

引用格式：

鲁洪威, 李婷婷, 罗其友, 高明杰. 基于 DEA—ESDA 模型的中国马铃薯生产效率时空特征分析 [J]. 农业现代化研究, 2020, 41(5): 833-842.

Lu H W, LI T T, Luo Q Y, Gao M J. Spatio-temporal characteristics analysis of the potato production efficiency in China based on the DEA-ESDA model[J]. Research of Agricultural Modernization, 2020, 41(5): 833-842.

DOI: 10.13872/j.1000-0275.2020.0085



基于 DEA—ESDA 模型的中国马铃薯生产效率时空特征分析

鲁洪威, 李婷婷, 罗其友, 高明杰*

(中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081)

摘要：基于 2011—2018 年我国马铃薯主产省投入产出数据，运用 DEA—Malmquist 指数模型和探索性空间数据分析 (ESDA) 方法，定量研究了我国马铃薯生产效率的时空变化特征。结果表明：1) 2011 年到 2018 年我国马铃薯生产综合技术效率、纯技术效率和规模效率均值皆为 DEA 非有效，综合技术效率主要受投入要素规模效率的制约；2) 研究区域仅内蒙古、山东、辽宁、湖北和四川全要素生产率处于正增长，其余省份均处于下降状态，技术进步是我国马铃薯全要素生产率提升的最大障碍；3) 我国马铃薯整体资源利用效率空间差异性明显，在四大优势区中，西南优势区综合技术效率最高，华北优势区和西北优势区纯技术效率较高，东北优势区和西南优势区规模效率较高；4) 我国马铃薯生产综合技术效率具有显著空间正相关性，呈“H—H”集聚的内蒙古、陕西省、甘肃省和四川省对区域生产效率具有较强的辐射带动能力。下一步应着重优化我国马铃薯生产投入要素结构，破解综合技术效率提升瓶颈，并针对马铃薯不同区域生产效率特点制定马铃薯生产效率提升政策，进一步发挥优势省份效率提升扩散效应。

关键词：生产效率；马铃薯；DEA 模型；Malmquist 指数；ESDA 方法；时空特征

中图分类号：F304.7; F323.5 **文献标识码：**A **文章编号：**1000-0275 (2020) 05-0833-09

Spatio-temporal characteristics analysis of the potato production efficiency in China based on the DEA-ESDA model

LU Hong-wei, LI Ting-ting, LUO Qi-you, GAO Ming-jie

(Institute of Agricultural Resources and Regionalization, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract : Based on the input-output data of China's main potato producing provinces from 2011 to 2018, and applying the DEA-Malmquist index model and the exploratory spatial data analysis (ESDA) method, this paper quantitatively studied the temporal and spatial characteristics of the potato production efficiency in China. Results show that: 1) the comprehensive technical efficiency, the pure technical efficiency and the scale efficiency of China's potato production from 2011 to 2018 were all DEA ineffective, and the comprehensive technical efficiency was mainly restricted by the scale efficiency of input factors; 2) among all the study provinces, only the total factor productivities of Inner Mongolia, Shandong, Liaoning, Hubei, and Sichuan were growing positively, while the total factor productivities of the rest of the provinces were declining. Technological progress was the biggest obstacle to the increase of the total factor productivity of China's potato production; 3) among these main potato producing regions, the southwest advantage area had the highest comprehensive technical efficiency, the north China advantage area and the northwest advantage area had higher pure technical efficiency, and the northeast advantage area and the southwest advantage area had higher scale efficiency; and 4) the comprehensive technical efficiency of potato production in China had significant positive spatial correlations among Inner Mongolia, Shaanxi Province, Gansu Province and Sichuan Province, which were clustered in the form of "H-H" with strong radiating and driving capacity for regional production efficiency. The next step should focus on optimizing the structure of China's potato production input factors, breaking the bottleneck of comprehensive technical efficiency improvement, and formulating potato production efficiency improvement policies based on the characteristics of potato production efficiency in different regions, and further exerting the efficiency of advantageous provinces to

基金项目：国家马铃薯产业技术体系项目 (CARS-9)。

作者简介：鲁洪威 (1993—)，男，河南濮阳人，硕士研究生，主要从事农业产业现代化研究，E-mail: luhongwei668@163.com；通信作者：高明杰 (1978—)，男，河北保定人，副研究员，主要从事农业产业现代化研究，E-mail: gaomingjie@caas.cn。

收稿日期：2020-07-19，接受日期：2020-09-17

Foundation item: China Agriculture Research System (CARS-9).

Corresponding author: GAO Ming-jie, E-mail: gaomingjie@caas.cn.

Received 19 July, 2020; **Accepted** 17 September, 2020

improve the spread effects.

Key words : production efficiency; potato; DEA model; Malmquist index; ESDA method; spatio-temporal characteristics

马铃薯以其粮菜兼用、营养全面、适应性广的特点成为全球重要的粮食作物^[1]。据 FAO 数据显示, 1995 年以来我国马铃薯面积和产量一直位居世界第一^[2], 2018 年我国马铃薯种植面积为 475.8 万 hm^2 , 产量 1 798.37 万 t (折粮), 马铃薯在我国及世界粮食生产中占有重要地位。单产高低是衡量农业生产效率的直接指标, 2018 年我国马铃薯单产为 18.91 t/ hm^2 , 远低于发达国家如美国 (49.8 t/ hm^2)、英国 (35.9 t/ hm^2) 和德国 (35.4 t/ hm^2) 的单产水平, 我国马铃薯生产效率与发达国家相比仍有不小差距^[3]。有研究表明, 我国马铃薯主产区和中西部低收入地区空间分布高度契合, 低收入区马铃薯种植面积和产量占到了全国马铃薯面积和产量的一半左右。在决胜全面建成小康社会的时代背景下, 马铃薯在保障我国粮食安全, 推动中西部地区产业扶贫中具有重要地位^[4]。

生产效率的研究一直是农业经济领域的热点问题, 测算生产效率的方法主要包括参数法和非参数法两种^[5], 其中非参数法 DEA 模型以其无需进行参数估计等优势在农业生产效率研究中得到了广泛运用^[6]。生产效率高体现了产业的现代化水平, 投入要素使用效率影响着生产效率^[7-8], 技术进步为创新要素使用方式提供了条件也同时影响生产效率^[9], 李勤志等^[10]和张萌等^[11]研究发现, 技术进步缓慢是我国马铃薯生产效率下降的主要原因。全要素生产率可以用来衡量除有形要素以外的纯技术进步所形成的生产效率, 可以体现某一产业的技术水平, 罗屹和王鑫^[12]发现, 技术进步是影响马铃薯全要素生产率的最直接原因, 而刘洋和罗其友^[13]发现, 技术进步水平低下是我国马铃薯全要素生产率呈下降趋势的主要原因。综合技术效率可以衡量某一产业综合生产效率, 其构成主要包括技术使用效率和要素投入规模效率^[14], 唐江云等^[15]认为规模报酬较低是四川省马铃薯生产投入要素冗余较多的主要制约因素。还有一些学者尝试将 DEA 和 ESDA 方法结合在测算效率的同时研究其空间特征。张丽娜等^[16]、李辉尚等^[17]和张凡凡等^[18]通过运用 DEA—ESDA 模型分别对我国玉米、小麦和粮食生产效率进行了时空研究, 在测算出不同作物生产效率值的同时, 从空间层面研究了集聚特征, 对因地制宜制定区域生产效率提升策略提供了依据。

