

# 中国低碳农业发展的空间异质性及影响机理研究

田 云, 张俊飏, 陈池波

**摘 要:** 利用 DEA-Malmquist 模型考察了我国 30 个省(市、区) 1994—2012 年的低碳农业发展水平, 并对其空间差异进行了比较分析。在此基础上, 运用 Tobit 模型考察了影响其变化的主要机理。研究表明: (1) 我国东、中部地区的一些省份低碳农业发展水平相对较高, 而西部地区的省份则普遍偏低; 结合 30 个地区低碳农业发展水平的数值差异, 可将其划分为高速、快速、中速、慢速和下降等 5 个组别。(2) 在推进低碳农业发展上, 农业前沿技术发挥了更为重要的作用, 而技术效率改善所起到的作用相对较小, 对技术效率分解可知, 规模效率对低碳农业发展的贡献程度要高于纯技术效率。(3) 在惠农型“中央一号”文件全面出台之前, 我国低碳农业发展主要受农村基础教育水平、经济发展水平、自然灾害等因素影响; 而在此之后, 则主要受农业公共投资、农业开放度、自然灾害等因素影响。分区域来看, 无论是同一阶段还是不同阶段, 影响我国东部、中部和西部地区低碳农业发展的因素都同中有异。

**关键词:** 农业碳排放; 农业碳汇; 低碳农业; 地区差异; 影响机理

**中图分类号:** F320.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-0169(2016)04-0033-12

**DOI:** 10.16493/j.cnki.42-1627/c.2016.04.005

## 一、引 言

当前农业温室气体排放的持续增加已成为全球气候变暖的重要推力, 为此, 今后应加快推进农业碳减排步伐。为了更好地探索农业低碳转型之路, 越来越多的学者开始围绕低碳农业这一选题展开探究, 并形成了一系列极具代表性的研究成果, 主要体现在四个方面: 一是对低碳农业概念进行界定。综合一些学者的观点可知, 低碳农业是指充分运用技术、政策与管理等多种措施, 在实现农业产出持续增长的同时, 尽可能提高农业碳汇能力, 并降低农用物资投入、减少农业碳排放的一种新型现代化农业生产方式<sup>[1][2][3]</sup>。二是探讨农业生态固碳技术与低碳农业发展模式。其中, 前者又称农业碳封存技术, 是指将碳由气态转化为固态形式, 直至作物吸收或土壤储存, 具体措施如增加农作物覆盖、减少翻耕强度与频率、有效管理农作物残留物等<sup>[4][5]</sup>; 后者则对低碳农业发展模式进行了具体梳理, 主要包括产业链互动模式、碳汇农业模式和立体农业模式<sup>[6]</sup>。三是阐述低碳农业发展所面临的挑战及其未来发展路径。农业资源利用率偏低、农业面源污染日趋严重、农产品质量安全问题屡见不鲜、相关政策制度严重缺失、农民文化水平较低、农业生产体制相对分散等是低碳农

**基金项目:** 国家自然科学基金项目“气候框架公约下农业碳排放的增长机理及减排政策研究”(71273105); 国家社会科学基金重点项目“新常态下农业支持政策执行情况评估与执行机制优化研究”(15AJY014); 中国博士后科学基金面上资助项目“中国农业净碳汇核算及其价值实现机制研究”(2016M590735)

**作者简介:** 田云, 中南财经政法大学应用经济学博士后流动站在站博士后, 中南财经政法大学工商管理学院讲师(湖北武汉 430073); 张俊飏, 管理学博士, 华中农业大学经济管理学院教授、博士生导师(湖北武汉 430070)

业发展过程中所遭遇的共性问题<sup>[7][8]</sup>。郑恒等<sup>[9]</sup>则从国家政策、产业以及技术层面较为系统地探究了低碳农业的未来发展之路,具体策略包括强化宏观政策引导、积极转变农业发展方式、广泛采用节碳固碳技术、建立利益引导机制等。四是分析农户农业低碳生产行为。田云等<sup>[10]</sup>以化肥施用和农药使用为例,探究了农户农业低碳生产行为及其影响因素,发现耕地面积小、务农年限长、户主为男性的农户通常更倾向于选择农业低碳生产行为。杨红娟等<sup>[11]</sup>以云南耿马县佤族农户为例,利用 Logistic 模型分析了影响少数民族农户低碳生产行为的主要因素,发现主要受农业收入、土地面积、周围人行为方式等因素影响。

纵览文献可知,当前对低碳农业的研究主要集中在宏观理论层面和微观农户视角,而鲜有学者着眼于低碳农业概念,将农业碳排放、农业碳汇以及农业投入产出纳入到同一分析框架之内,从实证角度对其发展水平进行系统考察。鉴于此,本文尝试采用基于方向性距离函数的环境规制模型,设计考虑非合意产出的 DEA-Malmquist 模型来综合考察低碳农业发展水平,并将其定义为“低碳农业生产率”。具体而言,本文试图从两个方面对文献进行扩展:(1)为了更好地诠释低碳农业理念,不同于一般考察农业低碳生产率的相关研究<sup>[12][13]</sup>,本文除了将农业碳排放作为非合意产出之外,还将在农林牧渔总产值的基础上增加另一合意产出——农业碳汇。(2)在对低碳农业发展影响机理进行探究时,一方面将结合涉农政策的重大转变,基于全国 30 个省(市、自治区)的面板数据分时段进行考察;另一方面鉴于我国自然资源禀赋、社会经济发展水平地区差异较大,拟分别探讨影响我国东部、中部和西部地区低碳农业发展的主要因素,在此基础上归纳其异同点。

## 二、研究方法

本文所要探讨的低碳农业生产率是传统农业全要素生产率的一种特殊形式,其不同之处在于产出指标的设置不仅涉及了合意产出,还兼顾了非合意产出。由于存在非合意产出,Shephard 距离函数无法完成对其全要素生产率的准确测度。为了解决这一问题,实际分析中将构造基于 SBM 方向性距离函数的 Malmquist-Luenberger 生产率指数对我国低碳农业发展水平进行测度。该方法在探究碳排放约束下或者环境规制下的农业生产率方面均发挥了重要作用。而本文与这些研究的指导思想基本一致,也是在产出指标的设置上兼顾非合意产出,唯一区别则在于具体指标的选择,故该模型同样适用于本研究。具体分析中,将引用跨期动态概念,参照 Malmquist 指数几何平均值思路,构造从时期  $t$  到  $t+1$  基于乘除结构和相邻参比的 SBM 方向性距离函数的全要素生产率指数,并定义为低碳农业生产率 (LTFP) 指数:

$$\begin{aligned} LTFP(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1}; x^t, y^t, b^t) &= \left[ \frac{\vec{S}_c^t(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1})}{\vec{S}_c^t(x^t, y^t, b^t)} \times \frac{\vec{S}_c^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1})}{\vec{S}_c^{t+1}(x^t, y^t, b^t)} \right]^{\frac{1}{2}} \\ &= \frac{\vec{S}_c^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1})}{\vec{S}_c^t(x^t, y^t, b^t)} \times \left[ \frac{\vec{S}_c^t(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1})}{\vec{S}_c^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1})} \times \frac{\vec{S}_c^t(x^t, y^t, b^t)}{\vec{S}_c^t(x^t, y^t, b^t)} \right]^{\frac{1}{2}} \\ &= EFF(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1}; x, y, b) \times TECH(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1}; x, y, b) \end{aligned} \quad (1)$$

