

中国农业生态效率的省际差异和影响因素*

——基于 1996~2015 年 31 个省份的面板数据分析

王宝义¹ 张卫国²

摘要: 本文基于中国 1996~2015 年 31 个省份面板数据, 综合采用 DEA-Tobit 等多种模型和方法, 实证研究了中国农业生态效率的省际差异和影响因素。结果显示, 1996~2015 年, 中国农业生态效率总体呈现上升趋势, 同时存在一定的省际差异。基尼系数、对数离差均值、泰尔指数三个指标显示, 总体上农业生态效率的省际差异及差异变化程度相对不大。 σ 收敛检验结果显示, 全国及东部、中部、西部地区农业生态效率差异呈现一定的发散趋势。人均农业增加值与农业生态效率之间存在“正 U 型”库兹涅茨曲线关系。人均农业增加值、农业规模化水平、农业受灾率、农业机械密度、农民家庭经营收入比、财政支农水平、工业化水平、区位等均不同程度影响农业生态效率, 其中, 前两者呈现正向效应, 其余则主要呈现负向效应。

关键词: 农业生态效率 省际差异 影响因素 DEA-Tobit

中图分类号: F323.2 **文献标识码:** A

一、引言

改革开放以来, 得益于“制度红利”的释放, 石油农业得到了快速发展, 农业产出水平不断提高。与此同时, 石油农业过度发展带来的“逆生态化”的累积效应也日益显现, 突出表现在农业面源污染、土壤地力破坏、食品安全危机等方面。近年来, 伴随负面效应的加剧, 以及国内外可持续发展呼声的高涨, 促进农业生态化发展日益引起重视, 中国农业逐渐迎来本质功能回归及转型升级的关键时刻。农业生态化隶属产业生态化范畴, 是一种高质量的发展方式, 其目标是促进农业可持续发展, 重点是综合平衡农业投入、农业产出、生态影响三者的关系。衡量农业生态化发展水平的基本指标是农业生态效率。

生态效率 (eco-efficiency) 的概念最早由德国学者 Schaltegger and Sturm 于 1990 年提出, 意指增加的价值与增加的环境影响的比值 (尹科等, 2012), 农业生态效率是生态效率在农业领域的引申

*本文是国家社会科学基金重点项目“供给侧结构性改革背景下高效生态产业发展研究”(项目编号: 16AJY006) 的阶段性成果。本文作者衷心感谢匿名审稿人宝贵的修改意见, 同时文责自负。本文通讯作者为张卫国。

和拓展。目前,评价农业生态效率的方法主要有比值法、生命周期法、生态足迹法、能值分析法、随机前沿法(SFA)和数据包络分析法(DEA)等,这些方法各有优缺点(聂弯、于法稳,2017)。其中,SFA和DEA是分解前沿技术和技术效率最主要的两种方法,同时因DEA在处理多投入、多产出方面具有优势,且在评价时无需预设函数关系,很大程度上减少了研究的主观争议性,因而成为学者评价农业生态效率最常使用的方法,尤其适用于多投入、多产出的宏观评价。DEA最早由美国学者Charnel et al.(1978)提出,后经一系列扩展,至今形成几十种模型。该法近年来被广泛应用于各领域效率评价中。同时,由Tone于2001年构建的非径向、非角度的DEA-SBM模型,将松弛变量纳入目标函数,克服了传统模型中径向和角度带来的偏差,使得测量结果更为准确和科学,逐渐演变为农业生态效率评价的主流模型,被众多国内学者应用到中国农业生态效率评价中,取得了众多研究成果。

考察现有研究,学者在利用DEA模型评价农业生态效率时在非期望产出指标选择上存在较大差别。以农业面源污染为非期望产出指标的研究方面,潘丹、应瑞瑶(2013)测算了1998~2009年农业生态效率,发现中国农业生态效率虽呈现上升趋势但整体水平较低,同时资源过度消耗和污染过量排放是引起效率损失的主要原因;李谷成(2014)测算了1978~2008年农业生态效率^①,认为转型期农业生态效率增长明显,应从制度创新角度寻找农业生态效率革命的突破口。以农业碳排放为非期望产出的研究方面,刘应元等(2014)测算了2000~2010年农业生态效率,发现农业生态效率有较大提高,同时存在区域差异;田伟等(2014)测算了2002~2012年农业生态效率,发现东部地区农业生态效率总体较高,中部地区碳减排潜在能力较强。王宝义、张卫国(2016)同时以农业碳排放和农业污染为非期望产出指标测算了1993~2013年农业生态效率,发现中国农业生态效率总体呈现右偏的“正W型”结构。总体来看,现有相关研究因测算口径不同、指标体系和参数设定不同、侧重点存在差别等,所得出的结果也有所差异。同时,在测算农业生态效率的基础上还有部分学者对其影响因素进行了考察。田伟等(2014)分全国、东部、中部、西部4个模型检验了生产特征、技术条件、能源结构、社会结构四类指标共15个因素的影响;洪开荣等(2016)利用全国数据检验了农业机械密度、农业市场化程度等7个因素对农业生态效率的影响;潘丹(2014)利用30个省份的面板数据检验了畜牧业结构、城乡收入差距、财政支农政策等8类因素的影响。同时,潘丹(2014)、庞家幸(2016)、杜江等(2016)在测算效率的基础上还考察了农业经济发展与生态效率之间的“U型”曲线关系。

比较当前的研究成果发现,大多数学者基于广义农业对生态效率进行研究,其优点是测度面广,但缺点是投入产出的对应关系缺乏一定的精确性,同时污染指标的估测也相对复杂,某种程度上也会降低农业生态效率测算的精确性。也有部分学者对狭义的农业生态效率进行了测算,如王宝义、张卫国(2016),但在测算省级农业生态效率时分别采用横截面数据和时序数据,评价缺乏整体性。

^①李谷成在研究时采用的是农业绿色生产率的概念,但从其内涵来看与农业生态效率并无本质差别,为了叙述的统一性,本文用农业生态效率替代。在其他文献中也存在类似的情况,如农业生态绩效、农业环境效率等,不再一一说明。

在非期望产出指标的选择上,大多数学者是基于农业面源污染,部分学者是基于农业碳排放,而将两者结合的研究成果相对较少。鉴于中国农业生态效率研究现状,本文试图进行以下扩展:第一,以狭义农业为对象,将农业碳排放指标和采用熵值法处理的农业污染指数作为非期望产出指标,测算 31 个省份 1996~2015 年的农业生态效率;第二,利用基尼系数、对数离差均值、泰尔指数三个指标测度农业生态效率的省际差异,利用 σ 收敛检验全国及东部、中部、西部地区农业生态效率差异的敛散趋势;第三,采用面板 Tobit 模型,对农业生态效率的主要影响因素展开进一步的检验。本文剩余部分结构安排如下:第二部分介绍研究方法和指标数据选择;第三部分为农业生态效率的省际差异分析;第四部分为农业生态效率的影响因素分析;第五部分为结论及政策含义。

