



陕西省粮食生产效率动态演变及空间分布差异

陈鑫, 杨海娟, 付璐瑶, 梁英明

引用本文:

陈鑫, 杨海娟, 付璐瑶, 等. 陕西省粮食生产效率动态演变及空间分布差异[J]. 农业资源与环境学报, 2026, 43(1): 91-103.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13254/j.jare.2024.0925>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

地理探测器与Tobit模型在粤西地区粮食生产效率及影响因子分析中的比较应用

黄馨亿, 任向宁, 马涛, 胡月明, 李波, 张飞扬, 谢健文

农业资源与环境学报. 2020, 37(6): 818-828 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2020.0482>

基于生命周期评估的冬小麦-夏玉米种植系统碳足迹核算——以山东省高密地区为例

朱永昶, 李玉娥, 姜德锋, 邹晓霞

农业资源与环境学报. 2017, 34(5): 473-482 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2017.0180>

黄淮海地区土地利用转型与粮食产量耦合关系研究

戈大专, 龙花楼, 屠爽爽, 张英男

农业资源与环境学报. 2017, 34(4): 319-327 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2017.0066>

基于水-能源-粮食纽带关系的农业资源投入产出效率研究

周露明, 谢兴华, 朱珍德, 王麓翔, 吴俊宇

农业资源与环境学报. 2020, 37(6): 875-881 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2019.0639>

基于时空角度的广东省耕地占补平衡绩效评价

李敬, 张燊, 胡月明, 吴克宁

农业资源与环境学报. 2021, 38(6): 1064-1073 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2021.0542>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

陈鑫, 杨海娟, 付璐瑶, 等. 陕西省粮食生产效率动态演变及空间分布差异[J]. 农业资源与环境学报, 2025, 43(1): 91-103.

CHEN X, YANG H J, FU L Y, et al. Dynamic changes and spatial distribution differences of grain production efficiency in Shaanxi Province [J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2025, 43(1): 91-103.



开放科学 OSID

陕西省粮食生产效率动态演变及空间分布差异

陈鑫¹, 杨海娟^{1*}, 付璐瑶¹, 梁英明²

(1. 西北大学城市与环境学院, 西安 710127; 2. 陕西省城乡规划设计研究院, 西安 710127)

摘要: 研究陕西省各县(市)级粮食生产效率, 为保障地方粮食安全提供理论支持。本研究基于 DEA-Malmquist 指数模型测算了 2000—2021 年间陕西省 101 个县(市)的粮食生产效率动态变化情况, 在此基础上利用 Kernel 密度函数和 Dagum 基尼系数, 分析陕西省粮食生产效率的动态演变过程及空间分布差异的主要来源。结果表明: 2000—2021 年, 陕西省大部分地区粮食生产效率稳步增长, 年均增速为 1.60%; 技术进步是粮食生产效率提升的主要原因; 101 个县(市)有 69 个县(市)存在不同程度的投入冗余。核密度分析显示, 粮食生产效率在波动中上升, 增长速度先慢后快。全省大部分地区粮食生产效率增减趋势趋于一致, 但粮食生产效率空间非均衡性上升。部分地区粮食生产效率极高或极低, 陕北-陕南、关中-陕南地区之间的差异是空间非均衡性上升的主要来源。2000—2021 年, 陕西省粮食生产效率稳步增长, 不同地区由于基础设施、科技水平等差异, 造成粮食生产效率空间非均衡性上升。未来建议从提升农业科技水平、稳定粮食播种面积、优化投入冗余、保持农业政策均衡性四个方面入手, 整体提高陕西省粮食生产效率。

关键词: 粮食生产效率; 空间分布; DEA-Malmquist 指数模型; 动态演变; 核密度; 基尼系数

doi: 10.13254/j.jare.2024.0925

Dynamic changes and spatial distribution differences of grain production efficiency in Shaanxi Province

CHEN Xin¹, YANG Haijuan^{1*}, FU Luyao¹, LIANG Yingming²

(1. College of Urban and Environmental Sciences, Northwestern University, Xi'an 710127, China; 2. Shaanxi Institute of Urban and Rural Planning and Design, Xi'an 710127, China)

Abstract: This study aimed to provide theoretical support for ensuring local food security by investigating grain production efficiency in counties (cities) of Shaanxi Province. Based on the DEA-Malmquist index model, the dynamic changes in grain production efficiency across 101 counties (cities) in Shaanxi Province from 2000 to 2021 were calculated. Kernel density functions and Dagum Gini coefficients were utilized to depict the dynamic change process and the primary sources of spatial distribution differences in grain production efficiency in Shaanxi Province. The results indicated that from 2000 to 2021, most regions in Shaanxi Province experienced a steady increase in grain production efficiency, with an average annual growth rate of 1.60%. Technological progress was the main driver of the improvement in grain production efficiency. Among the 101 counties (cities), 69 exhibited varying degrees of input redundancy. Kernel density analysis showed grain production efficiency increased over time but with fluctuations, and the growth rate accelerated over the period. Most areas in the province showed consistent trends in grain production efficiency increases or decreases, although spatial non-uniformity in grain production efficiency rose. Some regions had extremely high or low grain production efficiency, with the disparities between northern Shaanxi-southern Shaanxi and central Shaanxi-southern Shaanxi being the primary contributors to this spatial non-uniformity. From 2000 to 2021, grain production efficiency in Shaanxi Province steadily increased. Differences in infrastructure and technological levels among

收稿日期: 2024-11-26 录用日期: 2025-01-22

作者简介: 陈鑫(1998—), 女, 山西晋中人, 硕士研究生, 研究方向为乡村发展。E-mail: 202221189@stumail.nwu.edu.cn

*通信作者: 杨海娟 E-mail: 20132343@nwu.edu.cn

基金项目: 国家自然科学基金项目(42171197)

different regions led to rising spatial non-uniformity in grain production efficiency. Moving forward, it is recommended to focus on four aspects: enhancing agricultural science and technology levels, stabilizing grain planting areas, optimizing input redundancies, and maintaining balanced agricultural policies. These efforts aim to comprehensively improve the grain production efficiency in Shaanxi Province.

Keywords: grain production efficiency; spatial distribution; DEA-Malmquist index model; dynamic change; Kernel density; Gini coefficient

联合国粮农组织(FAO)在1974年首次提出粮食安全的概念,消除饥饿、实现粮食安全、改善营养和促进可持续农业(零饥饿)是可持续发展目标的第二项目标。根据《全球粮食危机报告》,2022年,全球共有58个国家和地区的约2.58亿人口面临严重的粮食不安全问题,6.91亿~7.83亿人仍经历饥饿,显示国际粮食安全形势严峻^[1]。近年来,我国粮食供给保障能力不断提升,使中国人的饭碗牢牢端在自己手里。然而,耕地、淡水等粮食生产资源硬约束愈加严重,适龄农业劳动力短缺且素质低,化肥、种子等生产成本不断抬升,粮食消费水平与质量结构不匹配的矛盾不断升级等新情况、新问题也在不断涌现^[2-4]。国内外粮食市场波动频繁,对国内粮食生产造成冲击,导致粮食价格攀升,粮食生产的直接投入成本和生态成本不断增加^[5],使我国农业生产和粮食安全受到威胁。党的十九大报告明确了推动经济向高质量发展发展的目标,并强调农业应遵循高质量与可持续性的发展路径。通过增强农业的投入与产出比率,不仅能提升产量,还能减少资源消耗与环境污染,这是落实农业高质量发展战略的关键措施之一^[6]。确保粮食安全不仅需要关注产量,更要聚焦粮食生产效率,推动其在数量累积、质量提升、结构优化以及生态环境保护等方面实现全方位转变,研究粮食生产效率对于提高粮食产量、降低生产成本、保障粮食和生态安全都具有重要意义^[7]。