我国幅员辽阔, 不同地区自然社会经济条件不同, 马铃薯生产也呈现不同特点^[19], 在此背景下研

究我国马铃薯生产效率特征唯有加入空间维度才能使研究更具现实意义。通过 DEA 模型测算我国马铃薯生产效率可以了解当下我国马铃薯生产现代化水平, 准确把握我国马铃薯生产效率提升制约因素, 而引入 ESDA 模型对我国不同省份马铃薯生产效率空间集聚特征进行研究, 可以进一步了解我国马铃薯生产效率空间分布特点和集聚态势, 依此制定不同省份马铃薯生产效率提升方案, 可大大提升决策针对性和有效性。因此本文运用 DEA 模型和探索性空间数据分析 (ESDA) 相结合的方法, 在测度我国马铃薯生产效率的基础上, 借助 ESDA 方法研究生产效率的空间相关性和时空演变特征, 以期深入了解我国马铃薯生产效率变化的时空规律, 提升指导我国马铃薯产业生产效率改善的决策准确性。

1 研究方法 with 数据来源

1.1 DEA—Malmquist 模型

1984 年 Charnes 和 Cooper 提出了非参数的效率测量方法——DEA 模型^[20], 该方法不需要构建生产函数, 不受数据量纲的影响。基本原理是在决策单元 (DMU) 的输入或输出不变的情况下, 运用数学规划模型确定生产前沿面, 通过对 DMU 偏离前沿面的程度测度 DMU 相对效率。由于 DEA 模型在投入产出效率研究中的较强解释力在农业生产中得到了广泛的应用, 有别于参数法对模型构建的严格要求, DEA 模型不需要事先构建生产函数, 在农业生产效率这一多投入多产出的应用场景下可以更为灵活调整投入产出要素指标^[21]。1990 年 Färe 等^[22]将 Malmquist 指数与 DEA 模型相结合, 构建了 Malmquist 生产率指数, 可用来测算全要素生产率变化 (TFP)。本文采用假定规模报酬可变的产出导向型 DEA—VRS 模型, 如下:

$$s \cdot t \begin{cases} \text{Min } \theta \\ \sum_j \lambda_j X_j + S^- = \theta X_0 \\ \sum_j \lambda_j Y_j - S^+ = Y_0 \\ \sum_j \lambda_j = 1 \\ S^+ \geq 0, S^- \geq 0, \lambda_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, n \end{cases} \quad (1)$$

式中: θ 是全国或某一省份马铃薯生产的效率值, 且 $0 \leq \theta \leq 1$, 若 $\theta=1$ 则位于效率前沿面上, DEA

有效；若 $\theta < 1$ 则位于效率前沿面外，DEA 无效。 X_0 、 Y_0 为马铃薯效率目标投入量和产出量， X_j 、 Y_j 为第 j 个决策单元的马铃薯投入量和产出量； λ_j 为第 j 个决策单元的权值； S^- 、 S^+ 为松弛量，是达到效率目标所需要的马铃薯投入或产出的调整量。

Malmquist 生产效率指数模型如下：

$$\begin{cases} M_i(x_s, y_s; x_t, y_t) = \sqrt{\frac{D_i^s(x_t, y_t) D_i^t(x_t, y_t)}{D_i^s(x_s, y_s) D_i^t(x_s, y_s)}} \\ = \frac{D_i^t(x_t, y_t)}{D_i^t(x_s, y_s)} \sqrt{\frac{D_i^s(x_t, y_t) D_i^s(x_s, y_s)}{D_i^s(x_t, y_t) D_i^s(x_s, y_s)}} \\ E_{ch} = \frac{D_i^t(x_t, y_t)}{D_i^t(x_s, y_s)} \\ T_{ch} = \sqrt{\frac{D_i^s(x_t, y_t) D_i^s(x_s, y_s)}{D_i^t(x_t, y_t) D_i^t(x_s, y_s)}} \end{cases} \quad (2)$$

式中： $M_i(x_s, y_s; x_t, y_t)$ 为 i 时期马铃薯全要素生产率变化， (x_s, y_s) 、 (x_t, y_t) 分别为 s 、 t 时期的马铃薯投入、产出量； D_i^s 、 D_i^t 分别为以 s 、 t 时期为参照的距离函数； E_{ch} 、 T_{ch} 分别为 t 时期相对 s 时期马铃薯技术效率和技术进步效率的变化；若 M_i 指数大于 1，则表示 TFP 处于增加状态。若 T_{ch} 或 E_{ch} 其中一个大于 1 则其为 TFP 增长主因，反之，为 TFP 下降主因；马铃薯规模效率指数和纯技术效率指数的高低反映其对马铃薯技术效率指数的影响程度。

1.2 探索性空间数据分析 (ESDA)

ESDA 方法可以揭示不同地理空间某现象或属性与相邻地理空间的相关程度，研究地理空间关联机制，揭示不同地理单元的空间集聚和异质特征，共有全局空间自相关分析和局部空间自相关分析两大类^[23]。

马铃薯生产效率全局空间自相关可研究全国不同省份生产效率的关联度和异质性。计算公式如下：

$$\text{Moran's } I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (Z_i - \bar{Z})(Z_j - \bar{Z})}{S^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij}} \quad (3)$$

式中： n 为马铃薯研究省份个数； Z_i 和 Z_j 表示 i 和 j 省份属性值； W_{ij} 表示空间权重矩阵，若相邻为 1，若不相邻为 0； S^2 为观测值方差， \bar{Z} 为属性值平均；若 Moran's $I > 0$ ，马铃薯研究省份存在生产效率空间集聚；若 Moran's $I < 0$ ，则存在空间差异。

但全局自相关 Moran's I 指数仅能得出不同马铃薯研究省份差异程度的平均，无法研究局部空间内的异质性^[24]。局部空间自相关可研究不同马铃薯研究省份之间技术效率的相似性，得出局部空间存在的马铃薯生产效率异质性，可弥补全局空间自相关的缺陷。其计算公式为：

$$\text{Moran's } I = \frac{\sum_{j=1}^n W_{ij} (Z_i - \bar{Z})(Z_j - \bar{Z})}{S^2} \quad (4)$$

