



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>

中国省际农业生态效率评价及其改进路径分析

方永丽, 曾小龙

引用本文:

方永丽, 曾小龙. 中国省际农业生态效率评价及其改进路径分析[J]. 农业资源与环境学报, 2021, 38(1): 135-142.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.13254/j.jare.2020.0148>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

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>

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>

考虑面源污染的河南省农业生态系统能值评价

郑二伟, 周海生, 吕翠美, 凌敏华, 顾长宽, 李洋

农业资源与环境学报. 2020, 37(5): 689-694 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2019.0547>

北京市农田生态系统碳足迹及碳生态效率的年际变化研究

田志会, 马晓燕, 刘瑞涵

农业资源与环境学报. 2015(6): 603-612 <https://doi.org/10.13254/j.jare.2015.0101>

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

方永丽, 曾小龙. 中国省际农业生态效率评价及其改进路径分析[J]. 农业资源与环境学报, 2021, 38(1): 135-142.

FANG Yong-li, ZENG Xiao-long. Evaluation and improvement of agricultural eco-efficiency in China[J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2021, 38(1): 135-142.



开放科学 OSID

中国省际农业生态效率评价及其改进路径分析

方永丽¹, 曾小龙²

(1.河南工业大学经济贸易学院, 郑州 450001; 2.中共广东省委党校经济学教研部, 广州 510053)

摘要:农业生态效率是衡量农业绿色可持续发展的重要指标,对农业生态效率进行科学的评价,有利于准确评估农业生态系统的真实水平,以实现农业资源的高效利用。采用超效率SBM-DEA模型,对2000—2017年中国内地31个省(市、区)的农业生态效率进行了测度和分组,并分析了2017年未达DEA效率状态地区的农业投入产出的冗余与不足。高效率组中的省份一类位于东部地区,一类位于西部地区,而东北部和中部地区及西部地区的部分省份主要处于中、低效率组;2017年,只有青海、宁夏和天津出现农业产出不足情况,其余未达到DEA效率状态的地区均存在不同程度的机械、用水、农药、化肥、农膜、能源等要素投入冗余和碳排放、污染排放过度的情况。中国省际农业生态效率水平空间差异明显,发展变动态势不一,效率损失的主要原因是要素投入冗余和非期望产出过度,但各省份冗余的具体构成不同。因此,各省应根据其实际情况和效率损失的具体原因,采取适宜性的措施提升农业生态效率。

关键词:农业;生态效率;超效率SBM-DEA;冗余;效率损失

中图分类号:X82;F224;F323 文献标志码:A 文章编号:2095-6819(2021)01-0135-08 doi: 10.13254/j.jare.2020.0148

Evaluation and improvement of agricultural eco-efficiency in China

FANG Yong-li¹, ZENG Xiao-long²

(1.School of Economics and Trade, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China; 2.Department of Economics, School of Guangdong Provincial Party Committee of CPC, Guangzhou 510053, China)

Abstract: Agricultural eco-efficiency is an important index to measure the sustainable development of agriculture. Scientific evaluation of agricultural eco-efficiency is necessary to accurately assess the true level of agricultural ecosystems, so as to achieve efficient utilization of agricultural resources. In this paper, the super-efficiency SBM-DEA model was adopted to measure and group the agricultural eco-efficiency of 31 provinces in Chinese inland from 2000 to 2017. The results showed that the provinces in the high-efficiency group were located in the eastern and western region, while the provinces in the middle and low efficiency groups were located in the northeast and central regions and parts of the western region. In 2017, only Qinghai, Ningxia, and Tianjin had insufficient agricultural output. The remaining areas that did not achieve DEA efficiency all had different degrees of redundancy of input and excessive carbon and pollution emissions. The spatial difference of China's agricultural eco-efficiency was obvious, and the trend of development changes was different. The main reasons for the efficiency loss were the redundancies of inputs and the excessive undesired output. Therefore, each province should take appropriate measures to improve the agricultural eco-efficiency according to its actual situation and the specific causes for efficiency loss.

Keywords: agriculture; eco-efficiency; super-efficiency SBM-DEA; slackness; efficiency loss

收稿日期:2020-03-25 录用日期:2020-04-29

作者简介:方永丽(1981—),女,山西朔州人,博士,研究方向为农业经济和生态经济学。E-mail:86383260@qq.com

基金项目:广州市哲学社会科学发展“十三五”规划课题(2019GZQN42)

Project supported: The 13th Five-Year Plan Project for the Development of Philosophy and Social Sciences in Guangzhou (2019GZQN42)

