

# 中国农业绿色发展水平的地区差异及收敛性 ——基于地级市面板数据的实证

李欠男<sup>1</sup> 李谷成<sup>1\*</sup> 尹朝静<sup>2</sup>

(1. 华中农业大学 经济管理学院, 武汉 430070;

2. 西南大学 经济管理学院, 重庆 400715)

**摘要** 基于绿色全要素生产率视角,采用SBM-Global-Super模型对中国2000—2017年地级市农业绿色发展水平进行测度,运用Dagum基尼系数、 $\sigma$ 收敛和 $\beta$ 收敛方法考察农业绿色发展水平的地区差异和收敛性。结果表明:1)农业绿色发展水平表现出波动上升趋势,并存在明显的地区差异;东部地区农业绿色发展水平均属于领先型,其他地区分布相对分散;2)农业绿色发展水平的地区差异呈逐步上升态势,东北和中部区域内差异较小,东部—西部区域间差异最大;农业绿色发展水平的地区差异主要来源于区域间差异,超变密度和区域内差异的影响相对较小;3)全国及四大区域农业绿色发展水平并未呈现明显的 $\sigma$ 收敛和绝对 $\beta$ 收敛特征,但存在显著的条件 $\beta$ 收敛趋势。

**关键词** 农业绿色发展;绿色全要素生产率;SBM-Super-Global模型;Dagum基尼系数;收敛性

**中图分类号** F323.3

**文章编号** 1007-4333(2022)02-0230-13

**文献标志码** A

## Regional differences and convergence of China's agricultural green development level:

### Empirical analysis based on the panel data of prefecture-level cities

LI Qiannan<sup>1</sup>, LI Gucheng<sup>1\*</sup>, YIN Chaojing<sup>2</sup>

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

2. College of Economics and Management, Southwest University, Chongqing 400715, China)

**Abstract** Based on the perspective of green total factor productivity, this study uses the SBM-Global-Super model to measure the level of agricultural green development in the prefecture-level cities in China from 2000 to 2017. Dagum Gini coefficient,  $\sigma$  convergence and  $\beta$  convergence methods are adopted to investigate regional differences and convergence. The results showed that: Firstly, the level of agricultural green development shows a fluctuating upward trend, and there are obvious regional differences, the level of agricultural green development in the eastern region is the leading type, and the distribution in other regions is relatively scattered. Secondly, the regional differences in the level of agricultural green development are gradually increasing. The regional differences in the northeast and central are small, and the inter-regional differences between the east and the west is the largest. The differences in the level of agricultural green development mainly come from inter-regional differences, hypervariable density and regional differences are relatively small. Thirdly, the level of agricultural green development in the country and four major regions does not show obvious  $\sigma$  convergence and absolute  $\beta$  convergence characteristics, but there is a significant conditional  $\beta$  convergence trend.

**Keywords** agricultural green development; green total factor productivity; SBM-Super-Global model; Dagum Gini coefficient; convergence

收稿日期: 2021-07-02

基金项目: 国家自然科学基金项目(71873050);国家自然科学基金青年项目(71903162)

第一作者: 李欠男, 博士研究生, E-mail: 1137169595@qq.com

通讯作者: 李谷成, 教授, 博士生导师, 主要从事农业技术经济研究, E-mail: lgcabc@mail.hzau.edu.cn

改革开放40多年以来,中国农业成就斐然,总体上告别了农产品数量短缺时代。农业产值稳定增长,粮食产量连续保持在65万t以上。然而在创造农业增长奇迹的同时,环境污染和发展水平不平衡问题也备受诟病。一方面,农业“高投入、高消耗、高污染”的粗放式经营模式导致资源约束逐渐趋紧,生态环境亮起了“红灯”<sup>[1]</sup>;另一方面,由于不同地区资源禀赋、经济发展及环境压力等方面存在差异,中国农业绿色发展的地区差距较为明显。因此,中国农业亟待回归绿之本色,推进农业绿色转型发展势在必行<sup>[2]</sup>。

中央政府也充分意识到农业发展面临的困境,明确提出要实现农业绿色发展。党的十九大明确提出“创新、协调、绿色、共享、开放”发展理念。2020年和2021年中央一号文件强调,要推进农业绿色发展,以绿色发展引领乡村振兴。实现绿色发展已成为农业发展的主旋律。科学评估中国农业绿色发展水平,衡量农业绿色发展水平的地区差异程度,并检验农业绿色发展水平的收敛性,不仅有助于把握农业绿色发展的现实状况和缩小地区间差距,而且有利于实现乡村振兴和建设美丽中国。

已有研究围绕农业绿色发展进行了广泛探讨,主要包括以下3个方面:第一,农业绿色发展的内涵。涂正革等<sup>[3]</sup>认为,农业绿色发展贯穿农业生产的全过程,其本质是实现农业污染物排放的降低和生产效率的提升。尹成杰<sup>[4]</sup>、孙炜琳等<sup>[5]</sup>认为,农业绿色发展不是对资源和生态环境的竭泽而渔,而是达到经济、社会发展和生态环境的和谐共赢。推动农业绿色转型发展并不是一蹴而就的,要经历“去污—提质—增效”的动态演进路径<sup>[6]</sup>,同时也要注重水土资源的保护<sup>[7]</sup>,优化支持政策体系<sup>[8-10]</sup>。第二,农业绿色发展水平的测度。国内外采用不同评价方法对农业绿色发展水平进行衡量,以评判农业发展是否朝着绿色化的目标迈进。比较有代表性的包括绿色GDP核算<sup>[11-12]</sup>、绿色指标体系测度<sup>[13-15]</sup>和绿色全要素生产率GTFP(Green total factor productivity)测算<sup>[3,16-17]</sup>等。其中,绿色GDP核算中资源与环境的价值难以货币化,绿色指标体系测度所涉及的评价方法和指标选取并未统一,同时也面临测算困难等问题。农业GTFP核算源于索洛的经济增长模型,将“资源—环境—经济”纳入统一的分析框架,是衡量一个国家或地区绿色经济发展的重要指标。第三,农业绿色发展水平的地区差异。已有研究主要

采用比较分析法和Theil指数法来探讨国家或省级尺度农业绿色发展的地区差异,发现农业绿色发展水平参差不齐<sup>[18-20]</sup>。这2种方法虽然可以评价地区间农业绿色发展水平的高低,但在应用中仍存在一定局限。比如,比较分析法无法解释地区差异的来源,Theil指数法忽视了子样本的分布状况。此外,农业绿色发展水平地区差异的敛散性未引起充分的重视,而这恰好是理解农业绿色发展水平地区差异的重要内容。

综上,已有研究在农业绿色发展的内涵、测度及地区差异方面进行了有益探索,为本研究奠定了基础,但仍存在进一步深化的空间:第一,目前关于农业绿色发展水平的衡量还未达成共识,有待进一步完善评价指标。第二,已有研究围绕农业绿色发展的内涵阐释与水平测度展开了广泛研究,但在考察其地区差异和收敛性研究方面却显得较为薄弱。第三,大多研究主要关注国家或省级尺度农业绿色发展水平的评价,从而难以准确地认识省份内部地级市之间的不平衡问题。