式中符号含义与前式同，若 Moran's $I > 0$ 并显著，研究区域为马铃薯生产效率高值集聚；若 Moran's $I < 0$ 并显著，则存在马铃薯生产效率低值集聚。通过显著性检验的马铃薯生产效率 LISA 集聚图可更为直观的得出存在显著空间相关性（空间集聚效应）的区域。

1.3 评价指标构建

参考已有文献对农业生产效率研究构建的指标体系^[25]，根据指标的代表性和可获得性，从马铃薯投入和产出两方面构建中国马铃薯生产效率研究指标体系（表 1）。农业投入主要由物质要素、劳动力和土地三方面组成，选取种子、肥料和农药费用代表马铃薯投入的物质要素，选取作业费和用工数量代表马铃薯投入的劳动力要素，选取土地成本代表土地投入要素，可基本涵盖农业投入的三个层面，以此来衡量我国马铃薯生产的投入产出效率。

1.4 数据来源与研究区域

考虑数据可得性与一致性，采用发改委编著的历年《全国农产品成本收益资料汇编》中 2011—2018 年 16 个马铃薯主产省投入产出面板数据，研究时段内 16 个马铃薯主产省面积之和均占到全国面

表 1 中国马铃薯生产效率投入产出指标
Table 1 Input-output indicators of the potato production efficiency in China

指标类型	指标构成	指标性质	指标说明
投入指标	单位面积种子费 (X_1)	种子投入 (元 /hm ²)	每公顷种薯投入费用
	单位面积肥料费 (X_2)	肥料投入 (元 /hm ²)	每公顷化肥费和农家肥费
	单位面积农药费 (X_3)	农药投入 (元 /hm ²)	每公顷农药费用
	单位面积作业费 (X_4)	作业投入 (元 /hm ²)	每公顷租赁作业、机械作业、排灌和畜力费用
	单位面积土地成本 (X_5)	土地投入 (元 /hm ²)	每公顷流转地租金和自营地租金
	单位面积用工数量 (X_6)	劳动力投入 (日 /hm ²)	每公顷家庭内部劳动力和雇佣劳动力投入量
产出指标	单位面积产品产量 (Y 折粮)	实物产出量 (kg/hm ²)	每公顷马铃薯产量

积的 80% 以上, 具有较好的代表性。2011 年以来我国马铃薯生产效率增长较快, 单产由 3 255 kg/hm² 增加到 2018 年的 3 779 kg/hm², 总增幅达 16%, 研究此段时期马铃薯生产效率有一定现实意义。为剔除通货膨胀因素, 投入要素价格均采用 2019 年《中国农村统计年鉴》中以 2011 年为基期的农业生产资料价格指数进行了平减。为分析我国马铃薯生产效率区域特征, 根据《中国马铃薯优势区域布局规划(2008—2015 年)》对各主产省进行分区, 其中华北优势区包括河北省、山西省、内蒙古自治区、山东省; 东北优势区包括辽宁省、黑龙江省; 西北优势区包括陕西省、甘肃省、青海省、宁夏回族自治区、新疆维吾尔自治区; 西南优势区包括湖北省、重庆市、四川省、贵州省、云南省。

2 结果与分析

2.1 中国马铃薯生产效率时序特征分析

表 2 2011—2018 年我国马铃薯各生产效率指标
Table 2 Potato production efficiency indicators in China from 2011 to 2018

年份	综合技术效率 (TE)	纯技术效率 (PTE)	规模效率 (SE)	综合技术效率 变化指数 (Ech)	技术进步 变化指数 (Tch)	纯技术效率 变化指数 (Pech)	规模效率 变化指数 (SEch)	全要素生产 率变化指数 (TFPch)
2011	0.898	0.965	0.931					
2012	0.911	0.950	0.959	1.012	0.924	0.979	1.034	0.936
2013	0.961	0.977	0.984	1.062	0.949	1.033	1.028	1.008
2014	0.956	0.959	0.997	0.992	1.006	0.979	1.013	0.998
2015	0.944	0.994	0.950	0.987	0.958	1.043	0.946	0.945
2016	0.921	0.967	0.952	0.973	1.005	0.969	1.004	0.977
2017	0.973	0.994	0.979	1.064	0.970	1.032	1.031	1.032
2018	0.925	0.979	0.945	0.945	1.083	0.984	0.961	1.024
平均	0.936	0.973	0.962	1.005	0.985	1.003	1.002	0.989

通过运用 Malmquist 指数对我国马铃薯全要素生产率变化进行测算, 发现 2011—2018 年我国马铃薯全要素生产率变化指数均值为 0.989, 全要素生产率进步为 -1.1%, 表明我国马铃薯全要素生产率呈负增长。由全要素生产率变化指数分解得到的纯技术效率变化指数、规模效率变化指数和技术进步变化指数均值分别为 1.003、1.002 和 0.985, 我国马铃薯纯技术效率和规模效率呈正增长, 而技术进步呈负增长。由此可知, 由现有技术应用效率和投入要素规模效率推动的全要素生产率提升被马铃薯生产技术的滞后所消减, 我国马铃薯生产存在着适用高效技术推广应用缓慢、科研转化率较低的问题, 技术进步成为制约我国马铃薯全要素生产率提升的最大瓶颈。在 2017 年以前, 除 2013 年外我国马铃薯全要素生产率基本都处于负增长状态, 近两年我国马铃薯全要素生产率出现了超过 2% 的明显正增

借助 Deap2.1 软件工具, 通过对 2011—2018 年我国 16 个省(区)马铃薯投入产出数据进行生产效率测算, 得到了我国马铃薯生产效率的总体时间序列变化情况。由表 2 可知, 从 2011—2018 年, 我国马铃薯综合技术效率、纯技术效率和规模效率平均值分别为 0.936、0.973 和 0.962, 均未超过 DEA 有效的临界值 1。其中规模效率均值比纯技术效率均值略低, 说明综合技术效率非有效的主要原因是规模效率较低, 也就是我国马铃薯生产投入要素的规模效益较低, 当前我国马铃薯生产还处于规模报酬递减时期。由表 2 可知, 从 2011—2018 年我国马铃薯生产综合技术效率波动性较强, 从 2011—2013 年综合技术效率从 0.898 迅速增加到 0.961, 此后逐年下滑, 直到 2016 年的波谷值 0.921, 并在 2017 年极速反弹到峰值 0.973, 2018 年又下降到 0.925, 说明全国马铃薯生产效率的稳定性较差, 在技术应用和投入要素结构合理化方面还有许多有待改进的地方。

长, 主要是近两年综合技术效率和技术进步都出现了较为明显的改善(变化指数大于 1), 说明我国马铃薯生产在投入要素规模效益、技术应用效率提升和技术进步上已经出现了一定的积极变化。从 2011 到 2018 年有 4 个年份技术进步变化指数小于综合技术效率变化指数, 有 5 个年份规模效率变化指数大于 1, 说明在规模效益逐步增加的情况下, 技术进步和技术使用效率成为我国马铃薯全要素生产率提升的最大制约因素。

