

中国农业绿色生产效率的区域差异及其影响因素分析

李兆亮^{1,2} 罗小锋^{1,2*} 薛龙飞^{1,2} 张俊彪^{1,2}

(1. 华中农业大学 经济管理学院, 武汉 430070;

2. 湖北农村发展研究中心, 武汉 430070)

摘要 为探讨我国农业绿色生产效率的现状及其形成机理,综合运用生产函数、GIS、泰尔指数等方法对中国农业绿色生产效率的区域差异及其影响因素进行了研究。结果表明:1)中国农业绿色生产效率呈缓慢上升趋势,但总体仍然偏低,高效率省份上升幅度较小,低效率省份增长幅度较大。2)中国农业绿色生产效率区域差异明显,效率高值省份主要分布于东南沿海地区和西部部分省份,而低效率省份则集中分布于华北平原地区,呈现由中部向南和向北增加的空间分布特征。3)由泰尔指数分析可知,中国农业绿色生产效率区域差异呈总体缩小态势,区域内差异对总体差异影响较大。4)人均GDP对西部等经济欠发达地区农业绿色生产效率的影响相对较大,而中、东部地区则更易受到劳动力素质的影响,农业科研投资和农作物受灾面积分别对东北和西部地区农业绿色生产效率的影响最为强烈,农业政策的实施效果由东部向西部增强。

关键词 农业绿色生产效率;泰尔指数;区域差异;影响因素;中国

中图分类号 F323

文章编号 1007-4333(2017)10-0203-10

文献标志码 A

Agricultural green technical efficiency and its affecting factors in China

LI Zhaoliang^{1,2}, LUO Xiaofeng^{1,2*}, XUE Longfei^{1,2}, ZHANG Junbiao^{1,2}

(1. College of Economics & Management, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;

2. Hubei Rural Development Research Center, Wuhan 430070, China)

Abstract Based on the condition and mechanism of China's agricultural green technical efficiency, the regional differences and affecting factors of China's agricultural green technical efficiency were analyzed by using production function, GIS related analysis techniques and Theil Index. The results showed that: 1) The average agricultural green technical efficiency in China kept increasing annually at low level. The trends of agricultural green technical efficiency showed that low value areas increased faster than in high value areas. 2) The overall difference of agricultural green technical efficiency in China was obvious. The high value of agricultural green technical efficiency mainly distributed in southeastern coastal areas and western provinces, while the low value of agricultural green technical efficiency tended to distribute in North China Plain, which basically presenting a spatial pattern increasing from middle areas of China to its north and south. 3) The Theil index indicated that the overall difference of agricultural green technical efficiency in China was gradually decreasing, and the internal differences contributed more than the regional differences to the overall difference. 4) The main affecting factors of agricultural green technical efficiency in western areas were GDP per capita, while the eastern and middle was greatly influenced by educational level of workers. Agricultural scientific research investment and agricultural disaster area affected area in northeast China and the western region was the strongest, respectively. Execution results of agriculture policy were strengthened from east to west.

Keywords agricultural green technical efficiency; Theil index; regional differences; affecting factors; China

收稿日期: 2016-11-30

基金项目: 国家社科基金重点项目(15AZD071)

第一作者: 李兆亮, 博士研究生, E-mail: tigerlihuayi@163.com

通讯作者: 罗小锋, 教授, 主要从事农业经济理论与政策、资源环境与灾害经济研究, E-mail: luoxiaofeng@mail.hzau.edu.cn

农业是国民经济的基础,农业的稳定发展关系到国家粮食安全和国民经济体制改革的顺利进行^[1]。近年来,随着工业化、城镇化进程的日益加快,资源承载力和生态环境容量对中国农业经济发展的阻碍逐渐显化^[2-3]。在兼顾资源环境绩效改善的同时进一步提高农业产出能力是实现农业可持续发展的关键^[4]。

生产效率指标能够很好的衡量出生产过程中全部资源与劳动力要素投入所获得产出的能力水平^[2]。在农业生产中,由土地性状决定的自然生产力及土地以外农业生产资源和生产技术相结合形成的人工生产力决定了农产品的最终产量^[5]。而事实上,产量提升的同时也产生了较大的资源环境代价^[6]。但这一因素在传统农业生产效率的测算中往往被忽略,进而造成评价结果出现偏差。因此,将资源、环境与农业发展纳入同一框架,将其定义为农业绿色生产效率进行考察分析,不仅能真实反映我国农业生产效率水平,也将成为未来研究农业绿色发展问题的重要内容^[4,7]。由于经济发展水平、自然环境条件和劳动力素质等多方面原因,我国农业生产率在空间上存在较大的差异^[8],这种差异不仅体现在东、中、西等各大区域之间的差距,也表现出较为明显的区域内部差异。而纳入环境要素后的农业绿色生产效率是否也会存在区域之间和区域内部的发展失衡?如果存在,那么导致失衡的主要原因是什么?又该如何优化农业生产布局,既实现生产效率的提高,又减少生产中资源环境的损耗?回答这些问题需要对我国农业绿色生产效率的时空演变、区域差异、影响因素等进行系统分析。尤其是对其区域差异内部结构的解析更为重要。

在当前绿色农业和低碳农业发展的要求下,考虑资源环境因素的农业生产效率研究已经引起了国内外学术界的广泛关注,研究内容主要集中于效率的测算方法^[9-10]、变化规律^[11-12]、空间差异^[9,13]、收敛特征^[14]、影响因素^[15-16]及绿色生产率的内涵、机制^[17-18]等多个方面。从现有成果看,当前学者更加注重对农业绿色生产效率的整体分析,而对其区域差异的研究则相对抽象,缺乏对差异内在构成及影响因素的定量化分析,进而影响到我国农业绿色生产空间布局及其相关政策措施等方面的深入研究。