鉴于此,本研究将从以下3个方面进行拓展:第一,研究视角方面,本研究基于绿色全要素生产率视角衡量农业绿色发展水平。与绿色GDP、绿色指标体系相比,农业绿色全要素生产率将资源节约、环境友好、农业增长纳入分析框架,是评判农业绿色发展质量的重要依据。第二,研究内容方面,本研究在测度农业绿色发展水平的基础上,综合考察农业绿色发展水平的地区差异及收敛性。本研究利用Dagum基尼系数识别农业绿色发展的地区差异程度和来源,并采用 $\sigma$ 收敛和 $\beta$ 收敛方法揭示农业绿色发展的收敛性趋势。第三,研究数据方面,本研究基于地级市数据考察农业绿色发展水平的地区差异及收敛性。相较于国家或省级数据,研究尺度更为细化,不仅可以判断省份内部农业绿色发展的“高地”与“洼地”,而且能够更细致地反映农业绿色发展的收敛性规律。

## 1 研究方法 with 数据来源

### 1.1 农业绿色发展水平测算方法

推进农业绿色发展已成为学术界的共识,准确衡量农业绿色发展水平是本研究实证分析的基础。农业GTFP(Green total factor productivity)较好地契合了农业绿色发展理念,为农业绿色发展提供了一个替代性分析框架。农业GTFP是在农业TFP

(Total factor productivity)的基础上发展而来的,兼顾了资源消耗与环境污染的双重约束,更能真实反映农业绿色发展水平<sup>[16,21]</sup>。然而,农业污染物的价格难以衡量,本研究借鉴已有研究的处理方式,将农业污染物视为一种“坏”产出纳入数据包络分析(DEA, Data envelopment analysis)核算框架<sup>[22-23]</sup>。Tone<sup>[24]</sup>构建了非径向、非角度的SBM(Slacks-based measure)模型,有效克服了传统DEA模型径向和角度测度带来的偏差,模型原理见图1。

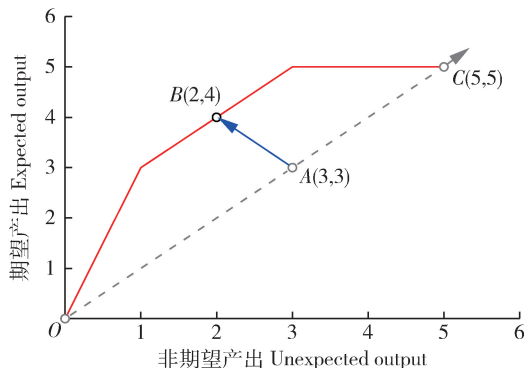


图1 SBM模型原理

Fig. 1 SBM model principle

在传统DEA模型中,点A会沿着期望产出与非期望产出的同等比例增长到点C(图1)。而在考虑农业污染物的SBM模型中,点A会沿着期望产出增加、非期望产出减少的原则增长到点B。对比发现,点B和点C之间存在明显的差异,也就是说采用SBM模型进行实证分析,既可以考虑农业期望产出的扩展程度,又可以度量非期望产出的缩减大小,符合农业绿色发展的初衷。在此基础上,本研究结合超效率(Super efficiency)和全局参比(Global)Malmquist指数的特性构造SBM-Super-Global模型,以缓解有效决策单元的排序及线性规划无解问题<sup>[25-26]</sup>,表示如下:

$$\min \rho = \frac{1 + \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m s_i^- / x_{ik}}{1 - \frac{1}{s} \sum_{r=1}^s s_r^+ / y_{rk}} \quad (1)$$

$$\text{s. t.} \begin{cases} \sum_{j=1, j \neq k}^n x_{ij} \delta_j - s_i^- \leq x_{ik} \\ \sum_{j=1, j \neq k}^n y_{rj} \delta_j + s_r^+ \geq y_{rk} \\ \delta, s_i^-, s_r^+ \geq 0 \end{cases}$$

式中: $\rho$ 为农业绿色发展水平值; $x$ 和 $y$ 分别为农业投入与产出,有 $m$ 和 $q$ 种; $\delta$ 为决策单元的线性组

合; $j$ 和 $k$ 代表第 $j$ 个决策单元与 $k$ 个现有决策单元的数量; $s_i^-$ 和 $s_r^+$ 反映第 $i$ 个投入与第 $r$ 个产出所对应的松弛变量。

## 1.2 Dagum基尼系数

借鉴Dagum<sup>[27]</sup>的研究,本研究利用Dagum基尼系数分解农业绿色发展的地区差异及其来源。计算公式为:

$$G = \sum_{j=1}^k \sum_{h=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} \sum_{r=1}^{n_r} |AGD_{ji} - AGD_{hr}| / 2n^2 \overline{AGD} \quad (2)$$

式中: $G$ 为总体基尼系数; $k$ 和 $n$ 分别为区域数量和地级市数量,相应为4和330; $AGD_{ji}$ 和 $AGD_{hr}$ 分别为 $j, h$ 区域内地级市 $i, r$ 的农业绿色发展水平; $\overline{AGD}$ 为所考察的地级市农业绿色发展水平的平均值。

在估计总体基尼系数的基础上,农业绿色发展的地区差异可以进一步分解为3个部分,即区域内差异的贡献 $G_a$ 、区域间差异的贡献 $G_b$ 和超变密度的贡献 $G_c$ 。计算公式如下:

$$G_a = \sum_{j=1}^k G_{jj} p_j s_j \quad (3)$$

$$G_b = \sum_{j=2}^k \sum_{h=1}^{j-1} G_{jh} (p_j s_h + p_h s_j) D_{jh} \quad (4)$$

$$G_c = \sum_{j=2}^k \sum_{h=1}^{j-1} G_{jh} (p_j s_h + p_h s_j) (1 - D_{jh}) \quad (5)$$

式(3)~(5)中: $p_j, p_h$ 分别为 $j, h$ 区域内地级市数量与全部地级市数量的比重; $s_j, s_h$ 分别为 $j, h$ 区域农业绿色发展水平与整体农业绿色发展水平的比值; $G_{jj}$ 为 $j$ 区域内农业绿色发展的基尼系数; $G_{jh}$ 为 $j, h$ 区域间农业绿色发展的基尼系数; $D_{jh}$ 为 $j, h$ 区域间农业绿色发展的相对影响。

## 1.3 收敛性分析方法

### 1.3.1 $\sigma$ 收敛

标准差是衡量农业绿色发展水平趋于 $\sigma$ 收敛的主要方法,指的是不同地区农业绿色发展水平的差异随时间推移而呈现下降的趋势。计算公式如下:

$$v = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (AGD_{it} - \overline{AGD})^2} \quad (6)$$

