



农业资源与环境学报

中文核心期刊
中国科技核心期刊

JOURNAL OF AGRICULTURAL RESOURCES AND ENVIRONMENT

欢迎投稿 <http://www.aed.org.cn>

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

引用本文:

周露明, 谢兴华, 朱珍德, 等. 基于水-能源-粮食纽带关系的农业资源投入产出效率研究[J]. 农业资源与环境学报, 2020, 37(6): 875-881.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13254/j.jare.2019.0639>

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>

不同蔬菜品种生产效益和碳效益评价

胡亮, 文礼章, 彭云鹏, 易倩, 徐练

农业资源与环境学报. 2016, 33(1): 92-101 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2015.0121>

活化水灌溉在农业生产中的应用研究进展

穆艳, 赵国庆, 赵巧巧, 刘皓, 王全九

农业资源与环境学报. 2019, 36(4): 403-411 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2019.0106>

气候变化对西北半干旱区旱作农业的影响及解决途径

王红丽, 张绪成, 魏胜文

农业资源与环境学报. 2015(6): 517-524 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2015.0093>

基于模型的山东省土地生态安全评价

周迎雪, 李贻学, 孙仪阳, 李进涛, 高贵芳, 苏超

农业资源与环境学报. 2016, 33(4): 320-326 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2015.0270>



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

周露明, 谢兴华, 朱珍德, 等. 基于水-能源-粮食纽带关系的农业资源投入产出效率研究[J]. 农业资源与环境学报, 2020, 37(6): 875–881.

ZHOU Lu-ming, XIE Xing-hua, ZHU Zhen-de, et al. Input-output efficiency of agricultural resources based on the water-energy-food nexus[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2020, 37(6): 875–881.



开放科学 OSID

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^{1,2,3}, 谢兴华^{3*}, 朱珍德^{1,2}, 王麓翔^{1,2,3}, 吴俊宇^{1,2,3}

(1. 河海大学岩土力学与堤坝工程教育部重点实验室, 南京 210098; 2. 江苏省岩土工程技术工程研究中心, 河海大学 南京 210098; 3. 南京水利科学研究院水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 南京 210029)

摘要:为研究我国2010—2017年农业资源投入产出效率及时序演化特征,采用数据包络分析(DEA)方法,以中国内地31个省份为研究对象,基于农业生产中的水-能源-粮食纽带关系,构建了以农业用水量、能源产品使用量、排灌耗能量、能源产品生产用水量作为输入变量,以主要农产品生产总量、第一产业国内生产总值(第一产业GDP)为输出变量的评价指标体系。结果表明,我国有19个省份尚未达到DEA有效状态,大部分省份的农业资源投入产出效率有较大上升空间。研究表明,我国大部分省份(20个)的综合效率主要受纯技术效率的影响,其中最典型的宁夏、甘肃、新疆三个西北省份的纯技术效率明显落后,资源利用效率和管理水平有待提高。

关键词:水-能源-粮食纽带关系;数据包络分析;农业资源;投入产出效率

中图分类号:F323

文献标志码:A

文章编号:2095-6819(2020)06-0875-07

doi: 10.13254/j.jare.2019.0639

Input-output efficiency of agricultural resources based on the water-energy-food nexus

ZHOU Lu-ming^{1,2,3}, XIE Xing-hua^{3*}, ZHU Zhen-de^{1,2}, WANG Lu-xiang^{1,2,3}, WU Jun-yu^{1,2,3}

(1. Key Laboratory of Ministry of Education for Geomechanics and Embankment Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China; 2. Jiangsu Research Center for Geotechnical Engineering Technology, Hohai University, Nanjing 210098, China; 3. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China)

Abstract: Taking 31 provinces of China as the research target, an evaluation index system with agricultural water consumption, agricultural energy consumption, energy consumption of irrigation and drainage, and water consumption of energy production as the input variables and total production of the main agricultural products and gross domestic product of the first industry as the output variables was established based on the water-energy-food nexus in agricultural production. Data envelopment analysis (DEA) was used to calculate the input-output efficiency of agricultural resources in China from 2010 to 2017, and its temporal evolution characteristics were analyzed. The results showed that 19 provinces in China had not yet reached the DEA effective state, and the input-output efficiency of agricultural resources in most regions had large room for growth. The comprehensive efficiency of 20 regions was mainly affected by the pure technical efficiency, while the pure technical efficiency of Ningxia, Gansu, and Xinjiang was clearly backward and the resource utilization efficiency and management level need to be improved.

