

doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2018.01.023

我国玉米生产效率时空特征分析

张丽娜^{1,2} 陈志³ 杨敏丽^{1,2} 黄凰⁴ 叶春⁵

(1. 中国农业大学工学院, 北京 100083; 2. 中国农业大学中国农业机械化发展研究中心, 北京 100083;

3. 中国农业机械工业协会, 北京 100083; 4. 华中农业大学工学院, 武汉 430070;

5. 江西省农业科学院农业工程研究所, 南昌 330200)

摘要: 为指导我国玉米生产效率提升, 基于 DEA 模型、Malmquist 指数法以及 ESDA 分析法, 分析了 2005—2015 年我国 20 个玉米主产省(区)玉米生产综合技术效率与全要素生产率变化的时空特征。结果表明:①2005—2015 年, 研究区域玉米生产综合技术效率平均值、纯技术效率和规模效率的均值都未达到 DEA 有效水平, 综合技术效率提高主要依赖生产方式改进, 玉米全要素生产率平均下降 6.7%, 其增长显著依赖于技术进步。②各省(区)综合技术效率的差异主要受农业生产方式(技术运用等)、经营规模及农业生产占比等的影响。综合生产技术效率较高的省(区), 纯技术效率与规模效率均较高; 而综合效率较低的省(区), 纯技术效率与规模效率的差异较大。缺乏区域适用的先进生产技术或技术未得到有效投入, 推广运用会导致玉米全要素生产率降低。③玉米生产各个投入要素均存在不同程度的松弛, 配置不合理, 均有可节约的空间。④研究区域玉米生产综合技术效率呈现集聚性, 11 年间空间差异扩大。少部分区域存在显著的正相关关系, 主要集中在北方地区与黄淮海地区, 呈现明显的空间集聚特征。因此, 针对性提高区域适用技术的有效投入、改善经营规模, 是提高各省(区)玉米生产效率的关键, 同时, 加强空间布局优化, 使玉米生产达到“H-H”集聚是整体提升我国玉米生产效率、提高竞争力的关键。

关键词: 玉米; 生产效率; DEA 模型; ESDA 分析法; 时空特征

中图分类号: F223; F323.3 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2018)01-0183-11

Spatio-temporal Feature of Maize Production Efficiency in Main Producing Provinces of China

ZHANG Li^{na}^{1,2} CHEN Zhi³ YANG Minli^{1,2} HUANG Huang⁴ YE Chun⁵

(1. College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China

2. China Research Center for Agricultural Mechanization Development, China Agricultural University, Beijing 100083, China

3. China Association of Agricultural Machinery Manufacturers, Beijing 100083, China

4. College of Engineering, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China

5. Institute of Agricultural Engineering, Jiangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanchang 330200, China)

Abstract: The aims were to determine the efficiency and its temporal-spatial evolvement characteristics by using data envelopment analysis (DEA), Malmquist index and exploratory spatial data analysis (ESDA) in 20 main producing provinces of maize in China during an 11 years period (2005—2015). The results showed that the average value of scale efficiency, comprehensive and pure technical efficiency of maize production in the study areas were unproductive. The high comprehensive technical efficiency was positively correlated with production methods. With an annual decrement of 6.7% in total factor productivity, mainly due to the lack of effective application of the production technology. The difference of the comprehensive technical efficiency between the provinces was mainly affected by the mode of agricultural production (especially technology, etc.), the scale of operation and the proportion of agricultural production. The provinces with high efficiency had both higher technical efficiency and scale efficiency, while the difference between the technical efficiency and the scale efficiency was relatively large for the provinces with lower efficiency. Lack of regional application of advanced production

收稿日期: 2017-04-18 修回日期: 2017-08-31

基金项目: 农业部公益性行业科研专项(200903009-02)和中央高校基本科研业务费专项资金项目(2662015QC017)

作者简介: 张丽娜(1989—), 女, 博士生, 主要从事农村发展与农业机械化研究, E-mail: 974272599@qq.com

通信作者: 杨敏丽(1965—), 女, 教授, 博士生导师, 主要从事农村发展与农业机械化研究, E-mail: qyang@cau.edu.cn

technology led to the reduction of total factor productivity. Various input elements of maize production were unreasonable, which can all be saved by using advanced and applicable production mode. The comprehensive technical efficiency in study areas showed obvious spatial clustering, while the spatial clustering of similar efficiency was not strengthened during the past 11 years, which was weakened in some years, the spatial differences were also expanded in each area. There were significant positive correlations in the northern area and Huang-Huai-Hai area of China. Improving the effective use of regional applicable technology and scale of operation were keys to improve the production efficiency of maize. Simultaneously, optimizing the spatial layout in main producing provinces of maize to achieve the "H-H" types was essential to improve the efficiency and competitiveness of maize production in China.

Key words: maize; production efficiency; DEA model; ESDA analysis method; spatio-temporal feature

0 引言

玉米是独具粮、经、饲、能等多元用途的重要战略物资^[1]。从国内视角看,玉米在我国农业生产中占有十分重要的地位。在我国粮食生产中其种植面积和产量均位居第一位,2015年,全国玉米种植面积达3 811.9万 hm^2 ,总产量22 463.2万 t ^[2-4],分别占粮食种植面积和总产量的33.6%和36.1%,玉米在全国范围内广泛种植,对促进粮食增产、农民增收,保障我国粮食安全等方面都发挥了巨大的作用。而目前,国内水、耕地等基础资源短缺态势越来越严峻,成为制约农业发展的重要因素;同时,在玉米供给侧结构性改革背景下,其种植面积在不断调减,这都决定了我国玉米生产不可能依靠无限扩张的投入要素来发展,要保障粮食安全,保证农民收益,就需要依赖生产效率的不断提高。此外,生产效率也是测度竞争力的重要指标,从国际视角看,我国是仅次于美国的世界第二大玉米生产国和消费国,但与美国相比,我国玉米单产低,生产成本低^[4],2015年,我国玉米单产为7 332.15 kg/hm^2 ,比美国低了3 150 kg/hm^2 ;总生产成本10 482.15元/ hm^2 ,比美国高了5 839.35元/ hm^2 。从2010年开始,我国已成为玉米净进口国,对外依存度越来越高,自我供需保障能力减弱,对外的竞争能力弱,亟需提高生产效率。科学评价我国玉米产业生产效率,对其影响因素进行分析,提出玉米生产效率改进的方法,为提高生产效率制定合理的政策提供依据,对促进我国玉米产业健康发展有重要意义。

关于玉米生产效率,不少学者做了一定的研究^[5-11]。但主要集中在对全国玉米生产效率及以个别省份为例的玉米生产效率研究^[4-10],这些都对本文提供了有价值的参考。而玉米生产效率的时空特征包含时间特征和空间特征,其中,时间特征是纵向分析,指其随着时间的变化呈现的变化特征;空间特征是横向分析,主要指其不同区域的分布情况。从研究角度来看,目前鲜有对我国玉米生产效率时