式中: $v$ 为标准差; $AGD_{it}$ 表示 $i$ 地区 $t$ 期的农业绿色发展水平; $\overline{AGD}$ 为 $t$ 期农业绿色发展水平的平均值。如果 $\sigma_{t+1} < \sigma_t$ ,表明农业绿色发展水平的差异随时间推移在缩小,存在 $\sigma$ 收敛。反之,则说明农业绿色发展水平存在发散现象。

### 1.3.2 $\beta$ 收敛

$\beta$ 收敛主要包括绝对 $\beta$ 收敛和条件 $\beta$ 收敛。绝

对  $\beta$  收敛以其他地区为参照,反映农业绿色发展低水平地区对高水平地区的“追赶效应”。条件  $\beta$  收敛以自身为参照,考察农业绿色发展水平能否收敛于自身的稳定状态。模型如下:

$$\ln(\text{AGD}_i / \text{AGD}_{i_0}) / T = \beta + \beta \ln(\text{AGD}_{i_0}) + \epsilon \quad (7)$$

式中:如果  $\beta$  系数显著小于 0,表明农业绿色发展水平存在“追赶效应”;反之,则表示不存在绝对  $\beta$  收敛。

$$\ln(\text{AGD}_i / \text{AGD}_{i-1}) = \beta_i + \beta \ln(\text{AGD}_{i-1}) + \epsilon_i \quad (8)$$

式中:如果  $\beta$  系数显著小于 0,表明农业绿色发展水平存在条件  $\beta$  收敛;反之,则说明随着时间的推移,

农业绿色发展水平并未收敛于自身的稳态水平。此外,本研究采用双向固定效应模型对条件  $\beta$  收敛进行检验,尽量避免遗漏变量等问题<sup>[28-29]</sup>。

## 1.4 变量选取与数据来源

### 1.4.1 变量选取

本研究以狭义农业为研究对象,借鉴已有研究及结合数据的可得性,农业绿色发展的产出状况选取农业产值、农业面源污染和农业碳排放 3 个变量。其中,农业产值反映农业绿色发展的正产出,农业面源污染和农业碳排放是农业绿色发展过程中产生的负外部效应<sup>[16,30-32]</sup>。农业绿色发展的投入情况选取土地、劳动力、机械、化肥和灌溉 5 个变量,详见表 1。

表 1 农业绿色发展的投入产出指标

Table 1 Input and output index for agricultural green development

一级指标 First level index	二级指标 Second level index	变量说明 Variable description
投入变量 Input variable	土地投入	农作物播种面积, $\text{hm}^2$
	劳动力投入	农林牧渔从业人员 $\times$ (农业产值/农林牧渔产值), 万人
	机械投入	农业机械总动力 $\times$ (农业产值/农林牧渔产值), 万 kW
	化肥投入	化肥施用折纯量, 万 t
	灌溉投入	有效灌溉面积, $\text{hm}^2$
产出变量 Output variable	农业产值	2000 年不变价的农业产值, 亿元
	农业面源污染	化肥和农业固体废弃物产生的化学需氧量、总氮、总磷, 万 t
	农业碳排放	化肥、灌溉以及耕作产生的碳排放量, 万 t

### 1.4.2 数据来源

考虑到数据的可获性,本研究时间为 2000—2017 年。鉴于行政区划管理的差异性,本研究数据未包括北京、天津、上海、重庆和海南 5 个省份,最终形成中国 26 个省份 330 个地级市的面板数据。地级市变量数据均来源于 2001—2018 年各省份以及各地级市的统计年鉴。同时,依据不同经济区域的发展水平,将所考察的省份划分为四大区域<sup>①</sup>。

## 2 实证结果与分析

### 2.1 农业绿色发展水平分析

本研究使用 MaxDEA 软件对农业绿色发展水

平进行核算。2001—2017 年全国及四大区域农业绿色发展水平变化趋势见图 2。中国农业绿色发展水平由 2001 年的 1.018 3 增长至 2017 年的 1.070 6,呈波动上升趋势,表明农业绿色发展向好。2001—2008 年农业绿色发展水平上升下降交叉进行,2009 年跌至谷底,2010—2017 年出现波动上升趋势,这可能与农业生产的外部环境密切相关。21 世纪以来,中国实施粮食直补等改革措施,调动了农业生产者的积极性,使得农业绿色发展水平不断提升。之后,受 2008 年金融危机的影响,农业绿色发展出现退化。随后,中国对化肥、农药减量化做出了细致安排,对农膜、秸秆等资源利用做出了约束性要求,

① 东北地区:辽宁、吉林和黑龙江;东部地区:河北、江苏、浙江、福建、山东和广东;中部地区:山西、安徽、江西、河南、湖北和湖南;西部地区:内蒙古、广西、四川、贵州、云南、西藏、陕西、甘肃、青海、宁夏和新疆。

这些举措促进了农业绿色发展。

从四大区域看,东部地区农业绿色发展水平处于绝对的“领头羊”地位,东北和中部地区发展居中,西部地区发展落后,分别为1.047 1、1.027 1、1.026 0和1.024 4。这表明农业绿色发展存在显著的地区不平衡问题,呈现“东部领先、西部落后”的分布格局。分区域看,东部地区农业绿色发展势头迅猛,由2001年的1.031 1上升到2017年的1.083 4,仅在个别年份出现了下降趋势。东北和中部地区农业绿

色发展水平略低于全国平均水平,有较大的追赶空间,这表明作为粮食重要生产区域,农业生产面临“增产”和“增绿”的双重压力。西部地区农业绿色发展水平与全国相比,仍存在很大的差距,这意味着在推动农业快速增长的过程中,应继续秉持农业绿色发展理念,努力实现西部的崛起。

