

# 农业产业结构变迁对绿色全要素生产率增长的空间效应分析

金芳<sup>1</sup>,金荣学<sup>2</sup>

(1.中南财经政法大学工商管理学院,湖北武汉 430073;

2.中南财经政法大学财政税务学院,湖北武汉 430073)



**摘要** 本文利用 1997—2016 年中国大陆 31 省区面板数据,在较为全面地测度农业绿色生产率的基础上,借助空间杜宾模型,从农业产业结构合理化和高级化两个维度考察农业产业结构对农业绿色生产率的直接影响与间接溢出效应。结果发现,1998—2016 年中国农业绿色生产率不断提高,其增长主要由技术进步驱动;东、中部省区农业绿色生产率整体水平较高,东北三省次之,而西部省区最低。省份间农业绿色生产率具有较强的空间依赖性,农业产业结构是影响农业绿色生产率增长的重要因素,一地区农业绿色生产率不仅受到本地农业产业结构合理化与高级化的直接影响,还受到邻近地区农业产业结构高级化的间接溢出。因此,新时期更应重视农业产业结构的合理调整与优化升级在农业绿色生产率增长中的重要作用,进而提升农业整体发展质量。

**关键词** 农业产业结构;数据包络分析;农业绿色生产率;空间杜宾模型

**中图分类号:**F 323.22 **文献标识码:**A **文章编号:**1008-3456(2020)01-0124-11

**DOI 编码:**10.13300/j.cnki.hnwkxb.2020.01.015

历经改革开放 40 余年发展,中国农业实现了跨越式发展,农业综合生产能力与各项产品供给保障能力增强,突出体现在粮食产量由 1978 年的 30 476.5 万吨增至 2019 年 66 384 万吨<sup>①</sup>等方面。然而,在中国农业实现巨大成就的同时,也为此付出了较大的环境代价,这主要表现在农业面源污染的加剧、农业温室气体的激增等<sup>[1-2]</sup>。随着生态文明建设时代的到来,农业的发展不仅关注增长方面,而更加追求增长基础上的资源节约型与环境友好型可持续发展。相应地,提高资源环境约束下的全要素生产率成为农业高质量发展的主要诉求之一。

农业全要素生产率一直是诸多学者研究的热点话题。随着资源环境问题日益凸显,学术界也对农业绿色生产率给予越来越多的关注。根据考虑的环境要素的不同,可将农业绿色生产率的研究分为两个维度,其一为考虑面源污染的农业绿色生产率,其二为考虑碳排放<sup>②</sup>的农业绿色生产率。无论对上述何种农业绿色生产率而言,不考虑环境污染或碳排放均会高估农业全要素生产率,甚至会高估一倍<sup>[3-6]</sup>。而在当前阶段下,农业绿色生产率的增长主要得益于技术进步<sup>[7]</sup>,但随着经济的不断发展,农业绿色生产率却在不断下降,且地区间、省份间的差异会长期存在,并没有趋同的迹象,农业绿色生产率高值区主要集中在东部地区,低值区仍主要分布于中西部省区<sup>[8-10]</sup>。那么,到底是何种因素导致中国农业绿色生产率存在较大的差异性?通常认为,推动农业绿色生产率增长及其差异的主要因素为农村人力资本或农村基础教育、农业公共投资、农业对外贸易、工业化与城镇化、农业产业结构

收稿日期:2019-07-25

基金项目:教育部哲学社会科学研究重大课题攻关项目“政府债务预算管理与绩效评价研究”(15JZD024)。

作者简介:金芳(1992-),女,博士研究生;研究方向:农业绿色生产率。

通讯作者:金荣学(1973-),男,教授,博士;研究方向:政府预算管理、绩效评价与政府债务研究。

① 数据来源于国家统计局,其中农业总产值按当年价计算。

② 此处的碳排放为农业温室气体的统称,包括甲烷、氧化亚氮和二氧化碳等。

等<sup>[1,11-12]</sup>。

实际上,随着中国农业发展的资源环境约束与消费结构升级压力加大,农业面临的主要矛盾也已从“总量不足”转变为“结构性矛盾”<sup>[13-14]</sup>。在此境况下,农业产业结构优化与升级显得尤为迫切与重要。然而,学术界对农业产业结构与农业绿色生产率增长的影响却关注不足,这为本文探讨二者之间的关系提供了可能与必要性。鉴于此,本文将在全面核算 1997—2016 年中国省域农业碳排放的基础上,测度农业绿色生产率,并借助空间杜宾模型,从农业产业结构合理化和高级化两个维度考察农业产业结构对农业绿色生产率增长直接影响与间接溢出效应。

本文可能的扩展之处在于:首先,较仅从农用物资投入或农用能源等方面考虑农业(狭义)碳排放的研究有所不同,本文将水稻生产过程中产生的甲烷气体考虑进来,以更为全面客观地测度种植业碳排放量。其次,较以往以单一指标衡量农业产业结构的研究有所不同,将从农业产业合理化和高级化两个维度,更为全面客观地考察农业产业结构对农业绿色生产率增长的影响。最后,与以往仅关注本地区农业产业结构与绿色生产率关系的研究不同,本文将空间地理因素纳入,关注邻省间可能存在的空间关联与溢出效应,并探寻空间地理因素在农业绿色生产率增长中的重要作用。

## 一、农业产业结构对农业绿色生产率的影响机理分析

农业绿色全要素生产率(下文称“农业绿色生产率”)通常可理解为加入环境要素后计算得到的农业全要素生产率,其中环境要素主要为农业面源污染或农业碳排放等非合意产出<sup>[1,15]</sup>。农业产业结构是影响农业绿色生产率增长的重要因素之一。理论上讲,农业产业结构对农业绿色生产率增长的影响机理主要体现在以下方面:

首先,农业产业结构通过要素流动影响农业绿色生产率增长。诸如劳动、资本等要素在产业的流动均遵循从低效率或低收益部门到高效率或高收益部门的规律,而农业内部不同细分部门(如种植业、畜牧业、林业、渔业)比例的变化,往往意味着要素的流动与重新配置,这在很大程度上会推动农业绿色生产率的提高。农业产业结构的调整,往往带来的是其产业内部不同细分部门、企业之间产品结构的剧烈转换、生产要素投入结构的变化,这均会影响农业碳排放等非合意产出,进而引起农业绿色全要素生产率的变化<sup>[16-17]</sup>。由于农业是以动植物为生产对象的产业,不仅水稻等作物生产过程中会产生温室气体,而以化肥农药为代表的投入增产方式,以及由劳动力转移带来的对农业机械的高度依赖,尽管在一定程度带来生产效率的改善,但必然导致化石能源消耗与农业碳排放量的增加,使得农业绿色生产率处于不断恶化的境地<sup>[18]</sup>。

其次,农业产业结构通过改变技术效率进而影响农业绿色生产率增长。在农业产业结构调整特别是结构升级过程中,那些产品附加值高且技术密集的部门或产品将会占据有利地位,并带领其他细分部门技术进步,进而提高农业绿色生产率,即农业技术的溢出与扩散效应。在实现节能减排的过程中,对于由农用物质(如化肥、农药、灌溉等)所引发的农业碳排放问题,调整农业产业结构可谓是最优选择<sup>[19]</sup>。其主要原因在于,农业细分产业比例的变动,会引发技术诱导效应,而得益于细分产业间的技术外溢与扩散,将推动农业产业结构的优化与升级以及碳排放的缩减,并带动农业整个行业绿色生产率的提高。此外,农业部门投入品产业的技术进步也有利于农业绿色生产率的改善。

再次,农业产业结构通过影响农业分工程度进而影响农业绿色生产率的改善。农业生产结构比例的变化与细化,在很大程度上意味着分工的实现与生产效率的提高。与工业等部门相比,农业的可细分程度相对较低,但随着社会的发展和技术的进步,农业生产精细化和生产设备专业化的趋势愈加明显,同时伴随新产业的产生和新一轮技术的更替,推动节能减排,从而实现农业生产率的提高<sup>[20]</sup>。

最后,无论农业产业结构是通过何种途径影响农业绿色生产率,均是在一定的空间互动背景下展开的,且具有较强的空间溢出效应。理论上讲,农业产业结构调整对农业绿色生产率产生的空间传导效应是多方面的,其中,自然与资源禀赋、政府产业政策、农业技术扩散与外溢是尤为关键的因素<sup>[21]</sup>。

而在农业产业结构调整的过程中,依赖于良好的技术创新与技术扩散等“高级资源”,以及专业化分工与协作,农业产业地理地位上的邻近与产业之间的紧密关联,易形成农业的集聚效应,并使邻近地区的农业产业网络联系效应增强<sup>[22]</sup>。而对自然资源依赖程度较高的农业而言,由此产生的后果是,一地区农业产业结构发生变化,不仅会引起本地区农业绿色全要素生产率的变化,而且其与邻近地区在农业产业内部所形成的竞合互动关系也会发生变化<sup>[23]</sup>,进而邻近地区的农业绿色生产率也会随之变化。

## 二、研究方法 with 数据来源

### 1. 研究方法

(1) 农业绿色生产率估算模型。在绿色全要素生产率的估算方面,基于非径向的 SBM 方向距离函数和 GML 指数不失为较优的选择。本文以中国大陆 31 省区作为全部决策单元(DMU),试图构建一个囊括合意产出和非合意产出的生产前沿面模型。假设每个省区在农业生产过程中使用  $m$  种投入要素  $x(x \in R_+^m)$ ,产生  $n$  种合意产出  $y(y \in R_+^n)$  以及非合意产出  $b$ (农业碳排放)。

那么,由有界封闭性、投入与合意产出的强可处置性、合意产出与非合意产出间的弱可处置性和零结合性可得,生产可能性集  $P$  为:

$$P(x) = \{(x, y, b) : x \text{ 生产 } (y, b)\} \quad (1)$$

进一步,规模报酬不变条件下,假设时期为  $t(1, 2, \dots, T)$ ,有  $k$  个生产单位,投入产出向量为  $(x_k^t, y_k^t, b_k^t)$ ,则全局生产可能性集可表达为:

$$P(x) = \left[ \begin{array}{l} (x^t, y^t, b^t) : \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K Z_k y_{kn}^t \geq y_n^t \\ \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K Z_k b_k^t = b^t \\ \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K Z_k x_{km}^t \leq x_m^t \end{array} \right] \quad (2)$$

式(2)中,  $Z_k$  为密度变量,表示第  $k$  个生产单位在构建环境生产技术时的权重。

为避免径向 DEA 对效率估计的偏误问题,同时考虑投入减少与产出增加等,借鉴 Tone<sup>[24]</sup>的做法,构建生产单位  $k^*$  在  $t$  期的非径向非角度 SBM 方向距离函数模型。具体形式可表达如下:

$$\begin{aligned} \vec{D}_0^G(x_{k^*}^t, y_{k^*}^t, b_{k^*}^t) &= \min \frac{1 - \left[ \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M s_m^x / k_{k^*}^m \right]}{1 + \left[ \frac{1}{N+1} \left( \sum_{n=1}^N s_n^y / y_{k^*}^n + \sum_{i=1}^I s_i^b / b_{k^*}^i \right) \right]} \\ x_{k^*}^m &= \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K z_k^t x_{km}^t + s_m^x \quad (m = 1, 2, \dots, M) \\ y_{k^*}^n &= \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K z_k^t y_{kn}^t + s_n^y \quad (n = 1, 2, \dots, N) \\ b_{k^*}^i &= \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K z_k^t b_{ki}^t + s_i^b \quad (i = 1, 2, \dots, I) \end{aligned} \quad (3)$$

式(3)中,  $\vec{D}_0^G$  为要素投入和产出与生产前沿面的平均距离,反映投入与产出的无效率程度;  $s_m^x$ 、 $s_n^y$ 、 $s_i^b$  依次为投入要素  $x$ 、合意产出  $y$  和非合意产出  $b$  的松弛变量,取值均大于等于 0。当其大于 0 时,说明生产单位存在效率损失;特殊地,当  $s_m^x = s_n^y = s_i^b = 0$  时,说明生产单位处于完全有效状态,无投入冗余或产出不足现象。