基于此,本研究以1998—2013年为研究时段,在核算农业面源污染排放量的基础上,利用随机前沿生产函数模型测算中国农业绿色生产效率,并综

合运用GIS、泰尔指数等方法研究其区域差异,进而构建计量经济模型分析不同区域农业绿色生产效率的影响因素,旨在全面揭示我国农业绿色生产效率的区域差异及其形成机理,为制定科学的绿色农业发展政策与措施提供必要依据。

1 研究方法 with 数据来源

1.1 研究方法

1.1.1 农业绿色生产效率的测算

农业绿色生产效率是指将资源、环境与农业发展纳入同一分析框架的农业全要素生产效率^[2,4]。其测算方法主要有2种,一种是非参数数据包络分析方法(Data envelopment analysis, DEA),该方法可以同时模拟多种产出和多种投入的生产过程,但不足之处在于对样本异常值特别敏感^[2,11]。而另一种是参数方法,常见的为随机前沿生产函数方法(Stochastic frontier approach, SFA),该方法通常先估计一个生产函数,其误差项由无效率项和随机误差项构成,保证了被估计效率的有效性,并考虑了随机误差对个体效率的影响^[5]。由于农业受气候、灾害等自然环境条件影响较大,其产量增长具有较大的不确定性,较易出现异常数据。因此,本文采用生产函数模型对农业绿色生产效率进行估计。参考相关研究^[2,19]处理办法,将农业生产中带来的污染排放量作为一种要素投入,以 Battese 等^[20]模型为依据,构建农业绿色生产效率研究模型:

$$\ln(O_{it}) = \beta_0 + \sum_j \beta_j \ln(X_{ij}) + \sum_j \beta_{XX} \ln(X_{ij})^2 + \sum_j \sum_k \beta_{jk} X_{ij} X_{ik} + \beta_Z \ln Z_{it} + \beta_{ZZ} \ln(Z_{it})^2 + \sum_j \beta_{jZ} X_{ij} Z_{it} + v_{it} - u_{it} \quad (1)$$

$$TE_{it} = \exp(-u_{it}) \quad (2)$$

$$\gamma = \sigma_u^2 / (\sigma_v^2 + \sigma_u^2) \quad (3)$$

式(1)中: O 表示农业产出; X 表示农业传统生产要素投入,下标 $j, k=1, 2, 3$ 分别对应土地、资本及劳动力投入, Z 表示环境污染因素, β 为待估参数; v 为随机误差项; u 为无效率项; $i(i=1, 2, \dots, 31)$ 和 $t(t=1998, 1999, \dots, 2013)$ 分别表示第 i 个省份和第 t 年。式(2)中: TE_{it} 是指第 i 个省份在第 t 时期内的农业绿色生产效率,表示考虑环境要素后农业实际产出与最优产出前沿面之间的偏离。式(3)为模型的统计检验, γ 为待估参数,表示随机扰动项中无效

率所占比例,如果 γ 趋向于 1,则说明采用随机前沿分析方法是合理的,如果 $\gamma=0$ 这一假设被接受,则使用普通最小二乘法即可估计出生产函数参数,不需要运用随机前沿分析方法。

农业产出以各地区农林牧渔增加值来表征;农业传统生产要素中,土地投入选取农作物播种面积和水产养殖面积(单位:万 hm^2)表征,资本投入选取农业机械总动力(单位:万 $\text{kW} \cdot \text{h}$)、农药使用量(单位:万 t)、农膜使用量(单位:万 t)、有效灌溉面积

(单位:万 hm^2)、农用化肥折纯用量(单位:万 t)表示,劳动力投入选取农林牧渔业从业人员数(单位:万人)表示。环境污染因素主要考虑包涵农田化肥流失、畜禽养殖污染、水产养殖污染、农田固体废弃物和农村生活污染等方面的农业面源污染^[21]。据此,本研究确定农业生产产污单元(表 1),采用单元调查评估法^[21-22]核算各农业源污染排放量,核算内容包括总氮(TN)、总磷(TP)的产生量和化学需氧量(COD_{Cr})。

表 1 农业生产非点源产污单元清单列表

Table 1 List of unit for agricultural production non-point pollution

类别 Category	产污单元 Elementary unit of agricultural production	调查指标 Investigation index	单位 unit	排放清单 Emission inventory
农田化肥 Chemical fertilizer	氮肥、磷肥、复合肥	施用量(折纯)	万 t	TN、TP
农田固体废弃物 Solid waste materials	稻谷、小麦、玉米、豆类、薯类、 油料、棉花、蔬菜	总产量	万 t	TN、TP、 COD_{Cr}
农村生活 Rural life production	乡村人口	种植业人口	万人	TN、TP、 COD_{Cr}
畜禽养殖 Livestock production	牛、羊 猪、家禽	存栏量 出栏量	万头	TN、TP、 COD_{Cr}
水产养殖 Aquiculture pollution	海水产品、淡水产品	产量	万 t	TN、TP、 COD_{Cr}

各地区各产污单元的农业污染排放量计算公式为:

$$E = \sum_{m=1}^{\omega} \text{EU}_m \rho_m (1 - \eta_m) C_m = \sum_{m=1}^{\omega} \text{PE}_m (1 - \eta_m) C_m \quad (4)$$

$$\text{PI} = E/S \quad (5)$$

式中: E 为农业生产的非点源污染排放量; ω 为产污单元总个数; EU_m 为单元 m 的统计数; ρ_m 为单元 m 产污强度系数; C_m 为单元 m 排放系数; PE_m 为单元 m 的产污量; η_m 为单元 m 的利用率; PI 为农业非点源污染等标排放量; S 为污染排放评价标准。其中,产污强度、排放系数由区域环境、资源利用和管理特征等综合影响决定,通过文献[19,21-22]及《全国第一次污染源普查农业源系数手册》整理所得,污染评价标准采用 GB3838-2002 的 III 类水质标准将总氮、总磷排放量折算为等标排放量汇总得到。