空演变特征的研究。本文对玉米生产效率的时空演变特征进行研究,分析其随时间变化的规律以及空间分布的变化情况,将对于提高区域玉米生产效率,保障区域粮食安全及可持续发展有重要的指导意义。

1 研究方法与数据来源

1.1 理论与模型

1.1.1 DEA模型

数据包络分析法(Data envelopment analysis, DEA),最初由CHARNES和COOPER等于1978年开始创建,是对多种投入与产出变量进行效率分析的一种有效方法^[12-17]。该方法将具有多输入和输出的系统称为一个决策单元(DMU),根据对各个DMU观测的数据(各决策单元与最佳前沿面之间的距离)来确定各DMU的技术效率与规模效率,从而判断是否为DEA有效。DEA的常用模型有CRS与VRS,前者假设规模报酬不变,主要用来测算综合技术效率(TE),后者假定规模报酬可变,可将综合技术效率(TE)分解为纯技术效率(PTE)、规模效率(SE),且为二者乘积。此外,基于DEA的Malmquist指数法普遍被用来测算全要素生产率变化,该模型可将全要素生产率(TFP)变化的原因分为技术进步效率变化(Tech)与技术效率变化(Ech),并进一步把技术效率变化细分为纯技术效率变化(TEch)和规模效率变化(SEch),反映产出的变动与全部要素投入变动的关系^[18-21]。

玉米生产是多投入和产出的系统,为了更好评价我国玉米生产效率,本文把每一个省(区)作为一个决策单元,基于2005—2015年的面板数据,利用DEA的VRS模型与Malmquist指数法,得到历年研究样本总体与各省(区)玉米生产综合技术效率及其分解与全要素生产率变化及其分解的值。从对历年效率值的分析得到玉米生产效率的时序变化趋势与特征,动态评价我国玉米主要生产省(区)的生产率变动情况;从对各省(区)对应效率值的分析了解

玉米生产效率的空间分布情况。假设有 n 个省(区),每一个当成一个 DMU,则 DEA 的 VRS(用字母“V”表示)模型为

$$V = \begin{cases} \min \theta \\ \text{s. t. } \sum_{j=1}^n \lambda_j x_j \leq \theta x_0 \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j y_j \geq y_0 \\ \lambda_j \geq 0 \\ \sum \lambda_j = 1 \end{cases} \quad (1)$$

式中 x_0, y_0 ——被评价决策单元的投入和产出变量
 x_j, y_j ——第 j 个省(区)的投入和产出变量
 θ ——综合技术效率($\theta \in [0, 1]$),其值越大表示综合技术效率越高,其值为 1 时效率有效(最优),投入得到了最充分利用
 λ_j ——各单位组合系数

基于 Malmquist 生产效率指数表示的 TFP 模型为

$$\begin{cases} M_i(x_s, y_s; x_t, y_t) = \left(\frac{D_i^s(x_t, y_t)}{D_i^s(x_s, y_s)} \frac{D_i^t(x_t, y_t)}{D_i^t(x_s, y_s)} \right)^{\frac{1}{2}} = \\ \frac{D_i^t(x_t, y_t)}{D_i^t(x_s, y_s)} \left(\frac{D_i^s(x_t, y_t)}{D_i^s(x_t, y_t)} \frac{D_i^s(x_s, y_s)}{D_i^t(x_s, y_s)} \right)^{\frac{1}{2}} \\ E_{ch} = \frac{D_{it}(x_t, y_t)}{D_i^t(x_s, y_s)} \\ T_{ch} = \left(\frac{D_i^s(x_t, y_t)}{D_i^t(x_t, y_t)} \frac{D_i^s(x_s, y_s)}{D_i^t(x_s, y_s)} \right)^{\frac{1}{2}} \end{cases} \quad (2)$$

式中 $(x_s, y_s), (x_t, y_t)$ —— s 时期和 t 时期的投入量和产出量

D_i^s, D_i^t ——以 s 时期和 t 时期的技术为参照的距离函数

E_{ch}, T_{ch} —— t 时期相对于 s 时期技术效率和技术进步效率的变化

若 Malmquist 指数大于 1,则表示全要素生产率(TFP)提高。当技术进步率和技术效率指数大于 1 时,表示其为 TFP 增长的主要因素,反之,则是导致 TFP 下降的因素。而规模效率指数和纯技术效率指数的高低,则反映其对技术效率指数的影响。

1.1.2 GIS 探索性空间数据分析方法

GIS 探索性空间数据分析方法(ESDA)是一种用于探测空间分布的非随机性或空间自相关特性的空间数据分析方法^[22-24]。它将图形计算技术与统计学方法结合,以更直观的方式将空间分布、空间相互作用等特征展现出来,是一种认识空间分布特征最常用的分析方法。主要有两种不同等级的分析。一种是全局空间相关性分析,主要用来分析空间数据在整个系统内部所表现出来的分布特征。通常用

Moran 指数 I (Moran, 1950)和 Geary 指数 C (Geary, 1954)2 个指标来度量。第 2 种是局部空间相关性分析,用于分析系统内局部子系统所表现出的空间分布特征。主要是用 G 统计量、Moran 散点图和 LISA 图来测度。

本文运用 Geoda 软件进行 ESDA 研究,以 20 个省(区)为例,对 2001—2015 年间各省(区)玉米生产效率进行全局自相关分析与局部自相关分析,在空间上进一步揭示玉米生产效率的分布与发展变化特征。综上,运用 DEA 结合 ESDA 的方法对玉米生产效率进行时空特征分析是一种适用有效的方式。

1.2 变量选取及数据来源

劳动力、土地、资本是农业生产的 3 个主要要素。玉米生产是多投入系统,在保证指标可以基本反映玉米生产过程中投入和产出,同时保障数据的可获得性、准确性基础上,选取单位面积用工数量(标准日/hm²)、土地成本(元/hm²)、化肥费用(元/hm²)、种子费用(元/hm²)、机械作业费(元/hm²)以及其他费用(农药、农膜等直接费用,元/hm²)作为投入指标,以单位面积产量(kg/hm²)作为产出指标。

本文研究数据来源于《全国农产品成本收益资料汇编》^[4](以下简称《汇编》)。利用 2005—2015 年 11 年间的相关统计数据,对河北、山西、内蒙古、辽宁、吉林、黑龙江、江苏、安徽、山东、河南、湖北、广西、重庆、四川、贵州、云南、陕西、甘肃、宁夏、新疆等 20 个玉米生产省(区)的玉米生产效率进行分析(表 1)。由于 2007 年广西数据缺失,2014 年黑龙江省与重庆市单位面积土地成本缺失数据,用上下年份数据算术平均后所得,最终样本量共计 220 个。