其中,  $LTFP(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1}; x^t, y^t, b^t)$  表示从  $t$  期到  $t+1$  期低碳农业生产率的实际变化情况,进一步可分解为技术效率变化指数 ( $EFF$ ) 和前沿技术进步指数 ( $TECH$ )。  $LTFP(\cdot) > 1$  时,表示低碳农业生产率增长,即低碳农业发展水平处于提升状态,反之则处于下降态势;  $EFF(\cdot) > 1$  时,表示农业技术效率得到了一定改善,反之则不断恶化;  $TECH(\cdot) > 1$  时,表示农业前沿技术呈现进步态势,反之则不断退步。由于式 (1) 的计算涉及四个 SBM 方向性距离函数,为此需对应求解四个线性规划。

### 三、变量界定与数据处理

#### (一) 农业投入变量

结合研究目的,将选取劳动力、土地等作为农业生产的投入变量。与以往研究相比,本文增加了农药与农膜,因为二者的广泛使用对农业生产也产生了较为深远的影响,对其不应回避。

1. 劳动投入。劳动是农业生产最为基本的生产要素投入,离开劳动力,其他农业生产资料通常难以创造出产品。基于数据可得性,本研究仍延续其他学者的一般做法,将各省份第一产业年末从业人员作为劳动力投入变量的替代指标,而不考虑劳动种类及质量的差别,单位为万人。

2. 土地投入。土地是从事一切农业活动的物质载体,由于不同地区耕地复种指数存在差异且实际生产中还存在休耕、弃耕现象,选取耕地面积作为土地投入变量易使测算结果出现偏差。考虑到不同指标间可能存在信息重叠现象,同时也为了消除复种指数的影响,本文参照一些学者的普遍做法,选取各省(市、区)每年的农作物实际播种面积作为土地投入的替代变量,单位为千公顷。

3. 化肥投入。化肥是最为重要的农业生产性资料投入,能提供农作物生长所必需的营养元素,并在一定程度上改善土壤性质,提高土壤肥力,从而使农业产量得到较大提升;但同时,化肥的大量使用在一定程度上也会加剧农业温室气体排放。本文将以各省(市、区)每年用于农业生产的化肥实际施用量(折纯量)为准,单位为万吨。

4. 农药投入。农药也是重要的农业生产性资料投入,在预防、消灭或控制农业病虫害方面发挥着极为重要的作用,从而有助于农业的增产高效;但同时农药的广泛使用也会带来一定危害,一是污染环境,引发温室气体排放,二是对人体健康产生不利影响。本文将以各省(市、区)每年用于农业生产的农药实际使用量为准,单位为吨。

5. 农膜投入。作为又一类重要的农业生产性资料投入,农膜主要用于覆盖农田,起到提高地表温度、保持土壤湿度、促进种子发芽与幼苗快速生长的作用,其特性与化肥、农药一样,同样具有增产与增排的双重属性。本文将以各省(市、区)每年用于农业生产的农膜实际使用量为准,单位为吨。

6. 机械动力投入。农用机械的大量使用能极大提升农业生产效率,但同时也意味着以柴油为代表的农用能源使用量的增加,由此引发大量碳排放。本文将以各省(市、区)每年的农业机械总动力为准,单位为万千瓦。

7. 灌溉投入。水资源是农作物生长发育的必备条件,在水稻产区以及干旱、半干旱农牧区通常会利用灌溉手段满足农作物对水资源的迫切需求。从古至今,灌溉在农业生产活动中均扮演着极为重要的角色,因此在选取农业投入指标时有必要考虑灌溉投入。本文将以各省(市、区)每年的实际有效灌溉面积为准,单位为千公顷。

8. 役畜投入。一直以来,役畜在农业生产中都扮演着较为重要的角色,近年来虽随着农业机械的广泛应用其重要性大幅降低,但在一些偏远山区或者农业落后地区仍发挥着重要作用,为此在考虑农业投入时仍不能忽视役畜投入。本文将以各省(市、区)每年参与农业生产活动的农用役畜数量为准,单位为万头。

#### (二) 农业产出变量

1. 合意产出变量。(1) 农业经济产出量。为了与农业投入统计口径保持一致,本文以2000年不变价的农林牧渔总产值(即广义农业总产值)作为农业经济产出的替代变量,单位为亿元。(2) 农业生态产出量。选择农业碳汇作为农业生态产出的替代变量,单位为万吨。将农业生态产出作为合意产出是本文的创新点之一,加入该变量一方面能让农业的正外部属性得到体现,因为农业所具

备的碳汇属性能大量吸收空气中的二氧化碳,进而起到净化空气、抑制温室效应的目的;另一方面则能更好地诠释低碳农业“高收益、高碳汇、低能耗、低排放”的理论内涵。在实际分析中,综合考虑人为活动的参与程度、数据的可获取性以及相关理论研究的成熟性,农业碳汇只考察主要农作物整个生长周期中的碳吸收,而不考虑碳汇效应同样突出的林地和草地<sup>[14]</sup>。具体而言,农业碳汇是指作物光合作用形成的净初级生产量,即生物产量,其计算公式如下:

$$C = \sum_i^k C_i = \sum_i^k c_i \cdot Y_i \cdot (1-r)/HI_i \quad (2)$$

其中, $C$ 为农作物碳汇总量; $C_i$ 为某种农作物的碳汇量; $k$ 为农作物种类数; $c$ 为农作物通过光合作用合成单位有机质所需吸收的碳量; $Y_i$ 为农作物的经济产量; $r$ 为作物经济产品部分的含水量; $HI_i$ 为农作物经济系数。具体到我国,主要包括水稻、小麦、玉米、豆类、油菜籽、花生、向日葵、棉花、甜菜、蔬菜、瓜类、烟草以及除此之外的其他农作物,与之对应的碳吸收率和经济系数主要出自韩召迎等<sup>[15]</sup>、田云等<sup>[14]</sup>的相关文献。