当前,国内外学者对粮食生产效率开展了一系列研究,主要集中在测度方法、改善路径及影响因素等方面。测度方法主要包括参数方法(随机生产前沿函数)^[8]和非参数方法(数据包络分析)^[9]。其中,数据包络分析无需预设指标的权重,且能摆脱数据量纲的额外影响,以“评价”的方式判断同类型多输入多产出的复杂决策单元的相对有效性^[10]。因此大部分学者采用数据包络分析测算粮食生产效率,研究尺度涵盖全国^[11-12]、省域^[13]及不同流域^[14]。研究表明随着社会经济发展和技术水平的提高,我国粮食生产效率显著提升,但存在明显的集聚效应和区域差异^[15]。然而,现有研究大多侧重于粮食生产效率的时序变化分析,较

少关注其动态演进过程及空间分布差异。为了弥补这一不足,本研究实际评价陕西省县(市)级粮食生产效率,从全要素生产率、纯技术效率和规模效率三方面探究陕西省粮食生产效率,明确不同区域促进粮食生产效率提升的主要因素;探究陕西省三大地理区粮食生产效率差异的主要来源,针对性提出提高粮食生产效率的建议,促进陕西省粮食生产高质量发展。

陕西省位于我国西北地区,作为农业大省,其粮食快速增产的同时,资源与环境出现了相互制约的局面^[16]。目前关于陕西省粮食生产的研究,包括粮食产量变化分析^[17]、粮食产量预测^[18]、耕地与粮食产量间的耦合关系^[19]以及粮食产量影响因素^[20]等方面,缺少对粮食生产效率的详尽分析。同时,陕西省是1999年国家“退耕还林”试点省份,人口基数持续增多,自然增长率约为4%^[21],人口老龄化严重,农业劳动力数量不断降低。近年来,陕西省粮食产销一直处于紧平衡状态^[22],周小平等^[23]、孙晶晶等^[24]分别基于2006年和2018年的实际数据,发现陕西省处于“粮食赤字区”范畴,且赤字越来越大。此外,陕西省作为黄河流域的能源大省,需要从能源、粮食和水的安全性上来考虑高质量发展问题。因此研究陕西省粮食生产效率、合理评价陕西省粮食生产效率,有利于为粮食生产高质量发展提供理论借鉴和决策参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

陕西地处我国大陆中部、黄河中游,秦岭-淮河一线横跨南北方,覆盖亚热带、暖温带和温带三个气候带^[25]。陕西省在“十三五”和“十四五”现代农业发展规划中强调调整农业结构、推进产业升级、保障粮食安全、培育新型农业经营主体,提升农机装备能力等政策。陕西省独有的农业及粮食生产政策,如“3+X”特色现代农业工程和粮油作物百千万综合示范基地^[26],取得了显著成效:粮食产量稳定提升,特色产业优势突出,产业化水平提升,农民收入增加等。然而,陕西省粮食生产仍面临一些问题,如粮食生产基础

弱、效益低,环境资源紧张^[27],以及粮食供需间矛盾加剧^[28]。因此,研究陕西省粮食生产效率,有助于深入了解各地粮食生产状况,优化投入管理,缓解供需矛盾,保障粮食安全。

1.2 研究方法与数据来源

本研究通过DEA-Malmquist指数模型测算粮食生产效率,它是一种动态分析方法,可以测算粮食生产静态效率和动态变化趋势。全要素生产率指数可以分为综合技术效率指数和技术进步指数,从而探究影响全要素生产率指数的因子。以往研究只是简单对生产效率进行时序分析,本研究通过Kernel密度估计法描述粮食生产效率动态演变过程,能够揭示数据中的细微特征。Dagum基尼系数能有效考察空间非均衡性差异,分析陕西省区域间差异及区域内差异对整体粮食生产效率的贡献度,为整体提高粮食生产效率提供参考。

1.2.1 DEA-Malmquist指数模型

数据包络分析(DEA)用于比较不同单位在投入和产出方面的效率。在此基础上,利用Malmquist指数来分析面板数据,评估不同时间段内的效率动态变化^[29],Malmquist(TFP)指数用于评估从时期 t 到时期 $t+1$ 的生产率动态变化,从而实现了对全要素生产效率动态变化的分析^[30]。DEA模型具体公式如下:

$$\begin{aligned} \min \theta - \varepsilon \left(\sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{r=1}^s s_r^+ \right) \\ \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j + s_i^- = \theta x_{ik}, \quad i=1, \dots, m \\ \sum_{j=1}^n y_{rj} \lambda_j - s_r^+ = y_{rk}, \quad r=1, \dots, s \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \\ \lambda_j \geq 0, s_i^-, s_r^+ \geq 0 \end{aligned} \quad (1)$$

式中: θ 为效率值, ε 为非阿基米德无穷小; m 为输入指标的数量,即5个投入指标; s 为输出指标数量; n 为决策单元的数量,即101个决策单元; x_{ij} 表示第 j 个DMU的第 i 个输入; y_{rj} 表示第 j 个DMU的第 r 个输出值; s_i^- 是输入松弛变量; s_r^+ 是输出松弛变量; λ_j 是第 j 个DMU的权重。

Malmquist指数公式如下:

$$M(\chi^{t+1}, y^{t+1}, x^t, y^t) =$$

$$\left[\frac{D^t(\chi^{t+1}, y^{t+1})}{D^t(x^t, y^t)} \times \frac{D^{t+1}(\chi^{t+1}, y^{t+1})}{D^{t+1}(x^t, y^t)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

$$Effch = \frac{D^t(\chi^{t+1}, y^{t+1})}{D^t(x^t, y^t)} \quad (3)$$

$$Tech = \left[\frac{D^t(\chi^{t+1}, y^{t+1})}{D^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \times \frac{D^t(\chi^t, y^t)}{D^{t+1}(x^t, y^t)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

$$Tfpch = Effch \times Tech = (Pech \times Sech) \times Tech \quad (5)$$

式中: $Effch$ 表示技术效率; $Tech$ 表示技术进步; (x^t, y^t) 和 (x^{t+1}, y^{t+1}) 分别表示在时间点 t 和 $t+1$ 的投入与产出向量; $D^t(x, y)$ 表示 t 期的距离函数值,衡量DMU在 t 期相对于最佳实践边界的效率; $D^{t+1}(x, y)$ 表示 $t+1$ 期的距离函数值,衡量DMU在 $t+1$ 期相对于最佳实践边界的效率。如果Malmquist指数大于1,表明在这两个时间点之间发生了效率的提升;相反,如果指数小于1,则意味着效率下降。

1.2.2 Kernel密度估计法

Kernel密度估计属于非参数估计方法的一种,对模型依赖性不强,具有稳健性,常被用于不平衡分布的问题研究中,采用Kernel密度估计法对动态演进过程进行分析,具体公式如下:

$$f(x) = \frac{1}{N \times h} \sum_{h=1}^N k\left(\frac{X_i - x}{h}\right) \quad (6)$$

$$K(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) \quad (7)$$

式中: N 表示集中数据点的数量; h 表示带宽; i 表示第 i 个数据点; $k\left(\frac{X_i - x}{h}\right)$ 是核函数的输入,表示点 x 与数据点 X_i 之间的标准化距离,这个值被传递给核函数 k ,以计算该数据点对点 x 处密度估计的贡献。

1.2.3 Dagum基尼系数分解法

Dagum基尼系数在评估空间非均衡性方面具有显著优势,该方法不仅能够准确识别测度地区的差距,并且充分考虑了子样本的分布状态,有效地解决了样本数据之间的交叉重叠问题,从而克服了传统基尼系数无法区分的地域差距及泰尔指数无法准确反映环境随时间变化的局限性。因此在研究各种区域问题中广泛使用。总体基尼系数的计算公式如下:

$$G = \frac{\sum_{j=1}^k \sum_{h=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} \sum_{r=1}^{n_k} |y_{ji} - y_{hr}|}{2n^2 \times \bar{y}} \quad (8)$$