2001—2017年各省份农业绿色发展水平排名见图3。根据农业绿色发展水平高低,将其划分为3个类型。一是领先型,农业绿色发展水平介于

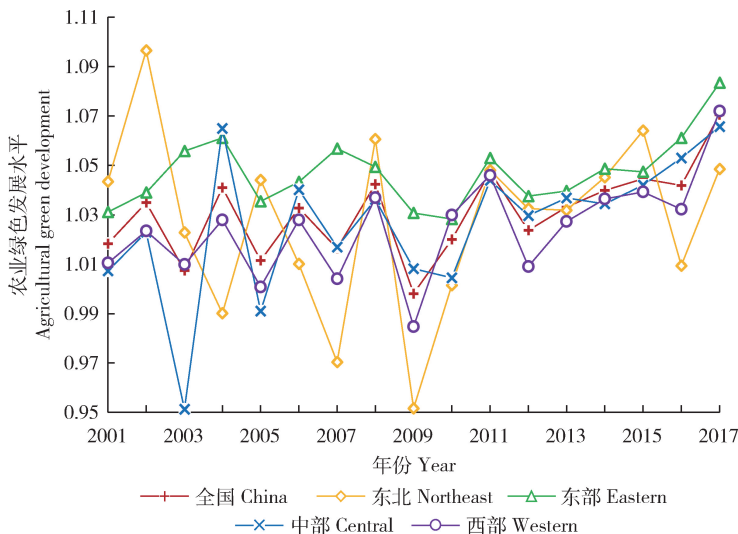
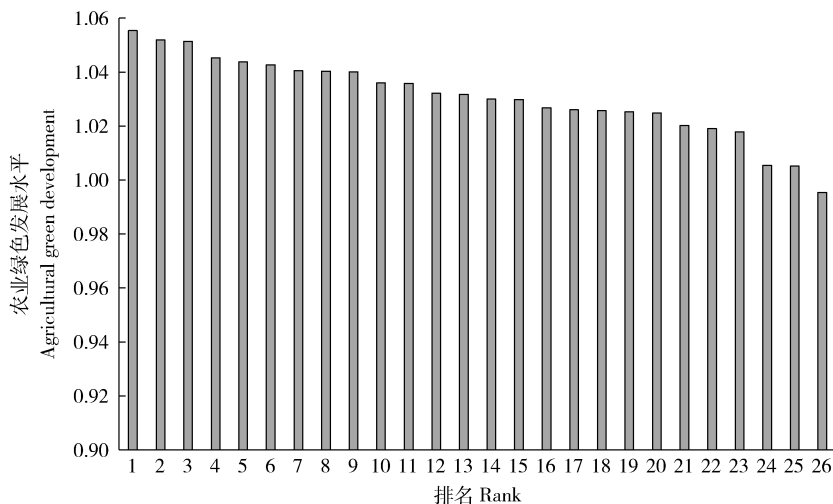


图2 全国及四大区域农业绿色发展水平变化趋势

Fig. 2 Agricultural green development changes in the country and four major regions



- 1.江苏 Jiangsu; 2.福建 Fujian; 3.广东 Guangdong; 4.青海 Qinghai; 5.宁夏 Ningxia; 6.浙江 Zhejiang;
- 7.陕西 Shaanxi; 8.山东 Shandong; 9.河北 Hebei; 10.甘肃 Gansu; 11.广西 Guangxi; 12.河南 Henan;
- 13.辽宁 Liaoning; 14.吉林 Jilin; 15.江西 Jiangxi; 16.四川 Sichuan; 17.湖北 Hubei; 18.湖南 Hunan;
- 19.山西 Shanxi; 20.贵州 Guizhou; 21.黑龙江 Heilongjiang; 22.云南 Yunnan; 23.安徽 Anhui;
- 24.内蒙古 Inner Mongolia; 25.新疆 Xinjiang; 26.西藏 Xizang

图3 各省份农业绿色发展水平排名

Fig. 3 Ranking of agricultural green development in each province

1.040 1~1.055 4,包括江苏、福建、广东等9个省份。这些省份农业绿色发展水平处于领先地位,在追求农业快速增长的同时,不断践行“绿色青山就是金山银山”的发展理念。二是追赶型,农业绿色发展水平介于1.025 7~1.036 0,主要有甘肃、广西、河南等9个省份。这一类型与领先型存在一定差距,有很大的上升空间。三是落后型,农业绿色发展水平介于0.995 4~1.025 3,包括山西、贵州、黑龙江等7个省份。这些省份农业绿色发展表现欠佳,落后于全国平均发展水平,如西藏仅为0.995 4,未来需要重视农业绿色发展理念,着力实现农业绿色转型。

农业绿色发展水平3种类型的区域分布见表2。辽宁和吉林位于农业绿色发展水平追赶型,黑龙江则处于落后型,与东北地区农业水平不匹配,这意味着东北地区农业绿色发展仍有较大的追赶空间。东部省份占据农业绿色发展水平领先型的“半壁江山”,占比高达66.67%。中部地区除山西和安徽属于落后型外,其余4个省份处于追赶型。西部地区分布较为分散,45.46%的省份属于落后型,广西、四川和甘肃属于追赶型,另外3个省份属于领先型。可见,农业绿色发展水平存在显著的区域不平衡问题,促进区域协调发展势在必行。

表2 农业绿色发展水平3种类型的区域分布

Table 2 Regional distribution of three types about agricultural green development

类型 Type	东北 Northeast	东部 Eastern	中部 Central	西部 Western
领先型 Leading type	—	河北、江苏、浙江、 福建、山东、广东	—	陕西、青海、宁夏
追赶型 Catch-up type	辽宁、吉林	—	江西、河南、湖北、湖南	广西、四川、甘肃
落后型 Backward type	黑龙江	—	山西、安徽	内蒙古、贵州、云南、 西藏、新疆

## 2.2 农业绿色发展水平的地区差异分析

在衡量农业绿色发展水平的基础上,本研究进一步运用Dagum基尼系数来探讨农业绿色发展水平地区差异的程度及其来源。

### 2.2.1 总体差异

全国及四大区域农业绿色发展水平的基尼系数见表3。考察期内农业绿色发展水平总体差异表现出上升趋势,基尼系数介于0.039 1~0.196 7,均值为0.132 3,这表明农业绿色发展不平衡问题依然严峻。具体来看,2001年农业绿色发展水平总体差异为0.039 1,2007年增长至0.112 9,2017年又持续上升到0.196 7,增长了4.03倍。如果以2005年和2010年为基期,农业绿色发展水平总体差异分别增长了1.18倍和0.28倍。农业发展正由投入粗放型模式向绿色发展模式转变,加之当前农业绿色技术推广体系尚不完善,使得缩小农业绿色发展水平地区差异任重道远。

### 2.2.2 区域内差异

从区域内部看,农业绿色发展水平的区域内差异比较明显,东部、西部、东北和中部差异程度逐渐

递减。其中,东部和西部区域内差异高于总体差异,基尼系数均值分别为0.144 5和0.136 4。可能的原因是,东部地区既有农业绿色发展水平处于领先地位的地级市,如南京市、无锡市、苏州市,也有湛江市、肇庆市、云浮市等农业绿色发展低水平的地级市,从而区域内部形成了较大的差异。西部地域辽阔,包含130个地级市,各地级市资源禀赋迥异,使得农业绿色发展水平地区差异扩大。东北和中部区域内差异较小,明显低于总体差异,基尼系数均值分别为0.085 2和0.069 9。从变化趋势看,四大区域农业绿色发展水平的地区差异呈波动上升趋势。东北地区差异上升相对较快,西部和中部居中,东北相对较慢,分别年均增长14.88%、8.88%、7.13%和6.78%。对比四大区域农业绿色发展水平的演变趋势可以发现,2001—2006年西部基尼系数领先于东部,2007—2017年东部“赶超”西部。2001—2002年东北基尼系数略高于中部,2003—2008年两者基本持平,2009—2017年中部明显高于东北。可见,农业绿色发展水平区域内差异整体上是逐步扩大的,短时间内很难填平绿色“鸿沟”。