进入新世纪以来,我国农业经济发展形势喜人、成就卓越,农业生产连年增产,农民收入持续增长,农业生产效率取得极大的提升。然而,在取得巨大成就的同时,农业资源过度开发、化学品过量投入引起的环境问题不断暴露出来,且日益严重,给农业可持续发展带来严峻挑战。在中国经济转向高质量发展的历史阶段,提高农业发展质量和效率,是顺应国情和农情的必然选择。农业高质量发展客观上要求加快农业升级转型,实现传统石油农业向生态农业的转变,要求农业生产方式向现代化、绿色化转变,在保障农业产出有效供给的基础上,优化配置农业资源,保持农业生态系统稳定,有效防控农业污染。农业高质量发展要求从农业投入到产出的整个生产过程中,既要遵循经济效率原则,实现产出最大化,又要推崇环境友好型的生产方式,尽可能减少农业资源要素投入和生产过程中的环境污染。而农业生态效率兼顾了农业产出最大化与资源节约、环境最优的双重要求。因此,在农业生产理论与实践发展中,全面倡导农业生态效率思想,以提升和改进农业生态效率为导向,着力推动农业高质量发展具有重要的现实意义。

中国引入生态效率并将其应用于农业生产领域的研究历程相对较短,在以往的农业经济研究中,更多关注农业生产经济效率和技术效率,较少考虑农业生产引起的生态环境问题,直到农业发展过程中的生态环境形势日益恶化,农业生态效率才逐步受到重视。周震峰^[1]较早认识到我国开展农业生态效率研究的必要性,并提出要从基础研究和技术研究两个方面共同推进农业生态效率的应用普及。之后,吴小庆等^[2-3]、潘丹等^[4]、张子龙等^[5]也对农业生态效率展开分析研究。2016年以来,越来越多的学者们基于不同的视域或研究对象,对农业生态效率的测度、时空差异、演变趋势、驱动因素等相关问题展开细致深入的研究,并取得丰富的研究成果。侯孟阳等^[6]、冯亚娟等^[7]、曾福生等^[8]、Han等^[9]采用不同的评价方法对中国省际农业生态效率进行评价测算,探讨其空间分布格局,并分别关注到农村劳动力转移、技术进步、区域空间相关性、管理与技术等对农业生态效率的影响,从区域差异和变异强度两个角度分析地区效率差异的成因。此外,郑德凤等^[10]以甘肃省为研究对象,对县域农业生态效率及空间分布展开了分析。于婷等^[11]以中国13个粮食主产区为研究对象、王丽莉等^[12]以中国和“一带一路”沿线的东盟10国为研究对象、张

杨等^[13]以68个国家为研究对象,对区域农业生态效率水平进行测算,剖析效率变化的原因,探索农业生态效率改进的路径。

纵观现有研究,近五年国内学者对农业生态效率的研究进展很快、成果丰富,对农业生态效率的理论内涵基本形成共识,评价方法愈加科学合理,对农业生态效率的空间差异和演变趋势开展了深入细致的分析,研究从省市层面、区域层面、全国层面以及全球层面层层展开。然而现有研究内容较多地集中于对农业生态效率的测算,以及对其时空演变特征的分析,较少结合农业要素投入冗余和产出不足来深入分析农业生态效率损失原因。对此,本研究拟在对农业生态效率内涵、评价以及研究动态进行阐释的基础上,构建评价指标体系,采取超效率SBM-DEA模型对我国2000—2017年的省际农业生态效率加以测度考量,并通过对比未达到DEA效率状态地区的投入产出松弛度进行比较,分析各地效率损失的原因,有针对性地提出农业生态效率改进的路径。

1 农业生态效率的内涵及评价方法

1.1 农业生态效率的内涵

农业生态效率(AEE)是生态效率在农业生产领域的具体应用,生态效率的概念最早是由Schaltegger等^[14]于1990年提出,被定义为:产品和社会服务的增加值与生态或环境负荷的比值,“少资源投入、少环境污染、多经济产出”是其基本内涵。农业生态效率是指在保证一定农业产出的前提下,尽量减少农业要素投入和资源消耗,尽可能降低对生态环境的污染破坏。农业生态效率指标涵盖了农业要素投入、农业产出及生态环境影响三方面的内容,可以用来衡量农业绿色可持续发展水平。

1.2 农业生态效率评价方法

采用科学的方法对农业生态效率加以测度是研究深入展开的基础。生态效率的评价方法有多种,如因子分析法、数据包络分析法(DEA)、生态足迹法、随机前沿法(SFA)、层次分析法(AHP)等。具体方法的选择与评价对象、评价目的有关,在多投入、多产出的效率评价中,DEA方法是被普遍采用的一种方法。

DEA方法最基本的模型有CCR、BCC等,之后随着研究的发展,模型也在逐步扩展。Tone先后提出基于松弛测度的SBM模型^[15]和基于松弛变量的Super-SBM模型^[16]。其中Super-SBM模型兼具了SBM模型和超效率模型的优点,测算出的效率值突破了

[0,1]的范围,可以对SBM模型的有效DMU进行评价和排序,极大地提升效率测定和计量估计的精度,故被广为应用,如潘丹等^[4]、王宝义等^[17]、王迪等^[18]、侯孟阳等^[6]、张杨等^[13]在其研究中都曾用到该方法。鉴于超效率SBM-DEA模型的优越性和应用的广泛性,本研究拟采用该模型对中国省际农业生态效率进行测度。