Keywords: water-energy-food nexus; data envelopment analysis; agricultural resources; input-output efficiency

收稿日期: 2019-12-26 录用日期: 2020-02-06

作者简介: 周露明(1994—), 男, 山东济宁人, 博士研究生, 从事水文水资源研究。E-mail: sk_zlm@163.com

*通信作者: 谢兴华 E-mail: iamxiexh@163.com

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFC0404601); 南京水利科学研究院基金项目(Y119010)

Project supported: National Key Research and Development Project (2017YFC0404601); Foundation Project of Nanjing Hydraulic Research Institute (Y119010)

水、能源、粮食是人类生产生活不可或缺的资源,在全球人口增长、资源短缺、生态环境恶化的背景下,水、能源、粮食安全是社会经济发展所面临的重要挑战。水安全、能源安全和粮食安全分别是指能够维持人类生存发展的有数量与质量保障的水资源、能源和粮食^[1]。世界银行研究表明,如果不大幅提高节水效率,至2030年,全球水资源可利用量缺口约为2.7万亿 m^3 ,需水量将超过目前可持续供水量的40%^[2]。据国网能源研究院预计,全球能源需求总量未来将不断增加,2030年的全球一次能源需求总量将超过250亿tce^[3],随着化石能源的逐渐消耗,世界能源危机逐步加深。据联合国粮农组织预测,随着人口数量的增加,2030年世界粮食需求总量将达到26.77亿t,供给量为26.79亿t,虽然全球粮食供需总量基本平衡,但南非、南亚等多个地区的粮食供需严重失衡^[4]。

2011年11月,德国联邦政府召开“水-能源-粮食纽带关系(Water-Energy-Food Nexus, WEF-Nexus)安全会议”,首次指出水安全、能源安全和粮食安全三者之间存在错综复杂的“纽带关系”。WEF-Nexus概念的形成是一个资源整合过程,是从可持续水资源管理的角度出发,在以水资源为单核心的基础上逐步丰富、完善和发展为双核心、三核心。联合国粮农组织^[5]认为WEF-Nexus描述了全球资源系统的动态性、复杂性和相互关联性,强调在保持生态系统完整性的前提下,协调不同资源用户的利益关系,在社会、经济和环境三个领域实现可持续的资源管理和利用。常远等^[6]认为,WEF-Nexus的核心在于综合考量水、能源、粮食三者之间的相互关系,将其作为相关资源管理的决策依据,以解决人类社会所面临的资源短缺问题。

目前,学术界主要从两个方面对WEF-Nexus进行研究:一是梳理WEF-Nexus的内在相互作用机理;二是模拟不同社会、经济等因素影响下的纽带关系响应特性。Karabulut等^[7]结合WEF-Nexus特征,采用SWAT模型规划了多瑙河流域的水资源分配方案;Howells等^[8]利用LEAP、WEAP、AEZ三种资源分析软件,研究了气候变化对毛里求斯水、能源供需的影响;毕博等^[9]通过耦合协调度模型分析了辽宁省WEF-Nexus的耦合协调关系和时序演化特征;李桂君等^[10]以系统动力学模型为手段,对北京市的WEF-Nexus进行了仿真模拟。目前,大多数研究是从宏观角度出发,分析WEF-Nexus的整体响应特性。本研究则是在前人研究的基础上,从农业生产的角度入手,结合WEF-Nexus的内涵,通过数据包络分析方法(Data en-

velopment analysis, DEA)分析中国内地31个省份2010—2017年农业生产中的WEF投入产出效率,旨在丰富WEF-Nexus基础理论,为提升区域农业WEF投入产出效率提供理论参考依据。

1 农业生产中的WEF-Nexus

WEF-Nexus即水、能源和粮食之间的互动耦合关系,它具有显著的地方特征与关联特征。地方特征是指WEF-Nexus是在具体的时间和空间背景下体现的,由于地理位置、气候条件、人口密度和经济技术水平等因素的差异,不同地区WEF-Nexus的特征是不同的。关联特征则包括WEF-Nexus的内部关联特征与外部关联特征。内部关联特征即三种资源之间的相互依存、制约关系,例如水资源的提取、输送、利用和排放等过程需要能源提供动力;能源的开采和利用需要消耗水资源;粮食的生产、加工等环节需要同时消耗水资源与能源;此外,玉米等粮食作物还可以用来生产燃料乙醇和生物柴油。外部关联特征是指社会、经济和环境系统与WEF-Nexus系统的相互作用特性,例如每种资源在其生命周期运行过程中的经济成本、各种环境污染物的排放等。

传统意义上的粮食是谷类、豆类和薯类的统称,而在WEF-Nexus中,“F”不仅指粮食,还包含油料、蔬菜和水果等经济作物,即所有农作物的统称。从资源流动过程的角度来看,水资源的产出仅需要能源的投入;能源的产出需要水资源和粮食的投入,但能源产出对粮食的依赖性比较小;而粮食的产出需要水资源和能源的投入,两者缺一不可。因此在考虑WEF-Nexus的基础上研究农业生产的资源投入产出效率,对确保资源安全具有重要意义。