表3 农业绿色发展水平总体与区域内差异

Table 3 Overall and regional differences of agricultural green development

年份 Year	总体 Overall	东北 Northeast	东部 Eastern	中部 Central	西部 Western
2001	0.039 1	0.037 6	0.024 4	0.031 1	0.051 1
2002	0.055 8	0.054 0	0.038 3	0.035 5	0.068 2
2003	0.070 7	0.061 5	0.044 8	0.064 0	0.070 4
2004	0.074 0	0.059 3	0.061 4	0.055 4	0.079 2
2005	0.090 1	0.059 7	0.076 4	0.063 1	0.097 4
2006	0.099 6	0.062 5	0.101 2	0.065 5	0.105 5
2007	0.112 9	0.063 9	0.119 9	0.070 8	0.116 6
2008	0.133 5	0.073 5	0.156 0	0.071 0	0.137 9
2009	0.142 3	0.093 4	0.168 6	0.072 8	0.139 2
2010	0.153 5	0.098 4	0.176 4	0.075 4	0.155 8
2011	0.164 4	0.102 1	0.187 6	0.077 7	0.171 7
2012	0.170 6	0.116 9	0.205 1	0.076 2	0.167 1
2013	0.183 0	0.109 6	0.236 9	0.079 2	0.172 1
2014	0.182 2	0.113 5	0.201 9	0.077 5	0.195 4
2015	0.187 7	0.126 1	0.216 3	0.087 2	0.190 9
2016	0.192 5	0.109 3	0.216 0	0.092 2	0.201 1
2017	0.196 7	0.107 3	0.224 8	0.093 6	0.199 4
均值 Mean	0.132 3	0.085 2	0.144 5	0.069 9	0.136 4

### 2.2.3 区域间差异

农业绿色发展水平区域间差异见表4。可知,农业绿色发展水平区域间差异呈波动上升态势。以东北—东部为例,农业绿色发展水平区域间差异呈快速上升趋势,基尼系数由2001年的0.032 3上升到2013年的0.208 6,2014年出现回落,2017年又上升到0.221 7。其他区域间农业绿色发展水平差异也表现出波动上升势头,只是上升拐点存在显著差异。从区域间差异增速看,东部—中部、东北—东部区域间差异上升较快,分别年均增长13.65%、12.79%,而东北—中部、东北—西部区域间差异上升较慢,分别年均增长6.40%、7.87%。

对比不同区域间差异可以发现,东部—西部农业绿色发展水平区域间差异最大,基尼系数均值为0.164 8。这可能是东部和西部在农业生产环境、经济发展等方面差异悬殊,使得农业绿色发展水平区域间差异不断扩大。东部地区地理位置优越、基础设施较为完善、科技水平高,为农业绿色发展提供了有利的支撑,而西部地区自然环境比较恶劣、经济发展水平较低,制约了农业绿色发展水平的提升。东北—中部农业绿色发展水平区域间差异最小,基尼系数均值为0.090 0。主要原因是,东北和中部2个地区农业绿色发展环境较为相似,地形平坦,土壤肥沃,均为中国重要的商品粮基地。

表 4 农业绿色发展水平区域间差异

Table 4 Inter-regional differences of agricultural green development

年份 Year	东北—东部 Northeast- Eastern	东北—中部 Northeast- Central	东部—中部 Eastern- Central	东北—西部 Northeast- Western	东部—西部 Eastern- Western	中部—西部 Central- Western
2001	0.032 3	0.038 1	0.029 1	0.047 2	0.039 4	0.041 6
2002	0.056 3	0.068 2	0.042 2	0.075 5	0.055 5	0.053 9
2003	0.058 4	0.099 7	0.080 3	0.079 5	0.064 0	0.074 8
2004	0.061 9	0.072 1	0.082 7	0.075 0	0.082 0	0.070 2
2005	0.069 0	0.091 5	0.103 8	0.089 3	0.100 1	0.086 0
2006	0.085 0	0.084 2	0.113 8	0.092 5	0.118 1	0.089 4
2007	0.107 2	0.076 5	0.134 3	0.094 7	0.139 8	0.098 0
2008	0.127 4	0.092 3	0.155 1	0.114 0	0.168 5	0.110 7
2009	0.155 8	0.090 4	0.168 0	0.118 9	0.183 0	0.112 1
2010	0.167 9	0.093 5	0.179 6	0.130 5	0.194 2	0.123 4
2011	0.175 7	0.096 1	0.187 6	0.140 8	0.209 0	0.133 3
2012	0.191 8	0.102 9	0.198 4	0.144 9	0.222 3	0.129 3
2013	0.208 6	0.099 9	0.217 3	0.144 5	0.243 3	0.132 9
2014	0.191 7	0.103 0	0.203 7	0.159 1	0.235 3	0.147 0
2015	0.200 4	0.115 3	0.212 9	0.162 8	0.242 0	0.147 6
2016	0.207 2	0.104 1	0.215 0	0.160 5	0.250 1	0.155 5
2017	0.221 7	0.102 6	0.225 6	0.158 7	0.255 5	0.155 6
均值 Mean	0.136 4	0.090 0	0.150 0	0.117 0	0.164 8	0.109 5

#### 2.2.4 地区差异来源及其贡献

农业绿色发展水平地区差异来源的贡献率变化趋势见图 4。整体看,2001—2017 年农业绿色发展水平地区差异主要来源于区域间差异,均值高达 41.05%。超变密度和区域内差异对农业绿色发展地区差异的贡献相对较小,均值分别为 31.84% 和 27.11%。从演变趋势来看,农业绿色发展水平地区差异来源发生了明显变化,大致可划分为两个阶段。第一个阶段为 2001—2002 年,超变密度对农业绿色发展水平地区差异的贡献最大,并呈显著下降趋势,下降了 9.69 个百分点,也就是说不同地区间的交叉重叠对农业绿色发展水平地区差异的影响较为明

显。区域内差异的贡献位居第二,呈略微下降趋势,由 2001 年的 30.10% 下滑至 2002 年的 28.10%。区域间差异的贡献最小,2002 年上升为 27.34%。第二个阶段为 2003—2017 年,区域间差异对农业绿色发展水平地区差异的贡献最大,表现出波动下降态势,由 2003 年的 46.50% 下降至 2017 年的 44.24%。超变密度与区域间差异的变动走势对称分布,呈波动上升趋势,上升了 1.22 个百分点。区域内差异的贡献较为稳定,介于 25.65%~27.33%。综上表明,促进农业绿色协调发展不仅要着力缩小区域间差异,还要注重地区间农业绿色发展的交叉重叠问题。