在此基础上,农业绿色生产率指数可表达为:

$$\begin{aligned}
 M_{TFP,t}^{t+1} &= \frac{1 + \vec{D}_0^G(x^t, y^t, b^t; y^t, b^t)}{1 + \vec{D}_0^G(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1}; y^{t+1}, b^{t+1})} \\
 M_{TFP,t}^{t+1} &= S_{TP,t}^{t+1} \times S_{TE,t}^{t+1} \\
 S_{TP,t}^{t+1} &= \frac{1 + \vec{D}'_0(x^t, y^t, b^t; y^t, b^t)}{1 + \vec{D}_0^G(x^t, y^t, b^t; y^t, b^t)} \times \\
 &\frac{1 + \vec{D}t + 1_0(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1}; y^{t+1}, b^{t+1})}{1 + \vec{D}_0^G(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1}; y^{t+1}, b^{t+1})} \\
 S_{TE,t}^{t+1} &= \frac{1 + \vec{D}_0^G(x^t, y^t, b^t; y^t, b^t)}{1 + \vec{D}t + 1_0(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1}; y^{t+1}, b^{t+1})}
 \end{aligned} \tag{4}$$

式(4)中,  $M_{TFP,t}^{t+1}$  为农业绿色全要素生产率,其可分解为农业绿色技术进步指数( $S_{TP,t}^{t+1}$ )和农业绿色技术效率指数( $S_{TE,t}^{t+1}$ )。当  $M_{TFP,t}^{t+1}$ 、 $S_{TP,t}^{t+1}$ 、 $S_{TE,t}^{t+1}$  大于 1 时,说明农业绿色全要素生产率、技术进步指数、技术效率在不断改善;反之,它们则在逐渐恶化。

(2)农业产业结构高级化( $ts$ )测度方法。本文考察的是农业产业结构变迁对绿色生产率的影响,农业产业结构高级化作为农业产业结构变迁的重要方面,对其科学测度十分必要。熵值法能够根据各指标内部自身的变化情况进行权重的计算,避免人为对各指标赋权过于主观等弊端,故而采用熵值法对其进行处理<sup>[25]</sup>。

本文将省区作为决策单元,农业产业结构高级化的不同维度作为待评指标。如果存在  $I$  个决策单元、 $J$  项待评指标。那么,对于  $i$  省区第  $j$  个指标的原始数值  $e_{ij}$  ( $i=1, \dots, I; j=1, \dots, J$ ) 而言,其熵值法的主要步骤如下:

- ①对原始数据  $e_{ij}$  进行标准化处理:  $e'_{ij} = (e_{ij} - \bar{e}_j) / s_j$ 。其中,  $\bar{e}_j$  和  $s_j$  分别为待评指标  $j$  的均值与标准差;
- ②对标准化后数值  $e'_{ij}$  进行线性变化,即  $z_{ij} = ae'_{ij} + b$  ( $a=10, b=60$ ), 以保证其非负取值;
- ③计算  $i$  省区第  $j$  项待评指标的比重  $p_{ij}$ , 即  $p_{ij} = z_{ij} / \sum_{i=1}^I z_{ij}$ ;
- ④计算待评指标  $j$  的熵值  $s_j$ , 即  $s_j = k \sum_{i=1}^I p_{ij} \ln p_{ij}$ ,  $k=1/\ln(I)$ ;
- ⑤计算待评指标  $j$  的差异性系数  $c_j$ , 即  $c_j = 1 - s_j$ ;
- ⑥计算待评指标  $j$  的权重  $w_j$  与省份  $i$  的最终得分  $f_i$ , 即  $w_j = c_j / \sum_{j=1}^J c_j$ ,  $f_i = \sum_{j=1}^J w_j p_{ij}$ 。

(3)农业产业结构影响绿色生产率增长的模型。空间面板模型将空间地理因素纳入模型中,考虑了空间的异质性与关联性,故而更贴近现实,在分析经济问题时相对传统模型更具解释力。一般地,空间滞后模型(SLM)和空间误差模型(SEM)是较为常用的空间面板模型,而空间杜宾模型(SDM)作为这两个模型的一般形式,在运用中常被忽视。实际上,空间杜宾模型不仅囊括因变量的空间滞后项,还包括自变量的空间滞后项,其更加适合分析特定经济事物的空间效应,如直接效应、间接效应与总效应<sup>[26]</sup>。本文试图构建包含农业产业结构高级化和合理化在内的空间杜宾模型,以此反映农业产业结构变迁对绿色全要素生产率增长的影响。

通常,空间杜宾模型可表达为:

$$Y_{it} = \rho \sum_{j=1}^n W_{ij} Y_{jt} + \alpha_i X_{it} + \beta \sum_{j=1}^n W_{ij} X_{jt} + u_i + \lambda_t + \epsilon_{it} \tag{5}$$

式(5)中,  $Y_{it}$  表示  $i$  地区  $t$  时期的农业绿色生产率,  $X_{it}$  和  $X_{jt}$  分别为  $t$  时期  $i$  地区和  $j$  地区的农业产业结构高级化等变量,  $W_{ij}$  为  $i$  地区和  $j$  地区间反距离空间权重矩阵,  $u_i$  和  $\lambda_t$  为个体效应,  $\epsilon_{it}$  为随机扰动项。需要说明的是,应通过  $Wald$  检验和  $LR$  检验对空间杜宾模型是否可简化为空间误差模型或空间滞后模型等情况进行讨论,以确保模型选择的正确性。若同时拒绝上述两个假设,说明采用空