表 1 研究区域分布情况

Tab.1 Distribution of study areas

地区	省(区)
北方春玉米区	内蒙古、辽宁、吉林、黑龙江、宁夏、甘肃、新疆
黄淮海夏玉米区	河北、山西、江苏、安徽、山东、河南、陕西
西南优势玉米区	湖北、广西、重庆、四川、贵州、云南

注:分区参照《玉米优势区域布局规划(2008—2015 年)》。

2 实证分析

2.1 玉米生产效率时序特征分析

依据 2006—2016 年《汇编》,获得 2005—2015 年各指标的基础数据,运用 DEAP 2.1 软件进行运算,得到我国上述 20 个省(区)2005—2015 年期间玉米生产率的总体情况如表 2 所示,其在时间序列上的变化见图 1。

表2 2005—2015年我国玉米各指标生产效率(基于20个省份分析)

Tab.2 Efficiency, total factor productivity and disintegrated indexes of maize from 2005 to 2015
(Based on 20 main producing provinces)

年份	综合技术效率 (TE)	纯技术效率 (PTE)	规模效率 (SE)	全要素生产率 变化指数 (TFPch)	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)
2005	0.959	0.990	0.969					
2006	0.940	0.978	0.961	0.921	0.981	0.939	0.987	0.994
2007	0.925	0.969	0.954	0.915	0.985	0.929	0.991	0.994
2008	0.968	0.990	0.978	0.935	1.049	0.891	1.023	1.026
2009	0.955	0.972	0.981	0.933	0.983	0.949	0.981	1.003
2010	0.965	0.984	0.981	0.893	1.012	0.882	1.013	0.999
2011	0.956	0.984	0.972	0.869	0.990	0.878	0.999	0.991
2012	0.985	0.991	0.994	0.965	1.033	0.934	1.008	1.025
2013	0.953	0.989	0.964	0.965	0.963	1.002	0.998	0.965
2014	0.969	0.988	0.980	0.951	1.020	0.932	0.999	1.021
2015	0.959	0.989	0.969	0.991	0.988	1.002	1.001	0.987
平均	0.958	0.984	0.973	0.933	1.000	0.933	1.000	1.000

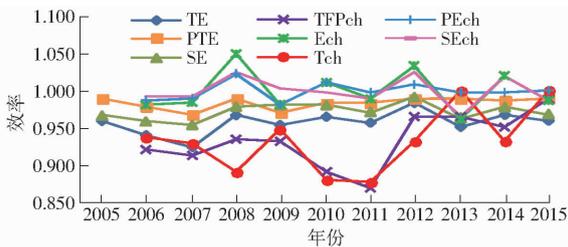


图1 研究区域玉米生产效率变化情况

Fig.1 Trends of maize production efficiency, total factor productivity and disintegrated indexes in study areas

总体看来,2005—2015年,20个省(区)玉米生产综合技术效率平均值为0.958,纯技术效率和规模效率均值分别为0.984和0.973,均未达到DEA有效水平,而规模效率低于纯技术效率,相较而言是造成综合技术效率DEA无效的主要原因,各效率还有改进优化空间。从综合技术效率来看,2005—2007年,由0.959降至0.925,2008年升至0.968后继续下降,至2012年达到峰值0.985,2015年又降回0.959,整体不断波动。从Malmquist指数来看,2005—2015年,研究省(区)玉米生产的综合技术效率变化、技术进步变化、纯技术效率变化、规模效率变化及全要素生产率变化指数的平均值分别为0.933、1.000、0.933、1.000与1.000,各个指数均未超过1,说明11年间各效率均未进步。其中全要素生产率平均下降6.7%(平均指数为0.933,小于1),说明20个省(区)玉米生产效率研究时间段内整体呈下降趋势。而从全要素生产率的分解结果并结合图1来看,2005—2015年间玉米全要素生产率变动幅度较大,主要受技术进步变化的影响(技术进步率年平均下降6.7%),即先进适用的技术未得到有效推广利用或机具配置不合理、利用率低,如

2015年我国大中型拖拉机与配套农具比例为1:1.58,小型拖拉机与配套农具比例为1:1.79,低于合理配套比1:2以上的要求。制约了玉米全要素生产率的提升。2014—2015年度,全要素生产率变化形成峰值,其主要原因也是技术进步(技术进步指数大于1且超过同时期其他效率进步指数),说明这一时间段内玉米生产的技术水平有所提高,而此时间段内我国玉米耕种收综合机械化水平突破80%,达到了81.2%;其中玉米机收水平更提高了7.5%,首次突破60%,达到了64.3%,也印证了这一结果。总之,我国玉米全要素生产率的增长显著依赖于技术进步,所以,提高玉米生产技术效率水平是未来一定时期内提高玉米全要素生产率的潜在动力。

2005—2015年,各年度玉米生产综合技术效率变化指数在1上下波动,10个时期中有4个时期(2007—2008,2009—2010,2011—2012与2013—2014年度)指数大于1,说明这些年份资源得到了充分利用,投入产出都处于最佳配置状态。6个阶段(2005—2006、2006—2007、2008—2009、2010—2011、2012—2013与2014—2015年度)指数小于1,尤其是2012—2013年度,综合技术效率变化指数为0.963,处最低水平,在所在研究时间段内投入产出效率最低,需要改进的幅度最大。

研究期间,技术进步变化的平均值为0.933(小于1),除2013—2014年度与2014—2015年度外,其余年度技术进步变化均小于1,说明只有2013—2014年度与2014—2015年度技术进步,但进步幅度较小(均为0.2%)。

玉米生产纯技术效率变化指数大于1的时期有

2007—2008、2009—2010、2011—2012、2014—2015年度,说明这些年度技术使用效率不断上升。2010—2011、2012—2013、2013—2014年度的纯技术效率变化基本趋于1(分别为0.999、0.998、0.999),说明这些年度技术使用效率基本与上一年持平。2005—2006、2006—2007年度与2008—2009、2014—2015年度纯技术效率变化均小于1,说明这些年度技术使用效率与上一年相比下降。

玉米生产规模效率变化的平均值为1,说明研究期间玉米生产规模越来越接近最优规模。但是,其中有5个时间段的规模效率变化值小于1,分别为2005—2006年度(0.994)、2006—2007年度(0.994)、2010—2011年度(0.991)、2012—2013年度(0.965)与2014—2015年度(0.987),这些年度规模报酬递减。

2.2 玉米生产效率分析

2.2.1 综合技术效率及其分解

由表3知,研究省(区)玉米生产综合技术效率的平均值为0.959,纯技术效率平均值与规模效率

平均值分别为0.990与0.969,均未达到DEA有效,而规模效率值低于纯技术效率值,说明规模效率低是制约综合技术效率提升的主要因素,另一方面也说明纯技术效率的提高是促进综合技术效率提升的重要因素。从综合技术效率来看,DEA非有效省(区)有河北省、山西省、内蒙古自治区等8个省(区),说明这些省(区)资源的投入与产出结构配置不合理。尤其是江苏省,综合技术效率为0.694,远低于平均值,主要是由于其规模效率(0.694)低造成。DEA非有效省份个数占所研究省(区)总数的40%,说明我国玉米主产区整体上综合技术效率还有较大提升空间。从纯技术效率看,DEA非有效省(区)有河北省、内蒙古自治区、广西壮族自治区3个,占所研究省(区)总数的15%,相比综合技术效率的DEA非有效省(区)占比少,说明综合技术效率是否为DEA有效,除了纯技术效率的影响外还受规模效率的影响,只有纯技术效率达到优也不一定能使综合技术效率达到优。从规模效率分析,DEA非有效省(区)有河北省、山西省、江苏省等7个,说