2. 非合意产出变量。选择农业碳排放作为非合意产出的替代变量。延续以往研究的一般做法,本文也从三个方面对其进行考察:一是化肥、农药、农膜、农用柴油、灌溉等农业物质要素投入所导致的碳排放,其排放系数出自贺亚亚等<sup>[16]</sup>、田云等<sup>[17]</sup>的相关研究。二是水稻种植所引发的温室气体排放,以甲烷( $CH_4$ )为主,其排放系数主要出自王明星等<sup>[18]</sup>的研究成果,该系数充分考虑了水稻种植的地域分布及其生长周期差异,具有较强的科学性。三是牛、马、驴、骡、骆驼、猪、羊、家禽等牲畜养殖所引发的碳排放,以甲烷( $CH_4$ )和氧化亚氮( $N_2O$ )为主,其中前者由牲畜肠道发酵和粪便管理共同引致,而后者则主要源于粪便管理,与之相关的所有排放系数均出自IPCC。据此,构建农业碳排放测算公式如下:

$$E = \sum E_i = \sum T_i \cdot \delta_i \quad (3)$$

其中, $E$ 为农业碳排放总量, $E_i$ 为各碳排放源所引发的碳排放量, $T_i$ 、 $\delta_i$ 分别表示各碳排放源的原始量与碳排放系数。鉴于不同牲畜品种的饲养周期通常存在一定差异,本文参照胡向东等<sup>[19]</sup>的研究对各类牲畜年均饲养量进行必要调整。

### (三) 数据来源与处理

农业碳排放与农业碳汇测算所需要的原始数据、第一产业年末从业人员、农作物播种面积、化肥施用量、农药与农膜使用量、农用机械总动力、有效灌溉面积、役畜数量、农林牧渔总产值等农业投入产出数据出自历年的《中国农村统计年鉴》、《中国农业统计资料》、《中国畜牧业年鉴》及一些省(市、区)地方年鉴。同时,为了保持统计口径的一致性,将重庆与四川合并,统一归为四川省。需要说明的是,本文选择1994—2012年作为分析年段主要是基于两点考虑:一是数据的可获取性。由于农业碳排放测算涉及近20个细化指标,其中许多指标所需原始数据在1993年之前均缺乏相应的宏观统计,基础数据缺失较为严重,由此导致1993年之前的农业碳排放核算工作难以完成。二是阶段划分的合理性。回归分析中将以大量惠农政策全面实施的2004年作为中间节点,将整个考察周期划分为1994—2003年、2004—2012年两个阶段,通过比较可知,二者所包含年限基本一致。

## 四、实证结果与分析

### (一) 低碳农业发展及其源泉的省域比较

测算1994—2012年30个省(市、区)低碳农业生产率(LTFP)、技术效率(EFF)、农业前沿技术进步(TECH)以及纯技术效率(PECH)和规模效率(SECH)的平均值如表1所示。

表 1 我国 30 个省(市、区)的低碳农业生产率平均值

地区	EFF	TECH	PECH	SECH	LTFP	排名	变化类型
北京	1.000 0	1.072 1	1.000 0	1.000 0	1.072 1	1	高速增长
天津	1.000 0	1.036 7	1.000 0	1.000 0	1.036 7	4	快速增长
河北	1.007 8	1.010 7	1.000 0	1.007 8	1.018 5	15	慢速增长
山西	1.002 9	1.001 7	1.002 9	1.000 1	1.004 6	18	慢速增长
内蒙古	1.000 0	0.984 8	1.000 0	1.000 0	0.984 8	26	下降
辽宁	1.000 0	1.027 3	1.000 0	1.000 0	1.027 4	11	中速增长
吉林	1.000 0	1.000 5	1.000 0	1.000 0	1.000 5	19	慢速增长
黑龙江	1.000 0	1.022 0	1.000 0	1.000 0	1.022 0	13	中速增长
上海	1.000 0	1.036 7	1.000 0	1.000 0	1.036 7	5	快速增长
江苏	1.000 0	1.041 6	1.000 0	1.000 0	1.041 6	3	快速增长
浙江	1.000 0	1.028 4	1.000 0	1.000 0	1.028 4	10	中速增长
安徽	1.015 1	1.027 8	1.011 4	1.003 6	1.043 3	2	快速增长
福建	1.000 0	1.033 5	1.000 0	1.000 0	1.033 5	6	快速增长
江西	0.997 5	0.998 6	0.997 7	0.999 9	0.995 9	23	下降
山东	1.008 9	1.022 9	1.000 0	1.008 9	1.032 0	7	快速增长
河南	1.007 3	1.022 4	1.000 0	1.007 3	1.029 8	8	中速增长
湖北	0.994 4	1.011 5	0.992 8	1.001 5	1.006 0	17	慢速增长
湖南	0.999 4	1.000 3	0.997 2	1.002 3	0.999 7	21	下降
广东	1.000 0	1.028 4	1.000 0	1.000 0	1.028 4	9	中速增长
广西	1.000 0	1.010 3	1.000 0	1.000 0	1.010 3	16	慢速增长
海南	1.000 0	0.888 6	1.000 0	1.000 0	0.888 6	30	下降
四川	0.997 1	0.997 8	1.000 0	0.997 1	0.994 8	24	下降
贵州	0.995 3	0.984 2	0.997 3	0.998 0	0.979 5	27	下降
云南	0.987 7	1.003 4	0.988 4	0.999 3	0.991 4	25	下降
西藏	1.000 0	0.950 3	1.000 0	1.000 0	0.950 3	29	下降
陕西	1.005 8	1.015 2	1.002 2	1.003 6	1.021 2	14	中速增长
甘肃	0.993 5	1.006 6	0.992 6	1.000 8	1.000 1	20	慢速增长
青海	1.000 0	0.957 7	1.000 0	1.000 0	0.957 7	28	下降
宁夏	1.000 0	0.998 5	1.000 0	1.000 0	0.998 5	22	下降
新疆	1.000 0	1.025 0	1.000 0	1.000 0	1.025 0	12	中速增长

1. 低碳农业发展水平的省域比较。由表 1 可知, 北京低碳农业发展水平以绝对优势占据榜首, 其 LTFP 指数均值高达 1.072 1; 海南最低, 仅为 0.888 6。从区域分布来看, 低碳农业生产率均值较高的省份主要分布于我国东、中部地区, 而 LTFP 均值较低的省份则集中在我国西部地区。为了更清晰地展现地区差异特点, 结合各自低碳农业生产率数值的绝对差异, 将 30 个省(市、区)划分为“高速”、“快速”、“中速”、“慢速”和“下降”五个组别。其中, “高速组”即为低碳农业生产率明显快于其他地区的一些省域集合; “快速组”即指低碳农业生产率介于 1.03~1.05 之间的所有地区集合; “中速组”是指低碳农业生产率介于 1.02~1.03 之间的所有地区集合; “慢速组”即指低碳农业生产率高于 1.00 但却低于 1.02 的所有地区集合; “下降组”是指低碳农业生产率低于 1.0 的所有地区的集合。具体划分详见表 1。