式中： G 代表总体基尼系数， G 越大表明粮食生产效率区域差距越大； k 代表划分区域的个数即子群数量； j 和 h 为子群划分个数； n 表示所有行政区的数量总和； n_j 和 n_k 分别表示 j 和 k 内的行政区数量； y_{ji}, y_{hr} 分别代表 j 和 h 内行政区 i 和 r 的粮食生产投入产出效率； \bar{y} 则表示全省粮食生产投入产出效率的平均值。总体基尼系数可以分解为三个部分， $G = G_w + G_{nb} + G_t$ 。 G_w 表示区域内粮食生产效率差异对总体基尼系数的贡献程度； G_{nb} 为区域间粮食生产效率差异对总体基尼系数的贡献程度； G_t 表示超变密度对总体基尼系数的贡献度。按照粮食生产效率对区域 k 进行排序：

$$\bar{Y}_h \leq \dots \leq \bar{Y}_j \leq \dots \leq \bar{Y}_k \quad (9)$$

G_{jj} 表示地区 j 的基尼系数，计算公式如下：

$$G_{jj} = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} \sum_{r=1}^{n_j} |y_{ji} - y_{jr}|}{2n_j^2 \times \bar{y}_j} \quad (10)$$

$$G_w = \sum_{j=1}^k G_{jj} \times p_j \times S_j \quad (11)$$

G_{jh} 表示地区间的基尼系数，计算公式如下：

$$G_{jh} = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} \sum_{r=1}^{n_h} |y_{ji} - y_{hr}|}{n_j \times n_h (\bar{y}_j + \bar{y}_h)} \quad (12)$$

$$G_{nb} = \sum_{j=2}^k \sum_{h=1}^{j-1} G_{jh} (p_j \times S_h + P_h \times S_j) D_{jh} \quad (13)$$

$$G_t = \sum_{j=2}^k \sum_{h=1}^{j-1} G_{jh} (p_j \times S_h + P_h \times S_j) D_{jh} (1 - D_{jh}) \quad (14)$$

D_{jh} 表示地区 j 和 h 的粮食生产效率相对影响：

$$D_{jh} = \frac{d_{jh} - P_{jh}}{d_{jh} + P_{jh}} \quad (15)$$

d_{jh} 表示地区 j 和 h 粮食生产效率上的差值，即 j, h 范围内 $y_{ji} - y_{hr} > 0$ 样本值总和的数学期望：

$$d_{jh} = \int_0^\infty dF_j(y) \int_0^y (y-x) dF_h(x) \quad (16)$$

P_{jh} 表示超变一阶距，也为数学期望，其中 F_j 和 F_h

是地区 j 和 h 累积密度分布函数：

$$p_{jh} = \int_0^\infty dF_h(y) \int_0^y (y-x) dF_j(x) \quad (17)$$

1.3 数据来源及指标选取

本研究利用陕西省2000—2021年101个县(市)粮食生产面板数据，主要来源于《陕西省统计年鉴(2001—2022)》、各市统计年鉴(2001—2022)、《陕西省各县(市)农村经济主要指标(2001—2022)》及各个县(市)国民经济与社会发展统计公报；对于部分缺失值，采用多重插补法补全。

粮食生产过程中涉及到耕地、劳动力、资金和物质的投入，过去生产活动往往片面追求产量，忽略了投入要素的合理使用，同时也未考虑到过度投入可能带来的环境成本^[6]。因此，为确保农业的高质量发展和粮食安全，必须通过提高粮食生产效率和优化资源配置。本研究借鉴相关研究^[21,31-33]成果，结合陕西省的具体情况，依据可比性、科学性、可获得性原则，选取相关指标，由于部分指标无法直接获取，参考相关研究^[29]方法采用权重系数作为指标的衡量方式(表1)。

区域划分方法：本研究按照陕西省统计年鉴的划分方法，采用陕西省传统意义上的三大地理分区即陕北、关中和陕南。陕北包括榆林市和延安市，关中包括西安市、咸阳市、宝鸡市、渭南市及铜川市，陕南包括汉中市、安康市和商洛市。

2 结果与讨论

2.1 陕西省粮食生产效率的整体概况

由图1可知，陕西省整体Malmquist指数大部分大于1，表明全省粮食生产效率整体处于增长状态。渭南市、西安市、咸阳市、延安市、榆林市、宝鸡市2000—2021年Malmquist指数均值大于1，说明这六个市21年来粮食生产效率总体处于增长状态。安康市、汉中市、商洛市、铜川市2000—2021年Malmquist指数均值在0.95~1.00之间，说明这四个市21年间粮

表1 粮食生产投入产出效率评价指标

Table 1 Indicators for evaluating the efficiency of grain production inputs and outputs

指标类型 Type of indicator	指标名称 Indicator name	衡量方式 Measurement	说明 Clarification
投入指标	农业从业人员数量(人)	农业从业人员×粮食总播种面积/农作物总播种面积	衡量劳动力投入情况
	有效灌溉面积(hm ²)	有效灌溉面积×粮食总播种面积/农作物总播种面积	衡量水资源投入量
	农用机械总动力(kW)	农用机械总动力×粮食总播种面积/农作物总播种面积	衡量生产机械化水平
	农用化肥施用折纯量(t)	农用化肥施用折纯量×粮食总播种面积/农作物总播种面积	衡量物质投入情况
	粮食播种面积(hm ²)	粮食总播种面积	衡量土地资源投入情况
产出指标	粮食产量(t)	粮食总产量	衡量粮食产出

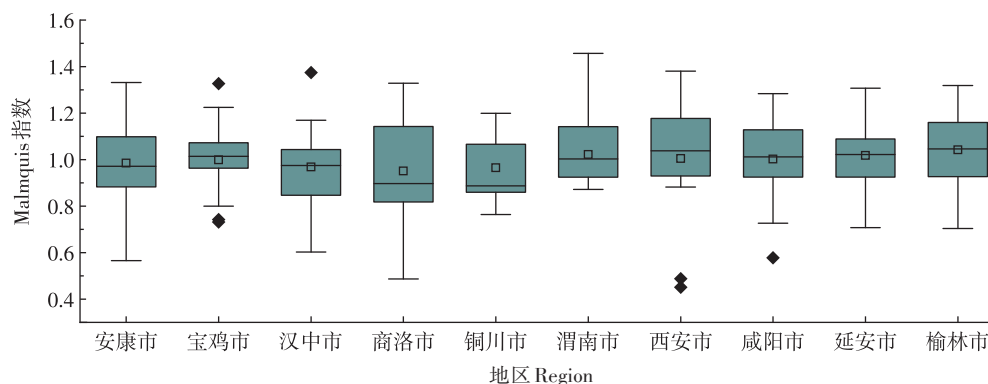


图1 陕西省粮食生产投入产出效率 Malmquist 指数

Figure 1 Malmquist index of input-output efficiency of grain production in Shaanxi Province

食生产效率呈波动下降态势。Malmquist 指数最大值出现在 2021 年的渭南市蒲城县, 为 1.457, 说明 2021 年蒲城县粮食生产效率较 2020 年增长 45.70%, 当年蒲城县粮食生产投入产出相较于上一年比较合理, 即各项投入冗余量较少。最小值出现在 2018 年的商洛市商南县, 为 0.584, 2018 年商南县粮食生产效率较 2017 年下降 41.60%, 说明当年商南县市粮食生产均处于较低水平。粮食生产效率增速整体较高的地区有渭南市、西安市、咸阳市、延安市、榆林市, 这些地区近年来粮食生产效率态势良好。增速整体较低的地区有安康市、商洛市、铜川市, 这些地区近年来增速较慢。商洛市的数据点离散程度较大, 表明其在不同年份间粮食生产效率增长或减小存在显著差异, 而其他地区数据点离散程度较小, 说明这些地区在不同年份间的粮食生产效率增速较为稳定, 差异不大。