间杜宾模型估计是合适的;否则,应选择空间误差模型或空间滞后模型进行估计。

## 2. 变量说明与数据来源

(1)投入指标。借鉴王宝义等<sup>[27]</sup>的研究成果,结合本文研究内容,确定投入变量(见表1)。

①劳动投入。考虑到官方统计资料并未提供农业劳动力数据,故按照学术界普遍做法,以各年农林牧渔业从业人员乘以农业产值在农林牧渔业中的比重表示,单位为万人。由于2012年以后,农林牧渔业从业人员数量并不公布,故采用移动平均法对其进行补充。②土地投入。以各省区农作物播种面积表示,单位为千公顷。③化肥投入。以各省区化肥施用折纯量表示,单位为万吨。④农药投入。以各省区农药实际施用量表示,单位为万吨。⑤农膜投入。以农膜实际使用量表示,单位为万吨。⑥机械投入。以农业机械总动力表示,单位为万千瓦。⑦灌溉投入。以各省区农业有效灌溉面积表示,单位为千公顷。⑧役畜投入。以各省区年末大牲畜数量表示,单位为万头。

(2)产出指标。如前所述,本文的产出包括合意产出和非合意产出两类(见表1)。合意产出,以狭义农业即种植业产值表示,实际操作中,以1997年为基期作不变价处理。非合意产出,以农业碳排放表示,具体包括化肥、农药、农膜、农用柴油、灌溉引发的CO<sub>2</sub>排放量。各碳源的排放系数(每一千克的碳源排放碳的千克数,其中灌溉为每一公顷的土地灌溉引发的碳排放量的千克数)分别为:化肥(0.895 6)、农药(4.934 1)、农膜(5.180 0)、农用柴油(0.886 4)、灌溉(266.480 0)。同时,将水稻生产的甲烷(CH<sub>4</sub>)排放也纳入种植业碳排放中,相关排放系数见田云等<sup>[28]</sup>以及闵继胜等<sup>[29]</sup>相关研究。

表1 农业绿色生产率投入产出指标描述性统计

		变量含义与说明	均值	标准差
投入指标	劳动投入	农林牧渔业从业人员×(农业总产值/农林牧渔业总产值)/万人	484.62	402.90
	土地投入	农作物播种面积/千公顷	5 111.26	3 543.21
	化肥投入	化肥折纯量/万吨	162.00	134.09
	农药投入	农药使用量/万吨	4.97	4.28
	农膜投入	农膜使用量/万吨	6.13	6.03
	机械投入	农业机械总动力/千瓦·时	2 463.88	2 548.81
	灌溉投入	农作物有效灌溉面积/千公顷	1 918.01	1 898.46
	役畜投入	年末大牲畜数量/万头	435.76	336.36
产出指标	期望产出	农业产值/亿元	884.14	896.20
	非期望产出	碳排放/万吨	187 0	1 514.75

注:数据由作者整理得到。

(3)空间杜宾模型变量说明。农业绿色生产率。本文探讨的是农业绿色生产率的增长问题,被解释变量由上文运用Maxdea软件计算得到的ML指数表示。由于本文核算的农业绿色生产率是以前一年为100计算得来的环比指数,故在实际操作中,参照李谷成<sup>[1]</sup>的做法,对农业绿色生产率进行累积化处理。

影响农业绿色生产率的因素较多。核心解释变量方面,借鉴成德宁等<sup>[13]</sup>的做法,从农业产业结构的合理化(*tl*)与高级化(*ts*)两个维度刻画农业产业结构变迁,并探讨农业产业结构对农业绿色生产率增长的影响。其中,农业产业结构合理化(*tl*)反映的是农业内部各细分部门间的协调度与生产要素的有效利用状况,通常以“结构偏离度”进行衡量。其具体公式为:

$$tl = \sum_{i=1}^n \left( \frac{y_i}{y} \right) \ln \left( \frac{y_i/y}{l_i/l} \right) \quad (6)$$

式(6)中,*y*为农林牧渔业产值,*y<sub>i</sub>*为农业细分部门产值,*l*为农林牧渔业从业人员,*l<sub>i</sub>*表示农业细分部门劳动力。*tl*越大,表示农业生产结构越不合理;而当农业各细分部门劳动生产率与农业整个部门劳动力生产率相当时,*tl*=0,达到均衡状态。考虑到官方统计资料中并未公布农业各细分产业的劳动力数量数据,在此以(当年)农业各子部门的产值占农林牧渔业总产值的比重与农林牧渔业劳动

力的乘积表示。

农业产业结构高级化体现的是农业产业结构的升级状况,既有研究通常采用第三产业与第二产业产值比进行衡量<sup>[30]</sup>。具体到农业领域,常以畜牧业与种植业产值比、粮经作物面积比、林牧渔业产值与农林牧渔业总产值比以及农业服务业与种植业增加值之比等指标衡量<sup>[31-32]</sup>。考虑到 2003 年将本属于第三产业的农林牧渔服务业归为第一产业的做法以及数据的完整性与一致性,本文将运用熵值法从农牧产值比、粮经作物面积比、林牧渔业产值与农林牧渔业总产值比三方面测度产业结构高级化,具体做法如上文所述。

此外,参考李谷成<sup>[1]</sup>、杜江等<sup>[9]</sup>、潘丹<sup>[33]</sup>、吴贤荣等<sup>[34]</sup>的研究,还控制了如下变量:农业受灾率(*dar*),以农作物受灾面积占农作物播种面积的比重表示;农村人力资本(*edu*),以农村劳均受教育年限表示;财政支农投入(*afi*),以各省区财政支农支出占财政总支出的比重表示;工业化(*il*),以工业增加值占地区 GDP 的比重表示;城镇化(*ur*),以非农人口占总人口的比重表示;农产品对外贸易(*ol*),以各省区农产品进出口总额占农业增加值的比重表示,其中农产品进出口总额以各年人民币对美元的汇率计算得到。各变量的描述性统计见表 2。

表 2 各变量的描述性统计

	变量	均值	标准差	
被解释变量	绿色全要素生产率	1.040 0	0.164 4	
	农业产业结构合理化	0.030 3	0.038 2	
	农牧结构	0.715 4	0.406 4	
	核心变量	粮经结构	0.281 2	0.215 5
		林牧渔结构	0.445 6	0.094 4
		农业产业结构高级化	0.032 3	0.003 3
其他变量	自然灾害	0.265 6	0.161 2	
	平均受教育年限	7.914 2	1.241 6	
	政府投资	0.090 7	0.032 9	
	工业化	0.381 0	0.097 3	
	农业对外开放	0.476 4	1.424 7	
	城镇化	0.350 0	0.165 7	