1.1.2 区域差异度量

选择泰尔指数来测度农业绿色生产效率的区域差异。省域农业绿色生产效率区域差异的泰尔指

数(T)的计算公式为:

$$T = \sum_{n=1}^n \left[\left(\frac{1}{n} \right) \times \left(\frac{\text{TE}_i}{\mu_{\text{TE}}} \right) \times \ln \left(\frac{\text{TE}_i}{\mu_{\text{TE}}} \right) \right] \quad (6)$$

式中: n 表示省级行政单位的个数, TE_i 为 i 省农业绿色生产效率值, μ_{TE} 为中国农业绿色生产效率平均水平。 T 为单调递增,区间范围为 $[0, \ln n]$, T 的数值越小说明地区差异越小,反之则越大。如果 $T=0$,则表示各省份农业绿色生产效率相等,即农业绿色生产效率不存在区域差异;如果 $T=\ln n$,即表示某一省份农业绿色生产效率值很大,其生产效率水平具有最大的区域差异。

根据《中共中央、国务院关于促进中部地区崛起的若干意见》、《国务院发布关于西部大开发若干政策措施的实施意见》以及党的十六大报告的精神,采用国家统计局 2011-06-13 制定的划分办法将中国分为四大经济区域(东部地区包括北京、天津、河北、山东、江苏、上海、浙江、福建、广东和海南;中部地区包括山西、河南、安徽、湖北、湖南和江西;西部地区包括内蒙古、新疆、甘肃、宁夏、陕西、重庆、四川、青

海、西藏、云南、贵州和广西；东北地区包括黑龙江、吉林和辽宁；香港、澳门和台湾不在分区之列），中国农业绿色生产效率的区域差异可以分解为四大区域间和四大区域内的差异 2 个部分。中国四大区域农业绿色生产效率区域差异的泰尔指数可以表示为区域间 (T_{br}) 和区域内 (T_{wr}) 两大组成部分的泰尔指数值之和，即：

$$T = T_{br} + T_{wr} \quad (7)$$

其中， T_{br} 的计算公式为：

$$T_{br} = \sum_{q=1}^m \left[\left(\frac{p_q}{P} \right) \times \left(\frac{TE_q}{\mu} \right) \times \ln \left(\frac{TE_q}{\mu} \right) \right] \quad (8)$$

式中： m 为区域的数量； P_q 为区域 q 中省级行政单位的数量； P 为全部省份的数量； TE_q 为区域 q 农业绿色生产效率的平均值； μ 为全国农业绿色生产效率的平均值。

1.1.3 农业绿色生产效率影响因素的实证模型

农业绿色生产效率会受到社会经济发展水平、产业结构和宏观政策等因素的影响^[9,15]。基于此，构建如下实证模型：

$$TE_{it} = \alpha_{it} + \delta_1 \ln PGDP_{it} + \delta_2 \ln RND_{it} + \delta_3 \ln EDU_{it} + \delta_4 \ln DIS_{it} + \delta_5 AP + \xi_{it} \quad (9)$$

式中： i ($i = 1, 2, \dots, 31$) 和 t ($t = 1998, 1999, \dots, 2013$) 分别表示第 i 个省份和第 t 年， δ 为各指标弹性系数， α_{it} 为常数项， ξ 为随机误差。模型中各变量定义如下：

TE_{it} ：农业绿色生产效率值，为被解释变量。

$PGDP$ ：人均 GDP。以名义 GDP/年末总人口计算得出人均 GDP 可以较好的反映出区域经济发展水平。有研究^[15,23]表明经济发展水平对农业绿色生产效率影响显著。

RND ：农业科研投资。农业科研投资反映了区域农业技术创新能力，农业技术创新能力越强的地区一方面能使农业生产应用更多的先进设备、技术，提升农业综合生产能力^[24]，另一方面，农业科技的不断进步也有利于资源利用效率的提高和环境破坏程度的降低，促进农业绿色生产效率的提高。

EDU ：劳动力素质。以农村高中文化程度以上人口比重衡量农业劳动力素质。一般而言，农业劳动力素质越高，其掌握现代农业技术的能力就越强，并具有更强的绿色生产意识^[3]，因而将对农业绿色生产效率的提高起到积极作用。

DIS ：农作物受灾面积。农业生产受自然灾害的影响较大，在其他条件不变的情况下，农作物受灾

面积越大，农业产出减少就越严重，农业绿色生产效率也就相应越低。

AP ：农业政策。农业政策对农业发展的影响十分显著。自 2004 年以来，中央连续 12 年以中央一号文件形式指导农业发展，有力促进了农业综合生产能力的提高，因此，将 2004 年以前年份赋值为 0，将包括 2004 年在内的以后年份赋值为 1。

1.2 数据来源

本研究所用污染排放量测算原始数据、农业投入产出数据及影响因素数据来源于《中国农村统计年鉴》、《新中国六十年统计资料汇编》、《中国人口统计年鉴》、《中国统计年鉴》、《中国科技统计年鉴》和部分地方年鉴。研究时段为 1998—2013 年，研究区域包括我国 31 个省份（直辖市、自治区）（不包括香港、澳门和台湾）。同时，为消除年际间物价上涨与通货膨胀的影响，均以 1998 年为基准年，利用消费者价格指数对农业科研投资数据进行了转换处理，GDP 数据采用 GDP 指数进行了不变价处理。

2 结果与分析

2.1 农业绿色生产效率的时序变化

运用 Frontier 4.1 软件对 1998—2013 年中国各省（市、自治区）农业绿色生产效率进行估计，模型的检验结果显示 $\gamma = 0.97$ ，在 1% 水平下通过显著性检验，随机前沿生产函数能有效地估计中国农业绿色生产效率。单边似然比统计量在 1% 的水平下通过检验，表明技术无效率项对各省份农业绿色生产效率影响显著，模型设定合理。