2.2 粮食生产效率驱动因素

Malmquist 指数可以分解为技术效率指数(TE)和技术进步指数(PE)。技术效率指数用于评估粮食生产的资源配置效率, 而技术进步指数则反映了技术进步本身带来的增长。纯技术效率指数(PTE)反映各地区在既定投入要素条件下, 在粮食生产中的决策能力和管理能力, 具体体现了各地在利用现有资源进行有效生产管理上的水平。规模效率指数(SE)衡量各地区粮食生产规模的合理性, 这一指数值越高, 表明该地区的生产规模与其资源配置越为合理^[34]。

2000—2021 年间陕西省粮食生产效率的变化(表 2)显示, Malmquist 指数均值为 1.016, 表明整体上粮食生产效率有所提升, 年均增速为 1.60%, 从 2015 年开始, 连续 6 年 Malmquist 指数呈现上升趋势, 其中 2016—2017 年达到最高值, 技术进步和技术效率共同推动粮食生产效率提高, 2017 年实行粮食安全“党

政同责”制度, 重点打造“吨粮镇”“吨粮村”示范带动, 提升了粮食产能。技术进步指数 2000—2021 年稳步提升, 均值为 1.026, 最大值出现在 2018—2019 年, 为 1.834, 主要得益于 2018—2019 年期间, 陕西省加大了对农业科技创新的支持力度, 主要集中在育种攻关、农技创新、平台建设和人才培育四个方面, 促进农业科技的发展, 提高了粮食生产效率和产品质量。技术效率指数均值为 0.992, 2000—2021 年略有下降且波动较大。可见技术进步本身是粮食生产效率增长的主要驱动因素, 这与尚丽^[34]的研究结果一致, 粮食生产投入要素管理还有较大的优化空间。规模效率均值为 0.994, 有 10 个年份规模效率小于 1, 应关注耕地“非粮化”、耕地碎片化和抛荒等问题; 纯技术效率均值为 0.997, 2000—2021 年下降 0.3%, 说明 21 年来粮食生产投入要素管理不合理, 未来有较大的优化空间。总体来看, 技术进步是粮食生产效率增长的主要驱动因素, 而规模效率和纯技术效率有待进一步优化。

由表 3 可知, 2000—2021 年, 从地市来看, 铜川市、安康市、商洛市和汉中市 Malmquist 指数均值小于 1, 表明这些地区的粮食生产效率有所下降, 而其余地市的 Malmquist 指数均值大于 1, 说明陕西省大部分地区粮食生产效率在不断提高。其中 Malmquist 指数值最大的为榆林市, 其次为延安市, 均位于陕北地区, 纯技术效率及规模效率共同促进技术效率的提高, 由于陕北地区位于黄土高原, 近年来实施一系列生态保护措施, 如农田水利建设、农业结构调整和生态农业建设等, 旨在改善农业生态环境, 促进粮食生产可持续发展。相比之下, Malmquist 指数小于 1 的地区大部分位于陕南地区, 粮食生产效率降低主要是因为技术效率的下降, 可能与陕南地区基础设施落后,

表4 粮食生产投入产出冗余分析

Table 4 Redundancy analysis of grain production inputs and outputs

地区 Region	粮食播种面积 Grain sown area/hm ²	农业从业人员 Agricultural workers/ 10 ⁴ person	有效灌溉面积 Effective irrigated area/hm ²	农用机械总动力 Total agricultural machinery power/10 ⁴ kW	农用化肥折纯量 Converted pure fertilizer amount/10 ⁴ t
安康市	0	0.37	158.58	0.17	0
宝鸡市	514.15	0.02	1 732.22	2.98	0.35
汉中市	605.66	1.05	1 767.37	1.10	0
商洛市	103.59	1.66	262.17	0.24	0
铜川市	0	0	0	0.34	0.08
渭南市	0	2.66	3 844.28	12.26	0.26
西安市	0	2.16	16.43	5.26	0.15
咸阳市	0	0.55	3 379.36	1.42	0.23
延安市	0	0.58	242.58	1.67	0.15
榆林市	5 116.87	0.82	2 415.56	5.09	0.05

播种面积存在投入冗余,表明这些地区耕地利用效率较低,限制了粮食生产投入产出效率的提升。因此,应采取措施提高耕地的投入管理水平。除铜川市外,其余地市存在农业从业人员投入冗余,应减少农业劳动力投入,引导更多人从事第二、第三产业劳动,避免人力资源浪费。此外,除铜川市外,其余地市存在有效灌溉面积投入冗余,说明粮食生产用水量冗余,应提高节水灌溉技术,提升用水利用率。10个地市均存在农用机械总动力的过剩投入,可能会导致能源浪费,需关注农业机械的使用效率。宝鸡市、铜川市、渭南市、西安市、咸阳市、延安市和榆林市均存在农用化肥折纯量投入冗余,应进一步优化粮食生产中化肥的投入量。

2.4 粮食生产效率的时序演变规律

核密度函数通过对随机变量的概率密度进行估计,得到随机变量分布形态曲线变化情况,从而实现变量动态演进过程的量化,进而对不同区域、不同年份核心变量的动态演化过程进行分析^[35]。本研究采用核密度估计方法来分析陕西省粮食生产效率的动态变化过程,如图2所示。

总体来看,2000—2021年间,陕西及陕北、关中、陕南部分Kernel密度函数中心点后期较前期向右侧移动,这意味着各地区粮食生产效率呈现上升趋势。从峰值的特征来看,陕西省及陕南地区Kernel密度函数的波峰在波动中上升,表明陕西省大部分区域的粮食生产效率集中度更高,陕北和关中地区峰值较前期稍有降低,2015年各地区峰值最高,可能因为2015年,陕西省印发《陕西省人民政府关于建立健全粮食安全省长责任制的实施意见》《陕西省人民政府办公

厅关于加快转变农业发展方式的实施意见》(陕政办发[2015]105号),促进了科技增粮工程和高标准农田建设,提升了全省粮食生产效率。

此外,各地区后期的核密度函数右托尾更加突出,说明后期的粮食生产效率增长速度加快。这可能是因为陕西省在农业科技水平、生态环境保护、农用地有效整治以及农业基础设施建设方面取得了较大的进展。同时,陕西省及三大地理区,后期Kernel密度函数波宽变窄,意味着更多地区的粮食生产效率趋向集中。而双侧的拖尾现象较为显著,这表明存在某些区域的粮食生产效率增速特别快或特别慢。

2.5 粮食生产效率空间变化特征

2.5.1 粮食生产效率的空间分布

利用ArcGIS软件将2001、2006、2011、2016年及2021年的Malmquist指数数据进行可视化(图3),参考邓路等^[6]和张嘉瑶等^[29]的研究将陕西省粮食生产效率分为五个等级,以此来分析粮食生产效率的空间分布差异。结果显示:2001年,全省的粮食生产效率总体呈上涨态势,但增速不高。商洛市、渭南市、咸阳市、延安市和榆林市的增速大于1.00,这表明这些地区的粮食生产效率相比上一年有所提升。陕南和关中地区的增速较慢,根据唐亚萍^[36]的相关研究,20世纪初,陕西省建设占用耕地中,关中地区最高,其次为陕南,陕北地区比例最低,可能是造成关中和陕南地区粮食生产效率增速较慢的原因。2006年,整体粮食生产效率下降,仅铜川市和榆林市增速大于1.00。铜川市通过农用地综合改造和坡地改梯田提升耕地质量,而榆林市开发北部风沙草滩区的未利用土地,并加强丘陵地带的基本农田建设。陕南地区部分区