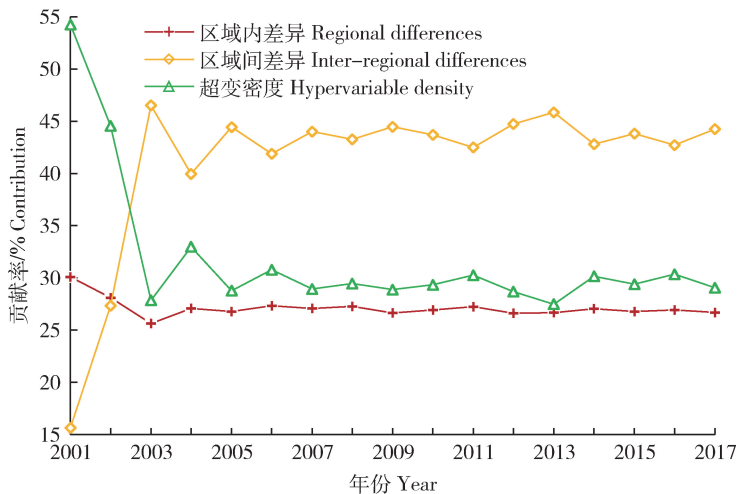


图4 农业绿色发展水平地区差异来源的贡献率变化趋势

Fig. 4 Contribution trend of regional differences about agricultural green development

### 2.3 农业绿色发展水平的收敛性分析

为进一步揭示农业绿色发展水平的收敛性规律,本研究运用新古典增长模型的 $\sigma$ 收敛和 $\beta$ 收敛对全国及四大区域农业绿色发展水平的收敛性进行实证检验。

#### 2.3.1 $\sigma$ 收敛分析

图5为全国及四大区域农业绿色发展水平的 $\sigma$ 收敛示意图。就全国层面而言,农业绿色发展水平的标准差随时间推移呈上升趋势,虽然个别年份标准差有所下降,但总体上发散趋势依旧明显。分区域看,东部地区农业绿色发展水平的标准差与全国

走势保持一致,呈波动上升趋势,增幅高达35.74倍,表明东部地区农业绿色发展水平的地区差异有扩大趋势, $\sigma$ 发散特征比较明显。东北和中部地区农业绿色发展水平地区差异也日渐扩大,标准差分别由2001年的0.078 3、0.058 9增长至2017年的0.309 4、0.290 5。西部地区农业绿色发展水平并不存在 $\sigma$ 收敛,2017年标准差扩大到0.653 3。总的来看, $\sigma$ 收敛与地区差异Dagum基尼系数的分析结果较为一致,说明全国及四大区域农业绿色发展水平的地区差异在逐渐扩大,并未呈现显著的 $\sigma$ 收敛特征。

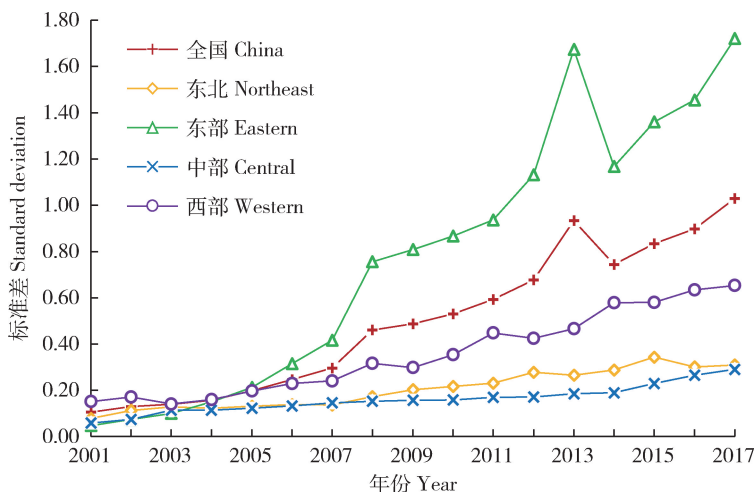


图5 全国及四大区域农业绿色发展水平的 $\sigma$ 收敛示意图

Fig. 5 Schematic diagram of  $\sigma$  convergence of agricultural green development in China and four major regions

#### 2.3.2 绝对 $\beta$ 收敛分析

全国地区农业绿色发展水平的绝对 $\beta$ 收敛系数

为正(表5),表明随着时间的推移,农业绿色发展水平未收敛于同一稳态水平,存在绝对 $\beta$ 发散趋势。

分区域来看,四大区域农业绿色发展水平的绝对 $\beta$ 收敛系数也均为正,说明考察期内农业绿色发展水平的地区差异在逐渐扩大,低水平地区很难向高水平地区靠拢。这可能与各地区人力资本、绿色技术应用等因素密切相关。一般而言,人力资本越高的

农业生产者往往具有更高的绿色生产意识,能够利用适宜的生产技术获得较高的农业产出,而人力资本较低的农业生产者不注重生产的可持续性,从而难以发挥农业绿色发展低水平地区对高水平地区的“追赶效应”。

表5 全国及四大区域农业绿色发展水平的绝对 $\beta$ 收敛检验结果

Table 5 Absolute  $\beta$  convergence test of agricultural green development in China and four major regions

参数 Parameter	全国 China	东北 Northeast	东部 Eastern	中部 Central	西部 Western
$\beta$	0.022 4 (0.016 8)	0.029 4 (0.022 6)	0.150 1*** (0.056 5)	0.008 2 (0.021 7)	-0.001 0 (0.015 1)
$\rho$	0.024 7*** (0.001 2)	0.015 8*** (0.003 4)	0.028 3*** (0.004 3)	0.023 1*** (0.001 4)	0.020 4*** (0.001 9)
$R^2$	0.013 8	0.045 3	0.149 2	0.001 6	0.000 0

注:\*\*\*、\*\*、\*分别表示1%、5%和10%水平显著;括号内为标准误差。表6同。

Note: \*\*\*, \*\* and \* represent significance statistics at the levels of 1%, 5% and 10%, respectively.

Standard errors are in the parenthesis. The same as Table 6.

### 2.3.3 条件 $\beta$ 收敛分析

全国及四大区域农业绿色发展水平的条件 $\beta$ 收敛检验结果见表6。可知,全国及四大区域条件 $\beta$ 收敛系数均在1%水平下显著为负,说明这些地区农业绿色发展水平存在显著的条件 $\beta$ 收敛特征,也意味着各地级市农业绿色发展朝着自身的稳态水平收敛。这是一种非常可喜的现象,虽然农业绿色发

展水平不存在绝对收敛,但是条件收敛的存在为促进地区差异的缩小创造了可能性。由于各地级市农业绿色发展的稳态水平并不相同,农业绿色发展水平的地区间不平衡现象才会一直存在,短时期内难以有效扭转。不过,未来可以通过加强技术创新、提高农业绿色补贴和增加人力资本投资等措施促进农业绿色发展水平地区差异的缩小。

表6 全国及四大区域农业绿色发展水平的条件 $\beta$ 收敛检验结果

Table 6 Conditional  $\beta$  convergence test of agricultural green development in China and four major regions