表3 2005—2015年我国玉米主产省(区)生产效率平均值

Tab.3 Average efficiency, total factor productivity and disintegrated indexes of maize in main producing provinces from 2005 to 2015

区域	综合技术效率 (TE)	纯技术效率 (PTE)	规模效率 (SE)	全要素生产率变化指数 (TFPch)	综合技术效率变化指数 (Ech)	技术进步变化指数 (Teh)	纯技术效率变化指数 (PEch)	规模效率变化指数 (SEch)	
北方春玉米区	内蒙古	0.860	0.861	1.000	0.957	1.015	0.943	1.015	1.000
	辽宁	1.000	1.000	1.000	0.950	0.976	0.974	0.997	0.979
	吉林	1.000	1.000	1.000	0.965	1.000	0.965	1.000	1.000
	黑龙江	1.000	1.000	1.000	0.960	1.000	0.960	1.000	1.000
	甘肃	1.000	1.000	1.000	0.862	0.992	0.869	0.992	1.000
	宁夏	0.991	1.000	0.991	0.902	0.995	0.906	1.000	0.995
	新疆	1.000	1.000	1.000	0.964	1.000	0.964	1.000	1.000
	平均	0.979	0.980	0.999	0.937	0.997	0.940	1.001	0.996
黄淮海夏玉米区	河北	0.974	0.994	0.979	0.958	1.001	0.956	1.001	1.001
	山西	0.990	1.000	0.990	0.953	1.001	0.952	1.000	1.001
	江苏	0.694	1.000	0.694	1.006	1.037	0.970	1.000	1.037
	安徽	1.000	1.000	1.000	0.936	1.000	0.936	1.000	1.000
	山东	1.000	1.000	1.000	0.956	1.000	0.956	1.000	1.000
	河南	1.000	1.000	1.000	0.958	1.000	0.958	1.000	1.000
	陕西	0.898	1.000	0.898	0.957	1.011	0.947	1.000	1.011
	平均	0.937	0.999	0.937	0.961	1.007	0.954	1.000	1.007
西南优势玉米区	湖北	0.990	1.000	0.990	0.941	0.995	0.946	1.000	0.995
	广西	0.781	0.943	0.829	0.978	1.005	0.973	1.006	1.000
	重庆	1.000	1.000	1.000	0.829	1.000	0.829	1.000	1.000
	四川	1.000	1.000	1.000	0.918	1.000	0.918	1.000	1.000
	贵州	1.000	1.000	1.000	0.813	0.988	0.823	1.000	0.988
	云南	1.000	1.000	1.000	0.926	0.987	0.938	0.987	1.000
平均	0.962	0.991	0.970	0.901	0.996	0.905	0.999	0.997	
20省平均值	0.959	0.990	0.969	0.933	1.000	0.933	1.000	1.000	

明这些省(区)的规模配置不合理,还有改进空间,而这些省(区)11年间的平均规模报酬递增,则说明在当前的技术条件下,它们的玉米种植规模偏小,可以适当继续扩大规模来获得最优效率,得到更佳收益。

2.2.2 全要素生产率及其分解

由表3可知,2005—2015年,所研究20省(区)全要素生产率的平均变化指数小于1,综合技术效率变化指数等于1,而技术进步变化指数小于1,说明所研究20省(区)整体的全要素生产效率下降,其主要原因是先进适用技术没有得到更好地推广与运用。同时,根据各省(区)的技术进步变化指数都低于综合技术效率变化指数,并最终显著导致了各省(区)对应全要素生产效率变化指数低,也再次验证了全要素生产率的增长显著依赖于技术进步这一分析。从个体来看,20个省(区)中有19个的全要素生产率的变化指数小于1,呈负增长,其中,贵州省为最小值(0.813),究其原因是技术水平制约(技术进步变化指数0.823),即各区域缺乏先进适用的生产技术或这些技术未得到有效投入、推广使用,最终制约了玉米全要素生产率的提升。

从综合技术效率变化指数看,大于1的省(区)仅有河北省、山西省、内蒙古自治区、江苏省、广西壮族自治区与陕西省6个,且最大值为1.037,即11年间综合技术效率最高仅进步了3.7%,其余5省(区)进步幅度很小(最小只有0.1%)。有6个省(区)的综合技术效率呈下降趋势,占研究省(区)总数的30%,而其综合技术效率变化指数低是由纯技术效率变化指数低或者规模效率变化指数低导致的。

根据自然断裂点分级法,运用GIS将各省2005、2010、2015年的20个省(区)玉米生产综合技术效率、纯技术效率、规模效率分级并进行可视化操

作(图2~4)。
①相对低效率:2005年江苏省与广西壮族自治区综合技术效率较低,占所研究省(区)总数的10%,2015年综合技术效率较低的有辽宁省与广西壮族自治区,占10%。
②相对中等效率:2005年综合技术效率中等的区域有河北省、山西省、内蒙古自治区等7个省(区),占所研究省(区)总数的35%,2015年中等效率区有湖北省、贵州省、云南省、甘肃省、宁夏回族自治区5省(区),占25%。
③相对高效率:2005年综合技术效率较高的有黑龙江省、吉林省、山东省、新疆维吾尔自治区等11个省(区),占所研究省(区)总数的55%,2015年高效的有河北省、山西省、内蒙古自治区、黑龙江省等13个省(区),占65%。整体来看,2005—2015年20个玉米主产省(区)中综合技术效率低的区域比例保持不变,中等效率区域减少,高效率区域在扩大,整体呈好转趋势。而根据图3与图4分析可知,综合技术效率好转主要是由于先进技术的发展,机械化的发展等,使得纯技术效率大范围提高,然而综合技术效率的高效率区域与纯技术效率的高效率区域并未重合一致,说明规模效率不佳制约了部分省(区)综合技术效率的提升,如辽宁省,2005年综合技术效率为高效,但2015年却相对低效,主要原因就是其玉米生产的规模效率没有进步或下降。

综上,研究时间段内玉米全要素生产率的增长显著依赖于技术进步。而玉米生产综合技术效率主要受纯技术效率与规模效率的影响,其中规模效率是主要制约因素,而纯技术效率是主要促进因素。各省(区)玉米生产综合技术效率的空间差异主要受其农业生产方式(先进技术运用等)及经营规模影响。综合生产技术效率较高的省(区),纯技术效率与规模效率均较高;而综合效率较低的省(区),纯技术效率与规模效率的差异较大。即可将研究省(区)分为3类:一类是纯技术效率与规模效率均高