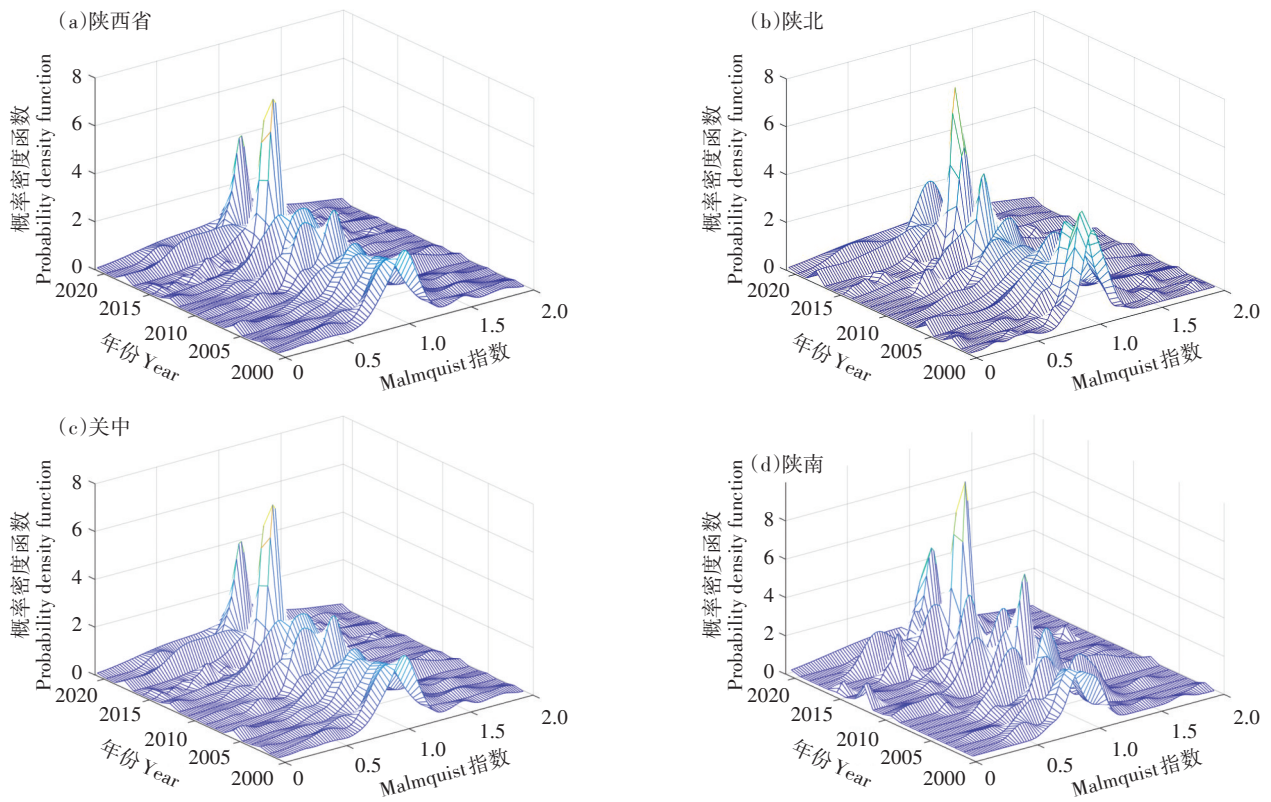


图2 陕西省粮食生产效率变化动态演变

Figure 2 Dynamic changes of grain production efficiency in Shaanxi Province

域增速较2001年提高,根据《2006年陕西省金融运行报告》,化肥价格波动较大,对农民的生产成本造成一定影响,增加了农民的负担。2011年,陕西省粮食生产效率整体下降,整体格局与2006年相似,但关中地区粮食生产效率有所提高,可能由于关中地区经济发展较快,据马琰等^[37]的研究,关中地区实施节水灌溉,大力改造灌溉设施,提高水资源利用率,推广关中灌区优质小麦和玉米丰产高效栽培技术,提高标准化生产水平,后期农业生产条件有利于粮食生产。2016年,陕西省的粮食生产效率整体上升,其中陕北地区的增速较高,而陕南大部分地区的粮食生产效率也较上一年有所增加。到2021年,全省粮食生产效率普遍较高,呈现出北部高于南部的态势。据张应龙等^[38]的研究,陕西省粮食生产重心总体呈“北上东进”的移动趋势,可能是近年来陕北地区对生态环境的有效治理,农业生产条件改善,为陕北地区粮食生产提供了坚强保障。

2.5.2 粮食生产效率空间差异来源

为了更深入地了解陕西省粮食生产效率的差异来源,将陕西省划分为陕北、关中和陕南三个区域。

通过 Dagum 基尼系数及其分解方法,计算出 Malmquist 指数的总体基尼系数,分解得到陕北、关中和陕南这三个地区的基尼系数(表5)。

(1) 总体差异及演进规律

2000—2021年,陕西省粮食生产效率的 Malmquist 指数总体差异演变为波动上升的趋势(表5)。结合空间变化规律可以发现,不同区域之间存在追赶效应。结合粮食生产效率来看,首先是关中地区的粮食生产效率提升,导致三大区域间的差异扩大;关中地区是陕西省粮食生产和设施农业的集中区,其社会发展水平较高,农业基础设施状况优于陕北和陕南地区。陕北地区生态环境脆弱,采矿业对耕地造成危害,陕南地区山地占比较大,可能造成初始三大地理区间的差异扩大;后期陕北地区经防风治沙等生态工程改善生态环境,陕南地区开发耕地后备资源等措施改善粮食生产状况,使得区域间的差异逐渐缩小,直至农业技术显著提升开启新的循环。由于土地状况、粮食政策和基础设施水平等因素差异,整体上粮食生产效率的空间非均衡性有所上升。

