

# 中国农业绿色发展的区域差异及动力研究

涂正革 甘天琦

**摘要** 实现农业绿色发展是建设美丽乡村的前提之一。研究发现,我国 30 个地区中,大部分地区农业绿色发展状况堪忧,特别是东北部、中部和南部沿海地区均表现出长期的失衡状态;动态观察,东北部和东南沿海地区农业绿色发展逐渐恶化,中部地区状态差异明显,未出现模仿效应。基于变系数半参数估计方法的研究结果表明:机械水平、生产水平和人力资本是推动农业绿色发展的三大动力,促增因素和促减因素交替作用导致各指标在不同时期和不同区域表现各有差异。因此,实现农业绿色发展需要因地制宜,推动经济发展同时,控制农业面源污染。

**关键词** 农业绿色发展指数;动力机制;方向距离函数;变系数半参数估计

**中图分类号** F327.9;F329.9 **文献标识码** A **文章编号** 1672-7320(2019)03-0165-14

**基金项目** 国家社会科学基金重大项目(18ZDA051)

2017 年底,我国启动 40 个农业绿色发展先行区,以“绿水青山就是金山银山”的理念为指引,将绿色发展贯穿于农业生产的全过程,中国农业绿色发展之路进入了新的征程。然而,正是因为农业绿色发展区域的试点,才映射出我国农业在走出传统过程中面临的瓶颈,即农业污染问题凸显。据全国第一次污染源普查数据显示,在农业源的主要排放中,化学需氧量 1324.09 万吨,占全国化学需氧排放的 43.71%,种植业地膜残留量 12.1 万吨,回收率仅有 80.3%,总氮和总磷排放分别达到 270.46 万吨和 28.47 万吨,分别占全国氮、磷排放总量的 57.2% 和 64.7%。就氮和磷排放的增长趋势而言,农业生产造成的污染大有取代工业污染而成为头号污染源的趋势<sup>[1]</sup>(P4-16),农业面源污染治理问题已经迫在眉睫。

实现农业绿色发展是建设美丽乡村的前提之一,而机械水平、生产水平和人力资本是推动农业绿色发展的三大动力。实现农业绿色发展需要因地制宜,在推动经济发展同时,控制好农业面源污染。

## 一、引言

传统农业经济增长的探索忽视了环境因素的考量。在中国,林毅夫在《制度、技术与中国农业发展》一书中探讨了农业体制、价格制度和要素供给等农业经济增长的原因<sup>[2]</sup>(P2-22)。随后,在农业体制<sup>[3]</sup>(P73-82)<sup>[4]</sup>(P86-89)<sup>[5]</sup>(P67-92)、价格制度<sup>[6]</sup>(P104-105)、要素供给<sup>[7]</sup>(P12-18)<sup>[8]</sup>(P86-98)<sup>[9]</sup>(P22-32)等方面,国内学者都从不同角度做了更加深入研究,但大部分研究都忽视了资源与环境因素的影响。随着环境问题逐渐受到重视,污染成为研究农业问题的一个重要维度。因此,如果能在农业发展的基础上增加环境因素,便可以协调好资源、环境与农业发展的相互关系,为建设“两型农业”和“绿色农业”提供合适的分析框架。

绿色农业的发展需要更加科学的评价方法。初始的农业环境研究更加注重区域环境治理<sup>[10]</sup>(P322-326)和政策法规上的思考<sup>[11]</sup>(P97-100)。随着 Färe 等<sup>[12]</sup>(P1055-1066)将环境技术引入生产效率的

分析框架之内后,资源环境与农业生产效率便成为农业经济研究的热点,并产生了诸多成果。李谷成等使用非径向、非角度的 SBM 模型研究了 1979-2008 年各省农业技术效率,分析环境规制对农业技术效率的影响,认为转变农业发展方式才是实现农业可持续发展的重要途径<sup>[13]</sup>(P21-36);崔晓和张屹山考虑环境因素对环境效率和环境全要素生产效率的影响,并巧妙地利用物料守恒原则将农业环境效率分解为不考虑环境因素的技术效率和营养配置效率,认为中国的精细化程度不高是导致农业污染控制难度加大和农产品质量安全治理的主要原因<sup>[1]</sup>(P4-16);杜江等利用 DEA 方法和 GML 指数构建农业环境全要素生产率指数,并利用 Tobit 两阶段模型分析影响农业技术进步、环境技术效率和环境全要素生产率指数的因素,同时验证三种指数与农业增长之间是否表现出类似于库兹涅茨曲线的“倒 U 型”特征<sup>[14]</sup>(P65-81)。总体看来,已有的研究成果基本上达成了一定的共识,一是资源浪费与生态破坏致使农业环境效率低下<sup>[15]</sup>(P153-157)<sup>[16]</sup>(P1329-1338)<sup>[17]</sup>(P48-55);二是农业科技发展、新技术的使用、灵活的政策等是提高农业生产效率的主要途径<sup>[18]</sup>(P537-558)。但是,在进行农业环境技术效率的评价上面似乎需要引入更加科学的方法。

方向性距离函数的引入解决了将经济发展与环境污染融合在同一框架的问题。事实上,引入环境因素到效率评价的框架,主要有四种不同的思路。第一种是曲线测度法。曲线测度是 Färe 等提出的一种非线性的环境生产率评价方法,其基本思想是将各种产出以“非对称”的方式处理,允许在增加期望产出的同时,减少非期望产出<sup>[19]</sup>(P655-666)。具体来说,曲线测度法以径向测度来分析期望产出的生产率,而用其倒数来衡量环境污染等非期望产出的生产率。第二种是数据转换函数处理法,该分析方法将非期望产出转换为期望产出处理,并运用传统的 DEA 模型分析决策单元的生产效率,转换的主要方法有负产出转换法、线性数据转换法和非线性数据转换法。第三种思路是将污染作为投入变量处理,根据方法的特点,污染变量与投入变量相似,都是越小越好,因此可将污染与常规要素一起作为投入处理。第四种是方向性距离函数方法。通过设定固定的方向向量,将生产率分析与环境污染纳入一个统一的框架中,得到既能增加期望产出,又可以减少非期望产出的效果<sup>[20]</sup>(P93-105)<sup>[21]</sup>(P35-40)。由于前三种思路的局限性,不能真实有效地评价考虑环境因素后的生产效率水平<sup>[22]</sup>(P579-581),因此,笔者采取第四种思路,利用方向距离函数方法,尝试构建含有非期望产出的农业生产效率评价框架。

基于以上阐述,笔者通过 1998-2015 年省级层面包含污染物和农业投入产出的面板数据,利用 DEA 方向性距离函数探讨各省份农业环境技术效率,并进一步分析农业环境技术效率的影响因素。

## 二、农业绿色发展的理论依据

农业绿色发展主要体现在两个方面:农业生产效率高和农业面源污染少,二者共同构成农业绿色生产效率。根据文献总结与研究成果,大体上可以将绿色生产效率提高归因于机械化程度的提高、生产技术进步以及人力资本的提升。这三方面的动力机制将有效推动技术前沿进步,带来农业绿色生产效率的改善。