以粮食为产出对象,作出WEF-Nexus对粮食生产的作用关系简图,如图1所示。图1中四条箭头的含义如下: $W_F \rightarrow F$ 表示生产粮食所直接利用的水资源; $E_F \rightarrow F$ 表示粮食生产阶段直接消耗的农药、化肥等能源产品; $E_{FW} \rightarrow W_F$ 表示粮食生产需要消耗的水资源,而消耗的水资源的运行需要能源提供动力,例如排灌过程中机电泵消耗的电能和柴油机消耗的柴

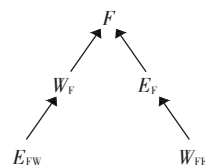


图1 以粮食为产出目标的WEF-Nexus

Figure 1 WEF-Nexus of grain as output target

油,这一部分可称为粮食的间接能耗; $W_{FE} \rightarrow E_F$ 表示用于生产粮食的农药、化肥等能源产品的加工过程需要消耗水资源,这一部分可以称为粮食的间接用水。

2 研究方法及数据处理

2.1 DEA方法

DEA是通过数学规划模型对由若干研究对象(又称决策单元)构成的生产可能进行相对有效性评价的方法^[11]。它不需要确定各变量的具体函数形式,也不需要统一不同指标的量纲。DEA模型满足多元最优化原则,即追求在一定产出量条件下最小化的投入。常用的DEA模型有C²R模型和BC²模型,两种模型分别以规模不变和规模可变为前提,本研究同时运用两种模型较全面地评价我国各地区的农业投入产出效率。

设有 k 个决策单元,每个决策单元有 m 种投入要素和 n 种产出要素,则C²R模型如公式(1)所示。

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^k \alpha_j X_j + s^+ = \beta X_0 \\ \sum_{j=1}^k \alpha_j Y_j - s^- = Y_0 \\ \alpha_j \geq 0, \quad j=1,2,\dots,k \\ s^+ \geq 0, \quad s^- \geq 0 \end{cases} \quad (1)$$

式中: β 为决策单元效率值,当 $\beta=1$ 时,表示决策单元投入产出为DEA有效,当 $\beta<1$ 时,表示决策单元投入产出为非DEA有效; $X_j(j=1,2,\dots,k)$ 表示第 j 个决策单元中某类投入要素的数量; $Y_j(j=1,2,\dots,k)$ 表示第 j 个决策单元中某产出要素的数量; α_j 为决策单元权重系数; s^+ 和 s^- 为松弛变量, s^+ 表示投入过多, s^- 表示产出不足。

C²R模型是在规模不变的前提下测算决策单元相对效率的,但在实际情况中,决策单元的规模报酬很可能发生变化,故需要通过增加约束条件项构建BC²模型,以讨论规模报酬可变的效率问题,如公式(2)所示。

$$\begin{cases} \min[\beta - \varepsilon (\sum_{i=1}^m s_i^- + \sum_{p=1}^n s_p^+)] = u_d(\varepsilon) \\ \sum_{j=1}^k \alpha_j X_j + s^+ = \beta X_0 \\ \sum_{j=1}^k \alpha_j Y_j - s^- = Y_0 \\ \sum_{j=1}^k \alpha_j = 1 \\ \alpha_j, \beta, s^+, s^- \geq 0 \end{cases} \quad (2)$$

式中: ε 为非阿基米德无穷小量。

C²R模型和BC²模型测算的分别为DEA相对效率和纯技术效率,二者之间存在联系,如公式(3)所示。

$$TE = PTE \times SE \quad (3)$$

式中:TE为DEA相对效率值,又称综合效率;PTE为纯技术效率值;SE为规模效率值。

2.2 指标体系构建

DEA模型的指标体系包括投入指标和产出指标,在农业生产WEF-Nexus中,水、能源作为投入要素,粮食作为产出要素。投入指标包括直接输入量和间接输入量,考虑到数据的可获取性,选取农业用水量和化肥、农药两种能源产品的使用量作为直接输入量,选取排灌水过程中的耗电量、柴油使用量以及生产化肥、农药的用水量作为间接输入量。同时,选取了主要农产品生产总量和第一产业GDP(国内生产总值)作为模型的产出指标。具体指标体系见表1。

表1 DEA模型指标体系

指标类型 Index types	指标内容 Index contents
投入指标	农业用水量(亿 m ³)
	能源产品(农药、化肥)使用量(万 cal)
	排灌耗能(电能、柴油)量(万 tce)
	能源产品生产用水量(万 m ³)
产出指标	主要农产品产量(万 t)
	第一产业 GDP(亿元)