二、研究方法和指标数据选择

(一) 研究方法

1.SBM-Undesirable 模型。SBM-Undesirable 模型基本原理如下(参见 Tone, 2001; 潘丹、应瑞瑶, 2013; 田伟等, 2014; 王宝义、张卫国, 2016):

假设农业生产中共有 n 个决策单元(DMU),每一决策单元由一个投入向量和两个产出向量(包括期望产出和非期望产出)组成。定义三组向量分别为 $x \in R^m$, $y^e \in R^a$, $y^n \in R^b$, 其中, m 、 a 、 b 分别表示 m 类投入要素、 a 类期望产出和 b 类非期望产出。定义矩阵 X 、 Y^e 、 Y^n 分别为 $X = [x_1, \dots, x_n] \in R^{m \times n}$, $Y^e = [y^e_1, \dots, y^e_n] \in R^{a \times n}$, $Y^n = [y^n_1, \dots, y^n_n] \in R^{b \times n}$, 同时假定 X 、 Y^e 、 Y^n 均大于零。在不变规模报酬(CRS)下将生产可能集定义为: $P = \{(x, y^e, y^n) \mid x \geq X\lambda, y^e \leq Y^e\lambda, y^n \geq Y^n\lambda, \lambda \geq 0\}$, 则 SBM-Undesirable 模型为:

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho^* = \min \frac{1 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{D_i^-}{x_{i0}}}{1 + \frac{1}{a+b} \left(\sum_{r=1}^a \frac{D_r^e}{y_{r0}^e} + \sum_{h=1}^b \frac{D_h^n}{y_{h0}^n} \right)} \\ s.t. \ x_0 = X\lambda + D^-, y_0^e = Y^e\lambda - D^e, y_0^n = Y^n\lambda + D^n \\ D^- \geq 0, D^e \geq 0, D^n \geq 0, \lambda \geq 0 \end{array} \right. \quad (1)$$

(1) 式中, D^- 、 D^e 、 D^n 均为松弛变量,分别表示投入冗余、期望产出不足、非期望产出冗余; ρ^* 表示决策单元的生态效率,其值介于 0 到 1 之间,当 $\rho^*=1$,即 D^- 、 D^e 、 D^n 均为零时,决策单元完全有效率,反之则存在效率损失。

2.熵值法。利用 DEA 测算效率时,投入产出指标不宜过多,可以借助熵值法对相关指标进行处理。本文利用熵值法将多项农业污染指标综合为一项指数,以减少非期望产出指标,提高农业生态效率测算的准确度。熵值法是一种多指标综合评价的重要方法,它通过抽取各指标提供的原始信息,客观的为指标赋权。设 X_{ij} 为第 i 个决策单元第 j 项指标,利用熵值法计算综合指数的基本方法如

下（参见藏传琴、刘岩，2012；杨龙、胡晓珍，2010；王兆华等，2013）：

第一，对数据进行标准化处理。 $x_{ij} = \frac{X_{ij} - \min(X_j)}{\max(X_j) - \min(X_j)}$ ，其中， x_{ij} 表示第*i*个决策单元

第*j*项指标数据标准化值， $\max(X_j)$ 和 $\min(X_j)$ 分别表示第*j*项指标的最大值和最小值。

第二，确定指标权重。 $y_{ij} = x_{ij} / \sum_{i=1}^m x_{ij}$ ， y_{ij} 表示第*i*个决策单元第*j*项指标的权重，*m*表示决策单元数目。

第三，计算熵值和效用值。通过 $e_j = -\frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^m y_{ij} \ln y_{ij}$ 计算熵值，如果 $y_{ij} = 0$ ，定义 $\lim_{y_{ij} \rightarrow 0} y_{ij} \ln y_{ij} = 0$ ，以使标准化值为零时也有意义。通过 $f_j = 1 - e_j$ （其中， $0 \leq f_j \leq 1$ ）得到指标的效应值。

第四，计算综合指数。确定指标 x_j 的权重， $w_j = f_j / \sum_{j=1}^n f_j$ ，进而通过 $Z_i = \sum_{j=1}^n w_j y_{ij}$ 计算出农业污染排放的综合指数^①， Z_i 越大表示农业污染排放的影响也越强。

（二）指标数据选择

种植业是促进农业生态化发展的关键。本文将种植业作为研究对象，结合农业生态化发展的要求和现实，同时参考以往研究，拟定评价生态效率的投入产出指标及表征变量，具体情况见表1。

表1 评价农业生态效率的投入产出指标

一级指标	二级指标	变量及说明
投入指标	劳动力投入	农林牧渔业从业人员×（农业总产值/农林牧渔业总产值）（万人）
	土地投入	农作物总播种面积（千公顷）
	化肥投入	化肥施用量（折纯，万吨）
	农药投入	农药使用量（万吨）
	农膜投入	农膜使用量（万吨）
	农业机械动力投入	农业机械总动力（万千瓦）
	灌溉投入	有效灌溉面积（千公顷）

^①考察相关文献，利用熵值法求解综合指数，有学者用权重乘以相应指标的标准化值（ x_{ij} ）求和，也有学者用权重乘以标准化值的权重指标（ y_{ij} ）求和，本文采用后一种方法。

中国农业生态效率的省际差异及影响因素

	役畜投入	大牲畜年底头数 (万头)
期望产出指标	农业总产值	农业总产值 (亿元)
非期望产出指标	碳排放	化肥、农药、农膜、农用柴油、农业灌溉、农业播耕碳排放总和 (万吨)
	污染排放	化肥氮、磷流失量 (万吨), 农药无效利用量 (万吨), 农膜残留量 (万吨) 综合指数

根据农业生产实际, 结合已有研究, 本文选取八类投入指标, 这些指标基本能够表征农业投入的情况。①劳动力投入。本文用种植业劳动力投入量来表征。由于从现有统计资料中只能获得农林牧渔业劳动力数量, 参考已有文献的处理方法, 本文根据农业总产值占农林牧渔业总产值的比值进行分离。②土地投入。该指标可以用耕地面积或农作物总播种面积来表征, 但后者更精确的衡量了土地的实际利用率, 因此, 本文选用农作物总播种面积。③化肥投入。化肥包括氮、磷、钾和复合肥, 但化肥折纯量更具统一性, 因此, 本指标采用折纯后的化肥施用量来表征。④农药和农膜投入。农药种类繁多, 用途广泛, 在宏观评价中很难对其细化。参考以往研究, 农药投入采用农药使用量来表征, 农膜投入采用农膜使用量来表征。⑤农业机械动力投入。机械化是现代农业的重要特征。从统计资料中可以获得农业机械总动力数据。有个别学者采用农业总产值占农林牧渔业总产值的比重对其分离, 但鉴于农业机械主要用于种植业生产, 本文参考大部分学者的处理方式不做分离。⑥灌溉投入。本文采用有效灌溉面积来表征。⑦役畜投入。机械对役畜具有较强的替代作用。随着农业现代化的推进, 役畜的作用不断降低, 但在中国家庭承包 (经营) 制的小农经济模式下, 其作用也不容忽视。该指标采用大牲畜年底头数来表征。