其中, “高速组”仅包括北京一地, 其低碳农业生产率要远高于其他 29 个地区, 究其原因, 一方面得益于其较高的农业生产水平, 农用物资利用效率较高; 另一方面则与其产业结构密切相关, 由于畜牧业所占比重较低, 不仅客观上降低了农业碳排放强度, 还提升了农业碳汇水平(即农业碳汇与农业碳排放之间的比值); 除此之外, 还与其良好的地理位置有关, 由于以城郊农业为主且目

标市场为首都,农产品市场价值得到了极大提升。

“快速组”包括天津、上海、江苏、安徽、福建、山东等4省2市,主要分布于我国华东和华北。其中,天津、上海二地为直辖市,农业生产水平较高,农用物资也得到了充分利用,加之优越的地理位置使得农业相对效益更高,多重因素共同造就了其较快的低碳农业发展速度。山东作为传统农业大省及强省,农业生产组织化程度较高,产业结构较为合理,农业生产效益突出。安徽、福建二地主要得益于产业结构,畜禽养殖业所占比重较低,客观上降低了碳排放水平。

“中速组”包括辽宁、黑龙江、浙江、河南、广东、陕西、新疆等6省1区,主要分布于我国东北、东南沿海及西北地区。辽宁、黑龙江、河南三省均为我国粮食主产区,种植业比重相对较高,碳汇产出得到了保障,但辽宁与黑龙江受限于相对单一的品种结构,农业附加值较低,而河南则由于人多地少,为了增加产出,农用物资投入较大,客观加剧了碳排放,殊途同归,使得三地低碳农业生产率增速仅居于中游。浙、粤二地农业现代化程度较高,但均非粮食主产省份且经济重心不在农业,客观上影响了其低碳农业发展。陕西主要受限于气候条件与土壤条件,不过由于水稻种植较少,其低碳农业生产率增速仍能处在中游。新疆则因为畜牧业比重较高,极大降低了其低碳农业发展水平。

“慢速组”包括河北、山西、吉林、湖北、广西、甘肃等5省1区,区域分布较为分散,东北、华北、华中、西南及西北均有涉及。河北、吉林二省主要受制于其农作物种植结构,以粮食作物为主,经济作物相对较少,使得经济收益与生态收益都无法得到保障。湖北一方面由于其水稻种植面积较大,另一方面则在于其缺少农业优势产业与拳头产业,且深加工一般,农业效益较为平庸。山西、甘肃二地农业生产先天条件较差,产业结构一般,导致其低碳农业生产率处于较低水平。广西农业碳汇量虽居于全国前列,但由于农业综合生产水平较低,其碳排放也处于较高水平,加之农业生产效益一般,从而使其低碳农业发展相对缓慢。

“下降组”包括内蒙古、江西、湖南、海南、四川、贵州、云南、西藏、青海、宁夏等7省3区,主要集中在我国华中、西南及西北地区。其中,江西、湖南二地主要受产业结构影响,水稻种植面积较大,经济作物所占比重不高,碳排放量较大但其经济效益却不够突出,由此导致低碳农业生产率较低。内蒙古、西藏、青海、宁夏四地农业生产以畜牧业为主,农业碳排放处于较高水平,而种植业规模较少又降低了碳汇产出,由此制约了各自的低碳农业发展。四川、贵州、云南三地由于地处横断山区,生态环境较为恶劣,农业产出水平相对较低。海南农业产出的提升主要依赖于农用物资投入的增加,属于典型的高碳农业。

2. 低碳农业发展增长源泉的省域比较。从增长源泉来看,在20个LTFP均值大于1.0的省份中,河北、山西、安徽、山东、河南、陕西等6省低碳农业生产率的改善源于农业前沿技术进步与技术效率的双重贡献,且农业前沿技术进步相比技术效率发挥了更为明显的作用;具体到技术效率改善,山西、安徽、陕西等3地归功于纯技术效率与规模效率的双重贡献;而河北、山东、河南则完全依赖于规模效率的改善,纯技术效率保持不变。北京、天津、辽宁、吉林、黑龙江、上海、江苏、浙江、福建、广东、广西、新疆等7省3市2区低碳农业生产率完全依赖于农业前沿技术进步,技术效率保持不变,且各自纯技术效率与规模效率也处于不变状态。湖北、甘肃2省虽然遭受了技术效率的拖累,但得益于农业前沿技术的进步,其低碳农业生产效率也均保持持续改善状态;分解其技术效率可知,二者规模效率均得到了一定改善,但纯技术效率却处于恶化状态。

低碳农业生产率处于持续恶化的10个地区中,湖南、云南主要受技术效率的拖累,各要素投入未实现最优配置,存在较大改进空间,其农业前沿技术均处于进步态势;分解两地技术效率可知,湖南规模效率得到了一定改善但纯技术效率处于恶化状态,而云南二者均处于恶化状态。内蒙古、海南、西藏、青海、宁夏则由于农业前沿技术的退化而导致其低碳农业生产率水平较低,技术效率均保持不变,纯技术效率与规模效率也都维持不变。江西、四川、贵州由于受农业前沿技术退

化与技术效率恶化的双重制约,导致其低碳农业生产率处于恶化状态;分解三地的技术效率可知,江西、贵州纯技术效率与规模效率均处于恶化状态,而四川规模效率虽处于恶化状态,但纯技术效率维持不变。

总体来看,低碳农业生产率得到提升的20个地区中,绝大多数依赖于其农业前沿技术的进步,而非技术效率的提升;进一步,分解其技术效率可知,规模效率均处于改善或不变状态,而纯技术效率则以不变或恶化状态为主。至于低碳农业生产率持续恶化的10个地区,多数省份受到了农业前沿技术退化的制约,而受到技术效率恶化影响的地区相对较少;分解其技术效率后发现,仅有少数地区纯技术效率或规模效率受到了一定影响,处于恶化状态,绝大多数地区都维持在不变状态。由此可见,在推进低碳农业发展方面,现阶段农业前沿技术发挥了更为重要的作用,而技术效率改善所起到的作用相对较少;对技术效率分解后可知,规模效率相比纯技术效率发挥了更为重要的作用。为此,在今后为了更好地促进低碳农业发展,不仅要重视农业前沿技术的研发,还应注重技术的合理运用,以实现其效率的提升。

## (二) 低碳农业发展的影响机理分析

1. 变量设置。以往研究主要基于农民受教育程度、农业产业结构、农业公共投资、自然灾害等视角对农业生产率的影响因素进行考察<sup>[12][20][21]</sup>,本文则在参照已有研究成果的基础上,充分考虑数据的可获取性,拟从以下7个方面确定解释变量:

(1) 农村基础教育水平 (*edu*)。农民是实施农业生产活动的行为主体,其受教育水平高低在一定程度上可能影响其对市场的判断、生产决策的科学制定以及新型农业生产技术的采纳与运用,进而影响农业生产效率。但也有部分学者认为,农村以初中为主的平均受教育水平和流于形式的系列培训通常难以对农业生产率产生较大影响<sup>[20]</sup>。而本研究是基于碳汇、碳排放的双重约束考察低碳农业生产率,相比过往研究具有一定特殊性,故认为有必要再次检验农村基础教育水平是否会对其产生影响。在此,将以初中及以上文化程度劳动者的占比情况作为农村基础教育水平的替代变量。

(2) 经济发展水平 (*el*)。一个国家或地区经济水平越高通常意味着其工业化、城镇化水平相对较高,而工业化、城镇化水平的快速提升又能极大推进农业现代化<sup>[22]</sup>,而农业现代化对农业生产率往往具有正向影响。但同时,农业现代化的推进又意味着农用物资投入的增加以及农用机械的广泛采用,在一定程度上又会加剧二氧化碳等温室气体的排放。而本文考察的是兼顾碳汇、碳排放的低碳农业生产率的测度与分析,其是否受经济发展水平的显著影响不得而知。为此,有必要检验经济发展水平是否会对低碳农业生产率产生影响。在此,将参照一般学者的做法,选取不变价人均GDP作为经济发展水平的替代变量。

(3) 农业公共投资 (*il*)。农业公共投资通常是政府用在农林水利事业上的财政支出,其投入多少在一定程度上可反映政府对农村经济抑或农业发展的重视程度。一般情形下,农业公共投资的增加意味着农业基础设施的不断完善与农业技术水平的不断改进,进而促使农业生产效率得到提升。但这一规律并非适用于所有情形,因为在投资过程中也可能伴随着重复建设、无效建设以及寻租、浪费行为,由此导致农业公共投资效用不甚明显。同时,也考虑到本文研究设计的特殊性,认为有必要对农业公共投资是否影响低碳农业生产率这一问题进行检验。为了便于不同地域间的横向比较,选取农业财政支出力度作为农业公共投资的替代变量,其计算公式为:农业财政支持力度=(农林水利财政支出/财政总支出)×100%。

(4) 农业开放度 (*ow*)。农业开放度即农业进口与农业总产出之比,目前已有一些学者就其与农业生产率之间的关系进行了探讨,但无论是替代变量的选择还是所获取的最终结论均存在一定差异<sup>[18][19]</sup>。而本研究由于农业产出变量选择的特殊性,其生产率是否仍旧受到农业开放度的影响具有一定的不确定性。为此,有必要考察农业开放度是否会对低碳农业生产率产生影响。在此,采用

人民币对美元历年汇价折算后的农业进口值占农业生产总值的比重进行计算。

(5) 种植业所占比重 ( $pr$ )。广义的农业主要由小农业(即种植业)、畜牧业、渔业和林业四大产业部门组成,由于不同产业部门生产效率通常存在一定差异,其结构调整显然会对低碳农业生产率产生影响。其中,种植业兼顾碳源与碳汇的双重属性,一方面它是导致农业碳排放增加最为主要的产业部门之一,另一方面农作物在其生长发育过程中也会吸附空气中的二氧化碳进而产生碳汇效应。加之其产业内部结构也经常存在一些调整,导致减排增汇与增排减汇的情形可能交叉出现。很显然,这些因素的综合作用使得我们难以判定种植业所占比重的变化是否会对低碳农业发展带来影响。为此,本文将种植业所占比重也作为解释变量之一,其计算公式为:种植业所占比重=(种植业总产值/农林牧渔总产值) $\times 100\%$ 。

(6) 畜牧业所占比重 ( $ar$ )。畜牧业是引发农业碳排放的另一重要产业部门,畜禽肠道发酵与粪便管理是导致甲烷、氧化亚氮产生最为重要的源头之一。由于低碳农业生产率测度考虑了农业碳排放这一约束条件,照常理揣度,畜牧业的迅猛发展将会导致低碳农业水平的下降;但同时,畜牧业的自身发展并非一成不变,产业内部也会一直处于调整之中,大牲畜与小牲畜数量通常呈现此消彼长的状态,而在产值同等的情况下大牲畜所引发的温室气体通常多于小牲畜。由此可见,畜牧业所占份额的提升是否会导致低碳农业水平受到影响存在一定的不可预知性。鉴于此,畜牧业所占比重也将作为解释变量之一,其计算公式是:畜牧业所占比重=(畜牧业总产值/农林牧渔总产值) $\times 100\%$ 。

(7) 自然灾害 ( $dl$ )。农业生产大多在自然环境中进行,极易受到自然条件的制约。近些年来,频发于长江、淮河流域的涝灾以及西南地区持续几年的罕见旱灾均使得当地农业遭受了巨大损失,并成为制约这些地区农业发展的重要因素。笔者认为,农作物受灾程度越大,其低碳农业生产率会越低,即农业受灾程度与低碳农业生产率呈负相关。在这里,将选取农作物受灾率作为自然灾害的替代变量。其计算公式为:农作物受灾率=(农作物受灾面积/农作物播种面积) $\times 100\%$ 。

2. 模型选择。为了进一步探究低碳农业发展的影响因素及程度,在运用 DEA 分析相对效率的基础上衍生出一种两阶段法。该方法第一步先利用 DEA 模型评估出决策单元的效率值,第二步以各地区低碳农业生产率为因变量,各影响因素为解释变量构造线性回归方程,并通过自变量系数判断各影响因素对效率值的作用方向及程度。然而,由于 DEA 方法得出的效率值通常大于 0,使用普通最小二乘法进行回归参数估计值可能出现偏向 0 的情形,为此本文将采用因变量受限制的 Tobit 模型。模型标准形式如下:

$$y_i = \begin{cases} \beta^T x_i + e_i, & \text{若 } \beta^T x_i + e_i > y_0 \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (4)$$

$$e_i \sim N(0, \sigma^2), i = 1, 2, 3, \dots, n$$

其中,  $y_i$  为受限因变量,  $x_i$  为解释变量,  $\beta$  为未知参数向量。

基于前文假设,构建低碳农业发展的影响因素 Tobit 模型如下:

$$LTFP_i^t = \beta_0 + \beta_1 edu_i^t + \beta_2 el_i^t + \beta_3 il_i^t + \beta_4 ow_i^t + \beta_5 pr_i^t + \beta_6 ar_i^t + \beta_7 dl_i^t + \mu_i^t \quad (5)$$

其中,因变量  $LTFP$  是低碳农业生产率指数,为低碳农业发展的替代变量; $i$  为省域; $t$  为年份; $\beta_0$  为常数项; $\beta_1$ 、 $\beta_2$ 、 $\beta_3$ 、 $\beta_4$ 、 $\beta_5$ 、 $\beta_6$ 、 $\beta_7$  分别表示各解释变量的待估参数; $\mu$  为随机干扰项。农业技术效率 ( $EFF$ ) 与农业前沿技术进步 ( $TECH$ ) 的影响因素 Tobit 模型构建也参照于此。