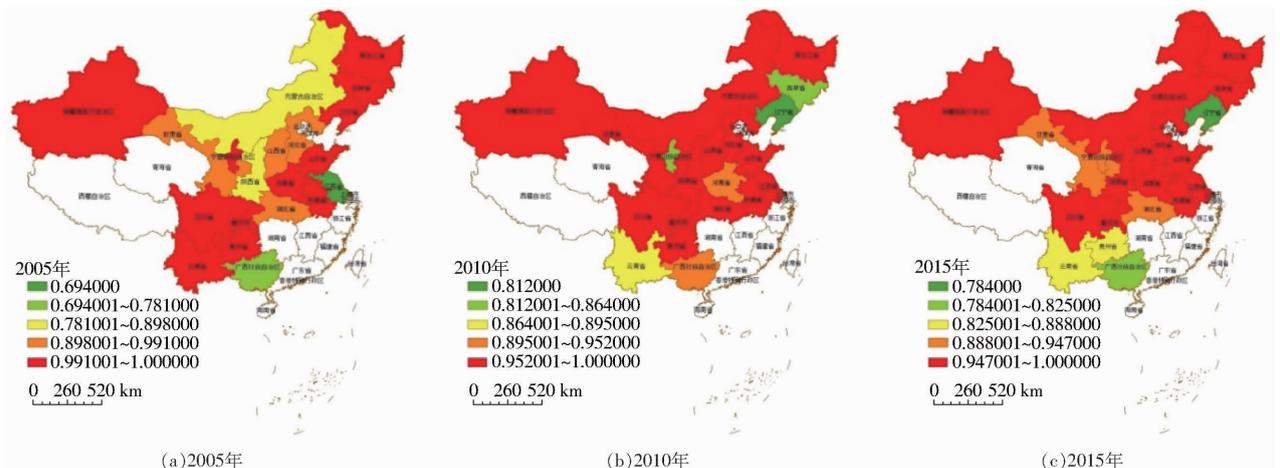


图2 我国玉米主产省(区)综合技术效率分级图

Fig.2 Levels of comprehensive technology efficiency in main producing provinces of maize

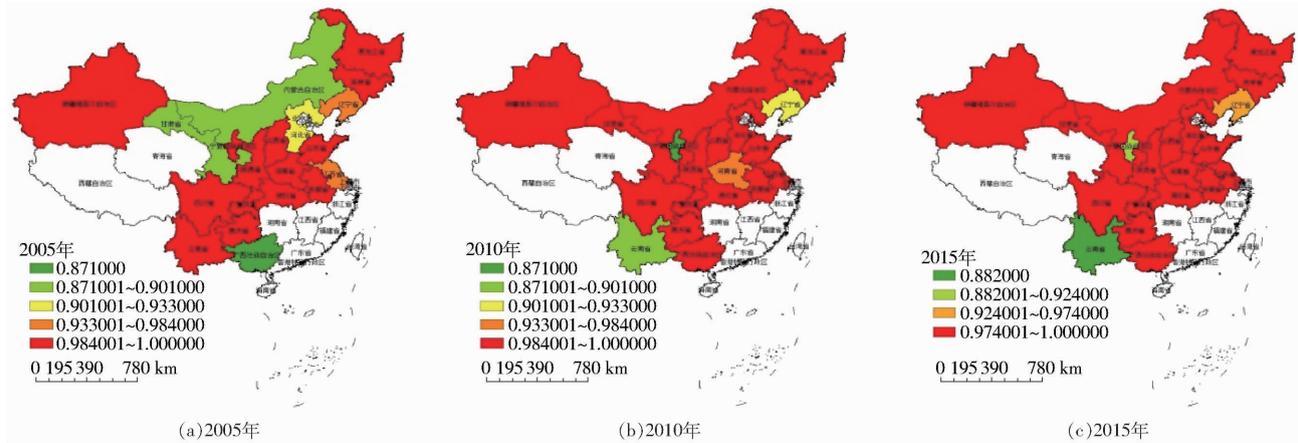


图 3 我国玉米主产省(区)纯技术效率分级图

Fig. 3 Levels of pure technology efficiency in main producing provinces of maize

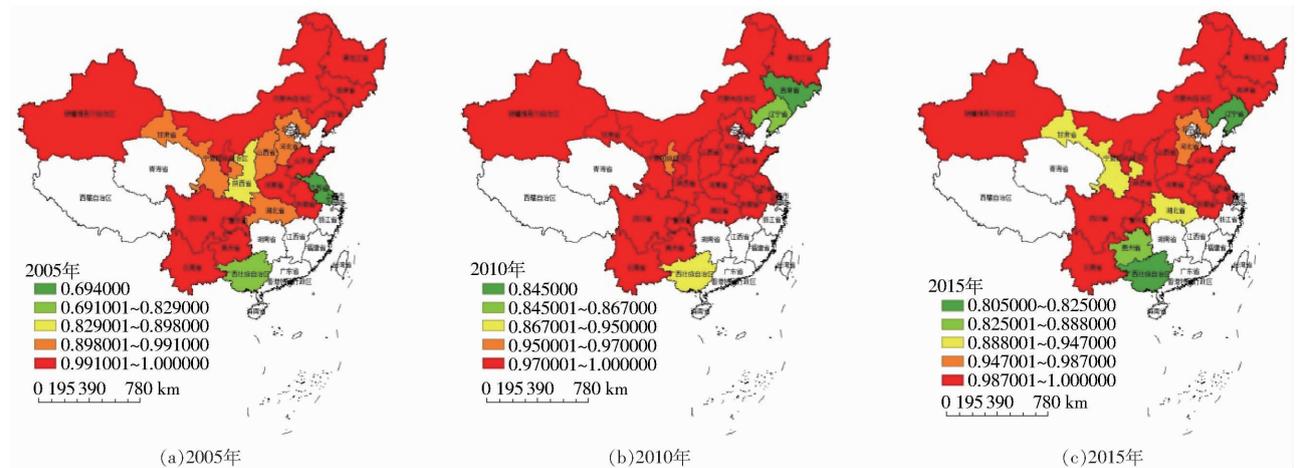


图 4 我国玉米主产省(区)规模效率分级图

Fig. 4 Levels of scale efficiency in main producing provinces of maize

的省(区),如辽宁省、吉林省、黑龙江省、四川省等,先进适用的生产技术在这类省(区)得到了较好的推广运用,玉米种植规模也较为适度;二类是纯技术效率较高,而规模效率较低的省(区),如河北省、江苏省、陕西省、广西壮族自治区等,这类省(区)经营规模偏小,制约先进生产技术发挥最大效率;三类是纯技术效率较低,规模效率较高的省(区),如内蒙古自治区,这类省(区)技术投入不足或者适用技术没有得到有效推广运用,主要依靠经营规模扩大来提高综合生产技术效率。此外,农业生产占比一定程度上也影响玉米生产综合技术效率;如云南省 2005 年其值相对较高,2015 年则相对低效,这与云南省近年来农业占比变小,而越来越以旅游业等第三产业为主的转变有关(云南第一产业占比由 2005 年的 19.3% 降低到 2015 年的 15.1%,而第三产业占比由 2005 年的 39.5% 提高到 2015 年的 45.1%)。同时,根据表 3 与图 2 可知,地形与经济条件并非是影响综合技术效率的决定因素,如北方地区与黄淮海区域相对西南地区地势平坦,黄淮海区域经济水平相对较高,但其区内各省(区)的玉米