2.2 中国马铃薯生产效率空间特征分析

2.2.1 综合技术效率及分解 为了研究我国马铃薯生产效率空间分布特征, 进一步测算了我国马铃薯 16 个主产省份的生产效率(表 3), 结果显示, 有 10 个省份的马铃薯生产综合技术效率平均值小于 1, 说明有超过 50% 的省份马铃薯生产效率处于 DEA 非有效的状态, 存在着投入要素结构不合理的问题,

我国马铃薯整体资源利用效率较低。其中陕西省和甘肃省马铃薯生产综合技术效率值分别为 0.646 和 0.697，远低于其他各省，说明该两省马铃薯投入产出效率较低的问题更为突出。根据不同省份测算了我国马铃薯不同优势产区综合技术效率值，其中西南优势区数值最大，为 0.939，其他三个产区效率值相差不大，华北优势区、东北优势区和西北优势区效率值分别为 0.891、0.881 和 0.869，由此可知西南马铃薯优势种植区投入产出效率最高，这也与近些年不同产区马铃薯生产实际情况相符合。

通过对各省综合技术效率分解后得到的纯技术效率和规模效率平均值进行分析，发现在全部 16 个研究省份中有 12 个省份在纯技术效率上处于 DEA 有效水平，有 6 个省份在规模效率上处于 DEA 有效。纯技术效率有效比例明显大于规模效率有效比例，说明我国马铃薯生产技术应用效率明显好于规模效益，在近 80% 比例的省份纯技术效率明显改善的前提下，仍有超过 50% 的省份在综合技术效率上处于非 DEA 有效，主要原因可以归结为种植投入要素的规模报酬较低。由表 3 可知，华北优势区和西北优势区纯技术效率均值较高，东北优势区和西南优势区规模效率均值较高，说明华北和西北优势区技术利用效率较高，而东北和西南优势区在投入要素规模报酬上更有优势，进一步可知华北、

西北优势区着重优化投入要素结构，提升马铃薯生产规模效益，东北、西南优势区大力推广适用高效生产技术是推动各自产区马铃薯生产综合技术效率提升的主攻方向。

2.2.2 全要素生产率及分解 由表 3 可知，在全部 16 个省份中，只有 5 个省份全要素生产率变化指数大于 1，内蒙古、山东、辽宁、湖北和四川马铃薯全要素生产率处于正增长，其余省份皆为负增长。进一步研究可知，有 11 个省份技术进步变化指数小于综合技术效率变化指数，技术进步成为制约我国各马铃薯主产省全要素生产率提升的最大瓶颈。全要素生产率变化指数低于 0.9 的有山西和重庆，此两省马铃薯全要素生产率年均降低超过 10%，主要原因是技术进步的缓慢，技术进步率均值分别为 -5.7% 和 -11.5%，不同省份马铃薯生产科技进步水平成为决定各省全要素生产率提升的关键因素。四大马铃薯优势区中仅东北优势区全要素生产率变化指数大于 1，为 1.019，说明东北优势区马铃薯生产全要素生产率年均增长 1.9%，而其余产区马铃薯全要素生产率均处于下降状态。

通过对综合技术效率变化指数进一步进行分解，发现仅有河北省和重庆市的马铃薯生产纯技术效率呈负增长 ($Pech < 1$)，说明大多数省份的马铃薯种植技术应用效率都在不断改善，并且仅有山

表 3 2011—2018 年我国马铃薯主产省（区）生产效率平均值

Table 3 Average production efficiency of potato production provinces (regions) in China from 2011 to 2018

区域	综合技术效率 (TE)	纯技术效率 (PTE)	规模效率 (SE)	综合技术效率变化指数 (Ech)	技术进步变化指数 (Tch)	纯技术效率变化指数 (Pech)	规模效率变化指数 (SEch)	全要素生产率变化指数 (TFPch)	
华北优势区	河北	0.909	1.000	0.909	0.988	1.008	0.981	1.007	0.996
	山西	0.915	1.000	0.915	0.951	0.943	1.000	0.951	0.897
	内蒙古	1.000	1.000	1.000	1.000	1.018	1.000	1.000	1.018
	山东	0.741	1.000	0.741	1.044	0.961	1.000	1.044	1.003
	平均	0.891	1.000	0.891	0.996	0.983	0.995	1.001	0.979
东北优势区	辽宁	0.761	0.793	0.960	1.040	1.016	1.034	1.006	1.057
	黑龙江	1.000	1.000	1.000	1.000	0.981	1.000	1.000	0.981
	平均	0.881	0.897	0.980	1.020	0.999	1.017	1.003	1.019
西南优势区	湖北	0.932	0.935	0.997	1.010	1.020	1.010	1.000	1.030
	重庆	1.000	1.000	1.000	0.979	0.885	0.979	1.000	0.867
	四川	0.872	1.000	0.872	1.020	1.022	1.000	1.020	1.042
	贵州	0.959	1.000	0.959	1.006	0.992	1.000	1.006	0.998
	云南	0.932	0.966	0.964	1.010	1.014	1.005	1.005	1.024
平均	0.939	0.980	0.958	1.005	0.987	0.999	1.006	0.992	
西北优势区	陕西	0.646	1.000	0.646	1.009	0.977	1.000	1.009	0.987
	甘肃	0.697	0.749	0.930	1.015	0.984	1.030	0.986	0.999
	青海	1.000	1.000	1.000	1.000	0.978	1.000	1.000	0.978
	宁夏	1.000	1.000	1.000	1.000	0.968	1.000	1.000	0.968
	新疆	1.000	1.000	1.000	1.000	0.984	1.000	1.000	0.984
	平均	0.869	0.950	0.915	1.005	0.978	1.006	0.999	0.983

西省和甘肃省马铃薯生产规模效率呈负增长 ($SEch < 1$), 我国各省马铃薯种植投入规模效益持续优化, 正处于规模报酬递增时期。四大优势区规模效率变化指数除西北优势区略低于 1 (为 0.999), 其余产区规模效率均为正增长, 并且有 11 个省份规模效率变化指数不小于纯技术效率变化指数, 说明规模

效率进步成为综合技术效率提升的主要推动因素。

2.2.3 生产效率空间分异 为了探究我国马铃薯生产效率的空间分布差异, 根据 Jenks 自然断裂点分级法, 对 2011 年、2015 年和 2018 年各省 (区) 马铃薯生产综合效率、纯技术效率和规模效率分级 (表 4)。按综合技术效率高分为以下三类区域。

表 4 我国各省马铃薯生产效率分级

Table 4 Classification of the potato production efficiency in various provinces in China