3. 低碳农业发展的影响因素实证估计与解释:全国层面。自 2004 年我国连续颁布惠农型“中央一号”文件起,农业尤其是种植业在历经多年的低迷之后重新步入正轨,农业生产迎来了崭新的发展阶段。而农业复苏在带来产出(经济效益与碳汇)增加的同时,往往也伴随着农用物资投入的增加与产业结构的调整,这在一定程度上可能加剧碳排放,低碳农业生产率也会由此受到影响。为了有所区分,在接下来的实证分析中,将以 2004 年作为节点,分别探讨 1994—2003 年与 2004—

2012年这两个阶段影响低碳农业发展的关键因素。Hausman 检验表明对低碳农业生产率的回归分析应选择固定效应的面板数据 Tobit 模型。利用 STATA 软件进行估算,回归结果如表 2 所示。

表 2 我国低碳农业生产率增长及其成分的影响因素估计

变量名	1994—2003 年			2004—2012 年		
	EFF	TECH	LTFP	EFF	TECH	LTFP
常数项	0.880 6**	1.162 8***	1.060 1***	1.038 5***	1.199 2**	1.250 8***
农村基础教育水平	0.145 4	-0.495 7*	-0.441 7*	0.015 4	-0.401 2	-0.409 7
农业公共投资	-0.018 8	0.001 0	0.002 8	0.003 1	0.000 3*	0.003 6*
经济发展水平	0.055 5	0.145 8**	0.128 8*	-0.007 6	-0.014 2	-0.021 3
农业开放度	—	—	—	0.001 8	-0.059 6*	-0.057 7**
种植业所占比重	0.072 1	0.043 5	0.091 2	0.019 6	0.308 6	0.316 4
畜牧业所占比重	-0.040 3	-0.008 2	0.062 9	-0.214 0	0.102 8	-0.087 1
自然灾害	-0.040 3*	-0.072 5	-0.114 6*	-0.046 8*	-0.231 1***	-0.283 8***

注:\*\*\*、\*\*、\* 分别表示自变量在 1%、5% 和 10% 的置信水平下通过显著性检验。

(1) 第一阶段:1994—2003 年。由表 2 可知,在惠农型“中央一号”文件全面出台之前,我国低碳农业发展主要受农村基础教育水平、经济发展水平、自然灾害等因素影响,这三个变量均在 10% 的置信水平下通过显著性检验。

其中,基础教育水平对低碳农业生产率具有显著的负向影响,即在其他条件维持不变的前提下,初中及以上文化程度的农村劳动力所占比重越高,其低碳农业生产率水平反而越低。究其原因,可能在于该阶段我国农村基础教育水平的提高多归结于初、高中学历农民所占比重的提高,大专及以上学历的人才仍极为匮乏。而低碳农业发展更依赖于高素质(大专及以上学历)农民,一方面其能明白低碳农业的重要性,更为重要的是能掌握并熟练运用各类低碳农业技术;相比较而言,处于中等文化素质(即初、高中学历)的农民更倾向“高投入、高产出”农业生产模式,而较少选择农业低碳生产行为或者关注低碳农业生产技术。

经济发展水平对低碳农业生产率具有显著的正向影响,即在其他条件不变的情况下,人均 GDP 增加能促使低碳农业生产率的提高。这也很好地诠释了社会经济的开放性,不同部门(比如工业与农业)之间并非完全封闭,综合经济水平的提升也会带来农业生产技术的变革与农业现代化步伐的快速推进。虽然农业现代化意味着农用物资投入的增加以及农用机械的广泛采用,由此可能会加剧温室气体排放,但同时也会带来农业物质产出与生态(碳汇)产出的双增长。而就本阶段来看,经济发展水平的提升所引发的农业生产技术变革与农业现代化推进带来的正向效应更为突出,有力地促进了低碳农业发展。

自然灾害对低碳农业生产率具有显著的负向影响,即在其他条件保持不变的前提下,农作物受灾面积所占播种面积比重越高,其低碳农业生产率越低。这与那些单纯研究农业全要素生产率影响因素或环境规制下农业生产效率影响因素的学者所获取的研究结论基本一致<sup>[12][23]</sup>。具体到低碳农业,农作物一旦遭受自然灾害,其经济产出与生态产出必然受到影响;但其非合意产出农业碳排放由于主要受农用物资投入和农业生产规模影响,并不会因此减少。在该情形下低碳农业生产率必然受到影响,故农作物受灾率与低碳农业生产率呈现出负相关关系。

(2) 第二阶段:2004—2012 年。本阶段在保留原有自变量的基础上,增加了变量——对外开放度。上一阶段未考虑该变量主要是因为难以从相关年鉴获取所需数据。而同时,农产品对外贸易完全放开始于中国加入 WTO 之后,因此考察 2002 年之后农业开放度对低碳农业生产率的影响具

有重要的现实意义。结合表 2 可知，惠农型“中央一号”文件连续颁布之后，我国低碳农业生产率主要受农业公共投资、农业开放度、自然灾害等三因素影响，分别在 1%、5% 和 10% 的水平下通过显著性检验。其中，自然灾害通过显著性检验且方向依旧为负，在此不做过多讨论。

农业公共投资对低碳农业生产率具有显著的正向影响，即政府涉农支出占财政总支出的比重越高，越有利于低碳农业生产率的提升。在上一阶段，虽然政府涉农支出所占比重也呈上升趋势，但可能受限于投资领域的选择、重复投资行为的时常出现，导致农业公共投资的配置效率低下，甚至许多地区的农业基础设施也亟待改善。而本阶段，随着政府对农业发展重视程度的不断加大（主要体现在惠农型“中央一号”文件的连续颁布以及一些引导型农业政策的全面实施）以及农民自身认知水平的提升及其决策的逐步科学化，农业公共投资的一些项目选择更具有针对性，由此带来了农业基础设施的逐步改善与农业技术水平的不断改进，进而极大促进了低碳农业生产率水平的提升。

农业开放度对低碳农业生产率具有显著的负向影响，即农业进口与农业总产值之间的比值越大，越不利于低碳农业生产率的提高。通常情况下，农业开放度越高，意味着更多的农产品进口，会在一定程度上挤占本地生产量，从而间接实现碳排放转移；但同时，进口品种的差异却也可能伴随着碳汇损失，而此时是否会对低碳农业生产率产生影响主要取决于碳排放转移所带来的潜在收益是否可以抵消碳汇减少所引发的损失。而就现阶段来看，我国农产品进口以隐含碳较少的品种为主，而出口却以碳汇效益较为突出的品种为主，正是由于这种不合理的农产品贸易结构，极大制约了我国低碳农业发展。