机械的运用是农业生产效率改善的途径之一。农业生产过程中机械的运用是工业化的一个重要表现,起初的工业发展给农业带来了极大的负面影响,但随着制造业中心的产生和人口的增长,农产品的消费需求对农业的生产起到了决定性的刺激作用,许多农产品的生产采用更加先进的技术手段。根据 Hicks 中性标准,这些正面的影响可以分为三类:一是节约土地,新品种对老品种的替代,改变了轮耕制度,提高了土地的生产力;二是节约劳动,机械化对于畜牧的替代、改变了耕作方式,提高了劳动生产力;三是中间型,化肥、农药等农资设备的改进提高了单位面积的产量。换言之,研究工业化对于农业的影响,就是研究在工业中所发生的基要性的即具有战略重要性的生产技术变迁,对于农业生产部门的影响<sup>[23]</sup>(P4-14)。简要地说,即衡量工业技术进步和信息扩散对于农业生产效率的影响作用,特别是在现代农业中,土地和劳动力数量已不再是影响农业增长的主要因素,作为体现技术进步和工业进程的机

械、化肥、农药等,对农业增长起到了显著的正向作用<sup>[24]</sup>(P66-75)。

技术进步是农业经济增长的动力源泉。传统农业的增长极其缓慢,因为农民已经用尽了自己所支配的技术状态下有力的生产可能性,对他们使用的生产要素做出更好的资源配置以及进行更多的储蓄和投资无助于增长<sup>[25]</sup>(P5-14)<sup>[26]</sup>(P112-114)。技术进步为促进农业经济增长提供了可靠的动力源泉。首先,更加精细化的管理将有助于农作物在洪涝灾害年份免受侵害<sup>[27]</sup>(P1537-1561);其次,更加先进的农资能够减少与农业生产关联的多重因素带来的风险和不确定性;第三,生化技术的运用会改造产品质量,使作物质量更高、经济价值更加丰富。此外,生产技术的进步如灌溉措施的改进、农田薄膜的使用等为农作物的生长创造了良好的外部环境。

人力资本在实现农业现代化中头等重要。舒尔茨认为对人力资本的投资是农业经济增长的主要源泉,农业经济增长缓慢的原因并不在于传统农业生产要素的配置效率低下,而是因为其边际收益率低,不能保证追加储蓄和投资<sup>[26]</sup>(P151-155)。在这一条件下,经济增长的关键在于获得并使用某些现代的生产要素,因此依靠向农民进行特殊的投资,使他们获得必要的新技能和新知识,从而实现农业经济的增长<sup>[28]</sup>(P14-25)。对人力资本的投资主要有教育、在职培训以及提高健康水平三种途径。通过教育和在职培训能提高劳动者获取农业知识及运用先进生产工具的能力,提高健康水平则有利于增加劳动者劳动年限。研究表明,20世纪50年代美国农业产量的迅速增加和农业生产率提高的主要原因是劳动者知识和技术水平的提高,而不再是土地、人口数量和资本存量等传统要素的作用。

### 三、农业绿色发展分析的框架及相关数据

构建农业绿色发展区域差异的分析框架是检验农业绿色发展理论的基本前提,这一分析框架必须能涵盖推动农业绿色生产效率提高的动机机制;与此同时,分析框架中相关变量的指标构建和测度数据的采集对深入分析中国农业绿色发展现状及其动态演变规律也是十分重要的。

#### (一) 农业绿色发展的分析框架

1. 环境技术框架的构建。农业面源污染的排放较工业污染更加具有隐蔽性,化肥、农药等使用后,未被作物吸收的氮、磷排放会造成地表径流污染。人们常常将不希望得到的产出称为“坏”产出,Färe等学者将“坏”产出与正常生产的投入产出之间的技术结构关系称为环境技术<sup>[12]</sup>(P1055-1066)。以减少“坏”产出为导向的环境技术隐含着两种处理方法:一种是减少投入产出,从而降低“坏”产出的产生,但同时会导致“好”产品的减少;另一种是在投入一定的情况下,通过改进技术或增加“坏”产出的处理设施,会引起成本增加。使用集合表示环境技术为式(1):

$$P(x) = (y, b) : x \text{ can produce } (y, b), x \in R_+^N \quad (1)$$

式(1)中,每一个决策单元使用N种投入  $x = (x_1, \dots, x_N) \in R_+^N$ , 生产M种“好”产出  $y = (y_1, \dots, y_M) \in R_+^M$ , 和J种“坏”产出  $b = (b_1, \dots, b_J) \in R_+^J$ 。

根据Färe等<sup>[12]</sup>(P1055-1066)和涂正革<sup>[20]</sup>(P93-105)的研究,环境技术应满足以下四条特性:

(1) 投入和“好”产出的自由可处置性(Free Disposability),即有限投入只能产生有限的产出,使用数学表达式为:

若  $(y, b) \in P(x)$  且  $x' \leq x$  或  $y' \leq y$ , 那么  $y', b \in P(x), P(x) \in P(x)$ 。

(2) “好”产出与“坏”产出的联合弱处置性(Jointly Weak Disposability),即在给定的投入下,减少“坏”产出,必然会带来“好”产出的减少,使用数学表达式为:

若  $(y, b) \in P(x)$ , 且  $0 \leq \theta \leq 1$ , 则  $(\theta y, \theta b) \in P(x)$ 。

(3) “好”产出与“坏”产出的零结合性(Null-Jointness),即产生“好”产出的同时,一定会伴有“坏”产出的产生,使用数学表达式为:

若  $(y, b) \in P(x)$ , 且  $b = 0$ , 则  $y = 0$ 。

(4) “好”产出的强可处置性 (Strong or free Disposability), 即在投入和污染规模相同的条件下, 正常产出之间的差距, 反映了环境技术效率的高低, 使用数学表达式为:

若  $(y, b) \in P(x)$ , 且  $y' \leq y$ , 那么  $(y', b) \in P(x)$ 。

使用以上投入、“好”产出和“坏”产出的数据矩阵, 可以构造满足“好”产出增加且“坏”产出减少的环境技术如式(2):

$$P^t(x^t) = \begin{cases} \sum_{k=1}^K z_k^t x_{k,n}^t \leq x_n^t & n = 1, \dots, N, k = 1, \dots, K; \\ \sum_{k=1}^K z_k^t y_{k,m}^t \leq y_m^t & m = 1, \dots, M, k = 1, \dots, K; \\ \sum_{k=1}^K z_k^t b_{k,j}^t \leq b_j^t & j = 1, \dots, J, k = 1, \dots, K; \end{cases} \quad (2)$$

式(2)中,  $z_k^t$  是指决策单元  $k$  在所构造的环境技术效率的权重。

2. 方向距离函数与环境技术效率的定义。环境技术的构建给出了环境产出的可能前沿, 能很好反映实现社会价值最大化的条件实现区间, 使“好”产出增加和“坏”产出减少。环境技术效率在环境技术的条件下计算得到, 一般来讲, 衡量环境技术效率, 有两种思路: 第一种思路是给定污染物  $b$ , 以好产品的实际产量与最大产量之间的比率来衡量环境技术效率, 这种方法经常会招致批评, 特别是在环境污染严重的时期, 民众的意愿是要求经济增长的同时, 污染排放也减少。而第二种思路——方向距离函数在能很好地满足产出增长的同时, 达到污染减少的要求, 方向距离函数指在给定方向、投入与环境技术结构下, “好”产品扩大与“坏”产品缩小的可能性大小<sup>[20]</sup> (P93-105)。