(2) 地区内差异及演变规律

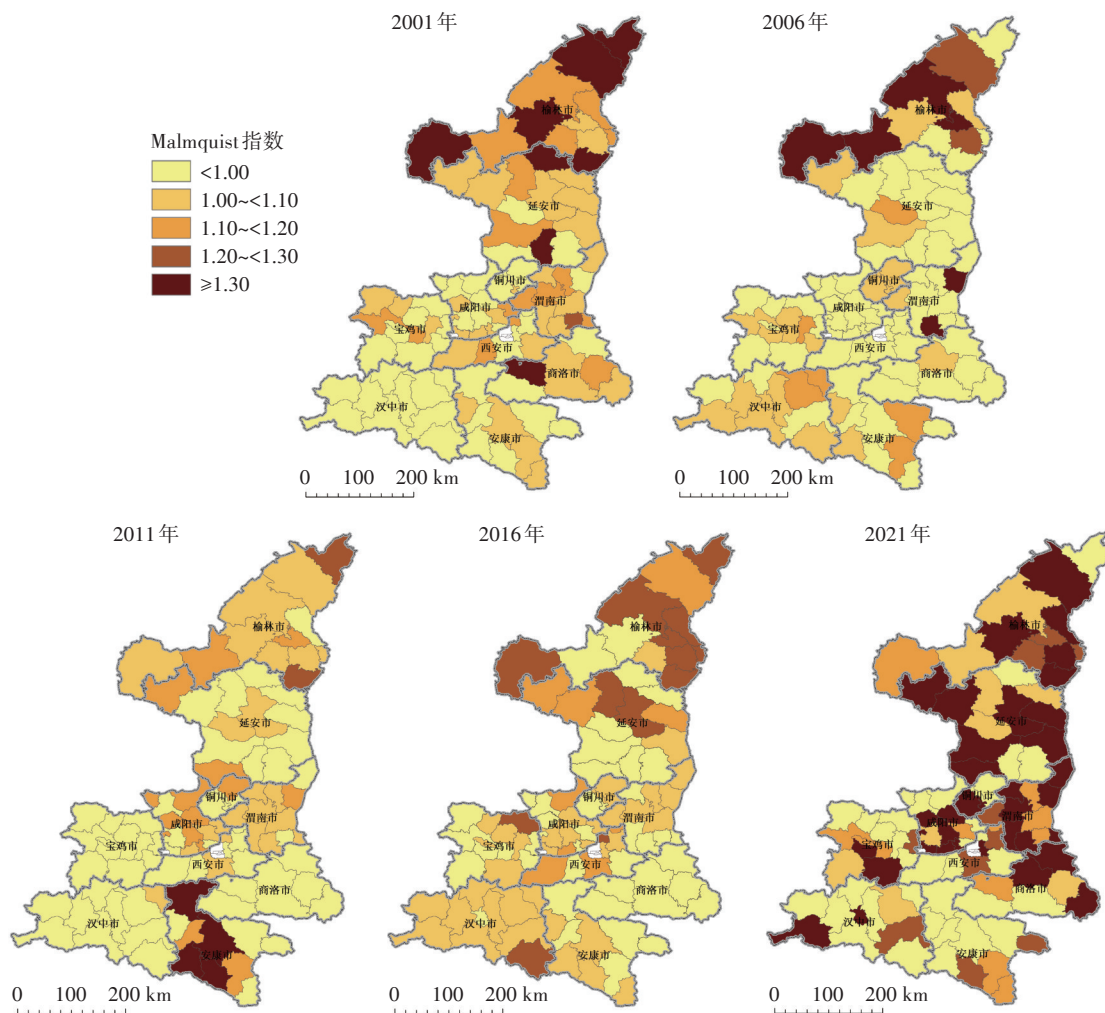


图3 2001、2006、2011、2016、2021年陕西省粮食生产投入产出 Malmquist 指数

Figure 3 Malmquist index of input—output of grain production in Shaanxi Province from 2001 to 2021

由表5所示:地区内部差异趋势与总体差异的趋势相似,但存在一些细微差别。关中和陕南地区演进规律相似,先是经历上升,然后波动起伏呈上升趋势;而陕北地区先是经历下降,然后波动起伏呈下降趋势。陕北和关中地区内部的发展较均衡,而陕南地区差异较大。

陕南地区地形复杂,北部为秦岭山脉,南部为大巴山脉,中部则是汉中盆地等河谷盆地。秦巴山区地势较高,降雨充沛,汉中盆地地势平坦,造成陕南地区粮食生产环境差异较大。此外,区域间信息交流迟缓,城乡发展不协调,这可能是导致该区域内差异较大的原因之一。关中地区由于整体农业科技水平较高,科技服务先进,基础设施较为完善,且流经河水便于农业灌溉,有利于农业的发展,因此基尼系数较低。陕北虽地处黄土高原丘陵沟壑区,但通过全域防风固

沙,优化农田基础设施,推进小型水利设施建设等措施,拓宽农作物灌溉范围,使得陕北地区内部粮食生产较为均衡。

(3) 地区间差异及演进规律

由表5所示:陕北-陕南及关中-陕南之间的差异变化趋势比较接近,陕北-陕南之间的差异较大,主要由于陕西省特殊的地势及气候条件。陕西地跨北温带暖温带和亚热带,气候差异明显。陕北位于秦岭山脉的北侧,属于温带气候区;陕南在秦岭山脉的南侧,属于亚热带气候区;关中则属于暖温带区。从地貌类型看,陕北是黄土高原区,关中多以平原和黄土台塬为主,陕南地貌多样,以中海拔丘陵为主。气候及地貌类型是造成地区间粮食生产效率差异的主要原因。此外,地区之间的经济水平和农业技术条件也导致了差异。关中地区城镇化发展水平较高,农业科

表5 陕西省粮食生产投入产出效率 Malmquist 指数的基尼系数和分解
Table 5 Gini coefficient and decomposition of Malmquist index for grain production
input-output efficiency in Shaanxi Province

年份 Year	总体 Total	地区内差异 Region internal difference			地区间差异 Region difference			贡献率 Contribution rate/%		
		陕北	关中	陕南	陕北-关中	陕北-陕南	关中-陕南	地区内	地区间	超变密度
2001年	0.11	0.12	0.09	0.09	0.13	0.15	0.10	30.15	39.52	30.32
2002年	0.16	0.09	0.25	0.16	0.19	0.13	0.21	30.21	13.03	56.76
2003年	0.15	0.14	0.11	0.11	0.15	0.21	0.15	28.76	49.93	21.31
2004年	0.13	0.10	0.13	0.15	0.12	0.16	0.15	33.30	27.15	39.55
2005年	0.15	0.16	0.14	0.13	0.15	0.15	0.13	36.46	14.34	49.20
2006年	0.18	0.14	0.08	0.26	0.11	0.22	0.18	35.68	37.57	26.76
2007年	0.13	0.09	0.09	0.14	0.10	0.18	0.14	28.31	56.09	15.60
2008年	0.15	0.11	0.15	0.14	0.16	0.16	0.15	33.10	29.75	37.14
2009年	0.18	0.05	0.12	0.27	0.10	0.21	0.23	33.78	45.57	20.65
2010年	0.15	0.15	0.05	0.19	0.13	0.19	0.15	34.74	39.36	25.91
2011年	0.13	0.10	0.10	0.17	0.10	0.16	0.15	32.68	10.45	56.87
2012年	0.11	0.07	0.08	0.12	0.09	0.13	0.11	32.78	48.01	19.21
2013年	0.17	0.16	0.13	0.17	0.16	0.18	0.16	35.28	32.03	32.69
2014年	0.19	0.20	0.14	0.16	0.19	0.20	0.15	36.57	22.32	41.12
2015年	0.13	0.07	0.04	0.22	0.06	0.16	0.14	38.57	36.11	25.43
2016年	0.12	0.11	0.06	0.16	0.11	0.17	0.12	28.59	50.70	20.71
2017年	0.14	0.14	0.14	0.12	0.15	0.15	0.14	34.56	21.59	43.85
2018年	0.25	0.22	0.16	0.31	0.21	0.28	0.25	35.54	21.22	43.24
2019年	0.11	0.12	0.04	0.11	0.09	0.13	0.09	36.06	25.27	38.67
2020年	0.16	0.11	0.09	0.21	0.10	0.17	0.17	37.14	19.04	43.82
2021年	0.22	0.14	0.23	0.24	0.19	0.22	0.25	35.67	22.93	41.40

技术水平领先, 农业技术推广与服务较为成熟; 而陕南地区发展基础薄弱, 区域内经济发展不平衡, 可能造成信息交流迟缓, 不能及时引进先进的生产技术。陕北和关中之间的差异相对较小, 因为两地地理位置临近, 且近年来陕北地区不断改善农业生产环境, 更有利于粮食生产活动。

(4) 差异来源及演进规律

由表5可知: 超变密度是陕西省粮食生产效率增速差异的主要来源, 表明三大区域间粮食生产效率的交叉项是造成区域差异的主要原因。即在整体增速较快的区域中, 仍存在很多地区增速低于整体增速较慢区域的平均水平。2000—2021年间, 超变密度的贡献率波动上升, 地区间差距的贡献率波动下降, 而地区内差距的贡献率则比较平稳。地区间差异对基尼系数的贡献度大于地区内差异, 这表明不同地区之间的粮食生产效率差异较大, 而同一地区内部的差异较小。此外, 地区间差异贡献比例波动较大, 这表明不同区域间存在追赶效应。

3 结论

3.1 结论

(1) 2000—2021年陕西省粮食生产效率整体呈上升趋势, 增长速度先慢后快, 年均增速为1.60%, 后期相较于前期, 生产效率极高和极低的地区增加。

(2) 粮食生产技术进步本身是粮食生产效率增长的主要驱动因素, 技术效率极低的粮食投入管理水平制约粮食生产效率提升, 技术效率主要受规模效率的影响。

(3) 陕西省101个县(市)中有69个县(市)均存在不同程度的投入冗余, 选取的投入指标中, 有效灌溉面积的冗余量较大。

(4) 从空间上看, 陕北地区粮食生产效率增长较快, 关中和陕南地区粮食生产效率增长较慢, 呈北高南低的态势。

(5) 粮食生产效率的空间非均衡性主要来源于超变密度间的差异, 其次是地区间的差异。具体来说,

陕北与陕南、关中与陕南之间的差异是地区间差异的主要来源,相比之下,地区内部差异对粮食生产效率空间非均衡性的贡献较小。

3.2 建议

(1)对于陕西省粮食生产效率低于平均水平的地区,如商洛市镇安县、柞水县,汉中市镇巴县、留坝县、略阳县,安康市平利县、岚皋县、紫阳县、石泉县等陕南地区,应强化农业科技推广机制,提供技术援助,促进新技术普及,提高粮食生产效率。对于铜川市印台区、耀州区,咸阳市三原县、长武县等关中地区,政府应维护耕地保护红线,严格限制建设占用耕地,保障粮食播种面积。

