产率测度及影响因素研究. *科技管理研究*, 2020, 40(19): 223-229. [GUO Y Q, HOU L Q. Study of measurement and influencing factors of green total factor productivity of grain agriculture in main grain producing areas of China. *Science and Technology Management Research*, 2020, 40(19): 223-229.]
- [34] 杨庆, 蒋旭东, 闪辉, 等. 长江三角洲地区农产品主产区区域粮食生产效率研究. *中国农业资源与区划*, 2019, 40(8): 141-148. [YANG Q, JIANG X D, SHAN H, et al. study on grain production efficiency in development-restricted area (agriculture-related areas) of the Yangtze River Delta. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2019, 40(8): 141-148.]
- [35] 刘照馨, 张玲玲. 汉江流域粮食全要素生产率分析: 基于DEA-Malmquist指数. *江西农业学报*, 2022, 34(2): 218-225. [LIU Z X, ZHANG L L. Analysis of grain total factor productivity in Hanjiang River Basin based on DEA-Malmquist index. *Acta Agriculture Jiangxi*, 2022, 34(2): 218-225.]
- [36] 刘蒙罢, 张安录, 文高辉. 长江中下游粮食主产区耕地利用生态效率区域差异与空间收敛. *自然资源学报*, 2022, 37(2): 477-493. [LIU M B, ZHANG A L, WEN G H. Regional differences and spatial convergence in the ecological efficiency of cultivated land use in the main grain producing areas in the Yangtze Region. *Journal of Natural Resources*, 2022, 37(2): 477-493.]
- [37] 王美知, 魏凤. 哈萨克斯坦粮食生产效率动态演进及区域差异. *自然资源学报*, 2021, 36(3): 594-605. [WANG M Z, WEI F. Dynamic evolution and regional differences of grain production efficiency in Kazakhstan. *Journal of Natural Resources*, 2021, 36(3): 594-605.]
- [38] 刘传明, 范观宇, 王呈祥, 等. 淮河生态经济带城镇化与粮食生产耦合协调性时空特征. *地域研究与开发*, 2022, 41(1): 38-44. [LIU C M, FAN G Y, WANG C X, et al. The spatio-temporal evolution characteristics of coupling coordination between urbanization and grain production in Huaihe Eco-Economic Belt. *Areal Research and Development*, 2022, 41(1): 38-44.]
- [39] 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. *中国土地科学*, 2021, 35(10): 64-74. [ZANG J M, TANG C Y, WANG Q X, et al. Research on spatial imbalance and influence

- ing factors of cultivated land use efficiency in Guangdong province based on Super-SBM model. *China Land Science*, 2021, 35(10): 64-74.]
- [40] TONE K. A slacks-based measure of super-efficiency in data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*, 2002, 143(1): 32-41.
- [41] 王劲峰, 徐成东. 地理探测器: 原理与展望. *地理学报*, 2017, 72(1): 116-134. [WANG J F, XU C D. Geodetector: Principle and prospective. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(1): 116-134.]
- [42] 薛仓生. 安徽省2005年暴雨洪水特性分析. *人民长江*, 2007, 38(6): 87-89. [XUE C S. Analysis on characteristics of rainstorm and flood in Anhui province in 2005. *People's Yangtze River*, 2007, 38(6): 87-89.]

Spatio-temporal variation and influencing factors of grain production efficiency in Huaihe Eco-Economic Belt in recent 20 years

LIU Chuan-ming¹, FAN Guan-yu^{1,2}, MAO Guang-xiong¹, HE Pin-rong¹

(1. Key Research Base of Philosophy & Social Sciences of Colleges and Universities in Jiangsu, Huaihe Eco-Economic Belt Research Institute, Huaiyin Normal University, Huaian 223300, Jiangsu, China; 2. School of Geography, Geomatics and Planning, Jiangsu Normal University, Xuzhou 221116, Jiangsu, China)

Abstract: To improve grain production efficiency in the main grain production areas is an important way to increase grain output and ensure food & ecology security. Besides, it is the focus of scholars, governments and farmers. In this paper, the Huaihe Eco-Economic Belt (HHEEB), one of the typical main grain production areas in China, is taken as the study area. The index system for grain production input, including the direct input factors from farmers and the indirect public input factors from the government, is established. the grain production efficiency (q) of 28 DMU (cities) in the HHEEB in recent 20 years was calculated with the non-radial super-SBM, and the influencing factors of spatial differences in q were analyzed by using Geodetector. There are some findings as follows: (1) The mean value of q is around 1.0, which shows that the grain production efficiency can be greatly improved in the future. (2) There is a large gap in production efficiency between different DMU, but a convergence trend is observed in the past 20 years. The changes of production efficiency are diverse, which can be divided into 7 categories and 11 sub-categories. (3) The production efficiency presented the characteristics of agglomeration and contiguous distribution, and the overall spatial pattern of q remains relatively stable. (4) The spatial difference of production efficiency is affected by many factors. Among them, annual sunshine duration, population density and agricultural modernization are the basic influencing factors driving spatial differences, furthermore, the explanatory power of other factors is different and it changes in different years.

Keywords: grain production efficiency; spatio-temporal differences; influencing factors; non-radial super-SBM; Geodetector; Huaihe Eco-Economic Belt (HHEEB)