那么, 如何在环境技术的框架内计算环境技术效率呢? 传统的做法是计算“好”产品和“坏”产品可能扩张的倍数, 但这并不符合社会政策实施的目标。DEA 方向距离函数则根据 Luenberger 短缺函数的思想, 引入方向向量  $g(\alpha g_y, -\beta g_b)$  构造了方向距离函数如式(3):

$$\vec{D}_0^t(y_k^t, x_k^t, b_k^t; \alpha g_y, -\beta g_b) = \sup \beta : (y_t + \alpha g_b, b^t - \beta g_b) \in P^t(x^t) \quad (3)$$

方向距离函数衡量的是决策单元和前沿面的距离, 距离越远, 表示改进空间越大, 效率越低; 反之, 距离越近, 表示改进空间越小, 效率越高。根据方向距离函数思想, 可以计算得到决策单元的环境技术效率如式(4):

$$ETE(y_k^t, x_k^t, b_k^t; \alpha g_y, -\beta g_b) = 1/[1 + \vec{D}_0^t(y_k^t, x_k^t, b_k^t; \alpha g_y, -\beta g_b)] \quad (4)$$

目前来看, 方向距离函数通过设置特定的方向向量, 使得决策单元按照指定的方向改进, 具有很强的主观性。就农业环境而言, 经济发达地区具有优良环境的偏好, 而欠发达地区更加倾向于发展经济, 因此这两种决策单元改进环境技术效率的方向不同。为尽力避免方向向量选择主观性带来环境技术效率测度的偏误, 笔者选取较为中性的改进方向, 即设置方向向量为  $g_1 = (g_y, -g_b)$ , 表示“好产出”在增加一单位时, “坏产出”减少一单位, 按照该方向向量思路, 则可以在环境技术  $P_t(x_t)$  通过求解线性规划式, 计算得到方向性环境距离函数如式(5):

$$\vec{D}_0^t(y_k^t, x_k^t, b_k^t; \alpha g_y, -\beta g_b) = \max \beta \quad s.t. \begin{cases} \sum_{k=1}^K z_k^t x_{k,n}^t \leq x_n^t & n = 1, \dots, N, k = 1, \dots, K; \\ \sum_{k=1}^K z_k^t y_{k,m}^t \leq y_m^t & m = 1, \dots, M, k = 1, \dots, K; \\ \sum_{k=1}^K z_k^t b_{k,j}^t \leq b_j^t & j = 1, \dots, J, k = 1, \dots, K; \end{cases} \quad (5)$$

### (二) 农业绿色发展分析使用的数据

用中国 30 个省、市、自治区 (未含香港和澳门特别行政区、台湾省和西藏自治区) 1998-2015 年的农业经济、环境污染、社会发展等多项指标构成省级面板数据, 各类数据来源于历年《中国统计年

鉴》《中国农村统计年鉴》《中国环境统计年鉴》《中国水资源汇编》、中经网统计数据库、国研网统计数据库、Wind 宏观数据库等。缺失数据通过线性插值法补全。

1. 投入指标的选取。在投入要素上,笔者按照农业生产规律、DEA 的基本要求和文献的方法,选取耕地面积(Land)作为土地投入、农林牧渔业从业人员(Labor)作为劳动投入、农业机械总动力(Machine)作为机械投入、农用化肥施用折纯量(Fertilizer)作为肥料投入、农业用水量(Water)作为资源投入。其中,使用“耕地面积”而不是“农作物播种面积”作为土地投入,更能反映实际的土地状况,避免由于耕地的复种、休耕和弃耕等现象带来的差距;以“农林牧渔业从业人员”而不是“农村人口”作为劳动力投入,避免将无劳动能力的儿童和丧失劳动能力的老人作为劳动人口带来偏差;在传统生产模型中增加机械总动力能更好地衡量地域经济发展和技术水平的差异,机械动力包含耕作、排灌、农业运输等农业机械,不包含非农用途的农业机械;同时增加农业用水量投入更能体现当代社会自然资源约束和国家“生态文明建设”的政策方针,1998–2001年的水资源数据来源于《中国水资源公报》,2002–2015年数据来源于《中国统计年鉴》。

2. 产出指标的选取。在产出指标上,笔者选取农业增加值作为唯一产出指标,并以1998年为基期做价格平减,数据来源于《中国统计年鉴》和《中国农村统计年鉴》。

3. 污染指标的核算。在污染指标上,笔者根据农业污染排放的主要特征和其他文献的方法,选取了农业面源污染相关指标。有必要说明的是,“面源污染”与“点源污染”相对应,点源污染主要指工业生产与城市生活中产生的污染物,这类污染物通常具有固定的排污口。然而,在农业生产中,农药、化肥、塑料薄膜等生产物质使用后,未被作物吸收和土地自然降解的氮、磷等化学元素,和农药残留的有机物和无机物,通过农田的地表径流和农田渗漏,致使水体和土壤受到污染。由于农业面源污染分散、隐蔽且不易监测,因此很难量化。现有文献的核算方法主要有四种:一是模拟和实验法,即基于流域尺度的大量模拟和实验,但成本高昂且覆盖面不广;二是替代法,以化肥、农药等使用量替代面源污染程度,这种方法忽略了作物的吸收和区域差异带来的偏误;三是养分平衡法,即使用过剩的氮、磷替代污染,但存在偏差大、污染流动方向模糊等缺点,很难反映真实污染水平;四是清单分析法,从管理学的角度,明确分析目标,确定污染单元,实行分类统计,因其准确、方便的特点,得到广泛应用。笔者根据清单分析法的要求,确定农业面源污染的主要指标为农业化学需氧量(COD)、总氮(TN)、总磷(TP)三类,区分污染来源有四类,分别为农田化肥、农田固体废弃物、禽畜养殖和水产养殖。其中农田化肥统计氮肥、磷肥和复合肥施用量,计算氮和磷的排放量;农田固体废弃物统计水稻、小麦、玉米等作物总产量,计算化学需氧量、氮和磷的排放量;禽畜养殖统计牛、猪、羊家禽的年内出栏量,计算化学需氧量、氮和磷的排放量;水产养殖统计淡水养殖的总面积,计算化学需氧量、氮和磷的排放量。按照上文的处理方式,得到各投入产出的基础统计量(表1)。

#### 四、中国农业绿色发展的现状

农业环境效率是根据投入产出指标计算得到,若某一地区以较少的要素投入,获得较多的经济增长和较少的环境污染,则其环境技术效率相对较高,反之则较低。处于相对较高环境技术效率决策单元的包络曲线构成了效率前沿,其效率指标为1,其他决策单元与效率前沿面的距离为该决策单元的改进空间,改进的方向为预先设置的方向向量 $g(g_y, -g_b)$ ,即增加一单位“好产出”的同时,减少一单位的“坏产出”,这对于传统只关注经济发展的评价体系更加科学合理,也符合政府决策目标和民众对于优质环境的需求。

根据以上评价方式,笔者通过DEA方向距离函数方法计算得到农业环境技术效率(ETE),定义该效率指标为绿色发展指数。对得到的效率指标进行区间划分,处于前沿面的省份为绿色农业,即效率指标等于1,效率指标介于0.7和1之间的省份为蓝色农业,效率指标小于0.7的省份为红色农业。同