农业期望产出指标用农业总产值来表征, 为消除物价因素的影响, 将数据调整为 2002 年不变价格产值。农业碳排放的来源主要包括: 使用农业化学制品、农业机械消耗化石燃料、农业灌溉消耗电能造成的间接排放、农业耕作造成的有机碳流失等。为此, 本文选取化肥、农药、农膜、农用柴油、农业灌溉、农业耕作六项指标估算农业碳排放量, 采取的方法是相应指标乘以排放系数。参考已有研究, 上述六类排放源的排放系数如下: 化肥 0.896 (千克/千克) (West and Marland, 2002)、农药 4.934 (千克/千克)、农膜 5.180 (千克/千克)、柴油 0.593 (千克/千克)、农业灌溉 20.476 (千克/公顷)、农业耕作 312.600 (千克/公顷) (李波等, 2011)。农业面源污染尤其表现在化肥、农药、农膜等农业化学制品过度使用、残留污染等方面, 因此, 本文采用化肥氮 (磷) 流失量、农药无效利用量、农膜残留量来表征污染水平。其中, 化肥氮流失量估算方法为复合肥含氮量与氮肥使用量总和乘以氮流失系数, 化肥磷流失量的估算方法为复合肥含磷量与磷肥使用量总和乘以磷流失系数; 农药无效利用量采用农药使用量减去有效利用量的方式逆向估算; 农膜残留量采用农膜使用量乘以残留系数的方式估算。相关系数主要借鉴相关文献, 同时参考第一次全国污染源普查所公布的农业源系数手册^①进行调整, 在估算过程中尽可能考虑地域差距的影响 (参见赖斯芸, 2003; 王玉梅等, 2009)。在核算农业污染排放指标的基础上, 本文采用熵值法将四类指标综合为一项污染指数来表征。

^①参见 http://cpssc.mep.gov.cn/gwgg/200910/t20091022_171802.htm。

考虑农业发展的现实情况、数据可得性等因素,本文选择的样本区间为1996~2015年。本文基础数据来源于《中国统计年鉴》^①《中国农村统计年鉴》^②《新中国六十年统计资料汇编》^③等,个别缺失数据根据时序数据趋势推测补充。因1997年重庆设立为直辖市,1996年重庆数据与四川省合并使用。

三、农业生态效率的省际差异分析

(一) 农业生态效率模型参数选择

考虑到不同限定条件会造成不同的测算结果,本文基于规模报酬可变性及期望产出总权重与非期望总权重设定两类限定条件进行综合测算对比分析,从中选定一类模型参数进行深入分析。

以DEA-SOLVER PRO为计算平台,基于不变规模报酬(CRS)、一般规模报酬(GRS)、可变规模报酬(VRS)三种情况,在设定期望产出总权重和非期望产出总权重均为1时,利用31个省份6820个数据,共620个决策单元,测算各决策单元的农业生态效率。按年份计算农业生态效率平均值,基本情况见图1。

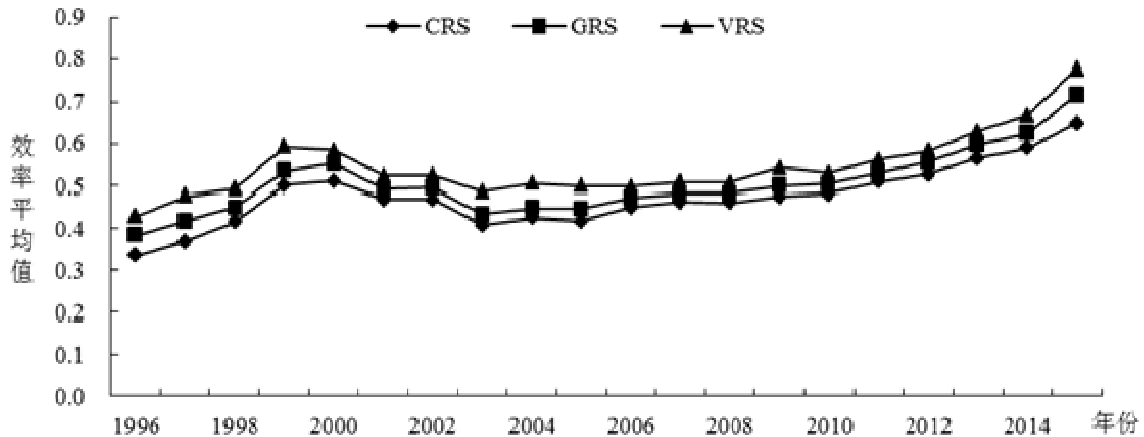


图1 1996~2015年各省份农业生态效率平均值趋势

从CRS到GRS再到VRS限定条件依次放宽。从分年份的农业生态效率平均值来看,三方面限定条件下农业生态效率平均值依次提高。总体来看,三者均展现出缓慢上升趋势,具体而言可分为三个阶段:1996~2000年上升、2001~2003年下降、2004~2015年上升趋势。同时,由图1还可以看出,虽然三方面限定条件下农业生态效率平均值演变趋势基本一致,但相比较而言,CRS和GRS下趋势的一致化程度相对更高。结合这一结果和农业发展现实综合衡量,本文选取GRS下的测算结果作为分析的基础。在GRS限定条件下,31个省份1996年农业生态效率平均值为0.385,

^①国家统计局(编):《中国统计年鉴》(1997~2016年,历年),北京:中国统计出版社。

^②国家统计局农村社会经济调查司(编):《中国农村统计年鉴》(1997~2016年,历年),北京:中国统计出版社。

^③国家统计局国民经济综合统计司(编),2010:《新中国六十年统计资料汇编》,北京:中国统计出版社。

2000 年达到 0.554，2003 年降至 0.434，继而呈现缓慢上升趋势，至 2015 年达到 0.717。

在农业生态效率测算过程中，期望产出总权重和非期望产出总权重的设定也很重要，因此，本文在选定以 GRS 为限定条件的基础上，分别设定期望产出总权重和非期望产出总权重均为 1；期望产出总权重为 0.6，非期望产出总权重为 0.4；期望产出总权重为 0.4，非期望产出总权重为 0.6，三类条件下的计算结果进行对比分析，具体见表 2。从三种结果来看，期望产出总权重较之于非期望产出总权重比值越高，农业生态效率平均值也相对越高。但总体来看，三种计算结果差别不大，所展现出的趋势也基本相同。本文选取 GRS 条件下设定期望产出总权重和非期望产出总权重均为 1 的计算结果为分析基础。

表 2 期望产出与非期望产出不同权重条件下农业生态效率对比

条件	平均值	标准差	最大值	最小值	效率单元	非效率单元	1996年	2000年	2003年	2015年
1 : 1	0.506	0.209	1	0.122	41	579	0.385	0.554	0.434	0.716
0.6 : 0.4	0.520	0.206	1	0.130	41	579	0.398	0.566	0.450	0.724
0.4 : 0.6	0.494	0.212	1	0.116	41	579	0.372	0.542	0.420	0.709