参数 Parameter	全国 China	东北 Northeast	东部 Eastern	中部 Central	西部 Western
$\beta$	-0.192 9*** (0.024 7)	-0.324 7*** (0.035 6)	-0.130 6*** (0.014 5)	-0.226 2*** (0.066 4)	-0.231 0*** (0.045 3)
$\rho$	0.037 8*** (0.004 7)	0.106 0*** (0.016 3)	0.042 2*** (0.006 8)	0.024 4*** (0.008 8)	0.025 5*** (0.007 6)
$R^2$	0.148 8	0.357 6	0.172 5	0.278 1	0.146 0

## 3 研究结论与启示

基于绿色全要素生产率视角,本研究采用SBM-Global-Super模型对2000—2017年330个地级市农业绿色发展水平进行核算,在此基础上运用

Dagum基尼系数揭示农业绿色发展水平地区差异的程度及其来源,并利用 $\sigma$ 收敛、 $\beta$ 收敛方法检验农业绿色发展水平的收敛性,得到以下研究结论:

1)农业绿色发展水平呈波动上升趋势,地区之间存在显著的差异。全国农业绿色发展向好,由

2001年的1.0183增长至2017年的1.0706。从四大区域看,东部地区处于绝对的“领头羊”地位,东北和中部地区发展居中,西部地区发展落后。根据农业绿色发展水平高低,将其划分为领先型、追赶型和落后型3种类型。东部地区均属于领先型,而其他地区分布则相对分散。

2)农业绿色发展水平地区差异表现出逐步扩大态势,区域间差异是地区差异产生的主要来源。农业绿色发展水平基尼系数介于0.0391~0.1967,均值为0.1323。东部、西部、东北和中部区域内差异程度逐渐递减,基尼系数均值分别为0.1445、0.1364、0.0852和0.0699。从区域间差异看,东部—西部区域间差异最大,东北—中部区域间差异最小。农业绿色发展水平地区差异主要来源于区域间差异,平均贡献率高达41.05%。

3)农业绿色发展水平并不存在明显的 $\sigma$ 收敛和绝对 $\beta$ 收敛特征,但存在显著的条件 $\beta$ 收敛趋势。全国及四大区域农业绿色发展水平的标准差在逐渐扩大,并未呈现显著的 $\sigma$ 收敛特征。全国及四大区域农业绿色发展水平的绝对 $\beta$ 收敛系数为正,表明农业绿色发展低水平地区很难向高水平地区靠拢。全国及四大区域条件 $\beta$ 收敛系数均在1%水平下显著为负,说明各地级市农业绿色发展朝着自身的稳态水平收敛。

根据上述研究结论,得出如下启示:

1)依据“绿色青山就是金山银山”发展理念,继续提升农业绿色发展水平。目前农业发展方式正处于转变的关键时期,农业绿色发展水平仍有上升空间。农业发展不能再以牺牲资源和环境为代价,而要从“量”到“质”转变,由单纯追求经济效益向经济和环境效益并重转变。各地区要牢固树立农业绿色发展理念,统筹化肥、农药等投入品的使用,提高水、土、肥等资源的利用效率,减少农业污染物排放。同时,需要依据农业绿色发展水平的阶段性特征,及时调整相关政策。

2)注重区域间的协调程度,缩小区域间农业绿色发展水平的地区差异。一方面,加强区域之间的交流与合作,积极推动农业绿色协调发展。农业绿色发展高水平地区在保持优势的同时,可以通过交流与合作机制,发挥其在农业绿色技术、环境污染治理等方面的模范示范效应,实现以强带弱从而促进农业绿色协同发展。另一方面,认清农业绿色发展低水平地区的短板,激发其增长潜能。通过农业绿

色技术推广、财政支持等措施政策重点提升落后地区农业绿色发展水平,进而缩小与发达地区农业绿色发展水平的差距。

3)积极探索农业绿色发展模式,发挥区域间农业绿色发展的“赶超效应”。四大区域应结合自身农业资源、气候条件、经济条件等因地制宜地探索农业绿色发展道路,为促进地区差异的缩小创造条件。对于东北地区而言,应加大对黑土地和水资源的保护,实现以规模化、专业化为导向的农业绿色发展模式。东部地区应发挥区位与科技优势,加强农业资源环境的修复。中部地区在巩固粮棉油生产基地的基础上,提高土地产出率,改善农业生态环境。西部地区要以农业资源的集约利用为重点,加快实现旱作节水农业发展。

## 参考文献 References

- [1] 于法稳. 新时代农业绿色发展动因、核心及对策研究[J]. 中国农村经济, 2018(5): 19-34  
Yu F W. An analysis of the reasons, core and countermeasures of agricultural green development in the new era[J]. *Chinese Rural Economy*, 2018(5): 19-34 (in Chinese)
- [2] 金书秦, 韩冬梅. 从“两山”理论到农业绿色发展[J]. 中国井冈山干部学院学报, 2020, 13(3): 18-24  
Jin S Q, Han D M. From the “two mountains” theory to the green development of agriculture [J]. *Journal of China Executive Leadership Academy Jinggangshan*, 2020, 13(3): 18-24 (in Chinese)
- [3] 涂正革, 甘天琦. 中国农业绿色发展的区域差异及动力研究[J]. 武汉大学学报: 哲学社会科学版, 2019, 72(3): 165-178  
Tu Z G, Gan T Q. Research on the regional difference and dynamic mechanism of agricultural green development in China [J]. *Wuhan University Journal: Philosophy & Social Science*, 2019, 72(3): 165-178 (in Chinese)
- [4] 尹成杰. 实施乡村振兴战略要坚持走绿色发展的路[J]. 农村工作通讯, 2018(2): 22-23  
Yin C J. Adhere to the road of green development to implement the strategy of rural revitalization [J]. *Newsletter About Work in Rural Areas*, 2018(2): 22-23 (in Chinese)
- [5] 孙炜琳, 王瑞波, 姜茜, 黄圣男. 农业绿色发展的内涵与评价研究[J]. 中国农业资源与区划, 2019, 40(4): 14-21  
Sun W L, Wang R B, Jiang Q, Huang S N. Study on connotation and evaluation of the agricultural green development [J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources*