表1 投入、产出基础统计量

	变量名	单位	观测值	均值	标准差	最小值	最大值
投入	农林牧渔业从业人员	万人	540	984.1	740.4	33.38	3558.55
	农业耕地面积	千公顷	540	4270.4	2814.9	188	15864
	农业机械总动力	万千瓦	540	2496.7	2538.8	96.5	13227.21
	农用化肥施用折纯量	万吨	540	167.4	133.2	6.57	716.09
	农业用水量	亿立方米	540	123.5	99.2	6.4	561.75
期望产出	农业增加值	亿元	540	8133	8453.4	220.92	52342
非期望产出	农业 COD 排放量	万吨	540	45.7	35.9	2.27	162.32
	农业总氮排放量	万吨	540	26.5	20.1	2.63	84.79
	农业总磷排放量	万吨	540	3	2.7	0.19	12.28

注:在“期望支出”这一行中,农业增加值的计算是以1998年为基期的。

时为了得到更加丰富和客观的结论,本节从静态特点和动态演变两个方面评价各省在绿色农业发展上的差异和分布特点。

### (一) 农业绿色发展的静态特点

利用投入产出数据和方向距离函数的方法,计算得到各省2015年农业环境技术效率指标,上海、北京、天津、江苏、江西、河南、贵州、陕西和青海9省农业绿色发展指数为1,为绿色农业;四川(0.881)、广西(0.786)、山西(0.716)、黑龙江(0.705)4省为蓝色农业;浙江、福建、重庆、湖北、云南等17省为红色农业。

表2 2015年各省农业绿色发展状况分类表

类别	省份
绿色农业	上海、北京、天津、江苏、江西、河南、贵州、陕西、青海
蓝色农业	四川、广西、山西、黑龙江
红色农业	浙江、福建、重庆、湖北、云南、内蒙古、吉林、宁夏、安徽、山东、广东、新疆、河北、海南、湖南、甘肃、辽宁

中国农业绿色发展形势不容乐观。由2015年农业环境技术效率指标可以看出,红色农业占据的比例已经达到56.67%。处于绿色农业组别中,京、津、沪三地因其污染排放极少而达到效率前沿面,就北京来讲,虽然农林牧渔总产值(12713.2亿元)仅处于中间水平,但总氮、总磷和COD排放分别为3.54万吨、0.45万吨、6.39万吨,与产值相近的重庆和内蒙古相比,污染排放仅为其1/3和1/10。由此可以看出,在考虑资源与环境因素后的环境技术效率评价结果更加真实和科学。同样,采取上述方法计算得到1998-2015年各省份18年的效率均值,则可以得到各省农业绿色发展状况的分类,如表3:

表3 1998-2015年各省农业绿色发展状况分类表

类别	省份
绿色农业	上海、北京、江苏、江西、河南、陕西、青海
蓝色农业	吉林、四川、天津、山西、广西、浙江、湖北、福建、贵州、黑龙江、
红色农业	云南、内蒙古、宁夏、安徽、山东、广东、新疆、河北、海南、湖南、甘肃、辽宁、重庆

农业绿色发展呈现两极分化趋势。对比表2和表3可以得到:第一,在使用18年均值替代农业绿色发展指数之后,绿色农业发展组中的省份由9个降到7个,红色农业发展组中省份由17个降到14个,农业绿色发展可能呈现两极分化趋势,即“优者越优,劣者越劣”;第二,处于蓝色组和红色组中的地区,效率低下的原因主要有两个:一是要素投入高且污染严重,如四川、山东等,污染排放水平远高于其

他地区;二是产值较低,如宁夏、甘肃等,农林牧渔产值远低于其他地区,当然这也归咎于这些地区的特殊地理劣势和气候条件。

## (二) 农业绿色发展的动态演变

中国农业绿色发展水平呈现下降趋势。通过对 30 个省份绿色发展指数平均,得到各年度农业绿色发展指数,如图 1 所示,大体上可将农业绿色发展指数变化趋势分为波动期、平稳期和下降期三个阶段。第一阶段为波动期,时间年限为 1998—2004 年,在这一阶段绿色发展指数波动频繁,整体趋势下降,在 1999 年和 2002 年分别出现了短暂的上升,两次上升均难以扭转农业绿色发展恶化的趋势;第二阶段为平稳期,时间跨度为 2004—2011 年,在这一阶段农业绿色发展指数保持相对平缓,在 0.77 左右,2005 年和 2006 年有短暂回升之后又降落至平均水平;第三阶段为下降期,时间跨度为 2011—2015 年,整体趋势下降明显,但幅度不大。

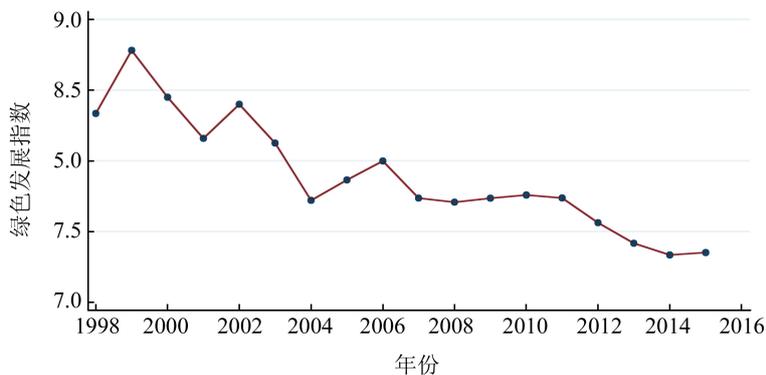


图 1 1998—2015 年中国农业绿色发展指数

中国农业经济发展与资源环境约束的两难状态有待进一步改善。为使结果更加直观,笔者将计算得到的农业绿色发展指数投射到中国地图,且用不同色块分区,分别展示出 2000 年、2003 年、2006 年、2009 年、2012 年、2015 年的农业绿色发展指数分布图,如图 2 所示。总体来看,30 个地区中,大多数地区农业绿色发展堪忧,特别是东北部、中部和南部沿海地区均表现出长期的失衡状态,农业经济发展与资源环境约束的两难状态有待进一步改善。观察发现,一是农业绿色发展呈现出两极分化的态势。由图中可以看出,2004 年之前,处于“蓝色农业”的区域较多,而在 2004 年之后,“蓝色农业”明显减少,这意味着农业绿色发展的次优区域逐渐向两端演化,形成“红色农业”与“绿色农业”的两极;二是处于“红色农业”区域逐渐扩大。东北部和北部区域表现极其明显,在经历 2001—2006 年的短暂改善之后又回到了原有的水平,山东半岛及周边地区长期处于落后状态,南方各省中,农业绿色发展改善态势相对较好,但中部和东部地区的部分省份也长期处于落后状态,应作为重点改善的区域。

## 五、农业绿色发展的分析模型、变量选取与估计方法

为了深入分析影响农业绿色发展的重要决定因素,可首先考察了机械水平、技术水平与人力资本对农业绿色发展的基础模型,然后再分析中国区域异质性差异对绿色农业发展的重要影响,同时为了克服模型设定的误差,用半参数估计的方法对模型设计进行修正,并考虑不同时期关键变量对中国绿色农业发展差异的影响。

### (一) 农业绿色发展分析的计量模型与变量选取

首先,构建影响农业绿色发展的基础模型。通过前文理论阐述与说明,为探讨机械水平、技术水平与人力资本三大要素对于农业绿色发展在不同区域、不同时间的影响程度,笔者首先设定一个简单的面