4. 低碳农业发展的影响因素实证估计与解释：区域层面。我国幅员辽阔，东部、中部和西部在自然资源禀赋、社会经济发展等层面均存在较大差异，比如水热条件、耕地质量、地形地貌特征、社会经济发展水平、对外开放程度、农业产业结构、农业发展模式、农业现代化程度等。这些差异的存在可能会导致各区域影响低碳农业发展的因素不尽相同。鉴于此，本文还将分别探讨三大区域 1994—2003 年与 2004—2012 年影响各自低碳农业生产率（LTFP）变化的主要因素。同样利用 STATA 软件进行估算，回归结果如表 3 所示。

表 3 我国三大区域低碳农业生产率增长的影响因素估计

变量名	1994—2003 年（阶段 I）			2004—2012 年（阶段 II）		
	东部	中部	西部	东部	中部	西部
常数项	0.693 3**	0.790 8***	1.113 9***	1.263 9***	1.145 2**	0.800 3**
农村基础教育水平	-0.497 5*	0.159 5	-0.039 8	-0.278 7	0.051 1	0.092 1
农业公共投资	0.285 0	0.201 7	0.467 5*	0.126 6	0.038 6	0.135 2
经济发展水平	0.154 4***	-0.073 7	0.041 0	0.022 5*	-0.0178	-0.908 8
农业开放度	—	—	—	-0.020 7*	-0.011 5*	-0.533 3*
种植业所占比重	0.222 9	0.343 7**	-0.083 1	0.122 1	0.029 4	0.273 8*
畜牧业所占比重	0.709 6*	-0.091 2	-0.042 1	0.176 6	-0.331 6*	0.140 1
自然灾害	-0.053 8**	-0.290 2***	-0.114 6**	-0.343 0**	-0.185 8***	-0.213 7***

注：\*\*\*、\*\*、\* 分别表示自变量在 1%、5% 和 10% 的置信水平下通过显著性检验。

由表 3 可知，无论在同一阶段还是不同阶段，影响东部、中部和西部低碳农业发展的主要因素均同中有异。其中，相同点包括：自然灾害变量在所有模型中均通过显著性检验且方向为负，表明在任何一个阶段任何一个区域，农作物受灾比重越高，其低碳农业生产率就越低。农业开放度对东部、中部和西部的低碳农业生产率均能产生显著的负向影响，由此表明我国各地区的农业进口结构亟待改善。经济发展水平对东部两个阶段的低碳农业生产率均具有显著的正向影响，得益于社会经济的快速发展，东部相比中、西部地区农业生产方式更为先进、农业技术水平更加领先，并实现了农业经济效益与生态效益的

共赢,进而推动了低碳农业发展。不同点包括:农村基础教育水平对东部地区前一阶段的低碳农业生产率具有显著影响且方向为负,而在其他模型中均未通过显著性检验,表明在多数时候,农村较低的平均受教育水平和流于形式的系列培训难以对各地低碳农业发展产生实质性影响。农业公共投资对西部地区前一阶段的低碳农业生产率具有显著影响且方向为正,而在其他模型中均未通过显著性检验,在早期,我国西部农业发展水平相对滞后,必要的农业投资能产生较大的边际效益,从而客观地推动了低碳农业发展。种植业所占比重对中部地区前一阶段和西部地区后一阶段的低碳农业生产率具有显著的正向影响,而在其他模型中均未通过显著性检验,表明在特定的农业发展阶段,种植业所占比重高低在一定程度上会影响一个地区的低碳农业发展。畜牧业所占比重对东部地区前一阶段的低碳农业生产率具有显著的正向影响,在中部地区的后一阶段也通过了显著性检验但作用方向相反,而在其他模型中均未通过显著性检验,表明畜牧业发展对低碳农业生产率的影响会因时、因地而异,这与各地区的畜牧业产业结构调整密切相关。

## 五、结论与启示

### (一) 主要研究结论

1. 北京、天津、河北、山西等 20 个地区低碳农业生产率平均值大于 1,而海南、西藏、青海等 10 个地区低碳农业生产率均值小于 1;通过排序可知,北京以绝对优势占据榜首,其 LTFP 指数均值高达 1.072 1,而海南最低,仅为 0.888 6。从区域分布来看,低碳农业生产率均值较高的省份主要分布于我国东、中部地区,而 LTFP 均值较低的省份则集中在西部地区。结合 30 个省(市、区)低碳农业生产率的数值差异,可将其划分为“高速”、“快速”、“中速”、“慢速”和“下降”五个组别。

2. 从增长源泉来看,低碳农业生产率得到提升的 20 个地区中,绝大多数依赖于其农业前沿技术的进步,而非技术效率的提升;对其技术效率分解可知,规模效率均处于改善或维持不变状态,而纯技术效率以不变或恶化状态为主。至于低碳农业生产率持续恶化的 10 个地区,多数省份受到了农业前沿技术退化的制约,而受到技术效率恶化影响的地区相对较少;分解其技术效率后发现,仅有少数地区纯技术效率或规模效率处于恶化状态,绝大多数地区都维持在不变状态。总体而言,在推进低碳农业发展上,农业前沿技术进步相比技术效率发挥了更为重要的作用,规模效率的贡献程度要高于纯技术效率。

3. 在惠农型“中央一号”文件全面出台之前,我国低碳农业发展主要受农村基础教育水平、经济发展水平、自然灾害三因素影响;而在“中央一号”文件连续颁布之后,则主要受农业公共投资、农业开放度、自然灾害三因素影响。由此可见,影响我国低碳农业发展的关键因素并非一成不变,而是处于动态变化的。农业产业结构调整一直未通过显著性检验,说明当前我国农业产业结构多以无序、随机地调整为主,缺少针对性与规划性。分区域来看,无论是同一阶段还是不同阶段,影响我国东部、中部和西部地区低碳农业发展的因素都同中有异。

### (二) 政策启示

研究结论揭示了当前我国低碳农业生发展水平存在较为明显的空间非均衡性,在不同阶段先后受到了农村基础教育水平、经济发展水平、自然灾害、农业公共投资、农业开放度等多重因素影响。这要求政府在政策的制定上一方面要考虑各地实际以确保其针对性,另一方面对于一些共性问题还需综合应对。具体可从四方面着手:第一,强化农村基础教育,着力提升农民综合素质。发展低碳农业离不开不高素质的现代农民,政府应通过通识教育与技术培训相结合的方式全面提升农民素质,为我国低碳农业发展提供最为基础的人力资源保障。第二,加大财政支农力度,加快推进农业科技创新步伐。足够的研究经费是确保农业科技研发顺利开展的基础,而针对我国农业科技贡献率仍大幅落后于发达国家这一现实,有必要加大财政对农业研发的支持力度,以推进农业前沿技术的不断进步。第三,不断完善农田基础设施建设,切实增强农业抗灾能力。基础设施建设严重滞后是诱发水旱灾害频发的重要原因,为此,