2 中国省际农业生态效率测度——基于超效率SBM-DEA模型

2.1 指标体系的构建和变量的选取

采用DEA方法测度农业生态效率,首要的前提是构建合理投入和产出指标体系,并选取合适的表征变量。投入产出指标的选取,主要是基于以下考虑:首先,本研究的对象是狭义范畴的农业,即仅指种植业,而非包括农、林、牧、渔的广义农业范畴;其次,对现有研究中有关农业生态效率评价指标进行详细梳理和对比,并加以借鉴;第三,不仅要考虑变量的可测性、数据的可得性和可比性,还要考虑统计标准的一致性和连贯性。综合以上三点,在充分借鉴现有研究成果的基础上,本研究建立了包括要素投入、期望产出、非期望产出3个一级指标和11个二级指标的评价指标体系(表1)。结合农业生产实际,要素投入指标下设土地、劳动、农业机械、灌溉用水、农药、化肥、农膜、能源8个具体的二级指标,各个指标的表征变量

详见表1。期望产出是地区农业总产出,用农业总产值进行表征。非期望产出是在农业生产过程中对生态环境造成的污染,主要包括农业污染排放和碳排放两个方面,故非期望产出指标下设农业污染排放和农业碳排放2个二级指标,分别用农业面源污染综合指数与农业碳排放量进行表征,两个变量的计算方法详见表1。

2.2 结果分析

研究对象为中国内地31个省(市、区)的农业生态效率,研究时间跨度为2000—2017年。采用上文提到的超效率SBM-DEA评价方法,按照表1所构建的指标体系,借助DEA-SOLVERP Pro 5.0软件,对31个省(市、区)2000—2017年的农业生态效率进行测算。研究所用的原始数据主要来源于《中国农村统计年鉴》《中国统计年鉴》以及各地区统计年鉴。测算结果见表2,鉴于篇幅限制,表2并未将所有年份的农业生态效率值全部列出,仅列出一些代表年份的数据。

表2所示为2000—2017年中国农业生态效率的省际对比情况及其差异。根据各地区在研究期间农业生态效率的平均值,可以将31个省份划分为高、中、低三组,其中,高效率组的地区处于生产前沿面上,即实现了效率状态,故其农业生态效率取值大于1。未达到生产前沿面地区的农业生态效率值均小于1,属于DEA相对无效地区,皆存在一定程度的效率损失,根据其距离生产前沿面的远近,进一步将这些无效率地区划分为中效率组和低效率组,中效率组农

表1 农业生态效率评价指标体系
Table 1 Evaluation index system of agricultural eco-efficiency

一级指标 First-level indicators	二级指标 Secondary indicators	表征变量 Representative variable	变量说明 Variable description
要素投入	土地	农作物播种面积(10 ³ hm ²)	农作物播种面积比耕地面积更能反映农业生产的实际耕种面积
	劳动	农业从业人员(万人)	鉴于现有统计年鉴中没有直接数据,按农业产值占农林牧渔总产值的比例对第一产业从业人员进行折算得出
	农业机械	农业机械总动力(10 ⁴ kW)	
	灌溉用水	有效灌溉面积(10 ³ hm ²)	
	化肥	农用化肥施用量(万 t)	
	农药	农药使用量(t)	
	农膜	农膜使用量(t)	
	能源	农用柴油使用量(万 t)	
期望产出	农业总产值	农业生产总产值(亿元)	统一折算为2000年不变价格产值
非期望产出	农业污染排放	农业面源污染综合指数	用熵值法将化肥氮流失、磷流失、农药残留、农膜残留四类指标综合而成。氮(磷)流失等于氮(磷)肥施用量与复合肥含氮(磷)量之和乘以化肥流失系数;农药、农膜残留等于其使用量乘以相应的残留系数;化肥流失系数、农药残留系数、农膜残留系数分别为0.65、0.5、0.1
	农业碳排放	农业碳排放量(万 t)	由化肥、农药、农膜、农用柴油、农业灌溉、翻耕流失六类碳排放源的数量乘以相应排放系数加和求得;相应的排放系数分别为0.895 6、4.934 1、5.18、0.592 7、20.476、312.6 ^[19]