效率类型	效率水平	2011 年	2015 年	2018 年
综合技术效率	相对低效率	甘肃、陕西、山东、辽宁	陕西、山西	陕西、山西
	相对中等效率	山西、河北、四川、湖北、云南、贵州	甘肃、重庆	甘肃、重庆、河北
	相对高效率	新疆、青海、内蒙古、黑龙江、宁夏、重庆	新疆、青海、内蒙古、黑龙江、宁夏、山东、辽宁、河北、四川、湖北、云南、贵州	新疆、青海、内蒙古、黑龙江、宁夏、山东、辽宁、四川、湖北、云南、贵州
纯技术效率	相对低效率	甘肃、辽宁	重庆	重庆、河北
	相对中等效率	湖北、云南	甘肃	甘肃
	相对高效率	陕西、山东、山西、河北、四川、贵州、新疆、青海、内蒙古、黑龙江、宁夏、重庆	辽宁、湖北、云南、陕西、山东、山西、河北、四川、贵州、新疆、青海、内蒙古、黑龙江、宁夏	辽宁、湖北、云南、陕西、山东、山西、四川、贵州、新疆、青海、内蒙古、黑龙江、宁夏
规模效率	相对低效率	甘肃、陕西、山东、山西、河北、四川	陕西、山西、重庆	甘肃、陕西、山西
	相对中等效率	辽宁、云南、贵州	甘肃	河北
	相对高效率	湖北、新疆、青海、内蒙古、黑龙江、宁夏、重庆	山东、河北、四川、辽宁、云南、贵州、湖北、新疆、青海、内蒙古、黑龙江、宁夏	山东、四川、辽宁、云南、贵州、湖北、新疆、青海、内蒙古、黑龙江、宁夏、重庆

1) 相对低效率区。2011 年共有甘肃、陕西、山东和辽宁四省综合技术效率最低, 占研究区总数的 25%。2015 年有陕西、山西两省综合技术效率最低, 占研究区总数的 12.5%。2018 年综合技术效率最低的省份与 2015 年相同。甘肃省近年来马铃薯产业快速发展, 其定西市已经成为全国著名的“薯都”, 而山东由于耕地、技术条件优良, 马铃薯生产效率也得到了很大提升, 两省跳出相对低效率区是必然的。

2) 相对中等效率区。2011 年共有山西、河北、四川、湖北、云南、贵州 6 省综合技术效率处于中等水平, 占总数的 37.5%。2015 年仅有甘肃和重庆处于中等综合技术效率水平。2018 年处于中等综合技术效率的省份除 2015 年两省 (市) 外, 又新增河北省。这些省份都是马铃薯传统产区, 马铃薯产业在当地农业产业中有着特殊地位, 为其马铃薯生产技术效率提高提供了较为良好的发展条件。

3) 相对高效率区。2011 年共有新疆、青海、内蒙古、黑龙江、宁夏、重庆 6 省处于高综合技术效率水平, 占研究区总数的 37.5%。2015 年除重庆市减少外又增加了辽宁、河北、山东、湖北等 7 个高综合技术效率省份, 相对高效率省份占比达到 75%。2018 年高综合技术效率省份有 11 个, 相

较于 2015 年减少了河北省。相对高效率省份的增加体现了我国马铃薯生产总体水平的提升, 以上省份均为我国马铃薯生产传统优势区, 其生产的技术优势以及良好的生产者科技素养是生产效率提升的主因。

总体而言, 从 2011 年到 2018 年, 我国各马铃薯主产省份综合技术效率水平不断提高, 相对低效率省份大幅减少, 相对高效率省份持续增加。由表 4 可知, 我国马铃薯综合技术效率的提升主要来自于投入要素规模效率的持续改善, 规模效率较低的省份由 2011 年的 6 个减少到 2018 年的 3 个, 各省份马铃薯种植投入要素规模报酬的提升使生产的规模经济逐渐凸显。而纯技术效率改善的省份数量较少, 在各地技术应用效率已经处于较高水平的情况下, 技术使用效率的改善对综合技术效率的推动力非常有限, 规模效率对综合技术效率的制约更为显著。在大多数省份综合技术效率改善的情况下, 河北省综合技术效率从 2015 年到 2018 年却出现了下降, 主要原因是纯技术效率和规模效率都出现了小幅降低, 保持综合技术效率的持续高水平必须同时做好高效适用技术推广工作和引导种植户优化投入要素结构。

研究发现, 综合技术效率高的省份纯技术效

率水平一定较高，而纯技术效率水平高的省份综合技术效率水平不一定高，此时的主要制约因素是规模效率的低下。由此可见，纯技术效率高是综合技术效率高的必要非充分条件，当下各省份在提升种植户技术使用效率的同时必须推动当地马铃薯种植投入结构的优化，才能真正推动当地综合技术效率水平的改善。通过对 16 个马铃薯主产省技术效率的研究发现，共有以下三种情况：①纯技术效率和规模效率均较高：包括内蒙古、黑龙江、山东、四川、云南等 11 个省份，这些省份在先进种植技术推广应用和马铃薯投入要素规模报酬两方面均处于较高水平。②纯技术效率较高而规模效率较低：陕西、山西、甘肃三省，该省份马铃薯先进技术应用水平较高但投入要素规模不经济问题较为突出。③规模效率较高而纯技术效率较低：重庆、河北两省，该省份投入要素规模效益良好但先进技术应用水平较低。

2.3 中国马铃薯生产效率时空演变分析

表 5 2011—2018 年我国马铃薯主产省（区）综合技术效率全局 Moran's *I* 指数及其检验值

Table 5 Global Moran's *I* indices and the test values of the comprehensive technical efficiency of main potato producing areas during 2011—2018

年份	Moran's <i>I</i> 指数	<i>P</i> 值	Mean	Sd	E (1)	<i>z</i> 值
2011	0.266	0.009	-0.030	0.110	-0.030	2.700
2012	0.273	0.006	-0.029	0.109	-0.030	2.770
2013	0.280	0.006	-0.029	0.109	-0.030	2.819
2014	0.255	0.007	-0.030	0.109	-0.030	2.610
2015	0.258	0.007	-0.030	0.109	-0.030	2.653
2016	0.230	0.013	-0.030	0.109	-0.030	2.404
2017	0.272	0.006	-0.029	0.109	-0.030	2.761
2018	0.248	0.009	-0.030	0.109	-0.030	2.558

2.3.2 局部空间自相关分析 全局自相关分析仅从全局角度研究了 2011 年以来我国马铃薯生产效率空间集聚特征，而空间集聚的局部特征无法有效反映，偏离整体空间特征的集聚关系也可能被掩盖^[27]。局部空间自相关分析可以有效弥补这一不足，用 Moran 散点图和 LISA 集聚图来研究局部空间集聚态势。运用 GeoDa 软件以各省份马铃薯生产综合效率值为横坐标，各省份马铃薯生产综合效率空间滞后向量 (*W*) 为纵坐标，做出了 2011 和 2018 年我国马铃薯生产综合技术效率的 Local Moran's *I* 散点图 (图 1)，得出该两年我国马铃薯综合技术效率局部空间集聚类型表。