- and Regional Planning*, 2019, 40(4): 14-21 (in Chinese)
- [6] 金书秦, 牛坤玉, 韩冬梅. 农业绿色发展路径及其“十四五”取向[J]. 改革, 2020(2): 30-39  
Jin S Q, Niu K Y, Han D M. The path of agricultural green development and its orientation in the 14th five-year plan period[J]. *Reform*, 2020(2): 30-39 (in Chinese)
- [7] 于法稳. 习近平绿色发展新思想与农业的绿色转型发展[J]. 中国农村观察, 2016(5): 2-9, 94  
Yu F W. New ideas of green development of xi jinning and green transformation of agriculture[J]. *China Rural Survey*, 2016(5): 2-9, 94 (in Chinese)
- [8] Ju X H, Xue Y H, Xi B, Jin T, Xu Z Y, Gao S B. Establishing an agro-ecological compensation mechanism to promote agricultural green development in China[J]. *Journal of Resources and Ecology*, 2018, 9(4): 426-433
- [9] 罗必良. 推进我国农业绿色转型发展的战略选择[J]. 农业经济与管理, 2017(6): 8-11  
Luo B L. Strategic choices for promoting agricultural green transformation development in China [J]. *Agricultural Economics and Management*, 2017(6): 8-11 (in Chinese)
- [10] 李学敏, 巩前文. 新中国成立以来农业绿色发展支持政策演变及优化进路[J]. 世界农业, 2020(4): 40-50, 59  
Li X M, Gong Q W. Evolution and optimization of agricultural green development support policy from 1949 to 2019 [J]. *World Agriculture*, 2020(4): 40-50, 59 (in Chinese)
- [11] 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 agriculture and its spatial convergence in China based on energy analytic approach [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2016, 26 (11): 150-159 (in Chinese)
- [12] 黄炎忠, 罗小锋, 李兆亮. 我国农业绿色生产水平的时空差异及影响因素[J]. 中国农业大学学报, 2017, 22(9): 183-190  
Huang Y Z, Luo X F, Li Z L. Analysis on spatial-temporal differences and influence factors of agricultural green production level in China[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2017, 22(9): 183-190 (in Chinese)
- [13] 魏琦, 张斌, 金书秦. 中国农业绿色发展指数构建及区域比较研究[J]. 农业经济问题, 2018, 39(11): 11-20  
Wei Q, Zhang B, Jin S Q. A study on construction and regional comparison of agricultural green development index in China[J]. *Issues in Agricultural Economy*, 2018, 39(11): 11-20 (in Chinese)
- [14] 赵会杰, 于法稳. 基于熵值法的粮食主产区农业绿色发展水平评价[J]. 改革, 2019(11): 136-146  
Zhao H J, Yu F W. Evaluation of agricultural green development level in main grain producing areas based on entropy method[J]. *Reform*, 2019(11): 136-146 (in Chinese)
- [15] 巩前文, 李学敏. 农业绿色发展指数构建与测度: 2005—2018年[J]. 改革, 2020(1): 133-145  
Gong Q W, Li X M. Construction and measurement of agricultural green development index: 2005-2018[J]. *Reform*, 2020(1): 133-145 (in Chinese)
- [16] 李谷成. 中国农业的绿色生产率革命: 1978—2008年[J]. 经济学(季刊), 2014, 13(2): 537-558  
Li G C. The green productivity revolution of agriculture in China from 1978 to 2008 [J]. *China Economic Quarterly*, 2014, 13(2): 537-558 (in Chinese)
- [17] 潘丹. 考虑资源环境因素的中国农业绿色生产率评价及其影响因素分析[J]. 中国科技论坛, 2014(11): 149-154  
Pan D. Evaluation and determinants of agricultural green productivity in China [J]. *Forum on China Science and Technology in China*, 2014(11): 149-154 (in Chinese)
- [18] 金赛美. 中国省际农业绿色发展水平及区域差异评价[J]. 求索, 2019(2): 89-95  
Jin S M. Agricultural green development level in China and evaluation of the provincial differences[J]. *Seeker*, 2019(2): 89-95 (in Chinese)
- [19] 张建杰, 崔石磊, 马林, 孟凡磊, 宋晨阳, 李雨濛, 马文奇. 中国农业绿色发展指标体系的构建与例证[J]. 中国生态农业学报:中英文, 2020, 28(8): 1113-1126  
Zhang J J, Cui S L, Ma L, Meng F L, Song C Y, Li Y M, Ma W Q. Construction of a green development index system for agriculture in China and examples[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2020, 28(8): 1113-1126 (in Chinese)
- [20] Liu Y F, Sun D S, Wang H J, Wang X J, Yu G Q, Zhao X J. An evaluation of China's agricultural green production: 1978-2017[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2020, 243: 118483
- [21] 王欢, 穆月英, 侯玲玲. 玉米生产环境成本及全要素生产率的时空研究[J]. 自然资源学报, 2017, 32(7): 1204-1216  
Wang H, Mu Y Y, Hou L L. Research on temporal and spatial evolutions of environmental cost and total factor productivity of maize production in China [J]. *Journal of Natural Resources*, 2017, 32(7): 1204-1216 (in Chinese)
- [22] 郭海红, 刘新民. 中国农业绿色全要素生产率时空演变[J]. 中国管理科学, 2020, 28(9): 66-75  
Guo H H, Liu X M. Time-space evolution of China's agricultural green total factor productivity[J]. *Chinese Journal*

- of Management Science*, 2020, 28(9): 66-75 (in Chinese)
- [23] 李欠男, 李谷成, 尹朝静. 农业绿色全要素生产率增长的分布动态演进[J]. 统计与信息论坛, 2020, 35(10): 119-128
- Li Q N, Li G C, Yin C J. Dynamic evolution of agricultural green total factor productivity growth [J]. *Statistics & Information Forum*, 2020, 35(10): 119-128 (in Chinese)
- [24] Tone K. A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis[J]. *European Journal of Operational Research*, 2001, 130(3): 498-509.
- [25] Tone K. A slacks-based measure of super-efficiency in data envelopment analysis[J]. *European Journal of Operational Research*, 2002, 143(1): 32-41
- [26] Oh D H. A global Malmquist-Luenberger productivity index [J]. *Journal of Productivity Analysis*, 2010, 34(3): 183-197
- [27] Dagum C. A new approach to the decomposition of the Gini income inequality ratio [J]. *Empirical Economics*, 1997, 22(4): 515-531
- [28] Miller S M, Upadhyay M P. Total factor productivity and the convergence hypothesis [J]. *Journal of Macroeconomics*, 2002, 24(2): 267-286
- [29] Gong B L. Agricultural productivity convergence in China[J]. *China Economic Review*, 2020, 60: 101423
- [30] 杜江. 中国农业增长的环境绩效研究[J]. 数量经济技术经济研究, 2014, 31(11): 53-69
- Du J. Study on the environmental performance of Chia's agricultural growth [J]. *The Journal of Quantitative & Technical Economics*, 2014, 31(11): 53-69 (in Chinese)
- [31] 李波, 张俊飏, 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, 21(8): 80-86
- Li B, Zhang J B, Li H P. Research on spatial-temporal characteristics and affecting factors decomposition of agricultural carbon emission in China [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2011, 21(8): 80-86 (in Chinese)
- [32] 葛鹏飞, 王颂吉, 黄秀路. 中国农业绿色全要素生产率测算[J]. 中国人口·资源与环境, 2018, 28(5): 66-74
- Ge P F, Wang S J, Huang X L. Measurement for China's agricultural green TFP [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2018, 28(5): 66-74 (in Chinese)

责任编辑: 刘迎春