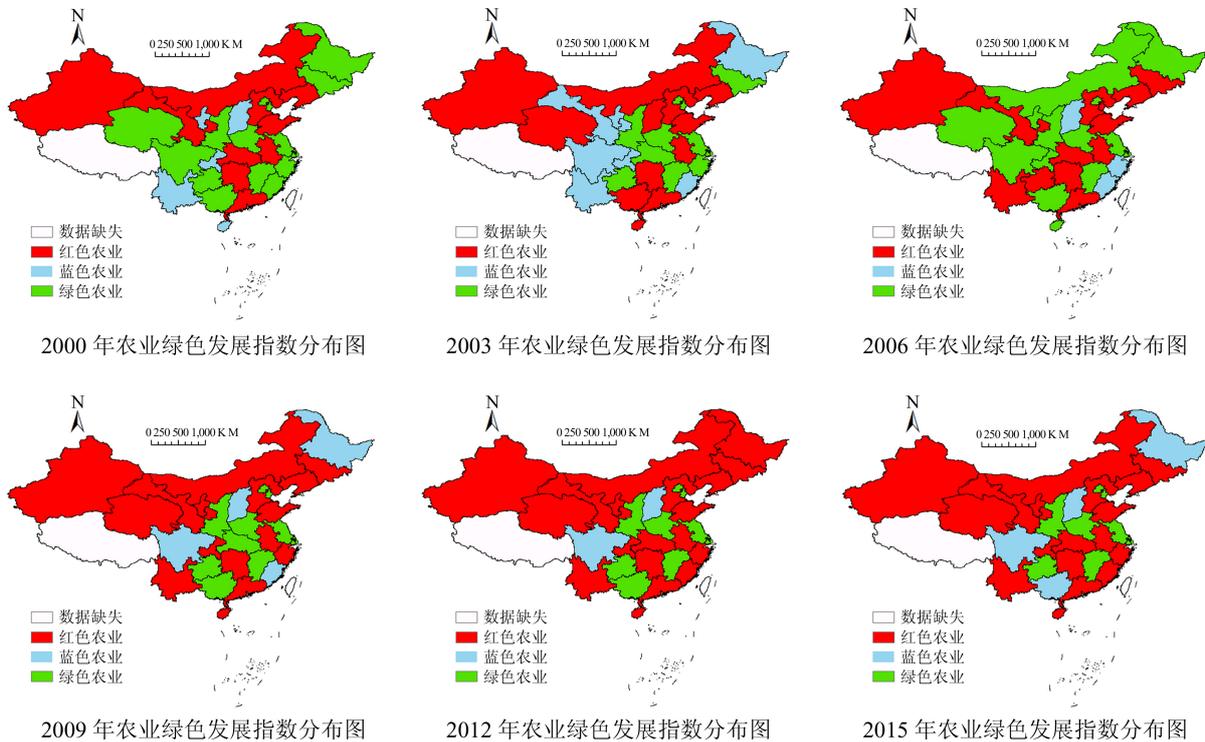


图2 中国农业绿色发展指数分布图

板模型,将农业绿色发展指数及三大要素的相关变量纳入其中,得到模型(6):

$$ETE_{i,t} = \beta_1 Mech_{i,t} + \beta_2 Prod_{i,t} + \beta_3 Huam_{i,t} + \alpha_i \cdot X_{i,t} + \gamma_{i,t} + \delta_t + \varepsilon_{i,t} \tag{6}$$

其中,  $ETE_{(i,t)}$  为样本  $i$  在时期  $t$  的农业绿色发展指数,  $Mech_{(i,t)}$  为机械化水平,  $Prod_{(i,t)}$  为生产水平,  $Huma_{(i,t)}$  为人力资本,  $X_{(i,t)}$  为哑变量,  $\gamma_i$  为不随时间变化的固定效应,  $\delta_t$  为不随个体变化的固定效应,  $\varepsilon_{(i,t)}$  为没有考虑在模型中的随机扰动项。  $\beta_1$  测度机械化水平对绿色发展指数的影响,  $\beta_2$  测度生产水平对绿色发展指数的影响,  $\beta_3$  测度人力资本对绿色发展指数的影响。

其次,构建区域异质性影响的模型。影响农业绿色发展的因素很多,现有的经验研究主要是通过一定的先验性假设,以数据进行验证,因而大多采用简化模型而非结构化模型的分析方法。经验研究文献大多根据自身研究主题需要和数据可得性,引入相应的控制变量。笔者研究的重点在于考察影响农业绿色发展的因素。由于中国国土面积大,南北方向气候差异明显,东西方向海拔差异巨大,导致农作物生产呈现显著的地域特征,因此笔者引入区域因素的虚拟变量,及虚拟变量与关键变量的交互项,用来捕捉不同区域的差异程度。得到非饱和模型(7):

$$ETE_{i,t} = \beta_1 Mech_{i,t} \cdot K + \beta_2 Prod_{i,t} \cdot K + \beta_3 Huam_{i,t} \cdot K + \alpha_i \cdot X_{i,t} + \gamma_{i,t} + \delta_t + \varepsilon_{i,t} \tag{7}$$

解释变量的说明。在非饱和模型(2)中,  $K$  为引入的虚拟变量,包含是否为小麦主产区,是否为水稻主产区,是否为棉花主产区。模型(6)使用全样本估计,模型(7)主要探究不同区域的差异程度。为对模型进行估计,笔者构建如下变量。

1. 机械化水平变量(Mech)。在文献中,常用体现机械化水平的变量为机械总动力,但机械总动力变量在计算农业绿色发展指数中已经作为投入变量使用,因此不管是机械化总动力还是其代理变量都与农业绿色发展指数可能存在内生性。根据 DEA 方向距离函数的计算方法,保持其他因素不变情况

下,机械总动力提高时,农业绿色发展指数降低,这并不符合现实生产中机械化水平增加时,农业生产率提高的状态,因此笔者使用单位播种面积的机械总动力作为机械化水平,刻画区域农业机械化水平。

2. 生产水平变量 (Prod)。根据速水佑次郎和弗农·拉坦在《农业发展: 国际前景》中对于农业生产水平的描述,农业生物技术的转移与扩散在很大程度上提高了农业生产的发展<sup>[29]</sup> (P141-287)<sup>[30]</sup> (P1320-1365),农业生物技术的转移是一个较为复杂的过程,但这并不是笔者所要考察的。因此,能体现生产水平差异可能在于农业灌溉和农业化学技术的进步,灌溉在很大程度上改善了由于旱灾给农业生产带来的影响;农业化学技术的进步能大大提高农作物产量,同时会造成不同程度的农业面源污染。笔者在衡量生产水平时,使用有效灌溉面积占总灌溉面积的比重衡量灌溉水平,同时,衡量农业化学技术的进步使用单位播种面积中塑料薄膜使用量和单位播种面积的化肥使用量,三者共同构成生产水平变量。

3. 人力资本变量 (Huma)。舒尔茨将人力资本归结于农业劳动力的健康水平、职业化水平和教育程度三个方面<sup>[25]</sup> (P150-159)<sup>[26]</sup> (P12-20)。鉴于健康水平和职业化水平变量难以获取,笔者使用农业劳动力受教育水平来衡量人力资本。以受教育程度包含每百人中中专及以上教育程度人数所占比例来衡量。

4. 其他控制变量。在控制变量的选取上,依据农业生产的特点以及其他文献控制变量选取的方法,笔者选取第一产业占 GDP 比重和农业占农林牧渔业 GDP 比重作为农业产业结构变量,复耕次数作为农业耕作制度变量,以受灾害程度作为不可抗力因素等。相关变量来源于《中国统计年鉴》《中国农村统计年鉴》、中经网统计数据库、国研网统计数据库、Wind 宏观数据库等。缺失数据通过插值法补全。