各地尤其是经济落后地区应加强农业基础设施建设,提升其农业抗击自然灾害的能力。第四,逐步优化农产品贸易结构,减少潜在碳汇损失。一方面,尽可能出口碳排放产生量较少且碳汇效应突出的农产品;另一方面,多进口碳排放产生量较大且碳汇效应一般的农产品。第五,加大宣传力度,注重低碳农业示范区建设。中央和地方各级政府应采用多种方式宣传低碳农业,增强农民对这方面的认知;同时,在不同地区开展低碳农业发展示范区建设,通过树立典型的方式以点带面实现低碳农业全面发展。

#### 参考文献

- [1] Baker, J. M., T. J. Griffis. Examining strategies to improve the carbon balance of corn/soybean agriculture using eddy covariance and mass balance techniques[J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2005, (3-5).
- [2] Hutchinson, J. J., C. A. Campbell, R. L. Desjardins. Some perspectives on carbon sequestration in agriculture [J]. *Agricultural and Forest Meteorology*, 2007, (2-4).
- [3] 王松良, C. D. Caldwell, 祝文烽. 低碳农业: 来源、原理和策略[J]. *农业现代化研究*, 2010, (5).
- [4] 高文玲, 施盛高, 徐丽, 等. 低碳农业的概念及其价值体系[J]. *江苏农业科学*, 2011, (2).
- [5] 赵其国, 黄国勤, 钱海燕. 低碳农业[J]. *土壤*, 2011, (1).
- [6] 刘静暖, 于畅, 孙亚南. 低碳农业经济理论与实现模式探索[J]. *经济纵横*, 2012, (6).
- [7] 马晓旭. 我国低碳农业发展的困境及出路选择[J]. *经济体制改革*, 2011, (5).
- [8] 张莉侠, 曹黎明. 中国低碳农业发展现状与对策探讨[J]. *经济问题探索*, 2011, (11).
- [9] 郑恒, 李跃. 低碳农业发展模式探析[J]. *农业经济问题*, 2011, (6).
- [10] 田云, 张俊飏, 何可, 等. 农户农业低碳生产行为及其影响因素分析——以化肥施用和农药使用为例[J]. *中国农村观察*, 2015, (4).
- [11] 杨红娟, 徐梦菲. 少数民族农户低碳生产行为影响因素分析[J]. *经济问题*, 2015, (6).
- [12] 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).
- [13] 田伟, 杨璐嘉, 姜静. 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[J]. *中国农村观察*, 2014, (5).
- [14] 田云, 张俊飏. 中国省级区域农业碳排放公平性研究[J]. *中国人口·资源与环境*, 2013, (11).
- [15] 韩召迎, 孟亚利, 周治国, 等. 区域农田生态系统碳足迹时空差异分析——以江苏省为案例[J]. *农业环境科学学报*, 2012, (5).
- [16] 贺亚亚, 田云, 张俊飏. 湖北省农业碳排放时空比较及驱动因素分析[J]. *华中农业大学学报(社会科学版)*, 2013, (5).
- [17] 田云, 张俊飏, 尹朝静. 中国农业碳排放分布动态与趋势演进——基于 31 个省(市、区) 2002—2011 年的面板数据分析[J]. *中国人口·资源与环境*, 2014, (7).
- [18] 王明星, 李晶, 郑循华. 稻田甲烷排放及产生、转化、输送机理[J]. *大气科学*, 1998, (4).
- [19] 胡向东, 王济民. 中国畜禽温室气体排放量估算[J]. *农业工程学报*, 2010, (10).
- [20] 应瑞瑶, 朱娅. 农民现代性与农业生产率的互动——基于江苏省农户的问卷调查[J]. *现代经济探讨*, 2011, (8).
- [21] 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, (1).
- [22] 夏春萍, 刘文清. 农业现代化与城镇化、工业化协调发展关系的实证研究——基于 VAR 模型的计量分析[J]. *农业技术经济*, 2012, (5).
- [23] 钱丽, 肖仁桥, 陈忠卫. 碳排放约束下中国省际农业生产效率及其影响因素研究[J]. *经济理论与经济管理*, 2013, (9).

(责任编辑 朱 蓓)

## MAIN ABSTRACTS

### **Distinction between EIA and SA's Denotation as well as Institutional Perfection — A Reflection on Environmental Laws Based on Tianjin Explosion Accident** HUANG Xi-sheng, HE Jiang

The confusion between Environmental Impact Assessment (EIA) and Safety Assessment (SA) is rooted in the institutional design where these two assessments have an overlap. They have similar assessment technologies as a consequence of their connection in the source of institutions, and they have the same management systems because of their identical functions. The basic principle to clarify the denotative meanings of these two concepts lie in their difference in emphasis: SA emphasizes the importance of avoiding personal and property risks, while EIA emphasizes ecologic risks. Although an “integrated risk assessment” that combines EIA and SA has been tried in practice, the cost of this innovative measure is rather prohibitive in the institutional context of China. The society will gain more real benefits if the Safety Assessment Law is enacted and the “integrated risk assessment” expert consulting system is established. It is advisable to guarantee the rationality of professors by standardizing assessment procedure and accountability and to realize the deliberative democracy through information release and public hearing.

### **Research on the Regional Differences and Influencing Mechanism of Low-carbon Agricultural Development in China** TIAN Yun, ZHANG Jun-biao, CHEN Chi-bo

This paper uses DEA-Malmquist model to investigate the level of low-carbon agricultural development of 30 provinces in China, and conducted a comparative analysis of the spatial differences. Tobit model is then used to explore the main factors influencing the changes. The result shows that : 1) The provinces where the level of low-carbon agricultural development is high were mainly distributed in eastern and central China, while the western provinces show low level in the development. Based on the absolute differences of respective low-carbon agricultural productivity, 30 provinces can be categorized into such five groups as very fast, fast, average, slow and slowing down in terms of their speed in action. 2) In promoting low-carbon agriculture, agricultural frontier technology plays a more important role while the technical efficiency improvement is relatively insignificant. The technical efficiency decomposition shows that scale efficiency is more important than pure technical efficiency. 3) Before the No 1 Central Document with farmer—benefiting policy was released, the development of low-carbon agriculture in the country was mainly affected by the level of primary education and economic development, natural disasters and other factors; After that, it was mainly influenced by agricultural public investment, opening degree of agriculture, natural disasters and others. For different areas, whether in the same stage or not, the factors affecting the development of low carbon agriculture in eastern, central and western regions are different.

### **On the Professional and General Nature of Higher Education** ZHANG Ya-qun, WANG Yu

From a holistic view, higher education is both professional education and general education with dual properties of being professional and general. They play their respective role in education ideals, training objectives, curriculum settings, teaching modes, and education processes. From a practical point of view, their position and function show difference in different times, nations, and levels. To develop innovative talents, we should integrate general education and professional education, reform educational modes and teaching methods, discover and optimize core resources of curriculum, expand learning in scope and depth, and cultivate common core values.