表2 2000—2017年各省份农业生态效率值

Table 2 Agricultural eco-efficiency value of every provinces in 2000—2017

分组 Group	省份 Provinces	2000	2005	2010	2015	2016	2017	平均值 Mean
高效率组	西藏	3.147 6	1.861 3	1.821 9	1.692 4	3.929 5	1.608 8	2.520 0
	上海	1.113 5	1.420 8	1.549 5	1.319 7	1.317 9	1.290 0	1.365 6
	北京	1.149 7	1.226 2	1.254 2	1.565 5	1.670 3	1.818 7	1.314 8
	山东	1.110 0	1.327 6	1.339 0	1.282 9	1.174 3	1.089 4	1.298 7
	广东	1.285 5	1.343 7	1.142 6	1.148 9	1.212 1	1.163 5	1.231 4
	四川	1.104 0	1.150 8	1.302 4	1.216 5	1.222 4	1.274 7	1.231 3
	贵州	1.456 2	1.247 9	1.097 8	1.265 5	1.246 8	1.238 4	1.217 0
	江苏	1.176 1	1.141 0	1.151 6	1.210 6	1.228 9	1.191 2	1.145 5
	浙江	1.024 0	1.068 7	1.106 5	1.098 2	1.1070	1.122 2	1.087 1
	陕西	1.042 4	1.103 7	1.093 7	1.003 3	1.001 8	0.668 1	1.051 7
	福建	1.014 8	1.013 6	1.052 0	1.056 8	1.065 3	1.052 9	1.036 4
	天津	1.030 3	1.037 5	1.0435	1.019 0	1.002 5	0.491 1	1.011 3
	河南	1.137 5	1.158 6	1.078 4	0.631 8	0.555 5	0.499 5	1.004 9
中效率组	湖南	1.047 1	1.013 7	1.029 6	1.009 8	1.013 8	0.616 8	0.998 0
	新疆	1.127 9	1.177 4	1.112 1	0.457 9	0.445 9	0.453 0	0.977 5
	湖北	0.736 4	1.025 8	1.086 7	0.855 2	0.854 3	1.010 1	0.970 6
	海南	1.881 1	1.110 1	1.013 4	0.478 8	0.524 0	0.503 3	0.953 9
	内蒙古	1.125 2	1.075 6	0.697 5	0.424 4	0.404 8	0.388 5	0.833 2
	辽宁	1.038 3	0.774 1	0.749 1	0.672 7	0.677 4	0.558 6	0.816 0
低效率组	重庆	0.784 2	0.915 2	0.698 6	0.677 2	0.722 9	0.674 6	0.782 7
	青海	0.344 4	0.710 7	1.000 9	0.999 7	0.588 7	0.468 0	0.721 1
	广西	0.624 4	0.686 8	0.741 0	0.630 1	0.617 1	0.672 5	0.710 6
	江西	1.023 7	0.699 5	0.570 1	0.581 9	0.614 3	0.572 7	0.696 8
	河北	0.693 3	0.637 1	0.711 5	0.599 5	0.615 9	0.504 0	0.677 1
	安徽	0.699 0	0.615 4	0.655 6	0.480 1	0.483 8	0.455 4	0.613 3
	黑龙江	0.698 9	0.561 8	0.501 7	0.506 4	0.468 4	0.540 4	0.595 9
	吉林	1.004 5	0.696 7	0.506 4	0.390 4	0.319 7	0.196 9	0.591 9
	宁夏	0.495 7	1.003 9	0.516 2	0.377 9	0.326 0	0.254 9	0.575 7
	山西	0.492 5	0.518 4	0.674 8	0.544 5	0.540 2	0.464 3	0.561 2
	云南	0.764 7	0.639 5	0.438 8	0.426 2	0.414 2	0.387 7	0.551 1
	甘肃	0.696 5	0.564 3	0.458 8	0.353 9	0.357 3	0.281 1	0.489 8

业生态效率均值介于0.8~1之间,低效率组农业生态效率均值小于0.8。高效率组包括北京、天津、上海、江苏、浙江、山东、福建、广东、四川、贵州、西藏、陕西、河南,共13个省份,但其中陕西、河南两地2015—2017年农业生态效率出现明显下降,河南从2015年起、陕西于2017年跌出高效率组;中效率组包括内蒙古、辽宁、湖北、湖南、海南、新疆,共6个省份;低效率组包括河北、山西、吉林、黑龙江、江西、广西、重庆、甘肃、云南、宁夏、青海、安徽,共12个省份。

整体来看,高效率组中的省份一类位于东部地区,一类位于西部地区。东部地区经济相对发达,有能力支撑农业现代化和农业生态化发展,上海、北京、

广东等省份虽然农业份额相对较低,但生态环保理念较强,更加重视高效生态农业的发展,加上农业科技的支撑,故能实现在较高产出水平上的高农业生态效率。而以西藏为代表的个别西部地区之所以能保持很高的农业生态效率,主要在于其农业开发程度相对较低,对生态环境的污染和破坏程度相对于环境承载容量来说较小,但这种高农业生态效率是在低农业产出水平上实现的。东北地区、中部地区及西部地区的部分省份主要处于中、低效率组,这些地区无论是经济发展条件,还是资源、环境条件都相对弱于东部地区,但农业开发程度较高,农业生产对资源环境产生的压力较大,因此其农业生态效率相对较低。

从变化趋势来看,上海、江苏、浙江、山东、广东、四川、贵州、西藏等省份的农业生态效率一直处于全国领先水平;河北、山西、黑龙江、云南、甘肃、青海、宁夏等省份的农业生态效率则一直处于较低水平;内蒙古、辽宁、江西、河南、海南、新疆等省份的农业生态效率在研究期间内出现了明显的下降;北京、浙江、湖北、四川等省份的农业生态效率则显著提升。