(4)数据来源。本文的研究对象是中国大陆 31 省 注:数据由作者整理得到。

区,时间跨期为 1997—2016 年,暂不涉及港、澳、台三地。文中涉及的原始数据均出自《中国统计年鉴》《中国农村统计年鉴》《中国农业统计资料》《中国农业年鉴》《中国畜牧兽医年鉴》《中国城市统计年鉴》等官方统计资料,并经适当处理得到。

### 三、实证结果与分析

#### 1. 农业绿色生产率时序变动趋势分析

如图 1 所示,1998—2016 年中国农业绿色生产率呈波浪层叠式变动趋势。2000—2001 年连续两年保持恶化趋势,之后又连续两年呈现上升之势,此后一直呈现“降低—提高—降低”状态,2016 年为 0.976 7,较 1998 年略有小幅改善。从增长源泉来看,技术进步整体呈现波动上升之势,年均增长率为 0.31%;其中,2007 年以前年际间技术进步指数变动较大,而 2007 年之后技术进步指数的年际差距逐步缩小,并逐步稳定于 1.02。相反地,技术效率整体呈波动下降趋势,年均增长率为 -0.24%;其中,2007 年之前各年份的技术效率值相对平稳、变动不大,但 2007 年之后年际间起伏较大。总体而言,当前阶段下,中国农业绿色生产率增长处于不断改善之中,其增长主要依赖技术进步,技术效率抑制作用明显,这与李谷成<sup>[1]</sup>、邓晓兰等<sup>[35]</sup>研究发现较为一致。

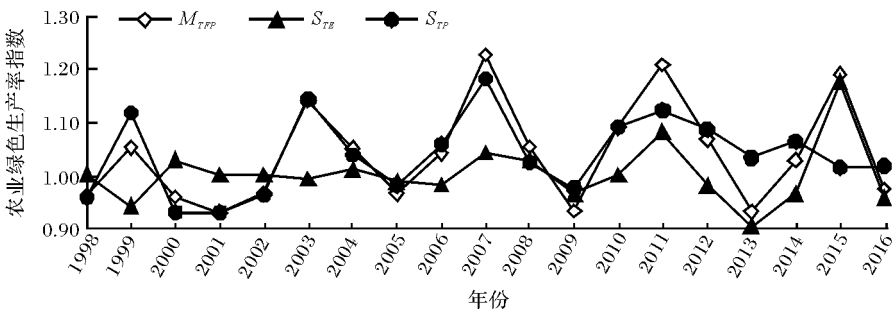


图 1 1998—2016 年农业绿色生产率指数变动趋势

## 2. 农业绿色生产率省际差异分析

如表 3 所示,1998—2016 年,除西藏外,其他 30 省区农业绿色生产率指数均高于 1.0,说明从省域层面来看,中国农业绿色生产率在不断改善。其中,东中部省区农业绿色生产率整体水平较高,东北三省处于中等偏上水平,而西部省区农业绿色生产率水平整体较低。分阶段来看,1998—2000 年,以北京、福建和广东等东部省区的农业绿色生产率水平位居前列,而以陕西、广西、黑龙江等为主的西部和东北省区较低。但 2011—2016 年,这一状况发生了较为明显的变化,以甘肃、陕西、新疆等代表的西部省区农业绿色生产率处于较高水平,而诸如湖北、湖南、安徽、江西和河南等中部省区相对较低。整体而言,在各省区农业绿色生产率不断改善的状况下,西部省区农业绿色生产率提升明显但内部省区的不均衡性与差异扩大,农业大省尤其粮食主产省区仍是农业绿色生产率较低的地区。

表 3 1998—2016 年不同阶段农业绿色生产率变动情况

地区	1998—2000	2001—2005	2006—2010	2011—2016	均值
北京	1.089 1	1.049 7	1.040 1	1.033 8	1.048 4
天津	0.968 0	1.016 5	1.038 9	1.094 0	1.039 2
河北	0.958 9	1.003 6	1.095 6	1.076 3	1.043 7
山西	0.938 4	1.050 1	1.138 7	1.182 8	1.097 7
内蒙古	1.001 4	1.020 2	1.039 4	1.056 7	1.033 8
辽宁	1.022 2	0.989 6	1.078 4	1.077 9	1.046 0
吉林	1.016 5	1.001 3	1.081 2	1.064 0	1.044 5
黑龙江	0.910 6	1.084 5	1.051 5	1.068 0	1.043 1
上海	1.003 0	1.067 2	1.043 3	1.019 8	1.035 8
江苏	0.995 4	0.998 5	1.057 6	1.066 0	1.034 9
浙江	1.007 8	1.014 8	1.062 9	1.041 6	1.034 8
安徽	1.007 0	1.021 9	1.153 1	1.016 8	1.052 5
福建	1.033 3	1.014 4	1.055 9	1.075 2	1.047 5
江西	0.990 3	1.034 3	1.111 6	1.051 4	1.053 1
山东	1.017 0	1.025 4	1.097 3	1.081 8	1.060 8
河南	0.997 9	0.999 9	1.074 0	1.053 2	1.035 9
湖北	0.972 0	1.048 5	1.078 8	1.033 7	1.039 7
湖南	1.146 7	1.036 4	1.103 2	1.031 7	1.069 9
广东	1.022 9	1.005 5	1.036 7	1.077 9	1.039 3
广西	0.949 5	1.000 2	1.053 3	1.071 3	1.028 6
海南	1.000 0	0.902 8	1.030 2	1.093 6	1.011 9
重庆	0.943 5	1.025 5	1.073 1	1.058 4	1.035 4
四川	0.956 4	1.014 2	1.064 8	1.051 6	1.030 2
贵州	0.952 6	0.995 6	1.054 6	1.091 3	1.034 6
云南	0.974 2	1.012 6	1.029 4	1.062 5	1.026 7
西藏	1.089 0	0.910 6	1.044 0	0.992 4	0.999 7
陕西	0.926 1	1.018 9	1.078 6	1.106 2	1.047 5
甘肃	0.972 5	0.999 3	1.104 3	1.171 6	1.077 1
青海	0.971 5	0.992 9	1.052 2	1.052 4	1.023 9
宁夏	0.976 7	1.017 6	1.096 9	1.072 8	1.049 4
新疆	0.974 1	1.016 3	1.064 4	1.096 0	1.047 5