(二) 农业生态效率省际差异分析

1. 农业生态效率省际差异的描述性分析。本文对比 1996~2015 年期间及 1996~2003 年和 2004~2015 年期间各省份农业生态效率均值和排名情况（见表 3），以考察农业生态效率的省际差异。从 1996~2015 年各省份农业生态效率均值来看，31 个省份总体上可以划分为六个梯队：第一梯队包括海南、上海（0.8 以上）；第二梯队包括广东、浙江（0.7~0.8）；第三梯队包括江苏、福建、西藏、北京（0.6~0.7）；第四梯队包括陕西、贵州、天津、宁夏、重庆、广西（0.5~0.6）；第五梯队包括新疆、四川、湖北、河北、辽宁、青海、山东（0.4~0.5）；第六梯队包括黑龙江、河南、内蒙古、湖南、江西、云南、安徽、山西、吉林、甘肃（0.4 以下），六个梯队成员农业生态效率平均值分别为 0.880、0.755、0.655、0.542、0.443、0.343。同时根据不同梯队农业生态效率均值，第一第二梯队、第三第四梯队、第五第六梯队可以分别被视作高、中、低三个效率组别。表 4 列出了各梯队成员在东部、中部、西部三大区域的分布情况。总体来看，无论从经济发展水平，还是从农业生态效率衡量，东部地区均具有明显的优势；但仅从农业生态效率平均水平来看，西部地区总体上强于中部地区。虽然一些农业大省保持了较高的农业生态效率，但也有部分农业大省位列低效率之列，包括河南、黑龙江、吉林等。图 2 展示了农业生态效率平均值排名前五位省（市）的基本情况，可见五省（市）农业生态效率变化的总体趋势与图 1 中的总趋势呈现出一致的特征，但五省（市）间也存在差别。综合对比 1996~2003 年、2004~2015 年各省份农业生态效率均值发现，对于大部分省份而言，2004~2015 年效率均值大于 1996~2003 年均值，这基本迎合图 1 中总体均值上升的趋势特征，但也有部分省份与前者相反，包括江苏、西藏、贵州、天津、宁夏、江西、吉林等。

表 3 农业生态效率均值省份排名

省份	1996~2015年		1996~2003年		2004~2015年		省份	1996~2015年		1996~2003年		2004~2015年	
	排名	均值	排名	均值	排名	均值		排名	均值	排名	均值	排名	均值

中国农业生态效率的省际差异及影响因素

海南	1	0.903	1	0.890	2	0.911	湖北	17	0.446	23	0.350	13	0.510
上海	2	0.858	5	0.708	1	0.958	河北	18	0.435	25	0.331	15	0.504
广东	3	0.784	7	0.657	3	0.869	辽宁	19	0.430	17	0.404	20	0.446
浙江	4	0.734	6	0.678	4	0.772	青海	20	0.411	18	0.381	21	0.430
江苏	5	0.697	4	0.718	8	0.683	山东	21	0.400	28	0.286	17	0.476
福建	6	0.662	10	0.524	5	0.755	黑龙江	22	0.392	21	0.365	23	0.409
西藏	7	0.633	2	0.873	18	0.473	河南	23	0.382	24	0.346	24	0.406
北京	8	0.627	12	0.462	6	0.736	内蒙古	24	0.380	20	0.369	25	0.387
陕西	9	0.580	15	0.418	7	0.689	湖南	25	0.360	29	0.281	22	0.412
贵州	10	0.576	3	0.719	16	0.482	江西	26	0.339	22	0.355	29	0.328
天津	11	0.564	8	0.602	11	0.539	云南	27	0.335	26	0.328	28	0.339
宁夏	12	0.515	9	0.593	19	0.463	安徽	28	0.333	27	0.297	27	0.357
重庆	13	0.513	13	0.445	10	0.558	山西	29	0.330	31	0.254	26	0.381
广西	14	0.503	19	0.374	9	0.589	吉林	30	0.313	16	0.406	31	0.251
新疆	15	0.493	11	0.469	14	0.508	甘肃	31	0.277	30	0.269	30	0.282
四川	16	0.489	14	0.427	12	0.530	全国	—	0.506	—	0.470	—	0.530

表4 (农业生态效率)各梯队成员在三大区域分布情况

地区	高效率组		中效率组		低效率组	
	第一梯队	第二梯队	第三梯队	第四梯队	第五梯队	第六梯队
东部	海南、上海	广东、浙江	江苏、福建、北京	天津	河北、辽宁、山东	—
中部	—	—	—	—	湖北	黑龙江、河南、湖南、江西、安徽、山西、吉林
西部	—	—	西藏	陕西、贵州、宁夏、重庆、广西	新疆、四川、青海	内蒙古、云南、甘肃

注：东部中部西部地区的划分有不同的标准，本文采用国家统计局11：8：12的分类法。

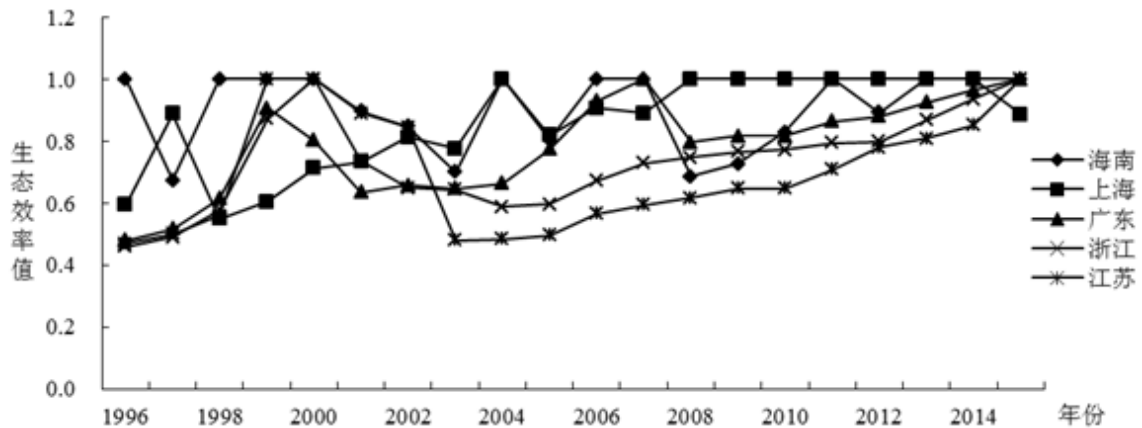


图2 1996~2015年前五位省(市)农业生态效率平均值变化趋势

2.农业生态效率差异测算分析。第一,农业生态效率省际差异三类指标分析。在衡量发展水平差异问题上,常用的方法包括基尼系数、广义熵指标(对数离差均值和泰尔指数)等。从以往研究来看,泰尔指数、基尼系数、对数离差均值分别对高、中、低三类水平变化敏感。鉴于三者的互补性,学者常用的研究思路是利用三类指标对比分析(例如李敬等,2008;赵锋,2013;王宝义,2016)。