从空间分布(图1)来看,中国东部、中部、西部、东北四大经济区域农业生态效率差异明显。东部地区农业生态效率一直高于全国平均水平,西部地区农业生态效率与全国平均水平基本持平,中部地区和东北地区农业生态效率则处于全国平均水平之下,尤其是东北地区农业生态效率极低,有较大提升空间。出现这样的空间分布格局,原因可能在于:东部地区农业经济发达,农业现代化、集约化、绿色化水平高于其他地区,相应地,农业生态效率位于全国领先水平;西部地区尽管自然资源禀赋较差,但地域辽阔、农业的开发力度小,对生态环境的破坏相对弱一些,故农业生态效率也相对高于中部和东北部地区;而东北部和中部地区比西部地区农业开发力度大,对生态环境的破坏大,比东部农业现代化和集约化水平低,故其生态效率值较低。

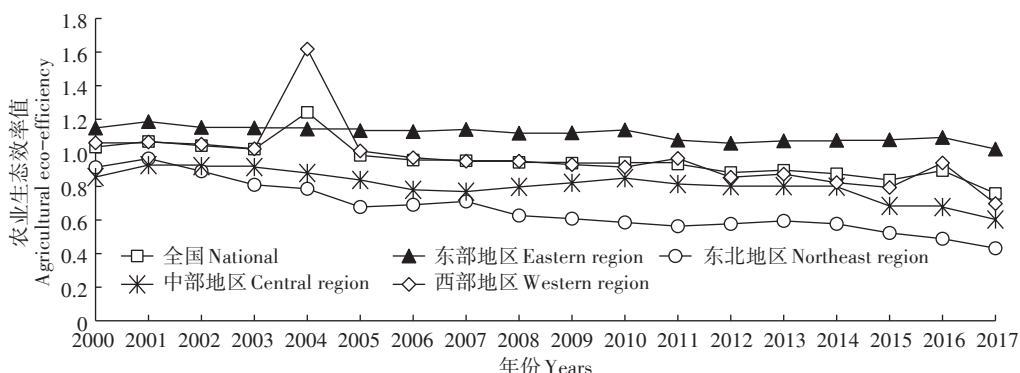
3 农业生态效率损失原因分析

由表2的测算结果可知,在研究期间内,每年都有一些省份处于DEA无效状态,这意味着这些省份在农业生产中存在不同程度的效率损失。比如:2000年有11个省份表现为DEA相对无效,2005年有12个省份DEA相对无效,2010年有13个省份DEA相对无效,2017年有20个省份DEA相对无效,DEA无效的

省份呈现出逐年递增的态势。结合农业生态效率的内涵,农业生态效率状态的实现要求以尽可能少的农业要素投入和生态环境破坏达到既定的产出,或者在既定要素投入和生态环境影响前提下达到最大的农业产出,如果以上要求不能满足,就必定会出现效率损失,这也意味着农业生态效率损失的原因在于农业生产要素投入冗余和农业产出不足两个方面。对此,以2017年为例,进一步对各省农业投入、产出变量的松弛度进行分析,以明确各地农业生态效率损失的具体原因,并为其指明效率改进的方向和路径。

表3列出了2017年20个DEA相对无效地区农业投入、产出的冗余和不足情况,即松弛度。从农业产出角度看,大部分地区不存在产出不足的情况,只有青海、宁夏和天津三地出现明显的产出不足情况,可见,对于大多数省份来说效率损失的原因不在于产出方面。

从农业要素投入的角度看,20个DEA相对无效地区在农业生产过程中所投入的土地、劳动、水、机械、化肥、农药、农膜、能源各项生产要素均存在不同程度的冗余。具体分项来看,除陕西外,其他省份均存在农业土地投入冗余,土地冗余量最高的三个省份依次为黑龙江、内蒙古、河南;农业劳动投入冗余量为0的省份只有辽宁、湖南、重庆三个省份,安徽省劳动冗余量最高,河南、河北、云南、甘肃等省份劳动冗余也很严重;各省份均存在农业机械和灌溉用水冗余情况,河南、河北、安徽、湖南、黑龙江、吉林等省份的农业机械投入冗余严重;新疆、黑龙江、安徽、河南、内蒙古等省份的灌溉用水冗余严重;从化肥、农药的施用情况来看,天津、青海、宁夏的情况相对较好,冗余度较低,而河南、河北、内蒙古、吉林、黑龙江、安徽、湖



东部地区包括北京、天津、河北、山东、江苏、上海、浙江、福建、广东、海南;东北地区包括黑龙江、吉林、辽宁;中部地区包括山西、河南、湖北、湖南、江西、安徽;西部地区包括重庆、四川、广西、贵州、云南、陕西、甘肃、内蒙古、宁夏、新疆、青海、西藏