2.3 数据来源与预处理

本研究选取2010—2017年31个省(市、自治区)水、能源和粮食的投入与产出指标数据作为研究对象。数据来源于《中国统计年鉴》^[12]《中国农村统计年鉴》^[13],部分无法直接获取的数据通过线性拟合法补缺。

在选取的指标中,农业用水量、第一产业GDP数据直接来源于《中国统计年鉴》。能源产品(农药、化肥)使用量、排灌耗能量(电能、柴油)及主要农产品产量数据来源于《中国农村统计年鉴》。化肥包括氮肥、磷肥、钾肥及复合肥,年鉴中均有具体统计,农药包括除草剂、杀虫剂等,年鉴中只有总的统计数据,故本研究直接采用总农药使用量进行计算。采用能耗系数法统一各种化肥与农药的单位,根据《农业技术经济手册》^[14],氮肥、磷肥、钾肥以及农药的能耗系数分别为5 740、2 030、2 150 kcal·kg⁻¹和24 000 kcal·kg⁻¹,复合肥由氮、磷、钾三种肥料混合而成,能耗系数取三者

的平均值。采用热当量法统一电能和柴油的单位,根据《中国能源统计年鉴》^[15],电能、柴油折标系数分别为 $0.122\ 9\ \text{kgce}\cdot\text{kWh}^{-1}$ 、 $1.457\ 1\ \text{kgce}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。主要农产品产量取年鉴中统计的所有农作物产品产量之和。

2017年湖北省和贵州省化肥产量居全国前两位,两者之和占总量的23%^[16];江苏省和山东省农药产量居全国前两位,两者之和占总量的54%^[17]。故参考《湖北省工业与生活用水定额》^[18]《江苏省工业用水定额》^[19]确定生产化肥与农药的单位用水量:取生产磷肥、钾肥、复合肥单位用水量为 2.70 、 9.00 、 $0.46\ \text{m}^3\cdot\text{t}^{-1}$;取草甘膦代表所有农药,单位用水量为 $20\ \text{m}^3\cdot\text{t}^{-1}$;根据曹仑^[20]的研究,取尿素、合成氨在氮肥中所占比例为7:3,单位用水量分别为 3.6 、 $27.0\ \text{m}^3\cdot\text{t}^{-1}$ 。

3 结果与分析

3.1 31个省份农业投入产出效率总体情况

选取BC²模型,应用表1中的指标体系和DEAP 2.1软件测算31个省份2010—2017年的农业投入产出效率(包括综合效率、纯技术效率和规模效率)。首先分析各省份DEA相对有效性随时间的变化情况(综合效率值为1,则表明该省份的投入产出是有效的)。各省份农业资源投入产出的综合效率值和历年平均值的计算结果见表2。

由表2可知,我国有12个省份已经或曾经达到DEA有效状态,其中山东、广西、重庆、贵州和青海始终处于DEA有效状态,2017年相比较于2010年新增

表2 2010—2017年各省份DEA综合效率

Table 2 DEA comprehensive efficiency of different provinces from 2010 to 2017

省份 Provinces	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	平均值 Average value	排名 Ranking
北京	0.832	0.789	0.793	0.851	0.880	0.860	0.946	0.748	0.837	15
天津	0.650	0.597	0.585	0.587	0.658	0.645	0.644	0.658	0.628	27
河北	0.867	0.855	0.852	0.871	0.863	0.836	0.787	0.753	0.836	16
山西	0.770	0.786	0.862	0.846	0.881	0.824	0.707	0.850	0.816	19
内蒙古	0.668	0.676	0.649	0.644	0.613	0.567	0.508	0.578	0.613	28
辽宁	1	1	1	1	1	1	0.910	0.878	0.974	9
吉林	0.859	0.852	0.856	0.826	0.800	0.794	0.717	0.848	0.819	18
黑龙江	0.677	0.697	0.736	0.763	0.744	0.755	0.697	0.823	0.737	22
上海	0.715	0.669	0.684	0.656	0.663	0.606	0.696	0.539	0.654	26
江苏	0.663	0.687	0.707	0.712	0.704	0.736	0.695	0.639	0.693	24
浙江	1	1	1	1	1	1	1	0.899	0.987	8
安徽	0.666	0.641	0.679	0.669	0.710	0.672	0.648	0.649	0.667	25
福建	0.992	0.987	1	1	1	0.977	0.976	0.816	0.969	10
江西	0.926	0.908	0.906	0.914	0.925	0.882	0.866	0.815	0.893	13
山东	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
河南	0.952	1	1	1	1	1	1	1	0.994	6
湖北	0.700	0.693	0.734	0.717	0.734	0.691	0.725	0.679	0.709	23
湖南	0.949	0.959	0.941	0.906	0.861	0.811	0.793	0.625	0.856	14
广东	0.843	0.813	0.795	0.809	0.802	0.769	0.749	0.648	0.779	20
广西	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
海南	1	1	1	1	1	1	1	0.905	0.988	7
重庆	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
四川	1	1	1	1	1	0.936	0.921	0.883	0.968	11
贵州	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
云南	0.749	0.796	0.815	0.822	0.804	0.783	0.703	0.732	0.776	21
西藏	1	1	1	0.898	0.891	0.950	0.942	1	0.960	12
陕西	0.786	0.842	0.860	0.858	0.830	0.864	0.802	0.830	0.834	17
甘肃	0.624	0.561	0.559	0.572	0.566	0.590	0.554	0.588	0.577	29
青海	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
宁夏	0.455	0.452	0.452	0.448	0.468	0.500	0.476	0.433	0.461	31
新疆	0.600	0.523	0.554	0.548	0.486	0.501	0.433	0.449	0.512	30