综合生产效率并不都比西南区域省(区)高。

2.3 玉米生产要素投入分析

总的来看,我国玉米主产区各个投入生产要素均存在不同程度的松弛,各要素配置不合理,均有可节约的空间。

2.3.1 人力资源松弛

2005 年,20 个省(市、自治区)单位面积用工数量松弛量为 $0.654 \text{ 日}/\text{hm}^2$,2015 年为 $0.190 \text{ 日}/\text{hm}^2$ 。说明随着科技的发展,机械化水平的提高,劳动力逐渐转移到二、三产业,我国玉米生产逐渐由劳动力密集投入型向机械化生产转变。但要实现全程机械化,还需进一步提高劳动生产率。

2.3.2 土地资源松弛

单位面积土地成本的松弛量由 2005 年的 $0.910 \text{ 元}/\text{hm}^2$ 变为 $101.766 \text{ 元}/\text{hm}^2$ 。说明近年来土地生产成本猛涨(由 2005 年的 $859.10 \text{ 元}/\text{hm}^2$ 上涨至 2015 年的 $2957.27 \text{ 元}/\text{hm}^2$),玉米生产在土地资源上投入的成本越来越多。为更好地提高机械化生产水平,降低生产成本,需要促进土地的合理流转、集中,推进玉米生产的适度规模经营,充分发挥

土地规模经营的优势,提高生产效益。

2.3.3 化肥投入松弛

单位面积化肥费用的松弛量由2005年的3.065元/hm²变为2015年的8.719元/hm²。说明,我国玉米产量的提高某种程度还是依赖于化肥的过多投入,造成化肥过度使用、资源与资本浪费、环境污染等问题。要解决此问题,一是需要推广先进适用的精准施肥技术应用;二是需要研发、推广适合不同区域玉米生产的缓控释肥。总之,促进科学施肥,节约肥料成本,提高化肥使用效益,减少环境污染,促进土壤生产可持续,势在必行。

2.3.4 种子投入松弛

单位面积种子费用的松弛量由2005年的13.771元/hm²变为2015年的23.615元/hm²,说明玉米生产中,还可以通过标准化、规模化、集约化生产降低种子成本,通过精量播种等技术节约种子使用数量,从而降低种子投入费用。

2.3.5 机械投入松弛

单位面积机械作业费用的松弛量由2005年的1.121元/hm²变为2015年的9.617元/hm²。近年来我国玉米生产在机械化方面的投入逐渐增加,玉米生产机械化水平不断提高。然而先进、适宜、高效的高端机械配置少,低端机械的投入多,降低机械生产效率,提高机械生产成本投入,尤其体现在玉米机收环节,如目前玉米籽粒直收机械尚在改进、探索推广阶段,自走式玉米联合收获机的保有量只有31.32万台,机收率为64.18%,还有较大提升空间。亟需推进先进适用的玉米生产机械尤其是收获机械的研发、改进与推广应用或是报废更新,从而提高机

械生产效率,降低生产成本。

2.3.6 其他费用松弛

单位面积其他费用(农药、农膜等)的松弛量由39.262元/hm²(2005年)变为53.321元/hm²(2015年)。与化肥投入的情况相似,目前,我国玉米生产中农药与农膜等过度使用、资源与资本浪费、环境污染。要降低玉米其他费用投入,治理农业面源污染,则需研发推广先进适用的技术(如精准喷药技术、残膜回收技术等),坚决落实“一控两减三基本”目标。

2.4 玉米生产效率时空演变分析

2.4.1 综合技术效率全局空间自相关分析

借助GeoDA软件,运用全局空间自相关性方法分析研究区域玉米生产综合技术效率的空间相关性。计算玉米生产综合技术效率全局自相关指数Moran及其检验值,如表4所示。由表4可知,20个省(区)2005—2015年间玉米生产综合技术效率的全局自相关指数的变化情况,Moran指数均为正数,在0.3~0.4之间波动,都通过了Z统计量检验(5%水平下临界值为1.96),说明研究时间段内,20个省(区)玉米生产综合技术效率有显著正相关特征,综合技术效率呈现空间集聚性,即效率高的省(区)相邻,效率低的省(区)相邻。从Moran指数看,针对20个省(区)玉米生产综合技术效率空间相关性来看,2015年与2005年相比基本接近,2006年最弱,2011年最强,且历年差距不大,说明所研究的11年间我国20个玉米主要生产省(区)之间的生产联系基本没有进步(加强),反而在部分年份有所减弱,空间集聚性减弱,差异扩大。

表4 2005—2015年研究省(区)玉米综合技术效率全局Moran指数及其检验值

Tab.4 Global autocorrelation results of 20 main producing provinces of maize from 2005 to 2015

年份	Moran's <i>I</i>	<i>P</i>	<i>E(I)</i>	Mean	SD	<i>Z</i>
2005	0.3559	0.0020	-0.0303	-0.0351	0.1285	3.0432
2006	0.3164	0.0030	-0.0303	-0.0292	0.1313	2.6318
2007	0.3472	0.0020	-0.0303	-0.0358	0.1305	2.9350
2008	0.3527	0.0030	-0.0303	-0.0190	0.1280	2.9039
2009	0.3419	0.0060	-0.0303	-0.0332	0.1365	2.7479
2010	0.3441	0.0020	-0.0303	-0.0307	0.1279	2.9101
2011	0.3707	0.0050	-0.0303	-0.0283	0.1319	3.0244
2012	0.3663	0.0040	-0.0303	-0.0297	0.1273	3.1107
2013	0.3609	0.0020	-0.0303	-0.0264	0.1286	3.0107
2014	0.3562	0.0050	-0.0303	-0.0322	0.1297	2.9946
2015	0.3577	0.0020	-0.0303	-0.0330	0.1266	3.0852

2.4.2 综合技术效率局部空间自相关分析

为了更好地了解区域之间真正的空间相关性关系与局部聚集情况,本文采用局部空间相关性分析

补充研究。主要采用局部Moran指数、Moran's *I*散点图和LISA集聚图来分析。本文绘制2005、2015年的局部Moran's *I*散点图(图5),从散点图可知,