逐年计算出全国及各省份农业绿色生产效率值（表 2），结果显示，1998—2013 年中国农业绿色生产效率呈稳定上升趋势，效率值由 1998 年的 0.238 6 增长到 2013 年的 0.358 9，年均增长率为 2.76%，增长幅度较小。十五年间全国农业绿色生产效率均值仅为 0.297 9，效率水平相对较低。近年来，国家不断加大对农业生产的投入，强农惠农力度的不断加强有效促进了农业生产效率的整体提高；但由于我国农业经济发展方式依然较为粗放，多数地区农业增长付出了较大的生态环境代价，农业绿色生产效率增速相对缓慢，效率整体偏低。这也与潘丹等^[22]的研究结果相一致。

从省域对比看，各省份的农业绿色生产效率变化趋势与全国的基本相同，均表现为不同程度的增长，其中，增幅最大的省份是西藏（年均增长

率为 5.03%)，增幅最小的是海南(年均增长率 0.91%)。各省份农业绿色生产效率表现出明显的高效率省份上升幅度小，低效率省份增长速度快快的变化特征。这表明效率低值地区通过增加投

入提高生产效率的效果更加明显，而高值地区由于面临着要素投入的边际产出递减等问题，需要通过改进农业生产技术、减少污染排放等来进一步提高农业绿色生产效率。

表 2 1998—2013 年中国省域农业绿色生产效率

Table 2 China's agricultural green technical efficiency from 1998 to 2013

省份 Province	年份/Year					
	1998	2001	2004	2007	2010	2013
北京 Beijing	0.321 4	0.347 4	0.373 5	0.399 6	0.425 6	0.451 3
天津 Tianjin	0.246 7	0.271 6	0.297 0	0.322 8	0.348 9	0.375 0
河北 Hebei	0.224 0	0.248 2	0.273 1	0.298 6	0.324 4	0.350 4
山西 Shanxi	0.132 2	0.151 9	0.172 9	0.195 0	0.218 2	0.242 2
内蒙古 Inner Mongolia	0.260 0	0.285 2	0.310 8	0.336 8	0.362 9	0.389 0
辽宁 Liaoning	0.340 1	0.366 2	0.392 3	0.418 3	0.444 1	0.469 6
吉林 Jilin	0.266 9	0.292 2	0.318 0	0.344 0	0.370 1	0.396 2
黑龙江 Heilongjiang	0.245 5	0.270 4	0.295 8	0.321 5	0.347 6	0.373 7
上海 Shanghai	0.393 8	0.419 8	0.445 6	0.471 0	0.496 0	0.520 4
江苏 Jiangsu	0.262 6	0.287 8	0.313 5	0.339 4	0.365 6	0.391 7
浙江 Zhejiang	0.256 1	0.281 2	0.306 8	0.332 7	0.358 8	0.385 0
安徽 Anhui	0.197 0	0.220 2	0.244 3	0.269 1	0.294 5	0.320 3
福建 Fujian	0.423 2	0.448 9	0.474 2	0.499 2	0.523 5	0.547 3
江西 Jiangxi	0.267 1	0.292 4	0.318 1	0.344 1	0.370 3	0.396 4
山东 Shandong	0.222 9	0.247 1	0.272 0	0.297 4	0.323 2	0.349 3
河南 Henan	0.181 9	0.204 4	0.227 9	0.252 3	0.277 3	0.302 8
湖北 Hubei	0.241 3	0.266 0	0.291 3	0.317 1	0.343 1	0.369 2
湖南 Hunan	0.201 5	0.224 9	0.249 1	0.274 1	0.299 5	0.325 3
广东 Guangdong	0.312 7	0.338 7	0.364 8	0.390 9	0.416 9	0.442 7
广西 Guangxi	0.221 7	0.245 8	0.270 7	0.296 1	0.321 9	0.347 9
海南 Hainan	0.635 8	0.655 8	0.675 1	0.693 5	0.711 1	0.728 0
重庆 Chongqing	0.206 7	0.230 4	0.254 8	0.279 8	0.305 4	0.331 3
四川 Sichuan	0.208 7	0.232 4	0.256 9	0.282 0	0.307 6	0.333 5
贵州 Guizhou	0.103 1	0.120 5	0.139 4	0.159 6	0.181 0	0.203 5
云南 Yunnan	0.130 3	0.149 8	0.170 7	0.192 7	0.215 7	0.239 7
西藏 Tibet	0.085 3	0.101 0	0.118 2	0.136 9	0.156 9	0.178 2
陕西 Shaanxi	0.147 1	0.167 8	0.189 7	0.212 6	0.236 4	0.261 0
甘肃 Gansu	0.130 6	0.150 2	0.171 1	0.193 1	0.216 2	0.240 2
青海 Qinghai	0.109 3	0.127 2	0.146 6	0.167 2	0.189 0	0.211 9
宁夏 Ningxia	0.107 9	0.125 7	0.144 9	0.165 4	0.187 2	0.210 0
新疆 Xinjiang	0.314 3	0.340 3	0.366 4	0.392 5	0.418 5	0.444 3
全国	0.238 6	0.261 7	0.285 3	0.309 5	0.334 1	0.358 9

注：由于篇幅所限，仅列出部分年份计算结果。

Note: Due to spatial limitation, the results of China's agricultural green technical efficiency in selected years only are listed.