## 3. 农业绿色生产率空间自相关检验

在采用空间计量经济模型进行回归前,需先对农业绿色生产率进行空间自相关检验。由图 2 可知,农业绿色生产率的 Moran's I 一直介于 0.06 和 0.24 之间,整体具有较为明显的空间自相关性。具体而言,农业绿色生产率的 Moran's I 年际差异较大,1998—2001 年相对平稳,围绕 0.1 上下波动;之后则呈现出倒“V”型循环波动趋势,且于 2005 年降至历史最低

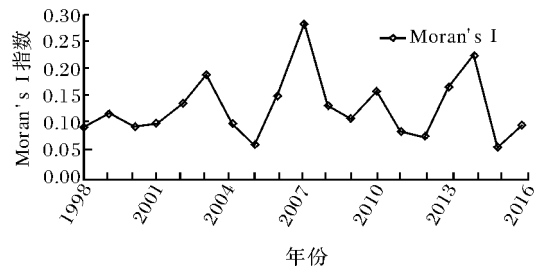


图 2 农业绿色生产率的 Moran's I 指数变动趋势

点 0.065 4, 2007 年达到历史最高点 0.287 9; 2016 年 Moran's I 为 0.100 2, 基本持平但略高于 1998 年水平。由此不难发现, 在当前阶段下, 省域间农业绿色生产率具有聚类现象, 局部区域内存在着较为明显高(低)农业绿色生产率省区与高(低)农业绿色生产率省区“抱团”发展的趋势, 但这种状态的年际间差异较大, 且整体相对不稳定。

#### 4. 农业产业结构变迁中的绿色生产率增长估计分析

前文证实了农业绿色生产率在空间上存在着较为明显的空间依赖效应, 这意味着需采用空间面板模型进行估计。但是, 为了判断是否应采用空间面板模型, 应先对模型进行拉格朗日乘子检验 ( $LM\ test$ ), 结果详见表 4。从空间依赖性诊断结果来看, 无论是空间滞后模型的  $LM$  检验和  $Robust\ LM$  检验, 还是空间误差模型的  $LM$  检验和  $Robust\ LM$  检验均通过 1% 的显著性检验。这表明均不能拒绝无空间滞后或空间误差的原假设, 应采用空间面板模型进行估计。

接下来, 将采用  $LR$  和  $Wald$  检验进行检验, 进而判断采用空间杜宾模型, 还是选择空间滞后模型或空间误差模型。在反距离空间权重矩阵下,  $Wald\_spatial\_lag$  和  $LR\_spatial\_lag$  分别为 72.876 7 和 67.974 0,  $Wald\_spatial\_error$  和  $LR\_spatial\_error$  分别为 58.809 5 和 55.817 3, 均通过 1% 的显著性检验, 表明应选择空间杜宾模型进行回归估计。同时, 根据  $Hausman$  检验结果发现, 以固定效应空间杜宾模型为佳, 故后文将围绕该模型进行解释与说明。

表 4 空间杜宾模型回归结果

变量	系数	t 值	变量	系数	t 值
$tl$	-0.031 5***	-3.519 5	$W \times tl$	-0.012 7	-0.424 6
$ts$	-0.564 9***	-4.814 9	$W \times ts$	0.736 9***	3.942 5
$dar$	-0.080 5***	-6.135 5	$W \times dar$	0.082 8**	2.248 9
$edu$	-0.125 2	-1.495 1	$W \times edu$	-0.010 4	-0.074 9
$afi$	0.520 5***	16.236 7	$W \times afi$	-0.612 9***	-6.921 9
$il$	0.086 5**	2.006 4	$W \times il$	-0.002 4	-0.038 6
$ol$	0.034 8**	2.546 0	$W \times ol$	-0.030 5	-1.382 7
$ur$	0.245 0***	4.649 5	$W \times ur$	-0.251 8***	-3.715 3
$W \times dep.var.$	0.784 0***	23.89 2	$R^2$		0.665 6
$LM-lag$	61.479 3***		$LM-error$	73.506 7***	
$Robust\ LM-lag$	5.315 3***		$Robust\ LM-error$	21.245 6***	
$Wald\_spatial\_lag$	72.876 7***		$Wald\_spatial\_error$	58.809 5***	
$LR\_spatial\_lag$	67.974 0***		$LR\_spatial\_error$	55.817 3***	

注:\*\*\*、\*\*和\*分别表示在 1%、5%和 10%水平上显著,下同。 $W$  表示空间权重,  $dep.var.$  表示因变量的空间滞后项。

(1)空间自回归系数。由表 4 可知,模型的空间自回归系数为 0.784 0,且通过了 1% 的显著性检验,表明省域农业绿色生产率存在着较为明显的空间依赖性。换言之,邻省农业绿色生产率与本省农业绿色生产率间存在着较强的空间关联效应,邻省农业绿色生产率提高 1%,本省农业绿色生产率也会得到改善(提高 0.78%)。这与前文空间自相关检验等结论较为一致,也间接反映出选用空间计量经济模型的合理性。

(2)农业产业结构。如前所述,本文从合理化和高级化两个维度考察农业产业结构对农业绿色生产率的影响。从回归结果来看,农业产业结构合理化的回归系数显著为负(-0.031 5),表明农业产业结构合理化与农业绿色生产率之间呈负相关关系。这可以理解为,随着农业产业结构不合理程度的提高,其将对农业绿色生产率的增长起到明显的阻碍作用。其原因或在于,农业产业结构合理化常与农业总产值之间存在“U”型曲线关系,随着  $tl$  的提高,农业的总产值则在不断下降<sup>[32]</sup>。