散点图的四个象限分别表示低—高 (L—H)、高一高 (H—H)、低—低 (L—L)、高一低 (H—L) 四种类型的空间聚类关系。其中处于第一、三象限的表示呈空间正相关性，即空间聚类特征相似，处

2.3.1 全局空间自相关分析 为研究我国马铃薯主产区综合技术效率的空间集聚特征，运用 GeoDa 软件通过重复随机排列法构建标准正态统计量，计算马铃薯生产技术效率全局 Moran's *I* 指数及其 *Z* 统计量，采用空间邻近矩阵 Rook 准则设定空间权重矩阵^[26]，结果见表 5。从表 5 可知，从 2011—2018 年，我国马铃薯生产综合技术效率的全局自相关 Moran's *I* 指数处于 [0.230, 0.275] 区间，且 *P* 值均远小于 0.05，*Z* 统计量通过了显著性检验，说明近 8 年研究区域马铃薯生产综合技术效率具有显著的空间正相关性，我国马铃薯生产效率空间集聚特征明显 (高一高、低—低效率相邻)。由表 5 可知，2011—2018 年，我国马铃薯生产效率空间集聚程度有略微起伏，2013 年达到峰值 0.280，此后空间集聚程度有下降趋势，除 2017 年有所提升外，近几年 Moran 指数均小于前三年，其中 2016 年生产效率空间集聚程度最弱，为 0.230，说明近些年我国马铃薯生产效率空间差异性增强。

于第二、四象限的与之相反^[28]。由以上散点图可知，大多数省份都处于“H—H”或“L—L”象限，表明不同省份马铃薯生产效率呈现显著空间正相关性，即生产效率局部集聚性显著，并且生产效率高值集聚性更为明显。2011 年和 2018 年位于“H—H”和“L—L”象限的省份分别占全国样本总数的 69.2% 和 76.9%，表明我国马铃薯生产效率空间集聚程度不断增强，生产效率的局部空间异质性在缩小。

LISA 集聚图可以用来研究不同空间单元属性相似区域的空间集聚类型^[29]。为进一步研究局部范围内各省马铃薯生产综合技术效率的空间集聚情况，利用 GeoDa 软件计算 2011 年和 2018 年我国马铃薯各主产省生产效率 LISA 值，并得出通过 *Z* 统计值检验 ($P < 5\%$) 的各省 (区) LISA 集聚类型。

由表 6 可知，大部分省份马铃薯生产技术效率

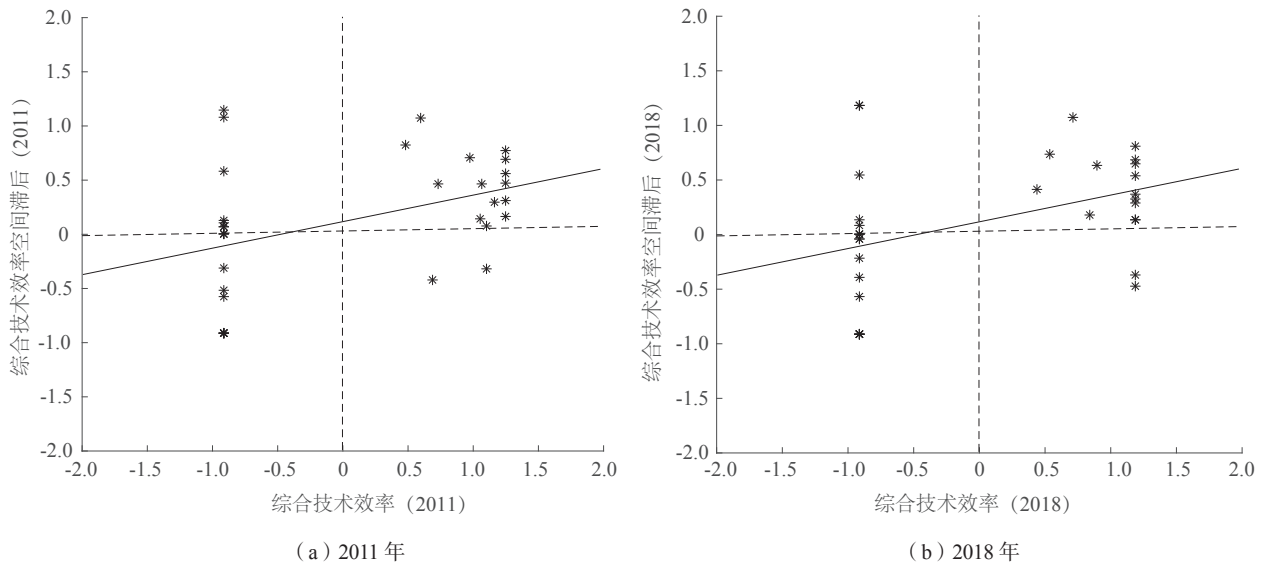


图 1 2011、2018 年我国马铃薯主产省（区）综合技术效率 Moran 散点图

Fig. 1 Moran scatter diagram of the comprehensive technical efficiency of main potato producing provinces (regions) in 2011 and 2018

表 6 2011、2018 年我国马铃薯主产省（区）综合技术效率集聚类型

Table 6 Types of the comprehensive technical efficiency agglomeration in main potato producing provinces (regions) in 2011 and 2018

集聚类型	2011 年	2018 年
高一高集聚	内蒙古、甘肃、 陕西、四川	内蒙古、甘肃、 陕西、四川
低一高集聚	辽宁、青海	辽宁、青海
低一低集聚	福建、浙江、广东	浙江、广东

并没有明显的局部空间集聚性，即空间相关性较强的省份较少，且存在空间正相关性的省份较为稳定，主要分布在西北黄土高原区和西南地区。在空间聚类类型上，主要以“H—H”聚类为主，其他类型较少，表明我国马铃薯生产主要呈现高综合技术效率区域集聚的特点。其中 2011 年和 2018 年“H—H”聚类的省份均为内蒙古自治区、陕西省、甘肃省和四川省，主要集中在西北和西南地区，这些省份全都是马铃薯生产传统优势区，并且生产效率空间集聚的稳定性较高。表明这些省份马铃薯生产综合技术效率集聚性较强，与周边省马铃薯生产关联较为紧密，对区域生产效率具有较强的辐射带动能力。

3 结论

本文运用 DEA—Malmquist 指数模型和探索性空间数据分析 (ESDA) 相结合的方法，从时间和空间两个维度深入研究了我国马铃薯生产效率的时空变化和空间相关性，得出如下结论：

1) 我国马铃薯生产综合技术效率水平较低，规模效率是主要制约因素。2011—2018 年我国马铃

薯生产综合技术效率均为 DEA 非有效，说明我国马铃薯生产投入要素规模不经济的问题较为突出。但近年来综合效率有增长态势，主要是由于马铃薯生产者种植管理水平的提升，投入要素结构在不断优化。