图1 2000—2017年中国四大经济区农业生态效率

Figure 1 Agricultural eco-efficiency of China's four economic zones in 2000—2017

表3 2017年 DEA 相对无效省份农业投入产出松弛度

Table 3 Agricultural input-output slack of DEA inefficient provinces in 2017

省份 Provinces	土地冗余 Land redundancy	劳动冗余 Labor redundancy	机械冗余 Machinery redundancy	用水冗余 Irrigation redundancy	化肥冗余 Fertilizer redundancy	农药冗余 Pesticide redundancy	农膜冗余 Agricultural film redundancy	能源冗余 Energy redundancy	碳排放冗余 Carbon emmission redundancy	面源污染冗余 Nonpoint source pollution redundancy	产出不足 Insufficient output
天津	288	6	243	158	10	0	3539	11	18	0.001 2	6
河北	3 701	473	4 515	1 902	135	32 000	52 336	153	259	0.022 9	0
山西	1 128	108	382	976	67	21 617	23 293	22	98	0.012 5	0
内蒙古	6 933	175	2 069	2 000	149	14 318	57 353	43	202	0.028 8	0
辽宁	1 230	0	827	607	67	38 303	75 912	44	146	0.012 3	0
吉林	5 278	156	2 702	1 406	195	47 053	41 964	56	257	0.027 1	0
黑龙江	10 511	222	2 978	3 681	78	41 308	11 771	85	158	0.014 6	0
安徽	2 001	1 356	3 522	2 911	183	74 460	24 714	54	252	0.024 9	0
江西	2 659	39	880	1 090	56	68 979	7 644	14	99	0.015 0	0
河南	5 529	540	5 830	2 567	479	68 976	33 873	65	526	0.050 2	0
湖南	1 696	0	3 424	1 469	103	87 901	8 224	21	156	0.020 2	0
广西	963	120	1 513	425	128	32 680	0	28	149	0.015 3	0
海南	105	40	217	33	31	27 971	12 430	12	55	0.008 0	0
重庆	878	0	288	70	43	7 366	14 565	13	58	0.006 7	0
云南	3 615	430	2 016	845	148	37 817	71 752	69	232	0.030 5	0
陕西	0	59	612	349	156	376	0	80	188	0.011 5	0
甘肃	2 359	427	1 309	845	45	42 137	146 803	37	161	0.028 8	0
青海	366	23	128	16	2	0	3 106	2	5	0.001 2	28
宁夏	997	69	428	380	33	0	6 915	19	45	0.004 7	25
新疆	2 479	9	1 072	3 860	163	6 588	198 209	63	298	0.054 3	0

南、云南等省份的情况较差,化肥农药投入冗余量大,依靠过度施用化肥、农药来取得农业产出的增加;从农膜使用情况看,除广西和陕西两省份以外,其他地区都存在大量的冗余,尤其是新疆、甘肃、辽宁、内蒙古、河北等省份;从农业能源投入看,20个相对无效省份均存冗余,河北、黑龙江、陕西冗余量位列前三,而青海、海南、重庆、天津能源冗余较少。就农业非期望产出来看,河南、新疆、河北、吉林、安徽五省份的碳排放严重过量,除青海和天津情况稍好以外,其他省份碳排放冗余也很显著;新疆、河南、云南、内蒙古、甘肃农业面源污染冗余量较大,反映出这些地区农业生产引致的污染较为严重。

通过对2017年未达到DEA效率状态的省份的农业投入产出松弛度进行分析,可见,除天津、青海、宁夏面临的主要问题是农业产出不足之外,大多数无效率省份农业生态效率损失的基本原因在于生产要素投入和非期望产出的大量冗余。当然,不同省份生态效率损失也存在差别,有的省份非期望产出冗余影响明显超过要素投入冗余的影响,有的省份则相反,也

有的省份两者差距并不大,具体考察要素投入及非期望产出冗余的构成,各省份又呈现不同特点。因此,各省份应根据实际情况,采取适宜性的措施提升农业生态效率。

4 中国农业生态效率的改进路径

4.1 促进农业产出增长

天津、青海、宁夏三个省份在农业要素投入方面,相对冗余度较小,碳排放和面源污染也相对较小,但面临的主要问题是农业产出不足。因此,对这三地来说,在保持农业要素合理投入和农业污染排放较低的前提下,要重点通过种业创新、耕地地力提升等农业技术改进和管理创新手段来提高农作物单位产量,促进农业产出的增长,进而实现农业生态效率的改进。

4.2 农业要素投入节约化

从效率损失的原因来看,不同地区不同年份有所差别,但总体上大部分地区主要是由农业要素投入冗余和非期望产出冗余导致的。比如,河南、河北、安徽、湖南、黑龙江等省份的机械投入冗余较大;新疆、