基尼系数(GINI)由意大利经济学家基尼提出,后经众多学者改进,常被用于对收入差距的衡量,现被广泛应用于产业发展差异研究中,是衡量差异的最主流的方法之一。基尼系数的测算有多种方式,本文采用Mookherjee and Shorrocks(1982)提出的方法,基本计算公式如下:

$$GINI = \frac{1}{2n^2\mu} \sum |y_i - y_j| \quad (2)$$

(2)式中, n 表示省份个数, y_i 、 y_j 分别表示第*i*、第*j*省份的农业生态效率, μ 为农业生态效率均值。

对数离差均值(GE_0)和泰尔指数(GE_1)由荷兰经济学家泰尔提出,两者的基本计算公式如下:

$$GE_0(y) = \frac{1}{n} \sum_{i \in N} \ln \frac{\mu}{y_i} \quad (3)$$

$$GE_1(y) = \frac{1}{n} \sum_{i \in N} \frac{y_i}{\mu} \ln \frac{y_i}{\mu} \quad (4)$$

(3)式、(4)式中, n 为省份个数, μ 为农业生态效率均值, y_i 为第*i*个省份农业生态效率。本文利用基尼系数、对数离差均值和泰尔指数计算1996~2015年农业生态效率省际差异,结果见表5。三者所展现出的农业生态效率省际差异的时间演化趋势基本一致。总体来看,省际差异呈现不断缩小的趋势,这一趋势在1996~2003年期间尤为明显。1996年,3个指标值在总样本期内均达到最高,分别为0.237、0.092、0.096;2003年均为最低,分别为0.181、0.050、0.051。2004~2015年,省际差异有所波动但相对平衡,三者分别围绕0.190、0.060、0.060上下波动,2011年相对较高。由此可见,1996~2003年期间农业生态效率省际差异相对较大,而2004~2015年期间差异则相对较小,这一趋势从表5中相应期间各差异指标均值以及以相应期间各省份农业生态效率均值为基础的测算结果均可以看出。一般而言,基尼系数越大表示差异程度也越大,但基尼系数为多大表示差异达到了不合理的程度,现有研究并没有给出确切答案。基尼系数源于对收入差距的衡量,国际社会对基尼系数衡量收入差距给出了判断标准,其中,0.3以内表示平均程度较高。若参考这一标准,由表5可见,虽然样本期内农业生态效率呈现出一系列差异变化趋势,但省际差异总体上并不大。

表5 1996~2015年农业生态效率省际差异3个指标计算结果

年份	GINI	GE ₀	GE ₁	年份	GINI	GE ₀	GE ₁
1996	0.237	0.092	0.096	2009	0.188	0.055	0.057
1997	0.234	0.089	0.091	2010	0.197	0.061	0.062

中国农业生态效率的省际差异及影响因素

1998	0.235	0.090	0.091	2011	0.212	0.071	0.071
1999	0.226	0.081	0.085	2012	0.200	0.064	0.062
2000	0.231	0.084	0.087	2013	0.202	0.065	0.063
2001	0.199	0.063	0.066	2014	0.199	0.065	0.062
2002	0.191	0.057	0.060	2015	0.194	0.070	0.063
2003	0.181	0.050	0.051	均值 1	0.205	0.068	0.069
2004	0.196	0.062	0.068	均值 2	0.217	0.076	0.078
2005	0.182	0.052	0.054	均值 3	0.197	0.063	0.063
2006	0.197	0.062	0.067	均值 4	0.296	0.049	0.050
2007	0.208	0.069	0.073	均值 5	0.344	0.063	0.065
2008	0.189	0.056	0.058	均值 6	0.278	0.055	0.056

注：均值 1、均值 2、均值 3 分别指 1996~2015 年、1996~2003 年、2004~2015 年期间三个指标均值；均值 4、均值 5、均值 6 分别指以 1996~2015 年、1996~2003 年、2004~2015 年期间各省份农业生态效率均值为基础测算出的三个指标值。

本文以单个省份农业生态效率时序数据为基础，测算分析样本期内各省份农业生态效率时间变化差异问题。鉴于表 5 展现出三个指标的一致性趋势，在此仅以基尼系数为例进行测算分析，结果见表 6。表 6 按基尼系数由低到高对省份进行排序，可见各省份差异水平存在不同，基尼系数最小值为甘肃省（0.031），最大值为贵州省（0.216），但总体上看，样本期内各省份农业生态效率时间变化差异也不大。

表 6 1996~2015 年各省份农业生态效率时间差异

省份	GINI	省份	GINI	省份	GINI	省份	GINI
甘肃	0.031	上海	0.094	天津	0.120	山东	0.161
内蒙古	0.035	黑龙江	0.099	福建	0.133	河北	0.162
青海	0.047	河南	0.105	广西	0.138	山西	0.164
云南	0.049	宁夏	0.108	吉林	0.145	北京	0.172
海南	0.070	广东	0.110	江苏	0.148	陕西	0.179
江西	0.070	四川	0.115	湖北	0.157	西藏	0.188
辽宁	0.086	浙江	0.116	湖南	0.159	贵州	0.216
安徽	0.093	重庆	0.117	新疆	0.161	均值	0.121

第二，农业生态效率区域差异的敛散性检验。从农业生态效率的统计分析中，可以看出，中国农业生态效率存在一定的省际差异，基尼系数、对数离差均值和泰尔指数也说明差异呈现一定的变化趋势。对此，本文进一步通过 σ 收敛检验分析全国及东部、中部、西部地区农业生态效率区域差异的离散趋势。 σ 收敛检验的公式为（参见洪开荣等，2016）：

$$\sigma_t = \sqrt{n^{-1} \sum_{i=1}^n \left\{ E_i(\vartheta) - \left[n^{-1} \sum_{m=1}^n E_m(\vartheta) \right] \right\}^2} \quad (5)$$

(5) 式中, $E_i(t)$ 表示第 i 个省份在 t 时期的农业生态效率值, $E_m(t)$ 表示第 m 个省份在 t 时期的农业生态效率值, n 为所测算区域内的省份数量。 $\sigma_{t+1} < \sigma_t$, 表示农业生态效率区域差异呈收敛状态; 若对任意年份 $t < s$, 有 $\sigma_s < \sigma_t$, 则表示样本期间农业生态效率区域差异呈现一致性 σ 收敛。利用 (5) 式测算全国及东部、中部、西部地区农业生态效率区域差异的 σ 收敛指数, 结果见图 3。就全国范围而言, 存在以下几个敛散性阶段: 1996~2000 年, 农业生态效率差异呈现一致性发散趋势; 2001~2003 年, 呈现 σ 收敛; 2004~2007 年, 总体呈现发散趋势; 2008~2015 年, 总体呈现发散趋势。东部地区农业生态效率差异的敛散趋势与全国情况基本一致, 但在 2013~2015 年呈现 σ 收敛, 与全国情况存在较大差别。中部地区农业生态效率差异相对较小, 可以划分为 1996~2003 年总体收敛阶段和 2004~2015 年总体发散阶段, 其中, 1996~2003 年又可分为 1996~1997 年、1998~2000 年、2001~2003 年三个阶段, 2004~2015 年, 除 2006 年和 2008 年外均呈现发散趋势。西部地区农业生态效率差异可划分为以下几个阶段: 1996~2000 年为一致发散阶段; 2001~2004 年为一致收敛阶段; 2005~2015 年为总体发散阶段。