2.2 农业绿色生产效率空间分布的可视化描述

为更清晰描述中国农业绿色生产效率的空间分布格局,本研究参考相关研究^[9],将各省份农业绿色生产效率分为5个等级:高效率(0.5~1.0)、较高效率(0.4~0.5)、中等效率(0.3~0.4)、中低效率(0.2~0.3)、低效率(0.0~0.2)。在 Arcgis 9.3 操作平台上绘制了1998和2013年中国农业绿色生产

效率空间分布图(图1)。由图可知,中国农业绿色生产效率区域差异明显,无论是1998年还是2013年,农业绿色生产高效率水平省份均主要分布于经济发展水平较高的东南沿海地区以及西部部分省份,而低效率省份则集中分布于华北平原地区,并大致呈现出由中部向南和向北增加的空间分布特征。

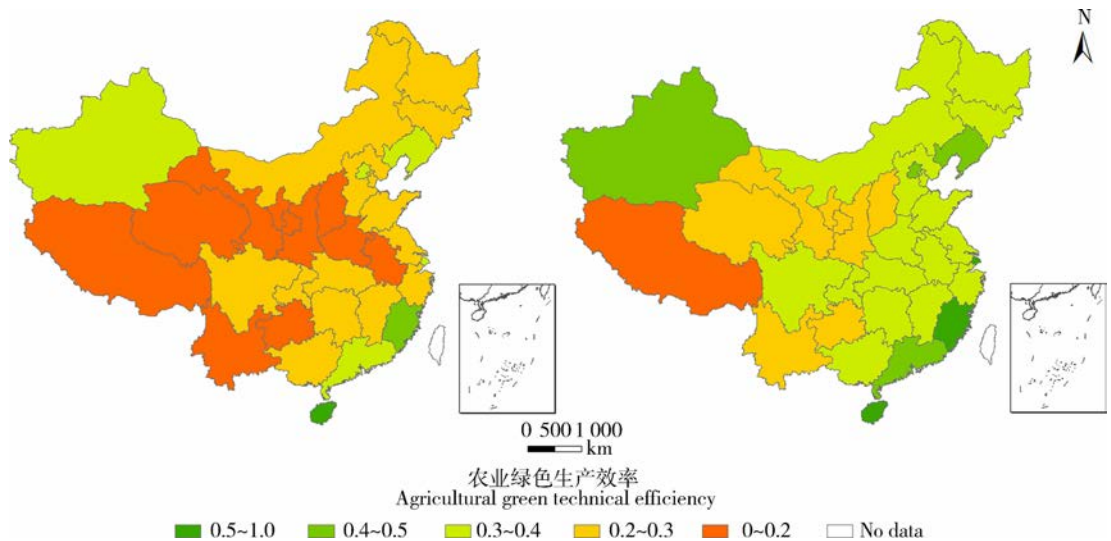


图1 1998年和2013年中国农业绿色生产效率空间分布图

Fig.1 Spatial distribution of China's agricultural green technical efficiency in 1998 and 2013

1998年,我国农业绿色生产效率低值省份主要集中在华北平原一带,而东南沿海地区省份,主要是上海、福建、海南等经济发达地区以及西北的新疆农业绿色生产效率水平较高。海南省的农业绿色生产效率值在0.5~1.0之间,是绿色生产效率最高的地区;山西、河南、河北、安徽、贵州、云南、西藏、陕西、甘肃、青海和宁夏这11个省区的效率值不足0.2,属于低效率等级省份。

2013年,我国农业绿色生产效率整体上升,各省份绿色生产效率水平均出现了不同程度的提高,农业绿色生产效率较高和高水平等级的省份依然分布于东南沿海地区和西部部分地区,中部地区多数省份绿色生产效率上升至0.3以上,成为效率中等水平地区。原属低效率等级的云南、贵州、青海、甘肃、宁夏、陕西和山西等地区的生产效率上升至0.2以上,而西藏的效率水平仍然处于低效率等级,其效率均值还不及高效率等级省份的1/3。相较于其他地区,东南部沿海地区经济发展水平高,水热资源充沛,耕地复种指数高,农田水利等农业基础设施建设

投入较大,促进了农业绿色生产效率的提高;而西藏、青海等西部欠发达地区的绿色生产效率水平相对较低,一方面由于这类地区是非农业主产区,农业产出能力相对较弱,同时在农业生产中也存在较大的资源与环境损耗,农业发展与资源、环境系统处于失调状态,应注重农业污染的控制,实现农业增长与资源环境协调发展。

2.3 农业绿色生产效率的区域差异

进一步研究农业绿色生产效率区域差异的变化特征和内在构成,分别计算出1998~2013年中国农业绿色生产效率泰尔指数、四大区域的区域间泰尔指数和区域内泰尔指数(图2)。如图示,中国农业绿色生产效率存在明显的区域差异。由区域间与区域内泰尔指数大小比较可知,中国农业绿色生产效率的总体差异主要来源于四大区域农业绿色生产效率的区域内差异,考察期各年份区域内泰尔指数的比重均在75%以上。从变化趋势看,我国农业绿色生产效率的泰尔指数呈持续减少态势,由1998年的0.097减少到2013年的0.048。表明随着农业绿色生产高效率

省份效率增长速度放缓和低效率省份的快速提高,使各地区农业绿色生产效率逐渐转向均衡,总体差异呈

缩小态势。四大区域泰尔指数变化与全国总体泰尔指数变化趋势大致相同,均表现为小幅下降趋势。

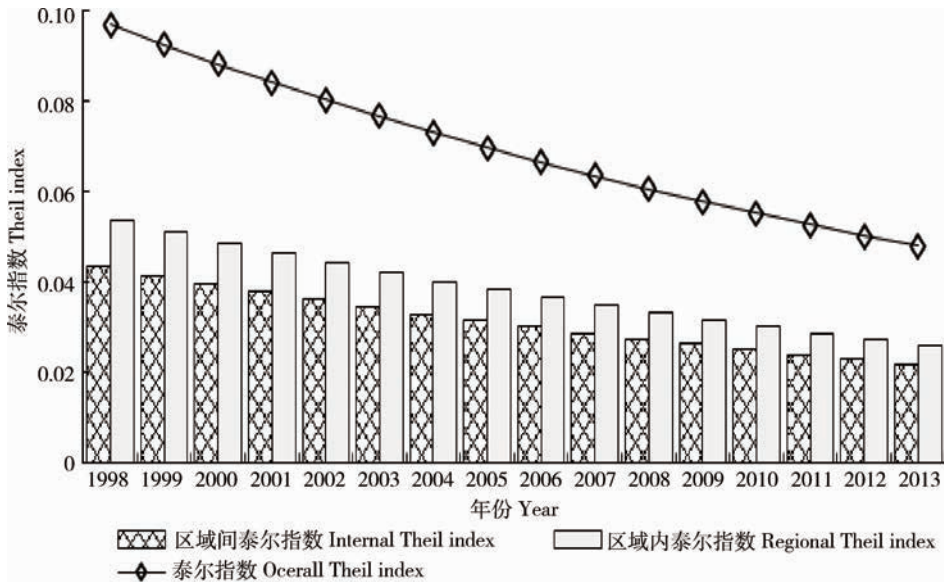


图 2 1998—2013 年中国农业绿色生产效率泰尔指数变化趋势

Fig. 2 Changes of Theil index of agricultural green technical efficiency in China from 1998 to 2013