了河南,说明2010—2017年这些省份的农业生产水平、管理方式以及相关政策有助于维持和提高自身的资源投入产出效率。总体来看,辽宁、浙江、福建、山东、河南、广西、海南、重庆、四川、贵州、西藏、青海12个省份的平均综合效率值在0.9以上,这些省份农业资源投入产出的配置相对良好;北京、河北、山西、吉林、江西、湖南、陕西7个省份的平均综合效率值在0.8~0.9之间,天津、内蒙古、黑龙江、上海、江苏、安徽、湖北、广东、云南9个省份的平均综合效率值在0.6~0.8之间,而甘肃、宁夏和新疆三个西北省份的平均综合效率不足0.6。从以上结果可以看出,我国部分省份(尤其是西北地区)在农业生产方面的资源投入产出还有较大的提升空间。

表2只反映了各省份在各个年份的相对效率值,为了将各省份在各年份的DEA效率值进行时序对比,基于表2的计算结果求出8年中各省份在各年份的DEA效率值排名情况,如表3所示。根据各省份排名的变化情况分为排名上升省份(7个)、排名下降省份(13个)、排名不变省份(6个)和排名基本不变省份(5个)。其中,排名不变的6个省份是2010年和2017年综合效率值均为1的省份,排名基本不变是指排名变化的绝对值为1或2的省份。

根据各省份综合效率的变化特征可以将它们分为四种类型:综合效率值高且稳定(7个:山东、河南、广西、重庆、贵州、西藏、青海);综合效率值高但有波动(15个:北京、河北、山西、辽宁、吉林、黑龙江、浙江、福建、江西、海南、四川、云南、陕西、湖南、广东);综合效率值较高但增长慢(6个:天津、内蒙古、上海、江苏、安徽、湖北);综合效率值较低甚至下降(3个:甘肃、宁夏、新疆)。每种类型典型省份的综合效率变化趋势如图2所示。结合图2与表2,发现大部分省份的综合效率值是下降的,仅有天津、山西、黑龙江、河南、陕西5个省份的综合效率值是上升的,有6个省份始末状态的综合效率值均为1。在达到DEA有效

状态的12个省份中,既包括山东、辽宁、浙江等东部地区,也包括贵州、青海等西部地区,而平均DEA综合效率值低于0.7的8个省份中,同样包括天津、上海等东部地区以及宁夏、新疆等西部地区。造成这种现象的原因包括各地区在资源禀赋、经济水平和政策制度等多方面的差异。例如,山东省平原广阔,光照充足,降水集中,具有得天独厚的自然禀赋,同时山东省一直积极发展农业,建立了良好的政策支持体系;河北省的综合效率值虽然较高,但依然存在水资源匮乏等资源型矛盾与优质产品不足等结构性矛盾,因此综合效率值略低于山东;上海、天津地域面积狭小,城市占地面积广且农业建设用地少,同时这两座城市均濒海,随着全球海平面的上升,海水倒灌现象势必越来越严重,部分良田变成盐碱地,土壤有机质含量降低、营养条件变差,不利于农作物的生长,应当增加土地资源配置的灵活性,同时加强盐碱地灌溉管理、推广快速改良肥等改良新工艺;而甘肃、宁夏等深居西北内陆,气候干旱且降水稀少,水资源短缺,严重制约农业发展,应当发展节水农业,推广滴灌等节水灌溉技术以及地膜覆盖保墒等技术,提高农业生产的用水效率。