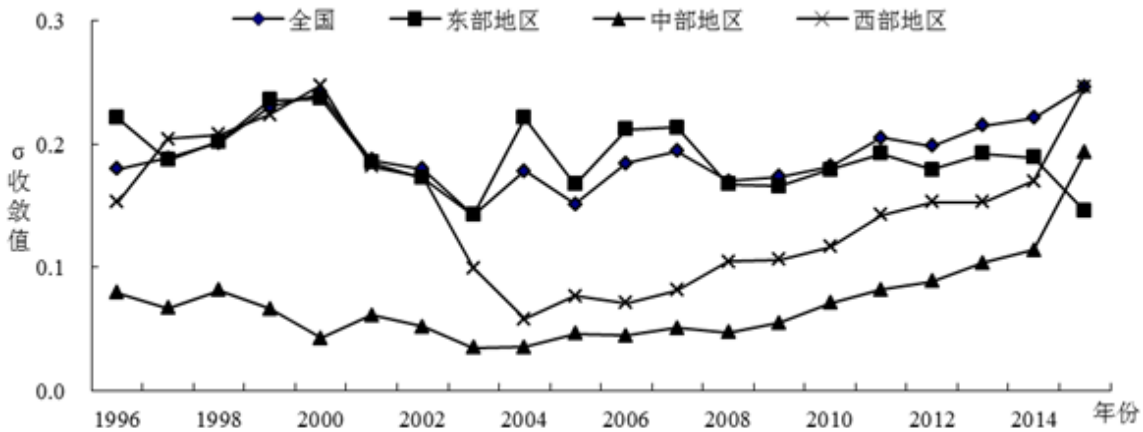


图 3 1996~2015 年农业生态效率区域差异敛散性趋势

四、农业生态效率的影响因素分析

(一) 变量选择及研究方法

1. 影响因素及变量选择。影响农业生态效率的因素有很多, 结合农业发展现实, 参考洪开荣等 (2016)、潘丹 (2014)、庞家幸 (2016)、韩海彬 (2013)、杜江等 (2016) 的研究, 本文选定九类主要影响因素进行考察 (见表 7)。

表 7 农业生态效率影响因素

影响因素	表征变量及单位	效应预判
人均农业增加值	农林牧渔业增加值/常住人口数 (元/人)	未知
农业受灾率	农作物受灾面积/农作物总播种面积 (%)	负向
农业机械密度	农业机械总动力/农作物总播种面积 (千瓦/公顷)	未知
农业人力资本	农民家庭劳动力平均受教育年限 (年)	正向

农业规模化水平	农村居民家庭经营耕地面积（亩/人）	未知
农民家庭经营收入比	农村居民家庭人均家庭经营纯收入/农村居民家庭人均纯收入（%）	负向
财政支农水平	地方财政农林水事务支出/地方财政一般预算支出（%）	负向
工业化水平	工业增加值/地区生产总值（%）	负向
区位因素	东部地区=1，中部地区=2，西部地区=3	未知

具体来说，包括以下影响因素：①人均农业增加值主要反映农业经济发展的基本情况。为缓解和消除数据的非平稳趋势，对其进行对数化处理；同时进一步引入其平方项，以考察人均农业增加值与农业生态效率之间是否存在“正U型”库兹涅茨曲线关系。人均农业增加值对农业生态效率在不同阶段可能存在不同影响，因此，效应预判未知。②农业受灾率越高，引起要素投入的损失也越大，理论上对农业生态效率存在负向效应。③农业机械密度反映农业机械化水平，农业机械化水平高，一方面能够提高生产效率，但另一方面又会增加石化资源的投入和非期望产出。所以，此类因素对农业生态效率的总体影响未知。④农业人力资本是促进农业生态化发展的重要条件，本文中用农民家庭劳动力平均受教育年限来表征^①。一般而言，受教育年限越高，劳动力素质也越高，也越有利于提升农业生态效率。⑤农业规模化水平不同，农民对农业生产过程的管理及选择的种植结构也会不同。小规模作业利于农业的精细化管理，但也可能制约规模经济作用的发挥，所以，此项因素对农业生态效率的影响未知。⑥农民家庭经营收入比，反映农业对农民收入的贡献程度，它对农业资源配置和技术效率会产生影响。农民家庭经营收入比越高，农民对农业生产的依赖性越强，生产中可能越倾向于石油农业生产模式。⑦财政支农水平高有利于提高农业的收益率，但同时中国财政支农很大程度上倾向于化肥、农药、农机等农业资源投入补贴，这又不利于农业生态效率的提高，总体预判，该因素对农业生态效率呈现负向效应。⑧工业化水平反映工业对农业生态效率的影响。工业化水平越高，石油农业发展程度可能也越高，所以，预判此项因素对农业生态效率呈现负向效应。⑨不同地区的农业生态效率不同，因此，模型中引入虚拟变量，以考察区位对农业生态效率的影响。

2.回归模型的建立。农业生态效率是介于0和1之间的具有非负截断特征的变量，对于这类受限因变量的估计，采用OLS法通常会得到有偏的估计结果，因此，面板Tobit模型成为最常用的模型。但在选用面板Tobit模型时，是采用固定效应模型还是随机效应模型更好，现有研究并未形成一致意见。对于面板数据而言，固定效应Tobit模型通常很难得到一致、无偏的估计量（陈强，2014），因此，本文选用随机效应面板Tobit模型进行估计。模型如下：

$$AEE_{it} = \beta_0 + \sum_j \beta_j X_{j,it} + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (6)$$

^①根据国家统计局相关统计数据，农村家庭劳动力平均受教育年限按照文盲或半文盲、小学、初中、高中、中专、大专以上六个层次进行核算，根据中国教育年限参考受教育年数分别为0年、6年、9年、12年、12年、15.5年（李谷成，2009）。需要说明的是《中国农村统计年鉴》中关于农村家庭劳动力平均受教育年限相关数据截止2012年就不再更新，为确保分析的完整性2013、2014、2015年数据根据前两年数据采用指数平滑法预测补充。

(6) 式中, AEE_{it} 表示农业生态效率, i 和 t 分别表示第 i 个省份和第 t 年, β_0 表示截距项, β_j 表示影响因素的待估系数, $X_{j,it}$ 表示影响因素, μ_i 为个体效应, ε_{it} 为随机误差项。

(二) 实证结果分析

1. 不同回归模型结果分析。为了更好的考察农业生态效率的影响因素, 本文选择 4 个模型进行对比分析 (见表 8)。4 个模型的 LR 检验结果均强烈拒绝 “ $H_0: \sigma_u=0$ ”, 意味着 4 个模型均显现出个体效应的存在; 同时, 4 个模型的 ρ 值均超过 0.5, 也说明选用随机效应面板 Tobit 模型较为恰当。