四大区域 1998—2013 年农业绿色生产效率泰尔指数均值从大到小排序依次为西部(0.057 8) > 东部(0.041 8) > 中部(0.016 6) > 东北(0.007 1)(图 3)。西部地区农业绿色生产效率的地区差异最大,其泰尔指数均值远超其他几个地区。说明了我国农业绿色

生产效率的地区差异主要集中于西部地区。四大区域农业绿色生产效率泰尔指数均呈现不同程度的下降,中部和东北地区变化较为平稳,东、西部地区下降幅度则相对较大,表明东、西部地区多数效率低值省份绿色生产效率增长较快,区域差异缩小趋势明显。

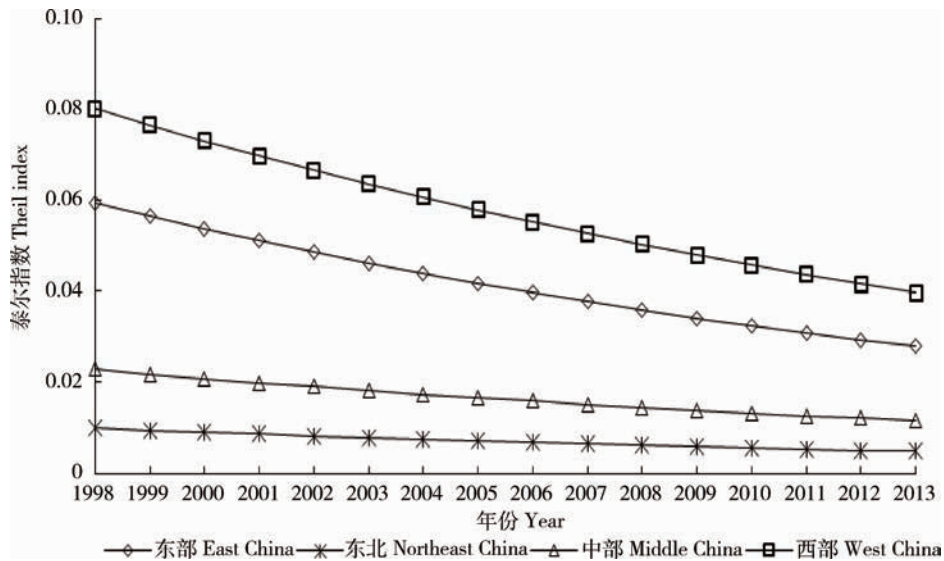


图 3 1998—2013 年四大区域农业绿色生产效率泰尔指数变化趋势

Fig. 3 Changes of Theil index of agricultural green technical efficiency in four major regions of China from 1998 to 2013

2.4 中国农业绿色生产效率的影响因素分析

运用 STATA 12.0 软件,采用 1998—2013 年

31 个省份的面板数据进行回归分析。首先对模型的设定进行 F 检验,检验结果支持选择变截距模

型;再使用 Hausman 检验判断选择固定效应还是随机效应模型,检验结果见表 3(统计检验不显著因素已略去)。在 10% 的显著性水平下,各变量均通过了显著性检验,说明人均 GDP、农业科研投资、农作物受灾面积和农业政策对绿色生产效率变化的影响显著,按照系数从大到小排序依次为:人均 GDP > 农业政策 > 农业科研投资 > 劳动力素质 > 农作物受灾面积。具体分析如下:

1) 经济发展水平差异的影响。由表 3 可知,以人均 GDP 所表现的区域经济发展水平对四大区域的农业绿色生产效率均产生显著的正向影响,表明区域间经济发展水平的不同会引起农业绿色生产效率水平的差异。其中,人均 GDP 对西部和东北地区绿色生产效率的影响最为明显,其系数分别为 0.505 和 0.483,西部和东北地区是我国经济发展水平较为落后的地区,经济欠发达地区农业现代化水平相对较低,经济的增长必然带来更多的资金投入,因而能有效促进农业综合生产能力的提高和污染排放的减少,对农业绿色生产效率的产生较强的正面效应。

2) 农业科研投入的影响。模型估计结果表明,农业科研投资对中、西部和东北地区农业绿色生产效率的影响显著,系数分别为 0.073 和 0.049 和 0.099。农业科研投资的增加可以为上述地区绿色农业发展带来先进的技术和科学的管理手段,有效提高农业生产能力和环境保护水平,促进农业生产条件的改善,有利于农业绿色生产效率的提高。

3) 劳动力素质的影响。劳动力素质对农业绿色

生产效率影响显著的地区是东部、中部和西部地区,系数分别为 0.039、0.245 和 0.021。劳动力素质的提高一方面能够增强从业者掌握和应用现代农业技术的能力,另一方面也能提高其在从事农业生产过程中的环保意识,有助于上述地区农业绿色生产效率的提高。

4) 农业灾害状况的影响。农作物受灾面积对东部和西部地区的农业绿色生产效率具有显著负向作用,其中,对西部地区影响最大,系数为-0.021。究其原因,是因为西部地区自然环境条件相对恶劣,区域内水土流失和环境退化等现象较为严重,农业生产易受自然灾害影响,且由于该区域经济发展水平较低,农业发展相对落后,抗灾能力较弱,自然灾害等外部条件对其农业生产的负面效应十分显著。