2) 我国马铃薯全要素生产率进步缓慢，空间不均衡性突出。研究区域仅有内蒙古、山东、辽宁、湖北和四川全要素生产率处于正增长，四大马铃薯优势区中仅东北优势区全要素生产率正增长，其余省份和产区均处于下降状态。

3) 我国马铃薯整体资源利用效率空间差异性明显。陕西省和甘肃省马铃薯生产综合技术效率值远低于其他各省，西南马铃薯优势种植区综合技术效率在四大优势区最高，华北优势区和西北优势区纯技术效率较高，东北优势区和西南优势区规模效率较高。

4) 我国马铃薯生产综合技术效率具有显著空间正相关性，主要呈“H—H”集聚特点。我国马铃薯生产主要呈现高综合技术效率区域集聚的特点，内蒙古自治区、陕西省、甘肃省和四川省均为“H—H”集聚区，表明这些省份马铃薯生产效率扩散效应显著，对区域生产效率提升具有较强的辐射带动能力。

4 对策建议

1) 加大政策支持和产业扶持力度。马铃薯作为一种高投入、高产出的作物，生产效率的提高离不开一系列体现现代农业特点要素的持续投入，在

此过程中政府政策支持可以起到对生产力提升积极推动的作用,尤其在马铃薯良种、化肥和高效农机具方面的补贴对农户提升马铃薯生产水平起到很大的促进作用。需求端对马铃薯生产有指引作用,政府在提升马铃薯消费潜力中应有所作为,2015年农业部提出了马铃薯主粮化战略,即从国家层面对马铃薯食物性消费做出鼓励与支持。

2) 推动马铃薯现代种业体系建设,加大马铃薯生产技术科研投入。良种是马铃薯生产效率的第一推动力,通过构建灵活有效的脱毒种薯监管推广体系,加快良种培育步伐。在提升脱毒种薯应用率的同时,选育高产、抗逆性强的新品种。用高新装备武装马铃薯生产者,提升种植端生产技术水平,并加大马铃薯生产技术研发投入,推广性价比高、使用便捷、适应不同地区自然条件的马铃薯生产设备^[30]。

3) 根据不同地区生产效率现状制定针对性提升策略。由研究可知,我国马铃薯生产不同优势区制约因素不同,华北、西北优势区应着力提升马铃薯生产投入要素规模效益,在调整投入要素结构中多做文章;东北、西南优势区则应着力提升适用高效生产技术使用效率,加大先进生产技术推广应用,培育掌握先进生产技术的新型职业农民。

4) 进一步提升马铃薯生产效率高值聚集区辐射带动能力,畅通马铃薯先进生产技术扩散渠道。积极总结内蒙古、陕西等省份马铃薯生产效率提升经验,加大不同省份马铃薯相关人才交流力度,对生产效率高值区域人才、技术向其他省份流动提供政策支持。营造全国范围内互相学习马铃薯先进生产经验,尊重马铃薯生产经营人才的良好氛围。

参考文献:

- [1] 罗其友,刘洋,高明杰,等.中国马铃薯产业现状与前景[J].农业展望,2015,11(3):35-40.
Luo Q Y, Liu Y, Gao M J, et al. Status quo and prospect of China's potato industry[J]. Agricultural Outlook, 2015, 11(3): 35-40.
- [2] 马力阳,罗其友,高明杰,等.2005—2015年我国马铃薯增产空间分异与贡献因素[J].中国农业资源与区划,2019,40(9):125-130.
Ma L Y, Luo Q Y, Gao M J, et al. Spatial distribution and contribution factors of China's potato output increase from 2005 to 2015[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2019, 40(9): 125-130.
- [3] 马力阳,罗其友,高明杰.山地地区不同规模农户马铃薯生产技术效率研究——基于甘肃、重庆、广东453个农户的实证分析[J].华中农业大学学报(社会科学版),2019(4):72-80,172-173.
Ma L Y, Luo Q Y, Gao M J. Technical efficiency of potato production farmers in different scales in mountainous areas—

- An empirical analysis on 453 farmers in Gansu, Chongqing and Guangdong[J]. Journal of Huazhong Agricultural University (Social Sciences Edition), 2019(4): 72-80, 172-173.
- [4] 陈萌山,王小虎.中国马铃薯主食产业化发展与展望[J].农业经济问题,2015,36(12):4-11.
Chen M S, Wang X H. Development and prospect of potato staple food industrialization in China[J]. Issues in Agricultural Economy, 2015, 36(12): 4-11.
- [5] 李寅秋,陈超.细碎化、规模效应与稻农投入产出效率[J].华南农业大学学报(社会科学版),2011,10(3):72-78.
Li Y Q, Chen C. Land fragmentation, larger-scale farming and the input-output efficiency of rice planter[J]. Journal of South China Agricultural University (Social Science Edition), 2011, 10(3): 72-78.
- [6] 祝宏辉,徐光艳.肉羊生产效率及其影响因素研究——基于DEA-SFA方法对新疆肉羊生产率的分析[J].价格理论与实践,2019(9):63-66.
Zhu H H, Xu G Y. Study on production efficiency of sheep—Analysis of Xinjiang sheep productivity based on DEA-SFA method[J]. Price: Theory & Practice, 2019(9): 63-66.
- [7] 杨国梁. DEA模型与规模收益研究综述[J].中国管理科学,2015,23(S1):64-71.
Yang G L. Review of returns to scale in DEA models[J]. Chinese Journal of Management Science, 2015, 23(S1): 64-71.
- [8] 王志刚,李腾飞,黄圣男,等.基于随机前沿模型的农业生产技术效率研究——来自甘肃省定西市马铃薯生产的数据[J].华中农业大学学报(社会科学版),2013(5):61-67.
Wang Z G, Li T F, Huang S N, et al. Study on agricultural production technical efficiency based on stochastic frontier model—Taking potato data from Dingxi City, Gansu Province for example[J]. Journal of Huazhong Agricultural University (Social Sciences Edition), 2013(5): 61-67.
- [9] 张建,诸培新.不同农地流转模式对农业生产效率的影响分析——以江苏省四县为例[J].资源科学,2017,39(4):629-640.
Zhang J, Zhu P X. The effect of different farmland transfer patterns on household agricultural productivity based on surveys of four counties in Jiangsu Province[J]. Resources Science, 2017, 39(4): 629-640.
- [10] 李勤志,冯中朝,李然.我国马铃薯生产效率的DEA分析[J].陕西农业科学,2009,55(4):156-159.
Li Q Z, Feng Z C, Li R. DEA analysis of potato production efficiency in my country[J]. Shaanxi Agricultural Sciences, 2009, 55(4): 156-159.
- [11] 张萌,罗其友,高明杰.基于DEA模型的中国马铃薯生产效率分析[J].农业展望,2018,14(2):52-56,64.
Zhang M, Luo Q Y, Gao M J. Potato production efficiency in China based on DEA model[J]. Agricultural Outlook, 2018, 14(2): 52-56, 64.
- [12] 罗屹,王鑫.基于DEA模型的中国马铃薯生产效率分析[J].中国农业文摘-农业工程,2018,30(4):13-18.
Luo Y, Wang X. Analysis of potato production efficiency in China based on DEA model[J]. Agricultural Science and Engineering in China, 2018, 30(4): 13-18.
- [13] 刘洋,罗其友.中国马铃薯生产效率的实证分析——基于非参数的Malmquist指数方法[J].中国农学通报,2010,26(14):