## (二) 农业绿色发展分析计量模型的估计方法

估计方法的差异对实证结果的影响也是很大的。为了深入分析对关键变量对农业绿色发展指数的影响,必须考察不同估计方法对模型(6)和(7)的影响。当前,参数估计依然是计量经济学的主流,因为它比较有效率,而且易于操作,但是其缺点也很明显,对模型设定所做的假定较强,可能导致较大的设定误差。比如,如果真实总体并非正态分布,甚至偏离正态分布较远,则正态分布前提下所做的统计推断可能有较大偏差<sup>[31]</sup> (P45-54)。换言之,由于参数估计法对模型的设定依赖性较强,故可能不够稳健。为得到更加稳健的估计,可选取了一般不对模型做任何假定的非参数估计方法,但其缺点是要求样本容量较大,而且估计收敛到真实值的速度也比较慢,鉴于以上原因,可考虑一种折中的办法,使用同时含有参数部分和非参数部分的半参数方法对模型进行估计,这样既降低了对样本容量的要求,又具有一定的稳健性。因此在模型(6)的基础上进行改进,具体设定如下:

$$ETE_{i,t} = \beta_1(z) \cdot Mech_{i,t} + \beta_2(z) \cdot Prod_{i,t} + \beta_3(z) \cdot Huam_{i,t} + \alpha_i \cdot X_{i,t} + \varepsilon_{i,t} \quad (8)$$

其中,  $\beta(z)$  表示估计系数随着  $z$  的变化而变化。为了简便,笔者选择时间作为变系数的自变量,即  $z_t = (t - 1998)/(2015 - 1998)$ ,  $t$  表示 1998-2015 年的具体年份。

半参数估计法的实质是局部多元线性回归,具体而言,笔者采用 Cai 等(2000)<sup>[32]</sup> (P941-956) 和 Li 等(2002)<sup>[33]</sup> (P412-422) 等发展的变系数模型核估计方法,影响系数估计量为:

$$\beta(z_t) = [\sum XX' * K[(z_t - z)/h]^{-1}] [\sum XY * K[(z_t - z)/h]]$$

其中,  $X$  表示解释变量的向量,  $Y$  表示被释变量的向量,  $K$  表示核函数,  $h$  表示与  $z$  相关的平滑参数,通常称为窗宽。为了简便,笔者采用常用的高斯核函数即:

$$h(u) = 1/\sqrt{2\pi} \exp(-1/2u^2)$$

同时,笔者将半参数估计方法得到的结果与固定效应的 Tobit 模型结果进行比较,在 Tobit 模型中将样本划分为 1998-2000 年(“九五”)、2001-2005 年(“十五”)、2006-2010 年(“十一五”)和 2011-2015 年(“十二五”)四个时间段,进行分阶段回归,考察在不同时期关键变量对农业绿色发展的影响

程度。

在模型(7)中,水稻主产区有湖南、湖北、江苏、安徽、浙江、福建、广东、广西、江西、四川等省份;小麦主产区有河北、山西、河南、山东、安徽、湖北、江苏、四川、陕西等省份;棉花主产区有山东、河北、新疆、河南、安徽、江苏、湖北、湖南、四川、山西等省份。另外,在南北区域划分上,以秦岭淮河为界,去除青藏和西北地区,南方包含云南、贵州、四川、湖北、湖南、江西、上海、福建、广东、广西、海南、安徽、江苏南部、重庆、浙江等地,北方包含黑龙江、辽宁、吉林、内蒙古、北京、河北山西、山东、河南、天津、安徽、江苏北部等地,为使区域划分明确,将江苏北部也划归了南方。数据基础统计量如表 4:

表 4 基础变量统计表

指标	单位	观测值	均值	标准差	最小值	最大值
农业绿色发展指数		540	0.79	0.19	0.53	1
机械总动力	万千瓦	540	2496.7	2538.9	96.5	13227.2
有效灌溉面积	千公顷	420	1908.2	1427	119	5342.1
单位播种面积的劳动力	万人/千公顷	540	0.19	0.07	0.06	0.35
中专及以上劳动人口比例	%	540	4.6	3.9	0.35	25.4
第一产业占 GDP 比重	100%	540	0.13	0.07	0.01	0.364
农业占农林牧渔业比重	%	540	57.6	9.2	34.3	81.8
耕作制度	季/年	540	1.26	0.37	0.68	2.28
受灾面积比例	100%	540	0.27	0.16	0	0.94

### 六、中国农业绿色发展的推动力

为了全面展示实证分析的结果,首先比较全样本和分样本条件下农业绿色发展决定因素的差异化影响,然后再考察非参数估计和地区异质性条件下中国农业绿色发展决定因素的不同作用。

#### (一) 基于线性模型分析的基本结论

为对结果更加合理透彻的理解,有必要对农业绿色发展指数进行定性分析,以方向距离函数测算得到的效率指标综合了投入、期望产出和非期望产出。在保持产出不变的情况下,任何有利于减少投入的因素称之为促增因素,即在保持投入不变的情况下,任何有利于增加期望产出或减少非期望产出的因素则称之为促减因素;与上述两种情况相反的因素则称之为促增因素。以化肥为例,化肥的使用有利于提高单产,为促增因素,但使用的同时也会造成农业面源污染,为促减因素,若促增大于促减,则表现为农业绿色发展指数的提高,反之则降低。

基于模型(6),采用固定效应的 Tobit 模型估计各变量对农业绿色发展指数的影响,结果见表 5 第(1)列,然后根据时间划分,进行分样本估计,结果见表 5 第(2)-(5)列。所有回归模型中都增加了控制变量,因年份选取始于 1998 年,所以“九五”时期包含 3 年数据,其余分样本回归中均包含 5 年数据。

全样本估计结果的说明。机械水平、农用薄膜、灌溉水平均与农业绿色发展指数表现出了显著的负相关,说明就总体而言,这三类因素的促减因素占据上风,造成农业面源污染的效果大于了农业产出增长的效果。可能的原因在于机械的使用(包含机电灌溉)耗费了大量的能源,而农用薄膜的使用造成土壤板结,给环境带来了极大的负面影响。同样,肥料使用系数为负但不显著,原因可能相似。人力资本的提升显著提高了农业绿色效率水平,可能的原因在于农业从业人员受教育水平的提升,能很好促进农业生产技术的接收和传播,以及高素质的劳动者也会产生管理溢出效应,利于农业的绿色发展。

分样本估计结果的比较。可以明显看出,各个指标在不同时期的表现均不相同,以肥料使用为

例,“九五”和“十五”时期肥料的使用均大大提高了农业绿色生产效率,但在“十五”以后,促减因素作用明显,说明化肥的使用带来的污染已经超过了产出的改善。同样,机械水平、塑料薄膜、灌溉水平和人力资本也表现出了相同的特征。这也证明,变系数半参估计方法的使用极为必要。

表 5 全样本与分样本估计

指标	全样本	“九五”	“十五”	“十一五”	“十二五”
r_machine	-0.088***	-0.151	-0.165**	-0.108*	-0.012
	-0.022	-0.056	-0.036	-0.05	-0.018
r_plastic	-0.002***	-0.007*	-0.002	-0.002**	-0.001
	0	-0.002	-0.001	-0.001	-0.001
r_irrigation	-0.089***	0.004	-0.092	-0.123	-0.064
	-0.023	-0.049	-0.06	-0.067	-0.044
r_fertilizer	-0.314	0.909	1.864*	-0.197	-1.870*
	-0.434	-0.802	-0.785	-0.269	-0.705
human_capital	0.002**	0.008	0.003	0.002	0.003*
	-0.001	-0.008	-0.007	-0.003	-0.001
控制变量	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
观测值	540	90	150	150	150
年数	18	3	5	5	5