农业产业结构高级化的回归系数为-0.564 9,且在 1% 的水平上显著,表明随着畜牧业产值的增加、经济作物种植面积的扩张以及牧林渔在农业中比重的提高,农业绿色生产率反而会不断降低。其



原因可能在于,随着农业中畜牧业、林业、渔业等部门的快速增长,种植业部门中经济作物面积的不断扩大,其在增加种植业以及农业整个部门产值的同时,会带来更多的农业碳排放,主要体现在:一是经济作物对化肥、农药、农膜等农用物资的消耗增加,会导致种植业碳排放的增加;二是畜牧业等部门的快速增长,特别是肉类等高碳型农产品消费的增加,会间接增加以粮食初级品与加工品的消耗,这实际上亦会增加农业特别是种植业的碳排放<sup>[36-37]</sup>。

(3)农业自然灾害。自然灾害的回归系数显著为负(-0.080 5),表明农业自然灾害与农业绿色生产率之间具有负相关关系。农业具有自然再生产的特殊属性,这使得农业易受到自然灾害的负面影响,而随着农业受灾程度的加深,由此引起各类投入要素与合意产出(如产值)的损失加大,而在非合意产出减少不明显甚至略有增长的情况下,农业绿色生产率将会明显降低。

(4)其他变量。政府财政支农、农业对外开放、工业化与城镇化的回归系数均为正,且通过 5% 的显著性检验。这说明,随着财政支农水平的提高,诸如灌溉等农业基础设施得到有效改善,且水稻等种植品种与质量也不断得到优化,进而对农业绿色生产率增长具有明显的促进作用。农业对外开放程度的提高,能够带动我国农业劳动密集型产品出口的增多,并进口更多的土地密集型产品,在节约水土资源、提升农业劳动生产率的同时,也会对农业绿色生产率的改善起到积极作用。这与黄季焜<sup>[38]</sup>的发现较为一致。此外,无论是工业化还是城镇化均有助于农业绿色生产率的提高,这与王宝义等<sup>[27]</sup>的发现有所不同。其原因可能在于,工业化和城镇化不仅刺激了对农业更大规模的产品需求,也为农业提供了技术支撑,诱导着农业产业结构的变化与生产效率的改善,整体上有助于农业绿色生产率的提升。

(5)空间滞后变量。邻省农业产业结构的高级化有助于本地农业绿色生产率的提升,其主要原因在于,邻省农业的非粮化会对本省产生示范与带动作用,有利于生产效率与产出的提高,有助于农业绿色生产率的提升。邻省自然灾害对本省农业绿色生产率具有正向影响,这可能是因为邻省自然灾害的发生,导致其农业产出特别是粮食等减少明显,使得本地农产品更具市场竞争力,而在农业碳排放变化不大的情况下,本地区种植业产出的增加将会有效改善农业绿色生产率。邻省财政支农和城镇化的回归系数分别为-0.612 9 和-0.251 8,这表明随着邻省地区农业投入的增加以及城镇化进程的推进,对本地农业绿色生产率将会产生负面影响。

由表 5 可知,农业产业结构合理化和高级化对农业绿色生产率的直接效应分别为-0.036 8 和-0.529 0,即随着产业不合理程度和高级化每提高 1%,本省农业绿色生产率分别会降低 0.036 8% 和 0.529 0%。同时,农业产业结构高级化的间接效应为 1.323 5,表明农业产业结构高级化具有较强的间接溢出效应,这使得产业结构高级化对农业绿色生产率的影响整体上要远大于合理化。其他变量中,除财政支农和工业化分别具有一定的间接溢出效应和总效应外,自然灾害、农村人力资本、农业对外开放仅对本地区农业绿色生产率具有明显的直接效应。因此,就本文关注的核心解释变量农业产业结构合理化与高级化的实证检验结果来看,可以认为农业产业结构是影响农业绿色生产率增长的重要因素,特别是在农业产业结构高级化方面,其较大的溢出效应并未被已有研究所关注。

表 5 空间杜宾模型的各变量效应分解

变量	直接影响		间接溢出		总效应	
	系数	t 值	系数	t 值	系数	t 值
tl	-0.036 8***	-3.732 1	-0.172 2	-1.265 4	-0.209 0	-1.484 7
ts	-0.529 0***	-4.682 0	1.323 5**	2.111 5	0.794 4	1.280 2
dar	-0.077 2***	-5.364 2	0.089 1	0.540 1	0.011 9	0.069 5
edu	-0.138 1*	-1.731 9	-0.478 2	-0.959 7	-0.616 3	-1.225 3
afi	0.492 1***	16.374 4	-0.929 1***	-2.583 6	-0.437 0	-1.206 2
il	0.093 6**	2.249 8	0.298 1	1.468 5	0.391 7*	1.930 9
ol	0.034 3***	2.600 0	-0.018 1	-0.245 5	0.016 2	0.222 7
ur	0.235 5***	4.631 1	-0.264 2	-1.480 1	-0.028 6	-0.165 3

## 四、结论与启示

本文以1997—2016年中国大陆31省区为研究对象,在运用熵值法构建农业产业结构高级化指数的基础上,构建空间杜宾模型,实证检验了农业产业结构变迁对农业绿色生产率增长的影响。结果发现,1998—2016年中国农业绿色生产率在不断改善,其增长主要依赖技术进步,而技术效率的抑制作用明显。就地域分布来看,东中部省区农业绿色生产率整体水平较高,东北三省区处于中等偏上水平,西部省区整体略低且其内部分省区的差异不断显现。同时,省域间农业绿色生产率具有明显的空间依赖性,但这种空间依赖性的年际变化较大,整体较不稳定。在经空间杜宾模型检验后,再次验证了上述观点,即本地农业绿色生产率不仅受到本地农业产业结构合理化与高级化的影响,还受到邻近地区农业产业结构高级化的影响。此外,农业绿色生产率还受到财政支农、城镇化、工业化、农业对外开放以及自然灾害的显著影响。