5) 农业政策的影响。农业政策对我国各地区农业绿色生产效率均产生显著正向影响,而对西部地区的影响最为强烈,其系数远超其他地区。说明中央 2004 年以来促进农业发展的政策对农业绿色发展的推动作用十分明显;同时,农业政策的实施效果在区域间存在较大差距,经济发达地区受国家政策的影响更为强烈。

各变量对不同地区农业绿色生产效率的影响差别明显,总体而言,人均 GDP 对西部等经济欠发达地区农业绿色生产效率的影响相对较大,而中、东部地区则更易受到劳动力素质的影响,农业科研投资和农作物受灾面积分别对东北和西部地区的影响最为强烈,农业政策的实施效果由东部向西部增强。

表 3 面板数据回归结果

Table 3 Results of panel data regression

变量 Valuable	全国 China	东部 East China	中部 Middle China	西部 West China	东北 Northeast China
人均 GDP PGDP	0.513*** (18.24)	0.482*** (8.39)	0.421*** (7.31)	0.505*** (10.55)	0.483*** (7.64)
农业科研投资 RND	0.029*** (3.95)		0.073*** (3.45)	0.049*** (3.68)	0.099*** (3.56)
劳动力素质 EDU	0.026*** (3.03)	0.039* (1.02)	0.245*** (3.55)	0.021** (1.99)	
农作物受灾面积 DIS	-0.008* (-1.66)	-0.014*** (-2.7)		-0.021* (-1.80)	
农业政策 AP	0.094*** (10.76)	0.071*** (4.85)	0.076*** (4.27)	0.112*** (6.53)	0.066*** (4.88)
Prob(F-statistic)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
R ² -statistic	0.849 8	0.844 4	0.919 1	0.863 5	0.910 3
Prob(Hausman Test)	0.569 4	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.999 6

注: Hausman 检验值 $P < 0.05$ 时接受固定效应模型,否则为随机效应模型; *、**、*** 分别表示估计系数在 10%、5%、1% 的水平下显著,括号内为 t 值统计量。

Note: When the value of Hausman test is larger than 0.05, fixed effect model is accepted. Otherwise, random effect model is accepted. *, ** and *** denote the significance at the level of 1%, 5% and 10%, respectively.

3 结论与启示

3.1 主要结论

1) 1998—2013年中国农业绿色生产效率呈缓慢上升趋势。各省份的农业绿色生产效率变化趋势与全国总体相似,且效率高值省份上升幅度小,低值省份增长幅度大。

2) 中国农业绿色生产效率区域差异明显,效率高值省份主要分布于东南沿海地区和西部部分省份,而低效率省份则集中分布于华北平原地区,并大致呈现由中部向南和向北增加的空间分布特征。

3) 由泰尔指数分析可知,中国农业绿色生产效率区域差异呈总体缩小态势,且西部地区差异最为明显。绿色生产效率的区域差异结构特征表现为区域内差异对总体差异影响较大。

4) 人均GDP对西部等经济欠发达地区的影响相对较大,而中、东部地区则更易受到劳动力素质的影响,农业科研投资和农作物受灾面积分别对东北和西部地区的影响最为强烈,农业政策的实施效果由东部向西部增强。

3.2 启示

1) 从空间上看,我国华北和西南不少省份的农业绿色生产效率水平仍然较低。应进一步加大对上述地区尤其是西藏、青海等农业欠发达地区的农业生产投入,加快农田水利等基础设施建设,加强环境友好型农业生产技术及清洁生产技术的推广与应用,以适应绿色农业发展的需求。同时还应科学调整农业生产布局,提高效率低下地区的农业资源利用的集约水平,实现农业绿色生产的效率最大化。

2) 中国农业绿色生产效率区域差异虽出现缩小趋势,但依然显著。以四大区域作为划分标准制定农业绿色发展政策应更具针对性,在关注其区域间差异的同时应更加注重减少区域内的省际差异,加大对各区域内部效率相对低下的省份农业绿色发展的投入,提升其农业绿色生产能力,是缩小我国农业绿色生产效率整体差异的关键。

3) 各因素对不同区域农业绿色生产效率的影响各异,应从空间效率均衡的角度制定差别化的绿色农业发展政策。东、中部等经济相对发达地区省份应继续发挥其经济、教育资源优势,加大教育投入,着力提高农业劳动者素质。西部等经济欠发达地区则应在扩大经济发展对本地区农业绿色生产效率的影响的同时,积极响应国家惠农政策,继续加大对农