注: \*、\*\*、\*\*\* 分别代表在 10%、5%、1% 的水平上的显著性。

## (二) 基于变系数半参估计的基本结论

诚然, 以上的回归模型提供了机械水平、生产水平和人力资本对于农业绿色发展的影响程度, 但是作为一个线性模型, 模型 (6) 和 (7) 只能反映各变量对农业绿色发展指数在全样本或分样本期间的平均影响程度, 因为模型默认了回归系数是解释变量的线性函数, 其结果是在所有样本均值条件下得到的, 也只有在均值意义上才有明确的理论含义。如线性模型粗略估计的结果所示, 各关键因素对于绿色发展指数的影响可能是非线性关系, 至少是随着经济社会变化的变化而变化, 因此笔者给出了变系数半参数方法估计的结果如图 3 所示。

变系数半参数估计结果的分析。图 3 横坐标为时间趋势, 通过  $z_t = (t - 1998) / (2015 - 1998)$  得到, 纵坐标表示关键变量系数的变化情况。显然, 变系数模型得到的结果比单纯的多元线性回归模型得到的结果更加丰富。具体而言有以下几点发现。第一, 机械水平作用不断提高。在样本期间内, 机械水平的系数始终为负, 说明机械使用耗费的能源带来的促减因素大于促增因素, 但是随着时间推移, 机械水平对农业绿色发展的促进作用将更加明显, 而这也是“机械化”农业和现代农业的发展方向。第二, 技术水平各因素表现差异巨大。塑料薄膜的使用和机械化水平表现出相同的特征, 一方面是因为塑料薄膜的回收率有所提高, 避免了土壤进一步恶化, 另一方面是塑料薄膜的大面积使用为农业增产增收创造了有利条件。灌溉水平的系数呈现出“U”型特征, 2006 年左右到达最低点, 然后逐年上升, 也充分说明机电灌溉的大面积使用降低了天气变化给农业生产带来的负面影响, 而且随着技术发展, “滴灌”等节水灌溉的设施使用会成为现代农业生产的主流。肥料的使用系数逐渐减小, 说明农用化肥的使用的促增因素减弱, 而促减因素逐渐明显。在人力资本系数变化情况中可以发现, 人力资本的提升都为农业绿色发展创造有利条件, 虽然在 2004 年之前, 其正向作用逐渐下降, 但在 2007 年之后, 人力资本的重要性又逐渐提升, 在今后的农业绿色发展过程中, 高素质的管理人才作用将会更加明显, 这也是欧美农业现代化发展给我们带来的启示之一。

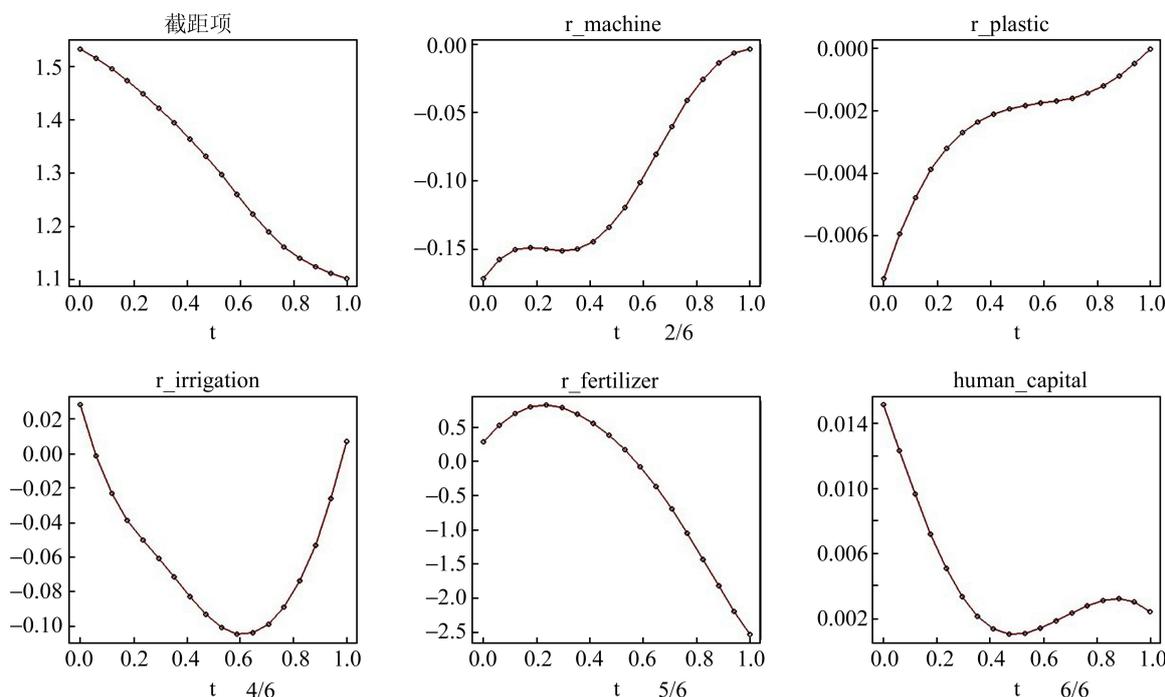


图3 变系数半参数估计的结果

结合中国农业的发展状况,我们不难发现上述这些变化实际上与不同时期的经济现实高度关联。第一,2004 年是各指标变化的拐点。自 2004 年“三农政策”的提出,国家以“努力实现粮食稳定增产、农民持续增收”为政策导向,为农业的增长提供了政策保障;第二,系数指标与预测方向不一致,但变化趋势与预测相同,以机械水平为例,随着促增因素的逐渐提高,其对农业绿色发展指数的影响逐渐变为正。

### (三) 基于异质性分析的基本结论

为继续探讨不同区域的绿色发展动力机制,根据前文对于农业作物主产区的划分,笔者对样本剔除部分数据之后,使用变系数非参数估计方法进行重新估计。可以发现,首先,人力资本始终都是促进农业绿色发展的重要因素。随着农业现代化进程的不断推进,农业生产合作社、规模种植、家庭农场等成为一种趋势,这就需要农业生产者具有更高的素质来参与生产和管理。其次,机械水平的提高将会显著改善现有的农业绿色生产效率。虽然在不同粮食主产区机械水平的系数均为负值,但是其表现出的趋势预示着机械水平的提高将会是农业绿色发展不可或缺的促增因素。再次,根据农作物的差异,其他关键变量的表现情况各有不同。如水稻种植区域对于化肥的使用较为敏感,大量的化肥投入将会产生更多的面源污染,而在小麦和棉花种植区域,化肥系数均为“倒 U”曲线,而且均为正,说明化肥的施用极大地提高了小麦和棉花的产量,但是随着时间的推移,过量使用带来的促减因素将会逐渐明显。