11 年间玉米生产综合技术效率空间集聚情况没有较大的变化。因此需根据 LISA 分析进一步研究局部范围内各省(区)玉米生产综合技术效率的空间集聚情况(LISA 是衡量某一空间单元与周围单元之间的相关程度及显著性指标),在 Z 检验基础上(P 小于 5%),绘制 2005 年与 2015 年玉米生产综合技术效率 LISA 集聚图(图 6)。由图 6 知,11 年间,大部分研究省(区)玉米生产综合技术效率无明显的空间相关性(灰色区域较多),少部分区域存在显著的正相关关系(红色区域),且存在正相关的区

域比较稳定,主要集中在北方地区与黄淮海地区,呈现明显的空间集聚特征。研究省(区)中,2005 年“H-H”类型的有内蒙古自治区、陕西省、河南省,2015 年有山西省、内蒙古自治区、辽宁省、山东省、河南省、陕西省,这些省(区)的玉米生产综合技术效率集聚性强,与周边省(区)玉米生产关联较密,带动性较强。与 2005 年相比,2015 年新增入“H-H”类型的有辽宁省、山西省与山东省,说明它们在 11 年的发展中逐渐在周边省(区)中起到了带动辐射作用。

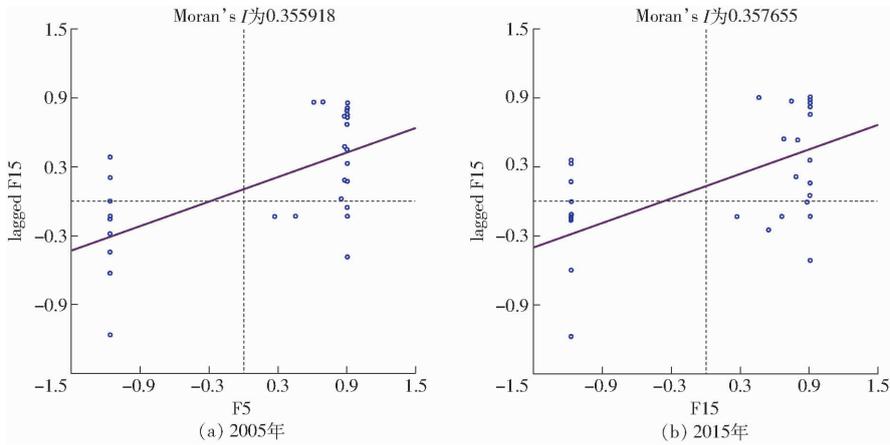


图 5 2005、2015 年研究区域玉米生产综合技术效率 Moran 散点图

Fig. 5 Local Moran scatter plots of comprehensive technology efficiency of maize production in 2005 and 2015

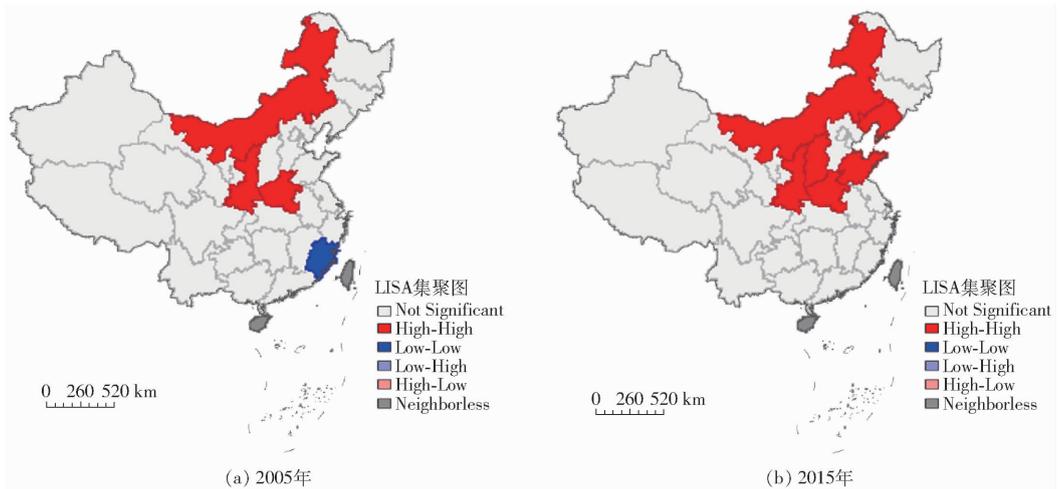


图 6 2005、2015 年研究区域玉米生产综合技术效率 LISA 集聚图

Fig. 6 LISA cluster maps of comprehensive technology efficiency of maize production in study area in 2005 and 2015

3 结论

(1)从综合技术效率、纯技术效率与规模效率看,2005—2015 年研究区域玉米生产综合技术效率平均值、纯技术效率和规模效率均值均未达到 DEA 有效水平,整体上还有较大提升空间,其中规模效率相较而言是制约综合技术效率提升的主要因素。各省(区)综合技术效率的差异主要受农业生产方式(技术运用等)、经营规模及农业生产占比等的影

响。综合生产技术效率较高的省(区),纯技术效率与规模效率均较高;而综合效率较低的省(区),纯技术效率与规模效率的差异较大。

(2)从 Malmquist 指数来看,玉米全要素生产率的增长显著依赖于技术进步。19 个研究省(区)的玉米全要素生产率呈负增长,主要受缺乏区域适用的生产技术或技术未得到有效投入、推广使用影响。对综合技术效率进步指数分解看,规模效率下降是导致其下降的主要原因。

(3)从玉米生产要素投入分析看,我国玉米主产区生产各个投入要素均存在不同程度的松弛,各要素配置不合理,均有可节约的空间。

(4)从空间全局自相关分析来看,2005—2015年,20个省(区)玉米生产综合技术效率有显著正相关特征,呈现集聚性。2015年与2005年相比 Moran 指数基本接近,且历年差距不大,说明11年间,全国玉米主要生产省(区)之间的玉米生产联系基本没有进步(加强),反而在部分年份有所减弱,空间集

聚性减弱,空间差异扩大。

(5)从空间局部自相关分析来看。11年间,大部分研究省(区)玉米生产综合技术效率无明显的空间相关性,少部分区域存在显著的正相关关系,且存在正相关的区域比较稳定,主要集中在北方地区与黄淮海地区,呈现明显的空间集聚特征。新增入“H-H”类型的省份在研究期间的发展中逐渐在周边省(区)中起到了带动辐射作用。