表 8 中国农业生态效率影响因素模型估计结果

变量	回归 (1)	回归 (2)	回归 (3)	回归 (4)
人均农业增加值 (对数)	-0.906*** (0.221)	—	0.060*** (0.020)	0.067*** (0.019)
人均农业增加值 (对数平方)	0.065*** (0.014)	—	—	—
农业受灾率	—	-0.093** (0.036)	-0.079** (0.036)	-0.077** (0.036)
农业机械密度	—	-0.018*** (0.004)	-0.018*** (0.004)	-0.018*** (0.003)
农业人力资本	—	0.013 (0.017)	0.011 (0.016)	—
农业规模化水平	—	0.003*** (0.000)	0.002** (0.000)	0.002*** (0.000)
农民家庭经营收入比	—	-0.500*** (0.085)	-0.459*** (0.091)	-0.463*** (0.075)
财政支农水平	—	-0.640*** (0.215)	-0.881*** (0.232)	-0.815*** (0.232)
工业化水平	—	—	-0.451*** (0.117)	-0.483*** (0.116)
区位因素	—	—	—	-0.063*** (0.027)
常数项	3.604*** (0.843)	0.829*** (0.173)	0.564*** (0.215)	0.739*** (0.159)
个体效应标准差	0.161*** (0.021)	0.148*** (0.020)	0.132*** (0.019)	0.119*** (0.016)
干扰项标准差	0.123*** (0.004)	0.113*** (0.003)	0.112*** (0.003)	0.112*** (0.003)
LR	474.160	446.630	361.820	333.800
ρ	0.631	0.631	0.581	0.531
对数似然值	365.833	416.974	425.829	428.167

注: *, **, ***分别表示在 10%、5%、1%的水平上显著, 括号内数字是各系数的标准误。

回归 (1) 主要检验了人均农业增加值与农业生态效率之间是否存在 “正 U 型” 库兹涅茨曲线关系, 结果显示, 两者之间存在 “正 U 型” 曲线关系。这一结果与一些学者 (如潘丹, 2014) 以农村居民人均纯收入等指标检验的结果一致。农业经济发展水平相对较低时, 对产出的追求更为迫切, 过度追求产出会使人们更倾向于采取粗放的发展模式; 而当农业经济发展到一定程度时, 一方面, 经济的支撑作用越来越强, 另一方面, 粗放发展模式对生态的负面影响也日益明显, 这些都促使人们向生态化发展方向努力, 进而促进农业生态效率的提高。

回归 (2) 主要检验了一些直接因素对农业生态效率的影响, 从结果来看, 农业人力资本未通过检验。农业人力资本对农业生态效率的影响是多方面的, 而人力资本的表征也存在不同的方式, 本文选用农民家庭劳动力平均受教育年限来表征人力资本, 回归结果未通过显著性检验, 这与指标的选择可能存在关系, 还需以后进一步探讨。其他因素中, 农业受灾率通过了 5%水平的显著性检验,

其余均通过了 1%水平的显著性检验，同时回归模型的 ρ 值也达到 0.631，说明采用 Tobit 模型是恰当的。农业受灾率、农业机械密度、农民家庭经营收入比、财政支农水平对农业生态效率呈现负向效应，农业规模化水平对其呈现正向效应。除表 7 所列的人均农业增加值、农业机械密度、农业规模化水平、区位因素四项效应预判的未知项外，其他因素回归结果与理论预判也一致。

回归 (3) 进一步扩充考察因素，其结果与回归 (2) 中所包含因素的估计结果基本一致，同时，人均农业增加值和工业化水平对农业生态效率的影响，前者为正，后者为负，与理论预判也基本一致。鉴于农业人力资本在回归 (2)、回归 (3) 中未通过显著性检验，在回归 (4) 中将其剔除。回归 (4) 重点考察了东部、中部、西部区位因素对农业生态效率的影响，结果显示区位因素对农业生态效率的影响通过了 5%水平的显著性检验。

2. 影响因素分析。本文以回归 (4) 的结果为基础做进一步分析。①人均农业增加值对农业生态效率具有正向效应。农业经济产出的增加，一方面利于期望产出的提高，另一方面又为农业生态化发展提供基础。②农业受灾率对农业生态效率具有负向效应。农业是与自然结合最为紧密的产业，具有天然弱质性特征，易受自然灾害的影响，农业受灾会降低期望产出，引起要素投入的损失，从而降低生态效率，受灾率越高，对生态效率的负面影响也越强。③农业机械密度对农业生态效率具有负向影响。农业机械密度反映农业机械化程度。机械化是石化农业的重要特征，机械化程度的提高，能够提高劳动生产率，节约劳动力成本，但石化资源的大量使用又会造成非期望产出的增加。农业机械化对农业生态效率的负面影响超过正面影响，总体上呈现负向效应。④农业规模化水平对农业生态效率存在正向效应。农业规模化水平会对农业种植结构、农业生产方式、农业规模经济作用的发挥等形成影响，对于农业生态效率的影响或正或负，但检验结果显示农业规模化水平对农业生态效率呈现正向效应。⑤农民家庭经营收入比对农业生态效率的负向效应显著。农民家庭经营收入比越高，越会增强人们对产出的追求，可能导致石化资源的大量投入和粗放使用。该变量在回归 (4) 中的系数为-0.463。⑥财政支农水平对农业生态效率的负向效应显著。中国财政支农很大程度上倾向于对化肥、农药、农机等石油农业要素补贴，对农业生态效率形成负向效应。该变量在回归 (4) 中的系数为-0.815，某种程度上意味着，倾向于鼓励石油农业模式发展的财政支农方式对农业生态效率的提高形成了较强的制约，促进农业生态化发展要重视财政支农结构和趋向的改革。⑦工业化水平对农业生态效率的负向效应显著。工业化与现代农业之间存在互动发展的规律。中国工业化的起步得益于农业的支撑，工业化又为农业发展创造了要素、技术、产品市场等条件。工业化发展尤其利于石油农业发展，伴随工业化的发展，石油农业的发展程度也日益加深，对农业生态效率形成了较强的负面影响，该变量在回归 (4) 中的系数为-0.483。⑧区位因素也影响农业生态效率。不同区位的地区，资源禀赋不同，农业发展和经营模式也存在差别，同时相互之间还可能产生空间集聚和溢出效应。

五、结论及政策含义

本文基于 1996~2015 年 31 个省份的面板数据，采用 SBM-Undesirable 模型，测算了 620 个决

策单元的农业生态效率，并研究了农业生态效率的省际差异及其影响因素，分别得到主要研究结论如下：

(1) 1996~2015年，中国农业生态效率总体呈现上升趋势。在 GRS 条件下，同时期望产出总权重和非期望产出总权重均设定为 1 时，31 个省份 1996 年农业生态效率平均值为 0.385，2000 年达到 0.554，2003 年降至 0.434，继而呈现缓慢上升趋势，2015 年达到 0.717。总体而言，中国农业生态效率还存在一定的改进空间。

(2) 中国农业生态效率存在明显的省际差异。从区域分布来看，高效率省份均分布于东部地区，中效率省份主要分布于西部和东部地区；基尼系数、对数离差均值和泰尔指数三个指标显示，样本期内农业生态效率省际差异及其变化趋势相对不大； σ 收敛检验结果显示，全国及东部、中部、西部地区 2004 年之前农业生态效率差异总体呈现收敛趋势，之后则呈现一定的发散趋势。