- 138-144.
- Liu Y, Luo Q Y. Empirical analysis on total factor productivity of potatoes in China—Based on the nonparametric malmquist productivity index[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2010, 26(14): 138-144.
- [14] 刘秉镰, 李清彬. 中国城市全要素生产率的动态实证分析: 1990—2006——基于 DEA 模型的 Malmquist 指数方法 [J]. 南开经济研究, 2009(3): 139-152.
- Liu B L, Li Q B. The dynamic analysis of China's city TFP: 1990—2006——Based on malmquist index and DEA model[J]. Nankai Economic Studies, 2009(3): 139-152.
- [15] 唐江云, 向平, 杨红, 等. 基于超效率 DEA 模型的四川省马铃薯生产效率分析 [J]. 江苏农业科学, 2018, 46(15): 313-317.
- Tang J Y, Xiang P, Yang H, et al. Analysis of potato production efficiency in Sichuan Province based on super efficiency DEA model[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2018, 46(15): 313-317.
- [16] 张丽娜, 陈志, 杨敏丽, 等. 我国玉米生产效率时空特征分析 [J]. 农业机械学报, 2018, 49(1): 183-193.
- Zhang L N, Chen Z, Yang M L, et al. Spatio-temporal feature of maize production efficiency in main producing provinces of China[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2018, 49(1): 183-193.
- [17] 李辉尚, 胡晨沛, 曲春红. 中国小麦主产区生产效率时空演变特征分析 [J]. 中国农业资源与区划, 2018, 39(10): 91-99.
- Li H S, Hu C P, Qu C H. Spatio-temporal feature of wheat production efficiency in main producing provinces of China[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2018, 39(10): 91-99.
- [18] 张凡凡, 张启楠, 李福夺, 等. 中国粮食生产效率空间分异特征及驱动机理 [J]. 水土保持通报, 2018, 38(4): 317-323.
- Zhang F F, Zhang Q N, Li F D, et al. Spatial differentiation characteristics and driving mechanism of grain production efficiency in China[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2018, 38(4): 317-323.
- [19] 杨亚东, 胡韵菲, 栗欣如, 等. 中国马铃薯种植空间格局演变及其驱动因素分析 [J]. 农业技术经济, 2017(8): 39-47.
- Yang Y D, Hu Y F, Li X R, et al. Evolution of spatial pattern of potato planting in China and analysis of driving factors[J]. Journal of Agrotechnical Economics, 2017(8): 39-47.
- [20] Charnes A, Cooper W W, Lewin A Y, et al. Sensitivity and stability analysis in dea[J]. Annals of Operations Research, 1984, 2(1): 139-156.
- [21] Cook W D, Liang L, Zha Y, et al. A modified super-efficiency DEA model for infeasibility[J]. Journal of the Operational Research Society, 2009, 60(2): 276-281.
- [22] Färe R, Grosskopf S. The fisher ideal index and the indirect malmquist productivity index: A comparison[J]. New Zealand Economic Papers, 1990, 24(1): 66-72.
- [23] 沈怡静, 刘彦花, 贾莉. 广西北部湾经济区土地利用效率演变及空间分异研究 [J]. 江苏农业科学, 2017, 45(18): 278-283.
- Shen Y J, Liu Y H, Jia L. Evolution of land use efficiency and spatial differentiation in the Beibu Gulf economic zone of Guangxi[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2017, 45(18): 278-283.
- [24] 夏永久, 朱喜钢, 储金龙. 基于 ESDA 的安徽省县域经济综合竞争力空间演变特征研究 [J]. 经济地理, 2011, 31(9): 1427-1431, 1438.
- Xia Y J, Zhu X G, Chu J L. Evolution of spatial pattern of County economic comprehensive competitiveness in Anhui Province based on ESDA[J]. Economic Geography, 2011, 31(9): 1427-1431, 1438.
- [25] 杨国涛, 张特, 东梅. 中国农业生产效率与减贫效率研究 [J]. 数量经济技术经济研究, 2020, 37(4): 46-65.
- Yang G T, Zhang T, Dong M. Research on the efficiency of agricultural production and poverty reduction in rural China[J]. The Journal of Quantitative & Technical Economics, 2020, 37(4): 46-65.
- [26] 麻永建, 徐建刚. 基于 ESDA 的河南省区域经济差异的时空演变研究 [J]. 软科学, 2006, 20(5): 51-54.
- Ma Y J, Xu J G. A study on the spatial-temporal development of regional economic disparities in Henan Province based on ESDA[J]. Soft Science, 2006, 20(5): 51-54.
- [27] 关伟, 朱海飞. 基于 ESDA 的辽宁省县际经济差异时空分析 [J]. 地理研究, 2011, 30(11): 2008-2016.
- Guan W, Zhu H F. Spatio-temporal analysis of inter-county economic differences in Liaoning Province based on ESDA[J]. Geographical Research, 2011, 30(11): 2008-2016.
- [28] 王蕾, 于成成, 王敏, 等. 我国农业生产效率的政策效应及时空差异研究——基于三阶段 DEA 模型的实证分析 [J]. 软科学, 2019, 33(9): 33-39.
- Wang L, Yu C C, Wang M, et al. Study on policy effect and spatial-temporal difference of agricultural production efficiency in China—Empirical analysis based on three-stage DEA model[J]. Soft Science, 2019, 33(9): 33-39.
- [29] 李宁, 李铁滨, 房艳刚, 等. 吉林省县域经济效率时空格局演化研究 [J]. 地理科学, 2019, 39(8): 1293-1301.
- Li N, Li T B, Fang Y G, et al. Spatiotemporal pattern evolution of economic efficiency in County area of Jilin Province based on malmquist and ESDA[J]. Scientia Geographica Sinica, 2019, 39(8): 1293-1301.
- [30] 白丽, 陈曦, 孙洁, 等. 产业融合视角下中国马铃薯加工业发展问题研究 [J]. 农业工程学报, 2019, 35(8): 316-323.
- Bai L, Chen X, Sun J, et al. Development of potato processing industry in China from perspective of industrial integration[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2019, 35(8): 316-323.

(责任编辑: 王育花)