黑龙江、安徽、河南等省份的用水冗余严重;河北、黑龙江、陕西农业能源投入冗余严重;新疆、甘肃、辽宁、内蒙古、河北等省份农膜使用存在大量的冗余。而依靠过度施用化肥、农药来取得农业产出的增加是大多数地区普遍存在的情形,例如河南、河北、内蒙古、吉林、黑龙江、安徽、湖南、云南等省份化肥、农药投入冗余严重,由此产生的负面影响表现突出。因此,农业要素投入节约化,化肥、农药减量化,农膜回收资源化等措施,可以有效提升农业生态效率。

4.3 严控农业碳排放和污染排放

农业污染排放和碳排放属于农业生产过程中的非期望产出,排放量的增加必定会降低农业生态效率水平,因此应尽可能地降低农业生产过程中各类污染排放和碳排放。对于农业碳排放和面源污染比较严重的地区,如河南、河北、新疆、云南、吉林、内蒙古,更应采取有效措施严控农业碳排放和污染排放。具体可采取:施用生物有机肥或种植绿肥替代化肥,推广生物农药和有机农产品的种植与生产,向农民推广科学的施肥技术和节水灌溉技术,提高化肥和水的利用率;使用高标准和可回收农膜,并积极开展农膜和农药包装等农业废弃物资源化再利用等。

4.4 推进农业科技创新及创新成果的推广应用

农业科技创新无论是在提高农业产出方面,还是在节约要素投入、降低非期望产出方面都具有极其重要的作用,因此,推进农业领域科技创新,并积极推进创新成果的应用与普及,必定能够有效提高农业生态效率。农业科技创新涵盖农作物改良技术、制种技术、生物技术、信息技术、节水灌溉技术、科学施肥技术、土壤改良技术、农业废弃物资源化利用技术等多个方面,贯穿于农业生产全过程。各省份应根据农业发展需要,积极构建农业科技创新体系,探索适合本地区的农业生产技术创新。此外,通过各级农业技术推广网络,推进农业科技知识与技术的推广应用是农业技术转化为现实生产力的关键一环,利用电视、互联网等媒体向农民宣传先进农业知识和农业生产技术、倡导绿色生态的农业生产理念,定期举办农业技术培训会,加强农业技术员的现场指导,这些措施有助于提高农民生产的专业化、技术化水平,提高农业生态效率水平。

5 结论

(1)中国农业生态效率空间差异明显。整体呈现东部>西部>中部>东北部的空间势态,北京、上海、江

苏、浙江、山东、福建、广东等东部省份一直处于农业生产前沿面上,保持着全国领先的农业生态效率。四川、贵州、西藏、陕西等西部地区因其农业开发力度相对小,对生态环境的破坏较弱,故农业生态效率水平仅次于东部地区。而东北部和中部地区比西部地区农业开发力度大,对生态环境的破坏大,比东部农业现代化和集约化水平低,故其生态效率值较低。

(2)研究期间内各省份农业生态效率变动情况不一。北京、浙江、湖北、四川等省份的农业生态效率显著提升;内蒙古、辽宁、江西、河南、海南、新疆等省份的农业生态效率在研究期间内出现了较为明显的下降;上海、江苏、山东、广东、四川等地一直保持较高的农业生态效率,变化不明显;河北、山西、黑龙江、云南、甘肃、青海、宁夏等省份的农业生态效率则相对稳定地处于较低水平。

(3)农业生产要素投入冗余和非期望产出过度是农业生态效率损失的主要原因。除极个别省份出现农业产出不足的情况之外,大多数无效率省份农业生态效率损失的基本原因在于农业生产要素的投入冗余和农业污染排放及碳排放的大量冗余,而且不同省份冗余的具体构成也存在差异。因此,各省份应根据其农业生态效率损失的主要原因,采取适宜性的措施提升农业生态效率。

参考文献:

- [1] 周震峰. 关于开展农业生态效率研究的思考[J]. 农业科技管理, 2007(6):9-11. ZHOU Zhen-feng. Considerations on carrying out researches of agricultural eco-efficiency[J]. *Management of Agricultural Science and Technology*, 2007(6):9-11.
- [2] 吴小庆, 徐阳春, 陆根法. 农业生态效率评价——以盆栽水稻实验为例[J]. 生态学报, 2009, 29(5):2481-2488. WU Xiao-qing, XU Yang-chun, LU Gen-fa. The evaluation of agricultural eco-efficiency: A case of rice pot-experiment[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(5):2481-2488.
- [3] 吴小庆, 王亚平, 何丽梅, 等. 基于AHP和DEA模型的农业生态效率评价——以无锡市为例[J]. 长江流域资源与环境, 2012, 21(6):714-719. WU Xiao-qing, WANG Ya-ping, HE Li-mei, et al. Agricultural eco-efficiency evaluation based on AHP and DEA model: A case of Wuxi City[J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2012, 21(6):714-719.
- [4] 潘丹, 应瑞瑶. 中国农业生态效率评价方法与实证——基于非期望产出的SBM模型分析[J]. 生态学报, 2013, 33(12):3837-3845. PAN Dan, YING Rui-yao. Agricultural eco-efficiency evaluation in China based on SBM model[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(12):3837-3845.
- [5] 张子龙, 鹿晨昱, 陈兴鹏, 等. 陇东黄土高原农业生态效率的时空演