业科技的投入,加强农业基础设施建设,减少污染排放,提高农业防灾抗灾能力。

参考文献 References

- [1] 黄守宏. 论市场经济条件下农业的基础地位[J]. 经济研究, 1994(1):24-30
Huang S H. The theory of market economy under the conditions of the foundation status of agriculture[J]. *Economic Research Journal*, 1994(1):24-30 (in Chinese)
- [2] 王奇,王会,陈海丹. 中国农业绿色全要素生产率变化研究: 1992—2010年[J]. 经济评论, 2012(5):24-33
Wang Q, Wang H, Chen H D. A Study on agricultural green TFP in China: 1992—2010[J]. *Economic Review*, 2012(5):24-33 (in Chinese)
- [3] 李兆亮,罗小锋,张俊飏,丘雯文. 基于能值的中国农业绿色经济增长与空间收敛[J]. 中国人口·资源与环境, 2016, 26(11): 150-159
Li Z L, Luo X F, Zhang J B, Qiu W W. Green economy growth of agricultural and its spatial convergence in China based on energy analytic approach. [J]. *China Population · Resources and Environment*, 2016, 26(11):150-159 (in Chinese)
- [4] 李谷成. 中国农业的绿色生产率革命: 1978—2008年[J]. 经济学(季刊), 2015, 13(1):537-557
Li G C. The Green productivity revolution of agriculture in China from 1978 to 2008[J]. *China Economic Quarterly*, 2015, 13(1):537-557 (in Chinese)
- [5] 叶浩,濮励杰. 我国耕地利用效率的区域差异及其收敛性研究[J]. 自然资源学报, 2011(9):1467-1474
Ye H, Pu L J. Study on the cultivated land use efficiency between different regions of China and its convergence[J]. *Journal of Natural Resources*, 2011(9):1467-1474 (in Chinese)
- [6] Kumar S. Environmentally sensitive productivity growth: A global analysis using Malmquist-Luenberger Index [J]. *Ecological Economics*, 2006, 56:280-293
- [7] 崔晓,张屹山. 中国农业环境效率与环境全要素生产率分析[J]. 中国农村经济, 2014(8):4-16
Cui X, Zhang Y S. China's agricultural environment efficiency and total factor productivity analysis [J]. *Chinese Rural Economy*, 2014(8):4-16 (in Chinese)
- [8] 辛翔飞,秦富. 我国农业生产力水平的地区差距及其结构分解[J]. 农业技术经济, 2007(4):23-27
Xin X F, Qing F. The regional gap and the structure of the agricultural productivity level decomposition [J]. *Journal of Agrotechnical*, 2007(4):23-27 (in Chinese)
- [9] Chung Y H, Fare R, Grosskopf S. Productivity and undesirable outputs: A directional distance function approach[J]. *Journal of Environmental Management*, 1997, 51:229-240
- [10] 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 D, Ying R Y. Agricultural eco-efficiency evaluation in China: Based on SBM model[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(12): 3837-3845 (in Chinese)
- [11] 李谷成,陈宁陆,闵锐.环境规制条件下中国农业全要素生产率增长与分解[J].中国人口·资源与环境,2011,21(11):153-160
- Li G C, Chen N L, Min R. Growth and sources of agricultural total factor productivity China under environmental regulations [J]. *China Population • Resources and Environment*, 2011, 21(11): 153-160 (in Chinese)
- [12] 杨俊,陈怡.基于环境因素的中国农业生产率增长研究[J].中国人口·资源与环境,2011,21(6):153-157
- Yang J, Chen Y. Empirical study on China's agricultural production growth under the binding of environment[J]. *China Population • Resources and Environment*, 2011, 21(6): 153-157 (in Chinese)
- [13] 冯晓龙,霍学喜.考虑面源污染的中国苹果全要素生产率及其空间集聚特征分析[J].农业工程学报,2015(18):204-211
- Feng X L, Huo X X. Total factor productivity of apple industry in China considering non-point source pollution and its spatial concentration analysis[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2015(18): 204-211 (in Chinese)
- [14] 韩海彬,赵丽芬.环境约束下中国农业全要素生产率增长及收敛分析[J].中国人口·资源与环境,2013,23(3):70-76
- Han H B, Zhao L F. Growth and convergence of agricultural total factor productivity in China under environmental regulations [J]. *China Population • Resources and Environment*, 2013, 23(3): 70-76 (in Chinese)
- [15] 梁俊,龙少波.农业绿色全要素生产率增长及其影响因素[J].华南农业大学学报:社会科学版,2015(3):1-12
- Liang J, Long S B. China's agricultural green total factor productivity growth and its affecting factors[J]. *Journal of South China Agricultural University: Social Science Edition*, 2015(3): 1-12 (in Chinese)
- [16] Fare R, Grosskopf S, Pasurka C. Accounting for air pollution emissions in measuring state manufacturing productivity growth[J]. *Journal of Regional Science*, 2001, 41(3): 381-409
- [17] 胡鞍钢,周绍杰.绿色发展:功能界定、机制分析与发展战略[J].中国人口·资源与环境,2014,24(1):14-20
- Hu A G, Zhou S J. Green development: Functional definition, mechanism analysis and development strategy [J]. *China Population • Resources and Environment*, 2014, 24(1): 14-20 (in Chinese)
- [18] Hailu A, Veeman T S. Environmentally sensitive productivity analysis of the canadian pulp and paper industry, 1959-1994: An input distance function approach [J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2000, 40(3): 251-274
- [19] 陈诗一.能源消耗、二氧化碳排放与中国工业的可持续发展[J].经济研究,2009(4):41-55
- Chen S Y. Energy consumption, CO₂ emission and sustainable development in Chinese industry [J]. *Economic Research Journal*, 2009(4): 41-55 (in Chinese)
- [20] Battese G E, Coelli T J. Frontier production functions, technical efficiency and panel data: With application to paddy farmers in India[J]. *Journal of Productivity Analysis*, 1992(3): 153-169
- [21] 赖斯芸,杜鹏飞,陈吉宁.基于单元分析的非点源污染调查评估方法[J].清华大学学报:自然科学版,2004,44(9):1184-1187
- Lai S Y, Du P F, Chen J N. Evaluation on nonpoint source pollution based on unit analysis [J]. *Journal of Tsinghua University: Science and Technology Edition*, 2004, 44(9): 1184-1187 (in Chinese)
- [22] 梁流涛.农村生态环境时空特征及其演变规律研究[D].南京:南京农业大学,2009
- Liang L T. Study on the temporal and spatial evolution of rural ecological environment [D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2009 (in Chinese)
- [23] 潘丹,应瑞瑶.资源环境约束下的中国农业全要素生产率增长研究[J].资源科学,2013,35(7):1329-1338
- Pan D, Ying R Y. Agricultural total factor productivity growth in China under the binding of resource and environment[J]. *Resources Science*, 2013, 35(7): 1329-1338 (in Chinese)
- [24] 李兆亮,罗小锋,张俊飏,陈祺琪.农业科研要素投入的时空差异及其影响因素[J].中国科技论坛,2016(2):120-125
- Li Z L, Luo X F, Zhang J B, Chen Q Q. Spatiotemporal difference and driving forces of input factors for agricultural research in China [J]. *Forum on Science and Technology in China*, 2016(2): 120-125 (in Chinese)

责任编辑:王岩