3.2 31个省份农业资源投入产出效率影响因素分析

通过各省份纯技术效率值与规模效率值的变化可进一步探讨综合效率变化的原因。为保障数据的时效性,选取2017年各省份的相关数据进行分析,结果见表4。

从表4可以看出,北京、上海、浙江、四川这4个省份的纯技术效率大于其规模效率。其中北京和四川的纯技术效率达到1,但由于规模效率相对较小,导致综合效率小于1,虽然近年来北京和四川的农业生产结构不断调整、产业布局不断优化,但北京“大城市小农村”的城乡格局依然存在;四川人多地少、耕地资源稀缺、农业生产规模小、资源压力大等问题突出^[21],水资源、能源的规模投入造成其综合效率不足1,提升规模效率是其提高综合效率的关键,应当采取拓展生产性空间、培育新型农业经营主体等措施。而内蒙古、河北等20个省份的规模效率大于其纯技术效率,典型省份如内蒙古、湖南的规模效率达到0.993和0.909,而其纯技术效率分别仅为0.582和0.688,这说明我国大部分地区农业投入产出实现DEA有效主要受纯技术效率的制约。

2017年,综合效率排名靠后的甘肃、宁夏和新疆三个省份的规模效率均在0.9以上,但它们的纯技术

表3 2010—2017年各省份DEA效率值排名变化
Table 3 Change of DEA efficiency ranking of different provinces from 2010 to 2017

排名变化 Ranking changes	省份 Provinces
排名上升(7个)	北京、天津、山西、吉林、黑龙江、河南、陕西
排名下降(13个)	河北、内蒙古、辽宁、浙江、安徽、福建、江西、湖南、海南、四川、云南、甘肃、宁夏
排名不变(6个)	山东、广西、重庆、贵州、西藏、青海
排名基本不变(5个)	上海、江苏、湖北、广东、新疆

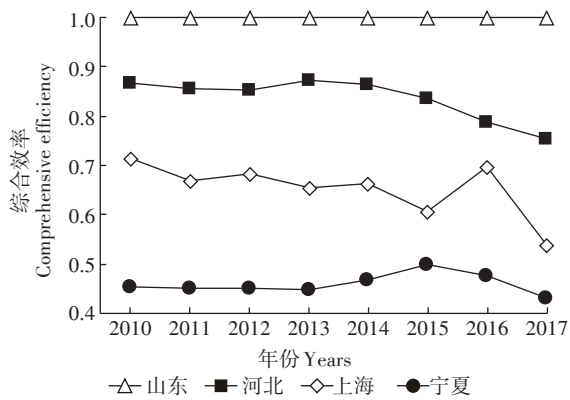


图2 典型省份综合效率变化趋势

Figure 2 Change trend of comprehensive efficiency in typical provinces

表4 2017年各省份DEA效率值

Table 4 DEA efficiency of different province in 2017

省份 Provinces	综合效率 Comprehensive efficiency	纯技术效率 Pure technical efficiency	规模效率 Scale efficiency
北京	0.748	1	0.748
天津	0.658	0.785	0.838
河北	0.753	0.774	0.973
山西	0.850	0.900	0.944
内蒙古	0.578	0.582	0.993
辽宁	0.878	0.882	0.995
吉林	0.848	0.868	0.978
黑龙江	0.823	0.906	0.908
上海	0.539	0.825	0.653
江苏	0.639	0.761	0.839
浙江	0.899	0.955	0.942
安徽	0.649	0.649	1
福建	0.816	0.868	0.941
江西	0.815	0.844	0.966
山东	1	1	1
河南	1	1	1
湖北	0.679	0.805	0.843
湖南	0.625	0.688	0.909
广东	0.648	0.735	0.882
广西	1	1	1
海南	0.905	0.922	0.981
重庆	1	1	1
四川	0.883	1	0.883
贵州	1	1	1
云南	0.732	0.749	0.977
西藏	1	1	1
陕西	0.830	0.838	0.990
甘肃	0.588	0.600	0.980
青海	1	1	1
宁夏	0.433	0.466	0.928
新疆	0.449	0.465	0.967

效率分别仅为0.600、0.466和0.465,说明其农业生产技术相对其他省份较弱,水、能源的利用率相对较低是导致这三个省份综合效率低的主要原因。自我国实施西部大开发战略以来,虽然宁夏等西北地区发展较快,但与东部地区相比仍有较大差距,一些农户作为弱势群体,缺乏技术指导,同时受到经济和文化水平制约,对农产品的质量意识、商品意识不足。因此在保持各省份资源规模效率稳步提升并达到最优化的基础上,今后的政策应当更注重提高纯技术效率,深入实施区域创新驱动发展战略,提高农业生产过程中的水资源、能源利用效率和管理水平。对于纯技术效率明显落后的西北地区来说,应继续健全农业生产技术保障体系、完善技术推广机制,积极承接东部地区的产业转移,借此机会充分吸收东部地区的先进技术和方式,加强技术创新,实现区域资源的协同发展。