(2)研究显示,2000—2021年,技术效率是制约陕西省粮食生产效率提升的主要因素。而技术效率主要受规模效率的影响。为保障粮食播种面积,陕北地区应推进中低产田的改良,打造旱涝保收的基本口粮田。鉴于陕南地区生态环境较为脆弱且耕地后备资源稀缺,应谨慎开发并加强灾害预防措施。关中地区经济条件较好,应提高建设用地集约利用水平,加强高标准农田建设。按照《陕西省“十四五”粮食综合生产能力提升规划》,全省粮食播种面积稳定在4500万亩(1亩=1/15 hm²),提升粮食综合生产能力。

(3)从冗余角度来看,宝鸡市、汉中市、商洛市、榆林市应注意提升耕地利用效率,改造中低产田,建设旱涝保收的高标准基本农田^[36];除铜川市外,其他地区均存在农业劳动人员和有效灌溉面积的冗余,可鼓励农业人员从事第二、第三产业,改进灌溉技术,建立区域水资源调度系统,合理调配水资源,确保农田灌溉用水的均衡供应等优化投入冗余。各地均存在农用机械总动力的冗余,2015年,陕西省发布《陕西省农机购置与应用补贴实施方案》,该政策可能导致农业机械的购置和使用可能超过了实际需求,应优化农业机械购置补贴政策,使用先进、能耗低的农机,提高农机设备的使用效率。化肥投入方面,除安康市、汉中市、商洛市外,其他地区存在冗余情况,近年来,陕西省化肥施用量对实际粮食产量增长的贡献逐渐减弱。目前,洛川县和石泉县已经制定了减少化肥用量并提高效率的具体方案。建议其他地区也应加快推行类似的措施,以减少化肥依赖,推动粮食生产的可持续发展。

(4)基于三大地理区的粮食生产效率差异,应增强农业政策协调性。陕南地区应借鉴关中地区,加强与高校的合作,建立农业科技园区,支持农业科技创

新平台建设。关中地区应借鉴陕南、陕北地区的社会化服务经验,采取“供销社+龙头企业+产业联合社+专业合作社+农户”模式,培育土地托管服务主体。通过政策协同和地区联动,缩小地区差异,确保粮食生产效率同步提升。

参考文献:

- [1] 谢亚宏. 携手维护全球粮食安全[N]. 人民日报, 2023-05-16(17).
XIE Y H. Joint efforts to safeguard global food security[N]. *People's Daily*, 2023-05-16(17).
- [2] 成升魁, 李云云, 刘晓洁, 等. 关于新时代我国粮食安全观的思考[J]. 自然资源学报, 2018, 33(6): 911-926. CHENG S K, LI Y Y, LIU X J, et al. Thoughts on food security in China in the new period[J]. *Journal of Natural Resources*, 2018, 33(6): 911-926.
- [3] 杨翠红, 林康, 高翔, 等. “十四五”时期我国粮食生产的发展态势及风险分析[J]. 中国科学院院刊, 2022, 37(8): 1088-1098. YANG C H, LIN K, GAO X, et al. Analysis on development and risks of China's food production during 14th Five-Year Plan period[J]. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2022, 37(8): 1088-1098.
- [4] 朱晶, 臧星月, 李天祥. 新发展格局下中国粮食安全风险及其防范[J]. 中国农村经济, 2021(9): 2-21. ZHU J, ZANG X Y, LI T X. China's food security risks and prevention strategy under the new development pattern[J]. *Chinese Rural Economy*, 2021(9): 2-21.
- [5] 李先德, 孙致陆, 赵玉蕊. 全球粮食安全及其治理: 发展进程、现实挑战和转型策略[J]. 中国农村经济, 2022(6): 2-22. LI X D, SUN Z L, ZHAO Y H. Global food security and its governance: development process, practical challenges and transformation strategies[J]. *Chinese Rural Economy*, 2022(6): 2-22.
- [6] 邓路, 袁圣博, 白萍, 等. 中国省际农业投入产出效率的动态演进及时空分异规律[J]. 西南农业学报, 2023, 36(8): 1814-1824. DENG L, YUAN S B, BAI P, et al. Temporal and spatial differentiation law and path selection of inter provincial agricultural input-output efficiency in China[J]. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2023, 36(8): 1814-1824.
- [7] 刘传明, 范观宇, 毛广雄, 等. 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[J]. 自然资源学报, 2023, 38(3): 707-720. LIU C M, FAN G Y, MAO G X, et al. Spatio-temporal variation and influencing factors of grain production efficiency in Huaihe Eco-Economic Belt in recent 20 years[J]. *Journal of Natural Resources*, 2023, 38(3): 707-720.
- [8] 杨皓天, 刘秀梅, 句芳. 粮食生产效率的随机前沿函数分析: 基于内蒙古微观农户层面1312户调研数据[J]. 干旱区资源与环境, 2016, 30(12): 82-88. YANG H T, LIU X M, JU F. Stochastic frontier function analysis on the grain production efficiency: based on the research data of 1312 farmers in Inner Mongolia[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2016, 30(12): 82-88.
- [9] ZHANG D H, WANG H Q, LOU S, et al. Research on grain production efficiency in China's main grain producing areas from the perspective of financial support[J]. *PLoS One*, 2021, 16(3): e0247610.
- [10] 张友平, 王巧连, 程海亮, 等. 2001—2020年中国棉花成本要素和