(3) 从中国农业生态效率影响因素的实证结果来看，人均农业增加值与农业生态效率之间存在“正 U 型”库兹涅茨曲线关系。农业经济水平、农业受灾率、农业机械密度、农业规模化水平、农民家庭经营收入比、财政支农水平、工业化水平、区位因素均不同程度的影响农业生态效率，其中，农业经济水平、农业规模化水平呈现正向效应，其余则主要呈现负向效应。

本文研究结论可为相关部门制定农业生态化发展战略提供参考。总体而言，一方面，各地区应结合自身情况，在借鉴吸收其他地区发展经验的基础上，制定差异化的发展战略，进一步提高农业生态效率水平，平衡好经济发展、资源支撑、环境保护三者的关系。另一方面，要结合农业生态效率的影响因素，改革现有的一些体制机制，为农业生态化发展提供基础，如改革石油农业倾向性的财政支农方式，财政支农结构向农业生态化发展方向倾斜，通过降低化肥、农药等农资补贴，提高环保型农资补贴，加强生态技术开发与推广，加强农业生态补偿等措施，引导农业向生态化的方向发展。

参考文献

- 1.陈强, 2014:《高级计量经济学及 Stata 应用(第二版)》,北京:高等教育出版社。
- 2.杜江、王锐、王新华, 2016:《环境全要素生产率与农业增长:基于 DEA-GML 指数与面板 Tobit 模型的两阶段分析》,《中国农村经济》第 3 期。
- 3.韩海彬, 2013:《中国农业环境技术效率及其影响因素分析》,《经济与管理研究》第 9 期。
- 4.洪开荣、陈诚、丰超、黄健柏, 2016:《农业生态效率的时空差异及影响因素》,《华南农业大学学报(社会科学版)》第 2 期。
- 5.赖斯芸, 2003:《非点源污染调查评估方法及其应用研究》,北京:清华大学硕士学位论文。
- 6.李波、张俊飏、李海鹏, 2011:《中国农业碳排放时空特征及影响因素分解》,《中国人口·资源与环境》第 8 期。
- 7.李谷成, 2009:《人力资本与中国区域农业全要素生产率增长——基于 DEA 视角的实证分析》,《财经研究》第 8 期。

- 8.李谷成, 2014:《中国农业的绿色生产率革命: 1978-2008》,《经济学(季刊)》第2期。
- 9.李敬、冉光和、孙晓铎, 2008:《中国区域金融发展差异的度量与变动趋势分析》,《当代财经》第3期。
- 10.刘应元、冯中朝、李鹏、丁玉梅, 2014:《中国生态农业绩效评价与区域差异》,《经济地理》第3期。
- 11.聂弯、于法稳, 2017:《农业生态效率研究进展分析》,《中国生态农业学报》第1期。
- 12.潘丹, 2014:《基于资源环境约束视角的中国农业绿色生产率测算及其影响因素解析》,《统计与信息论坛》第8期。
- 13.潘丹、应瑞瑶, 2013:《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》,《生态学报》第12期。
- 14.庞家幸, 2016:《中国农业生态效率研究》,兰州:兰州大学博士学位论文。
- 15.田伟、杨路嘉、姜静, 2014:《低碳视角下中国农业环境效率的测算与分析——基于非期望产出的SBM模型》,《中国农村观察》第5期。
- 16.王宝义, 2016:《中国快递业发展的区域差异及动态演化》,《中国流通经济》第2期。
- 17.王宝义、张卫国, 2016:《中国农业生态效率测度及时空差异研究》,《中国人口·资源与环境》第6期。
- 18.王玉梅、任丽军、霍太英、陈美君, 2009:《山东省化肥流失状况及其对水环境污染的影响》,《鲁东大学学报(自然科学版)》第3期。
- 19.王兆华、丰超、郝宇、康玉臣、刘营, 2013:《中国典型区域全要素能源效率变动走向及趋同性分析——以八大经济区域为例》,《北京理工大学学报(社会科学版)》第5期。
- 20.杨龙、胡晓珍, 2010:《基于DEA的中国绿色经济效率地区差异与收敛分析》,《经济学家》第2期。
- 21.尹科、王如松、周传斌、梁菁, 2012:《国内外生态效率核算方法及其应用研究述评》,《生态学报》第11期。
- 22.赵锋, 2013:《中国流通产业发展水平区域差异实证研究》,长沙:中南大学博士学位论文。
- 23.藏传琴、刘岩, 2012:《山东省全要素能源效率及其影响因素分析》,《中国人口·资源与环境》第8期。
- 24.Charnel, A., W. W. Cooper, and L. Rhodes, 1978, "Measuring the Efficiency of Decision Making Units", *European Journal of Operational Research*, 2(6): 429-444.
- 25.Mookherjee, D., and A. Shorrocks, 1982, "A Decomposition Analysis of the Trend in UK Income Inequality", *Economic Journal*, 92(368): 886-902.
- 26.Tone, K., 2001, "A Slacks-based Measure of Efficiency in Data Envelopment Analysis", *European Journal of Operational Research*, 130(3): 498-509.
- 27.West, T. O., and G. A. Marland, 2002, "Synthesis of Carbon Sequestration, Carbon Emissions and Net Carbon Flux in Agriculture: Comparing Tillage Practices in the United States", *Agriculture Ecosystems and Environment*, 91(1/3): 217-232.

(作者单位: ¹ 山东农业大学经济管理学院;
² 山东社会科学院经济研究所)
(责任编辑: 午言)

Cross-provincial Differences in Determinants of Agricultural Eco-efficiency in China: An Analysis Based on Panel Data from 31 Provinces in 1996-2015

Wang Baoyi Zhang Weiguo

Abstract: Based on the panel data from China's 31 provinces in 1996-2015, this article conducts an empirical study on cross-provincial differences in determinants of agricultural eco-efficiency in China, using various models and methods such as a DEA-Tobit model. The results show an increase in agricultural eco-efficiency in China and significant cross-provincial differences. There is a decrease in the level of efficiency from eastern to western and central China. The three indices of GINI, GE_0 and GE_1 show that cross-provincial differences and the degree of difference are relatively small, but the results of a sigma convergence test show a certain divergence trend. A "U" Kuznets pattern emerges for per capita added value of agriculture and agricultural eco-efficiency. At the same time, factors such as the level of agricultural economy, agricultural scale, agricultural disaster rate, density of agricultural machinery, degree of agricultural market, level of financial support for agriculture, level of industrialization and regional factors, exert some effects on agricultural eco-efficiency. The effects of the first two factors are found to be positive, while those of the other factors are found to be mainly negative. Moreover, three factors, namely, level of financial support for agriculture, degree of agricultural market and level of industrialization, have shown a relatively strong negative impact on agricultural eco-efficiency.

Key Words: Agricultural Eco-efficiency; Cross-provincial Difference; Determinant; DEA-Tobit