- 变分析——以庆阳市为例[J]. 地理科学, 2014, 34(4): 472-478. ZHANG Zi-long, LU Chen-yu, CHEN Xing-peng, et al. Spatio-temporal evolution of agricultural eco-efficiency in Loess Plateau of east Gansu Province: A case study of Qingyang City[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2014, 34(4): 472-478.
- [6] 侯孟阳, 姚顺波. 1978—2016年中国农业生态效率时空演变及趋势预测[J]. 地理学报, 2018, 73(11): 2168-2183. HOU Meng-yang, YAO Shun-bo. Spatial-temporal evolution and trend prediction of agricultural eco-efficiency in China: 1978—2016[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(11): 2168-2183.
- [7] 冯亚娟, 祁乔, 韩家彬. 中国农业生态效率的时空演变及驱动因素[J]. 水土保持通报, 2018, 38(6): 254-262. FENG Ya-juan, QI Qiao, HAN Jia-bin. Spatiotemporal evolution and driving factors of agricultural eco-efficiency in China[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2018, 38(6): 254-262.
- [8] 曾福生, 刘俊辉. 区域异质性下中国农业生态效率评价与空间差异实证——基于组合DEA与空间自相关分析[J]. 生态经济, 2019, 35(3): 107-114. ZENG Fu-sheng, LIU Jun-hui. Regional heterogeneity in China agricultural eco-efficiency evaluation and spatial differences: Based on combined DEA and spatial autocorrelation analysis[J]. *Ecological Economy*, 2019, 35(3): 107-114.
- [9] Han H B, Ding T, Nie L, et al. Agricultural eco-efficiency loss under technology heterogeneity given regional differences in China[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 250: 1-12.
- [10] 郑德凤, 郝帅, 孙才志. 基于DEA-ESDA的农业生态效率评价及时空分异研究[J]. 地理科学, 2018, 38(3): 419-427. ZHENG De-feng, HAO Shuai, SUN Cai-zhi. Evaluation of agricultural ecological efficiency and its spatial temporal differentiation based on DEA-ESDA[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2018, 38(3): 419-427.
- [11] 于婷, 郝信波. 粮食主产区农业生态效率时空特征及改善路径研究[J]. 生态经济, 2018, 34(9): 104-110. YU Ting, HAO Xin-bo. Evaluation and analysis on the temporal and spatial characteristics of agricultural eco-efficiency of major grain production[J]. *Ecological Economy*, 2018, 34(9): 104-110.
- [12] 王丽莉, 杨婷婷, 许荔珊. “一带一路”倡议下农业生态效率对比研究——以中国和东盟10国为例[J]. 世界农业, 2018(4): 96-101. WANG Li-li, YANG Ting-ting, XU Li-shan. Comparative study on agricultural eco-efficiency under the Belt and Road Initiatives: A case study of China and ASEAN[J]. *World Agriculture*, 2018(4): 96-101.
- [13] 张杨, 陈娟娟. 农业生态效率的国际比较及中国的定位研究[J]. 中国软科, 2019(10): 165-172. ZHANG Yang, CHEN Juan-juan. International comparison of agroecological efficiency and China's positioning study[J]. *China Soft Science*, 2019(10): 165-172.
- [14] Schaltegger S, Sturm A. Ökologische rationalität[J]. *Die Unternehmung*, 1990, 44(4): 273-290.
- [15] Tone K. A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis[J]. *European Journal of Operational Research*, 2001, 130(3): 498-509.
- [16] Tone K. A slacks-based measure of super-efficiency in data envelopment analysis[J]. *European Journal of Operational Research*, 2002, 143(1): 32-41.
- [17] 王宝义, 张卫国. 中国农业生态效率测度及时空差异研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2016, 26(6): 11-19. WANG Bao-yi, ZHANG Wei-guo. A research of agricultural eco-efficiency measure in China and space-time differences[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2016, 26(6): 11-19.
- [18] 王迪, 王明新, 钱中平, 等. 基于超效率SBM和BRT的农业生态文明建设效率分析[J]. 中国农业资源与区划, 2017, 38(11): 94-101. WANG Di, WANG Ming-xin, QIAN Zhong-ping, et al. Efficiency of agricultural eco-civilization construction based on SBM-undesirable model and boosting regression tree method[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2017, 38(11): 94-101.
- [19] 李波, 张俊彪, 李海鹏. 中国农业碳排放时空特征及影响因素分解[J]. 中国人口·资源与环境, 2011(8): 80-86. LI Bo, ZHANG Jun-biao, LI Hai-peng. Research on spatial-temporal characteristics and affecting factors decomposition of agricultural carbon emission in China[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2011(8): 80-86.