## 七、主要结论与政策含义

我国的农业经历了波澜壮阔的改革历程,取得了举世瞩目的成就,逐渐形成了中国特色社会主义的农业发展模式,与此同时,农业发展带来了严重的面源污染。笔者基于 DEA 方向距离函数方法从宏观层面对中国 30 个省、市、自治区农业绿色发展进行了比较分析,提出影响农业绿色发展的因素,并运用 1998-2015 年省域面板数据进行了模拟和验证。

方向距离函数测算得到的技术效率指标表明,我国 30 个地区中,大多数农业绿色发展堪忧,特别是

东北部、中部和南部沿海地区均表现出长期的失衡状态,农业经济发展与资源环境约束的两难状态有待进一步改善;东北部和东南沿海地区农业绿色发展逐渐恶化,中部地区状态差异明显,并未出现“模仿效应”,西部地区表现良好,农业绿色发展区域逐渐扩大。通过变系数非参数方法,笔者探讨了机械水平、生产水平和人力资本对于农业绿色发展的影响,较好地模拟出几个关键因素随时间变化的不同趋势,发现人力资本的提升是农业绿色发展的不可替代因素;而机械水平与反映生产技术的几个变量在不同时期表现均有所不同,但是随着经济社会的不断发展和农业现代化进程的不断推进,机械水平、生产水平将会是促进农业绿色发展的促增因素。并且三种因素在不同作物种植区域表现也有所差异。因此,农业绿色发展只是表象,要让我国农业更加高效、绿色、可持续发展,从更深层次上推动农业转型,必须因地制宜,在从根本上推动农业发展的同时,治理农业环境污染。

### 参考文献

- [1] 崔晓,张屹山. 中国农业环境效率与环境全要素生产率分析. 中国农村经济,2014,(8).
- [2] 林毅夫. 制度、技术与中国农业的发展. 上海: 上海人民出版社,1992.
- [3] 乔榛,焦方义,李楠. 中国农村经济制度变迁与农业增长——对 1978—2004 年中国农业增长的实证分析. 经济研究,2006,(7).
- [4] 盛济川,施国庆,梁爽. 农地产权制度对农业经济增长的贡献. 经济学动态,2010,(8).
- [5] 李谷成,范丽霞,冯中朝. 资本积累、制度变迁与农业增长——对 1978—2011 年中国农业增长与资本存量的实证估计. 管理世界,2014,(5).
- [6] 彭白桦. 国际市场影响对国内农产品市场价格的波动影响研究. 农业经济问题,2016,(11).
- [7] 陈先勇. 二元结构与经济发展——对中国农业经济发展要素的解析. 武汉大学学报(哲学社会科学版),2007,(1).
- [8] 朱喜,史清华,盖庆恩. 要素配置扭曲与农业全要素生产率. 经济研究,2011,(5).
- [9] 吕炜,张晓颖,王伟同. 农机具购置补贴、农业生产效率与农村劳动力转移. 中国农村经济,2015,(8).
- [10] 彭佩钦,仇少君. 洞庭湖区农业环境与湖垸农业可持续发展模式. 长江流域与环境,2005,14(3).
- [11] 乐波. 欧盟的农业环境保护政策. 湖北社会科学,2007,(3).
- [12] Rolf Färe, Shawna Grosskopf. Environmental Production Functions and Environmental Directional Distance Functions. *Energy*, 2007,32(7).
- [13] 李谷成,范丽霞,闵锐. 资源、环境与农业发展的协调性——基于环境规制的省级农业环境效率排名. 数量经济技术经济研究,2011,(10).
- [14] 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. 中国农村经济,2016,(3).
- [15] 杨俊,陈怡. 基于环境因素的中国农业生产率增长研究. 中国人口·资源与环境,2011,21(6).
- [16] 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. 资源科学,2013,35(7).
- [17] 叶初升,惠利. 农业财政支出对中国农业绿色生产率的影响. 武汉大学学报(哲学社会科学版),2016,69(3).
- [18] 李谷成. 中国农业绿色生产率革命:1978—2008 年. 经济学(季刊),2014,13(2).
- [19] Rolf Färe, Shawna Grosskopf, etc. Measuring Plant Capacity, Utilization and Technical Change: A Nonparametric Approach. *International Economic Review*,1989,30(3).
- [20] 涂正革. 环境、资源与工业增长的协调性. 经济研究,2008,(2).
- [21] 潘丹. 基于资源环境约束的中国农业绿色生产率研究. 北京: 中国环境出版社,2013.
- [22] L. M. Seiford, J. Zhu. A Response to Comments on Modeling Undesirable Factors in Efficiency Evaluation. *European Journal of Operational Research*, 2005,161(2).
- [23] 张培刚. 农业与工业化. 北京: 中国人民大学出版社,2014.
- [24] 杭帆,郭剑雄. 人口转型、技术进步与中国农业的可持续增长. 西北农林科技大学学报(社会科学版),2016,16(1).
- [25] 西奥多·舒尔茨. 对人进行投资: 人口质量经济学. 吴珠华译. 北京: 首都经济贸易大学出版社,2002.
- [26] 西奥多·舒尔茨. 改造传统农业. 梁小民译. 北京: 商务印书馆,2006.
- [27] K. Emerick, A. D. Janvry, E. Sadoulet, etc. Technological Innovations, Downside Risk, and the Modernization of Agriculture.

*American Economic Review*,2016,106(6).

[28] 邓大才. 改造传统农业: 经典理论与中国经验. 学术月刊,2013,(3).

[29] 速水佑次郎,弗农·拉坦. 农业发展: 国际前景. 吴伟东译. 北京: 商务印书馆,2014.

[30] P. Bustos, B. Caprettini, J. Ponticelli. Agricultural Productivity and Structural Transformation: Evidence from Brazil. *American Economic Review*, 2016,106(6).

[31] 傅晓霞,吴利学. 中国能源效率及其决定机制的变化——基于变系数模型的影响因素分析. 管理世界,2010,204(9).

[32] Z. Cai, J. Fan, Q. Yao. Functional Coefficient Regression Models for Nonlinear Time Series. *Publications of the American Statistical Association*,2000,95(451).

[33] Q. Li, C. J. Huang, D. Li, etc. Semiparametric Smooth Coefficient Models. *Journal of Business & Economic Statistics*, 2002,20(3).

## Research on the Regional Difference and Dynamic Mechanism of Agricultural Green Development in China

Tu Zhengge, Gan Tianqi (Huazhong Normal University)

**Abstract** Achieving green agricultural development is one of the prerequisites for the construction of “beautiful villages”. This study finds that: As far as agriculture is concerned, the green development in most of China’s 30 regions is bad, especially in the northeastern, central and southern coastal regions. The green development of agriculture has gradually deteriorated, and the status in the central region was significantly different and the “imitation effect” is not exist over there. The research results based on the variable coefficient semi-parametric estimation method show that: mechanical level, production level, and human capital are the three major driving forces for promoting green development in agriculture. The alternating effect of promoting and reducing factors leads to the performance of each indicator in different periods and regions. Therefore, to achieve green agricultural development needs to adapt to local conditions, promote economic development, and control agricultural non-point source pollution. In short, the promotion of green agricultural development can achieve “a Chinese beautiful rural dream”.

**Key words** agricultural green development index; dynamic mechanism; direction distance function; variable coefficient semi-parametric estimation

---

■ 收稿日期 2018-09-10

■ 作者简介 涂正革,经济学博士,华中师范大学经济与工商管理学院教授、博士生导师;湖北 武汉 430079。  
甘天琦,华中师范大学经济与工商管理学院博士生。

■ 责任编辑 肖光恩