- 生产效率分析[J]. 中国棉花, 2024, 51(11): 1-10. ZHANG Y P, WANG Q L, CHENG H L, et al. Analysis of China cotton production efficiency from 2001 to 2020[J]. *China Cotton*, 2024, 51(11): 1-10.
- [11] 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[J]. 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[J]. *Economic Geography*, 2019, 39(9): 207-212.
- [12] 张利国, 鲍丙飞, 潘丹. 鄱阳湖生态经济区粮食生产技术效率时空演变及环境协调性探究[J]. 经济地理, 2016, 36(11): 116-123. ZHANG L G, BAO B F, PAN D. Spatial-temporal evolution and environmental coordination of technical efficiency of grain production in Poyang Lake eco-economic zone[J]. *Economic Geography*, 2016, 36(11): 116-123.
- [13] 黄峰华, 李晓晨, 张研, 等. 黑龙江省粮食生产效率及玉米生产主体效率实证分析[J]. 玉米科学, 2022, 30(3): 184-190. HUANG F H, LI X C, ZHANG Y, et al. Experimental study on grain production efficiency and maize production organization efficiency in Heilongjiang Province[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2022, 30(3): 184-190.
- [14] 杨庆, 蒋旭东, 闪辉, 等. 长江三角洲地区农产品主产区粮食生产效率研究[J]. 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 region[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2019, 40(8): 141-148.
- [15] 于元赫, 王越, 宫大卫. 山东省粮食生产效率时空演变及影响因素研究[J]. 农业资源与环境学报, 2023, 40(3): 728-738. YU Y H, WANG Y, GONG D W. Spatial-temporal evolution and influencing factors of grain production efficiency in Shandong Province, China[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2023, 40(3): 728-738.
- [16] 尚丽. “双碳”目标下陕西粮食生产率评价及影响因素研究[J]. 黑龙江粮食, 2023(3): 45-47. SHANG L. Research on grain productivity evaluation and influencing factors in Shaanxi under the target of “double carbon”[J]. *Heilongjiang Grain*, 2023(3): 45-47.
- [17] 叶文显, 刘勤燕. 陕西省粮食生产的时空演变及绩效评价[J]. 河南农业大学学报, 2016, 50(3): 434-440. YE W X, LIU Q Y. The spatial-temporal evolution and performance evaluation of grain production in Shaanxi Province[J]. *Journal of Henan Agricultural University*, 2016, 50(3): 434-440.
- [18] 刘妍妮. 陕西省粮食播种面积及其产量动态与预测[J]. 江西农业学报, 2018, 30(10): 142-146. LIU Y N. Dynamics and prediction of grain sown area and yield in Shaanxi Province[J]. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2018, 30(10): 142-146.
- [19] 孙英敏. 陕西省耕地利用转型与粮食产量耦合关系研究[J]. 中国农业资源与区划, 2018, 39(7): 14-20. SUN Y M. The coupling relationship between the transformation of cultivated land utilization and grain yield in Shaanxi[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2018, 39(7): 14-20.
- [20] 宋佃星. 陕西省粮食生产安全驱动因素分析[J]. 江西农业学报, 2013, 25(2): 135-139. SONG D X. Analysis of driving factors of grain production security in Shaanxi[J]. *Acta Agriculturae Jiangxi*, 2013, 25(2): 135-139.
- [21] 杨慧. 陕西省粮食产量及其影响因素分析[D]. 西安: 长安大学, 2021: 56-57. YANG H. Analysis of grain output and its influencing factors in Shaanxi Province[D]. Xi'an: Changan University, 2021: 56-57.
- [22] 靳亚亚, 赵凯, 肖桂春. 陕西省耕地保护经济补偿分区研究: 基于粮食安全与生态安全双重视角[J]. 中国土地科学, 2015, 29(10): 12-19. JIN Y Y, ZHAO K, XIAO G C. The economic compensation zoning of the cultivated land protection in Shaanxi Province: from the perspective of food and ecological security[J]. *China Land Sciences*, 2015, 29(10): 12-19.
- [23] 周小平, 柴铎, 卢艳霞, 等. 耕地保护补偿的经济学解释[J]. 中国土地科学, 2010, 24(10): 30-35. ZHOU X P, CHAI D, LU Y X, et al. Economic interpretation on the compensation for farmland preservation[J]. *China Land Science*, 2010, 24(10): 30-35.
- [24] 孙晶晶, 赵凯, 曹慧, 等. 我国耕地保护经济补偿分区及其补偿额度测算: 基于省级耕地-经济协调性视角[J]. 自然资源学报, 2018, 33(6): 1003-1017. SUN J J, ZHAO K, CAO H, et al. Zoning and quantity of economic compensation for arable land protection: from the perspective of coordination between provincial cultivated land and economic[J]. *Journal of Natural Resources*, 2018, 33(6): 1003-1017.
- [25] 赵琳, 宋丽艳. 气候变化对陕西粮食生产的影响[J]. 中国科技信息, 2023(10): 119-120. ZHAO L, SONG L Y. Impact of climate change on grain production in Shaanxi Province[J]. *China Science and Technology Information*, 2023(10): 119-120.
- [26] 张磊. 陕北地区农户对农业补贴政策满意度研究: 以靖边县大路沟乡为例[D]. 西安: 西安财经学院, 2012: 35-37. ZHANG L. Study on farmers' satisfaction with agricultural subsidy policy in northern Shaanxi: a case study of Dalugou Township, Jingbian County [D]. Xi'an: Xi'an University of Finance and Economics, 2012: 35-37.
- [27] 王钊茗. 陕西省农业高质量发展评价研究[D]. 西安: 西安财经大学, 2022: 22-38. WANG K M. Study on evaluation of agricultural high-quality development in Shaanxi Province[D]. Xi'an: Xi'an University of Finance and Economics, 2022: 22-38.
- [28] 县可欣, 张瑜, 刘新仪, 等. 陕西省粮食安全水平评价及预测研究[J]. 河南农业大学学报, 2024, 58(1): 155-163. XIAN K X, ZHANG Y, LIU X Y, et al. Research on the evaluation and forecasting of food security level in Shaanxi Province[J]. *Journal of Henan Agricultural University*, 2024, 58(1): 155-163.
- [29] 张嘉瑶, 贾强. 基于DEA—Malmquist指数模型的中国五个产粮大省粮食生产效率分析[J]. 中南农业科技, 2024, 45(3): 156-161. ZHANG J Y, JIA Q. Analysis of grain production efficiency in five major grain-producing provinces in China based on DEA-Malmquist index model[J]. *Zhongnan Agricultural Science and Technology*, 2024, 45(3): 156-161.
- [30] 李中东, 尉迟晓娟. 山东省农业生产效率研究: 基于超效率DEA和Malmquist指数[J]. 山东农业大学学报(社会科学版), 2019, 21(2): 45-51. LI Z D, YUCHI X J. Studies on agricultural production efficiency in Shandong Province: based on super efficiency DEA and

- Malmquist index[J]. *Journal of Shandong Agricultural University (Social Science Edition)*, 2019, 21(2):45-51.
- [31] 闵锐, 李谷成. “两型”视角下我国粮食生产技术效率的空间分异[J]. *经济地理*, 2013, 33(3):144-149. MIN R, LI G C. Grain's production efficiency and its spatial distribution in China from the “two-oriented (resource and environment)” perspective[J]. *Economic Geography*, 2013, 33(3):144-149.
- [32] 吴永清, 杜荣, 蒋辉. 中国粮食生产环境效率的时空演化特征及其影响因素分析[J]. *农业经济与管理*, 2023(4):37-47. WU Y Q, DU R, JIANG H. Spatial-temporal evolution characteristics and influencing factors analysis of environmental efficiency of grain production in China[J]. *Agricultural Economics and Management*, 2023(4):37-47.
- [33] 宋喜芳, 姚海荣, 张小飞, 等. 陕西省粮食产量影响因素的灰色关联分析: 基于面板数据的实证研究[J]. *中国农学通报*, 2020, 36(28):158-164. SONG X F, YAO H R, ZHANG X F, et al. Grey correlation analysis of the influence factors of grain yield in Shaanxi: empirical research based on panel data[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2020, 36(28):158-164.
- [34] 尚丽. 基于DEA模型的陕西省粮食生产效率评价及影响因素研究[J]. *东北农业科学*, 2018, 43(5):47-54. SHANG L. Studies on evaluation of grain production efficiency and influencing factors in Shaanxi Province based on DEA model[J]. *Journal of Northeast Agricultural Sciences*, 2018, 43(5):47-54.
- [35] 刘宏涛. 我国商贸流通业效率的空间非均衡及其动态演进[J]. *商业经济研究*, 2024(11):9-13. LIU H T. Spatial imbalance and dynamic evolution of the efficiency of China's commercial circulation industry[J]. *Journal of Commercial Economics*, 2024(11):9-13.
- [36] 唐亚平. 陕西省耕地数量质量时空变化与粮食生产保障研究[D]. 西安: 西北大学, 2014:158-165. TANG Y P. Study on temporal and spatial changes of cultivated land quantity and quality and food production guarantee in Shaanxi Province[D]. Xi'an: Northwest University, 2014:158-165.
- [37] 马琰, 雷振东, 屈雯. 陕西省粮食生产时空格局变化及其对乡村聚落发展的影响[J]. *小城镇建设*, 2020, 38(8):43-51. MA Y, LEI Z D, QU W. Spatial and temporal pattern change of grain production and its influence on rural settlement development in Shaanxi Province[J]. *Development of Small Cities & Towns*, 2020, 38(8):43-51.
- [38] 张应龙, 谢永生, 文曼, 等. GIS支持下的陕西省粮食生产时空变异研究[J]. *干旱区资源与环境*, 2012, 26(7):150-159. ZHANG Y L, XIE Y S, WEN M, et al. Temporal and spatial variability of grain production in Shaanxi based on GIS[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2012, 26(7):150-159.