参 考 文 献

- 1 杨虎. 20世纪中国玉米种业发展研究[D]. 南京:南京农业大学,2011.
YANG Hu. On the development of maize seed industry in the 20th century[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University,2011. (in Chinese)
- 2 国家统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社,2016.
- 3 农业部农业机械化推广司. 全国农业机械化统计年报[M]. 北京:中国农业出版社,2015.
- 4 国家发展和改革委员会价格司. 全国农产品成本收益资料汇编[M]. 北京:中国统计出版社,2015.
- 5 杨国庆,刘天军. 入WTO以来中国玉米生产效率评价——来自全国15个省的面板数据分析[J]. 广东农业科学,2013,40(3): 217-221.
YANG Guoqing, LIU Tianjun. Research on the evaluation of production efficiency in China maize zone after entering WTO—based on the panel data from 15 provinces[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2013,40(3):217-221. (in Chinese)
- 6 栾义君,杨照,韩洁. 玉米生产技术效率的随机前沿分析[J]. 南方农村,2014,30(8):27-29.
- 7 舒坤良,郭亚梅,高敬伟,等. 中国玉米生产二次相对效率评价[J]. 玉米科学,2010,18(5):145-148.
SHU Kunliang, GUO Yamei, GAO Jingwei, et al. Evaluation of two-stage relative efficiency on maize production process in China [J]. Journal of Maize Sciences, 2010,18(5):145-148. (in Chinese)
- 8 王军,徐晓红,王洪丽,等. 中国核心优势产区玉米生产效率增长及其分解分析[J]. 玉米科学,2010,18(6):133-137,142.
WANG Jun, XU Xiaohong, WANG Hongli, et al. Study on TFP of maize production in Chinese core advantage area [J]. Journal of Maize Sciences, 2010,18(6):133-137,142. (in Chinese)
- 9 张越杰. 中国东北地区玉米生产效率的实证研究——以吉林省为例[J]. 吉林农业大学学报,2008,30(4):632-639.
ZHANG Yuejie. A positive study on efficiency of maize production in northeast China[J]. Journal of Jilin Agricultural University, 2008,30(4):632-639. (in Chinese)
- 10 赵贵玉,王军,张越杰. 基于参数和非参数方法的玉米生产效率研究——以吉林省为例[J]. 农业经济问题,2009(2): 15-21,110.
ZHAO Guiyu, WANG Jun, ZHANG Yuejie. Study on the efficiency of maize production based on parametric and non-parametric analysis: case of Jilin province[J]. Issues in Agricultural Economy, 2009(2):15-21,110. (in Chinese)
- 11 高翔,刘维忠,戴健. 基于DEA的新疆玉米生产效率地区差异分析[J]. 技术经济与管理研究,2008(5):118-121.
GAO Xiang, LIU Weizhong, DAI Jian. Analysis on the differences in the efficiency of corn's production around Xinjiang based on DEA[J]. Technoeconomics & Management Research,2008(5):118-121. (in Chinese)
- 12 秦钟,章家恩,骆世明,等. 基于DEA时间窗分析的广东省农业生产效率评价[J]. 中国生态农业学报,2011,19(6):1448-1454.
QIN Zhong, ZHANG Jiaen, LUO Shiming, et al. Evaluation on agricultural production efficiency of Guangdong Province by using DEA window analysis [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture,2011,19(6):1448-1454. (in Chinese)
- 13 贺正楚. 基于数据包络分析法的湖南省“两型”农业生产效率评价[J]. 农业现代化研究,2011,32(3):344-347.
HE Zhengchu. Evaluation of resource-saving and environment-friendly oriented agricultural productivity in Hunan Province based on data envelopment analysis(DEA)[J]. Research of Agricultural Modernization,2011,32(3):344-347. (in Chinese)
- 14 张锐,翟欢欢,张训. 基于DEA的县域两型农业生产效率评价[J]. 经济数学,2011,28(1):105-110.
ZHANG Rui, ZHAI Huanhuan, ZHANG Xun. An evaluation of county-scale two-oriented agricultural production efficiency[J]. Journal of Quantitative Economics,2011,28(1):105-110. (in Chinese)
- 15 郭军华,倪明,李帮义. 基于三阶段DEA模型的农业生产效率研究[J]. 数量经济技术经济研究,2010,27(12):27-38.
GUO Junhua, NI Ming, LI Bangyi. Research on agricultural production efficiency based on three-stage DEA model[J]. The Journal of Quantitative & Technical Economics,2010,27(12):27-38. (in Chinese)
- 16 方宏斌,郑业军,姜志德. 基于DEA的汉中市蔬菜生产效率研究[J]. 现代经济信息,2011(13):282-283.
- 17 石会娟,王俊芹,王余丁. 基于DEA的河北省苹果产业生产效率的实证研究[J]. 农业技术经济,2011(10):86-91.
- 18 宋增基,徐叶琴,张宗益. 基于DEA模型的中国农业效率评价[J]. 重庆大学学报:社会科学版,2008,14(3):24-29.

- SONG Zengji, XU Yeqin, ZHANG Zongyi. A DEA efficiency analysis of Chinese agriculture [J]. Journal of Chongqing University: Social Science Edition, 2008, 14(3): 24 - 29. (in Chinese)
- 19 王茜, 秦富. 农业产业化龙头企业的生产效率分析——基于 DEA 模型[J]. 技术经济, 2009, 28(3): 53 - 57.
WANG Qian, QIN Fu. Analysis on production efficiency of leading agricultural enterprises in China: based on DEA mode [J]. Technology Economic, 2009, 28(3): 53 - 57. (in Chinese)
- 20 周晓林, 吴次芳, 刘婷婷. 基于 DEA 的区域农地生产效率差异研究[J]. 中国土地科学, 2009, 23(3): 60 - 65.
ZHOU Xiaolin, WU Cifang, LIU Tingting. Study on productive efficiency difference of regional farmland based on DEA [J]. China Land Science, 2009, 23(3): 60 - 65. (in Chinese)
- 21 顾海, 王艾敏. 基于 Malmquist 指数的河南苹果生产效率评价[J]. 农业技术经济, 2007(2): 99 - 104.
- 22 关伟, 张华, 许淑婷. 基于 DEA - ESDA 模型的辽宁省能源效率测度及时空格局演化分析[J]. 资源科学, 2015, 37(4): 764 - 773.
GUAN Wei, ZHANG Hua, XU Shuting. Spatial and temporal pattern evolution of energy efficiency in Liaoning based on the DEA - ESDA model [J]. Resources Science, 2015, 37(4): 764 - 773. (in Chinese)
- 23 李梅, 王铁. 基于 ESDA 的区域经济格局时空演变研究——以山东省为例[J]. 国土与自然资源研究, 2011(6): 9 - 11.
LI Mei, WANG Tie. Spatial and temporal evolution of regional economy pattern based on ESDA—a case study of Shandong Province [J]. Territory & Natural Resources Study, 2011(6): 9 - 11. (in Chinese)
- 24 蒲英霞, 葛莹, 马荣华, 等. 基于 ESDA 的区域经济空间差异分析——以江苏省为例[J]. 地理研究, 2005, 24(6): 965 - 974.
PU Yingxia, GE Ying, MA Ronghua, et al. Analyzing regional economic disparities based on ESDA [J]. Geographical Research, 2005, 24(6): 965 - 974. (in Chinese)