鉴于此,本文提出如下建议:首先,应该重视农业产业结构的调整,在强调农业细分部门发展与其劳动生产率同步增长的同时,鼓励通过市场需求与政策引导相结合的方式,保证农业各细分部门合理发展与结构优化,避免因农业细分部门与其劳动生产率二者之间的不协调(滞后或超前)而制约农业绿色生产率提高以及农业发展质量的改善。其次,在推动农业细分部门合理发展的同时,更加注重农业产业结构的高级化转型,加大对畜牧业等高碳产业的改造,以技术进步等手段减少其投入与消耗,确保产出增加,提高农业及各细分部门的比较收益与绿色生产率。最后,重视空间地理因素在区域农业产业结构与农业经济发展中的积极作用,在推动本地农业产业结构高级化的同时,重视邻省间农业产业结构的互补与协调发展,避免因不合理竞争与调整等产生的空间负外部性,进而推动局部区域内农业绿色生产率的整体改善。

## 参 考 文 献

- [1] 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.
- [2] 田云,张俊飏,李波.中国农业碳排放研究:测算、时空比较及脱钩效应[J].资源科学,2012(11):2097-2105.
- [3] 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(11):153-160.
- [4] 潘丹,应瑞瑶.环境污染约束下农业生产率增长地区差异及其动态分布演进[J].中国科技论坛,2013(5):60-67.
- [5] 田云,张俊飏,吴贤荣,等.碳排放约束下的中国农业生产率增长与分解研究[J].干旱区资源与环境,2015(11):7-12.
- [6] 叶初升,惠利.农业生产污染对经济增长绩效的影响程度研究——基于环境全要素生产率的分析[J].中国人口·资源与环境,2016,26(4):116-125.
- [7] 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(9):24-33.
- [8] 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(7):1329-1338.
- [9] 杜江,王锐,王新华.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[J].中国农村经济,2016(3):65-81.
- [10] 揭懋旭,郭洁,陈罗焯,等.碳约束下中国县域尺度农业全要素生产率比较研究[J].地理研究,2016(5):898-908.
- [11] 吴贤荣,张俊飏,田云,等.中国省域农业碳排放:测算、效率变动及影响因素研究——基于DEA-Malmquist指数分解方法与Tobit模型运用[J].资源科学,2014(1):129-138.
- [12] 田云,张俊飏,陈池波.中国低碳农业发展的空间异质性及其影响机理研究[J].中国地质大学学报(社会科学版),2016(4):33-44.
- [13] 成德宁,李燕.农业产业结构调整对劳动生产率的影响[J].经济问题探索,2016(11):148-154.
- [14] 魏后凯.中国农业发展的结构性矛盾及其政策转型[J].中国农村经济,2017(5):2-17.
- [15] 展进涛,徐钰娇,葛继红.考虑碳排放成本的中国农业绿色生产率变化[J].资源科学,2019(5):884-896.
- [16] 陈卫洪,漆雁斌.农业产业结构调整对发展低碳农业的影响分析[J].农村经济,2010(8):51-55.
- [17] 于斌斌.产业结构调整与生产率提升的经济增长效应——基于中国城市动态空间面板模型的分析[J].中国工业经济,2015(12):83-98.
- [18] 黎孔清,陈俭军,马豆豆.基于STIRPAT和GM(1,1)模型的湖南省农地投入碳排放增长机理及趋势预测[J].长江流域资源与环境,2018,27(2):345-352.

- [19] 邱新国,谭靖磊.产业结构调整对节能减排的影响研究——基于中国 247 个地级及以上城市数据的实证分析[J].科技管理研究, 2015(10):239-244.
- [20] 徐茱.环境规制视角下产业结构对全要素生产率影响的实证研究[D].南昌:江西财经大学,2017.
- [21] 王丙毅,徐鹏杰.农业产业结构趋同的负效应与政策建议[J].农村经济,2008(2):35-38.
- [22] 宋燕平,王艳荣.面向农业产业集聚的技术进步效益研究[J].科学学研究,2009(6):1005-1010.
- [23] 王艳荣,刘业政.农业产业集聚形成机制的结构验证[J].中国农村经济,2011(10):77-85.
- [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] 韩海彬,张莉.农业信息化对农业全要素生产率增长的门槛效应分析[J].中国农村经济,2015(8):11-21.
- [26] LESAGE J P,PACE R K. Introduction to spatial econometrics[M]. Florida:CRC Press,2009.
- [27] 王宝义,张卫国.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[J].中国农村经济,2018(1):46-62.
- [28] 田云,张俊飏.中国农业生产净碳效应分异研究[J].自然资源学报,2013(8):1298-1309.
- [29] 闵继胜,胡浩.中国农业生产温室气体排放量的测算[J].中国人口·资源与环境,2012(7):21-27.
- [30] 干春晖,郑若谷,余典范.中国产业结构变迁对经济增长和波动的影响[J].经济研究,2011(5):4-16.
- [31] 宋德军.中国农业产业结构优化与科技创新耦合性评价[J].科学学研究,2013,31(2):191-200.
- [32] 周传豹.农业部门内的结构红利:基于增长和波动效应的研究[J].经济经纬,2017,34(1):44-49.
- [33] 潘丹.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[J].统计与信息论坛,2014(8):27-33.
- [34] 吴贤荣,张俊飏,程琳琳,等.中国省域农业碳减排潜力及其空间关联特征——基于空间权重矩阵的空间 Durbin 模型[J].中国人口·资源与环境,2015,25(6):53-61.
- [35] 邓晓兰,鄢伟波.农村基础设施对农业全要素生产率的影响研究[J].财贸研究,2018(4):36-45.
- [36] 智静,高吉喜.中国城乡居民食品消费碳排放对比分析[J].地理科学进展,2009(3):429-434.
- [37] 程琳琳,张俊飏,何可.多尺度城镇化对农业碳生产率的影响及其区域分异特征研究——基于 SFA、E 指数与 SDM 的实证[J].中南大学学报(社会科学版),2018,24(5):107-116.
- [38] 黄季焜.四十年中国农业发展改革和未来政策选择[J].农业技术经济,2018(3):4-15.

(责任编辑:毛成兴)