4 结论

本研究在阐述农业生产 WEF-Nexus 机理的基础上,通过 DEA 模型计算了中国内地 31 个省份 2010—2017 年的农业资源投入产出效率,分析了各省份投入产出综合效率的变化情况以及典型地区的影响因素,主要得到以下结论:

(1)2017 年,除山东、河南、广西、重庆、贵州、西藏、青海 7 个省份实现 DEA 有效外,其他地区的农业资源投入产出效率不高,其中 19 个省份的平均综合效率值不足 0.9;从各省份历年的排名变化情况来看,12 个省份的排名下降,仅有 7 个省份的排名上升,说明我国大部分地区的农业资源投入产出效率有较大上升空间。

(2)通过分析各省份综合效率的变化趋势发现,仅有山东、河南等 7 个省份的综合效率值高且稳定,北京、河北等 15 个省份的综合效率值较高但有波动,宁夏、甘肃、新疆三个西北省份的综合效率值明显低于其他地区且呈下降趋势。通过分析各省份综合效率的影响因素,发现仅北京、上海等 4 个省份的综合效率主要受资源规模效率的影响而降低,河北、内蒙古等 20 个省份的综合效率主要受其纯技术效率的制约。

(3)对于综合效率排名靠后的宁夏、甘肃、新疆三个西北省份来说,纯技术效率低是其综合效率明显落后的主要原因,应当注重提升其农业生产过程中对水资源、能源的利用效率,吸取东部先进地区的生产经验,改进生产管理方式,以实现纯技术效率的提升。

参考文献:

- [1] United Nations Environment Program. Water security and ecosystem services: The critical connection[R]. Nairobi: UNEP, 2009.
- [2] 普里查德 S, 刘卉. 全球未来淡水资源短缺趋势分析及应对策略[J]. 水利水电快报, 2017, 38(5): 14-16.
- Pritchard S, LIU Hui. Analysis of the global shortage of fresh water resources in the future and its countermeasures[J]. *Express Water Resources & Hydropower Information*, 2017, 38(5): 14-16.
- [3] 马丁, 单葆国. 2030年世界能源展望——基于全球能源展望报告的对比研究[J]. 中国能源, 2017, 39(2): 21-24.
- MA Ding, SHAN Bao-guo. World energy outlook 2030: A comparative study based on global energy outlook report[J]. *Energy of China*, 2017, 39(2): 21-24.
- [4] 张璟, 倪国华, 郑风田. 2030年世界粮食发展及其对中美两国国家战略选择的影响[J]. 世界农业, 2014(3): 1-11.
- ZHANG Jing, NI Guo-hua, ZHENG Feng-tian. World food development in 2030 and its impact on the national strategic choice of China and the United States[J]. *World Agriculture*, 2014(3): 1-11.
- [5] Food and Agriculture Organization (FAO) of United Nations. The water energy-food nexus: A new approach in support of food security and sustainable agriculture[R]. Rome: FAO, 2014.
- [6] 常远, 夏朋, 王建平. 水-能源-粮食纽带关系概述及对我国的启示[J]. 水利发展研究, 2016, 16(5): 67-70.
- CHANG Yuan, XIA Peng, WANG Jian-ping. Water-energy-food nexus and its enlightenment to China[J]. *Water Resources Development Research*, 2016, 16(5): 67-70.
- [7] Karabulut A, Egoh B N, Lanzanova D, et al. Mapping water provisioning services to support the ecosystem-water-food-energy nexus in the Danube River basin[J]. *Ecosystem Services*, 2016, 17: 278-292.
- [8] Howells M, Hermann S, Welsch M, et al. Integrated analysis of climate change, land-use, energy and water strategies[J]. *Nature Climate Change*, 2013, 3(7): 621-626.
- [9] 毕博, 陈丹, 邓鹏, 等. 区域水资源-能源-粮食系统耦合协调演化特征研究[J]. 中国农村水利水电, 2018(2): 72-77.
- BI Bo, CHEN Dan, DENG Peng, et al. The evolutionary characteristics analysis of coupling and coordination of regional water-energy-food[J]. *China Rural Water and Hydropower*, 2018(2): 72-77.
- [10] 李桂君, 黄道涵, 李玉龙. 中国不同地区水-能源-粮食投入产出效率评价研究[J]. 经济社会体制比较, 2017(3): 138-148.
- LI Gui-jun, HUANG Dao-han, LI Yu-long. Evaluation on the efficiency of the input and output of water-energy-food in different regions of China[J]. *Comparative Economic & Social Systems*, 2017(3): 138-148.
- [11] 刘蒙, 李战国, 李靖宇, 等. 基于 DEA 与灰色关联模型的河南省物流效率评价研究[J]. 河南科学, 2019, 37(11): 1872-1878.
- LIU Meng, LI Zhan-guo, LI Jing-yu, et al. Evaluation of logistics efficiency in Henan Province based on DEA and grey relational model[J]. *Henan Science*, 2019, 37(11): 1872-1878.
- [12] 国家统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2011—2018.
- National Bureau of Statistics of China. China statistical yearbook[M]. Beijing: China Statistics Press, 2011—2018.
- [13] 国家统计局农村社会经济调查司. 中国农村统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2011—2018.
- Department of Rural social and Economic Investigation, National Bureau of Statistics of China. China rural statistical yearbook[M]. Beijing: China Statistics Press, 2011—2018.
- [14] 牛若峰, 刘天福. 农业技术经济手册(修订本)[M]. 北京: 农业出版社, 1984.
- NIU Ruo-feng, LIU Tian-fu. Handbook of agricultural technology and economy (revised) [M]. Beijing: Agricultural Publishing House, 1984.
- [15] 国家统计局. 中国能源统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2017.
- National Bureau of Statistics of China. China energy statistics yearbook[M]. Beijing: China Statistics Press, 2017.
- [16] 中商产业研究院. 2017年全国各省市化肥产量分析[EB/OL]. (2018-01-24)[2019-12-16]. [http://www. askci. com/news/chanye/20180124/173951116797. shtml](http://www.askci.com/news/chanye/20180124/173951116797.shtml).
- China Business Industry Research Institute. Analysis of chemical fertilizer output of provinces and cities in 2017[EB/OL]. (2018-01-24)[2019-12-16]. [http://www. askci. com/news/chanye/20180124/173951116797. shtml](http://www. askci. com/news/chanye/20180124/173951116797.shtml).
- [17] 中商产业研究院. 2017年全国各省市农药产量分析[EB/OL]. (2018-01-25)[2019-12-16]. [http://www. askci. com/news/chanye/20180125/092917116828. shtml](http://www. askci. com/news/chanye/20180125/092917116828.shtml).
- China Business Industry Research Institute. Analysis of pesticide production in all provinces and cities in 2017[EB/OL]. (2018-01-25)[2019-12-16]. [http://www. askci. com/news/chanye/20180125/092917116828. shtml](http://www. askci. com/news/chanye/20180125/092917116828.shtml).
- [18] 湖北省政府办公厅. 湖北省工业与生活用水定额(修订)[EB/OL]. (2017-01-14)[2019-12-16]. [http://www. hubei. gov. cn/govfile/ezbf/201701/t20170125_1034268. shtml](http://www.hubei.gov.cn/govfile/ezbf/201701/t20170125_1034268.shtml).
- General Office of Hubei Provincial Government. Industrial and domestic water quota of Hubei Province (Revised)[EB/OL]. (2017-01-14)[2019-12-16]. [http://www. hubei. gov. cn/govfile/ezbf/201701/t20170125_1034268. shtml](http://www. hubei. gov. cn/govfile/ezbf/201701/t20170125_1034268.shtml).
- [19] 江苏省水利厅. 江苏省工业、服务业和生活用水定额(2014年修订)[EB/OL]. (2015-07-24)[2019-12-16]. [https://wenku. baidu. com/view/e1b1fce5011ca300a7c39014. html](https://wenku.baidu.com/view/e1b1fce5011ca300a7c39014.html).
- Jiangsu Provincial Department of Water Resources. Industrial, service and domestic water quota of Jiangsu Province (revised in 2014)[EB/OL]. (2015-07-24)[2019-12-16]. [https://wenku. baidu. com/view/e1b1fce5011ca300a7c39014. html](https://wenku.baidu.com/view/e1b1fce5011ca300a7c39014.html).
- [20] 曹仑. 我国氮肥产业的能耗状况和节能策略研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2007.
- CAO Lun. The study on the energy consumption and conservation strategy of China nitrogen fertilizer industry[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2007.
- [21] 张龙, 程晓仙, 肖长坤, 等. 北京都市型现代农业发展的现状、困境与改革方向[J]. 科技和产业, 2018, 18(7): 33-37.
- ZHANG Long, CHENG Xiao-xian, XIAO Chang-kun, et al. The status, straits and reform for the development of urban modern agriculture in Beijing[J]. *Science Technology and Industry*, 2018, 18(7): 33-37.