

中国种植业低碳生产效率及碳减排成本研究

吴贤荣 张俊飏 程文能*

摘要:本文在构建农业经济核算体系时,同时考虑期望产出与碳排放等环境因素的非期望产出,利用方向距离函数及非期望产出影子价格方法,估算1993-2014年中国30个省(市、区)的种植业低碳生产效率及边际减排成本,并采用核密度函数对边际减排成本的区域差异动态趋势进行探究。结果显示:中、东部地区效率水平较高且趋于平稳,位于前沿生产面上,不存在效率损失,而西部地区效率值相对偏低并呈现波动下降趋势,且全国效率平均值在考察期内呈现先波动下降再短期上升趋势;青海、北京、天津、宁夏、上海、海南等地碳排放影子价格较高,表明这些地区的种植业碳减排的经济成本相对较高,且各地区碳排放影子价格时序变化呈现降多增少的特征;从碳减排成本核密度曲线来看,种植业碳减排成本地区差异性在样本考察期内明显缩小,且碳减排成本平均水平在减小。

关键词:种植业碳排放;低碳生产效率;减排成本;影子价格

一、引言

近年来,由温室气体浓度增加引起的全球变暖成为学术界讨论的焦点问题。毋庸置疑,工业部门是温室气体减排的工作重点,而农业部门碳排放总量与日俱增,亦是未来减排工作不容忽视的组成部分。中国是世界上的传统农业大国,其农业碳排放问题早已引起了各界关注。有数据表明,中国农业碳排放量约为全国温室气体排放总量的17%(董红敏等,2008)。所谓农

*吴贤荣,华中农业大学经济管理学院,湖北农村发展研究中心,邮政编码:430070,电子邮箱:bewaily@163.com;张俊飏(通讯作者),华中农业大学经济管理学院,湖北农村发展研究中心,邮政编码:430070,电子邮箱:zhangjb513@126.com;程文能,华中农业大学经济管理学院,邮政编码:430070,电子邮箱:ewn8414@163.com。

本文系国家自然科学基金重点项目“现代农业科技发展创新体系研究”(71333006)、国家自然科学基金青年项目“利益协同目标下农业科技共同体研发福利测度及其增进策略研究”(71503074)、“水稻全生命周期的碳足迹演化及对气候变化的响应机制研究——以长江中下游地区为例”(41501213)和清华大学中国农村研究院博士论文奖学金项目“中国低碳农业绩效与农业碳减排机制研究”(201504)的阶段性成果。感谢匿名审稿人提出的宝贵意见,文责自负。

业碳排放,是指在农业生产过程中由人为导致的直接或间接的温室气体排放(Mosier et al., 2006),主要包括农用化肥、农药、农膜、柴油等种植业生产物资投入导致的CO₂等气体排放。近三十年以来,我国经济社会迅猛发展,农业经济也取得了长足发展,但长期以来的高投入、高污染、高排放等环境问题在近期并没有得到根本解决。在日趋严峻的全球气候变暖大背景下,农业可持续发展面临严峻挑战,过去单纯关注经济增长指标的国民经济核算体系不再适用,在考察农业经济增长的同时,应兼顾碳排放等环境因素,才能对农业经济发展作出更加客观、科学的评价。

已有文献对农业碳排放的研究主要集中在碳排放量的测算和影响因素分解等方面(Johnson, 2007; 李波等, 2011; 贺亚亚等, 2013),农业碳减排机制与政策的研究是从农业生产效率评价开始的,而传统的农业生产效率评价落脚于农业全要素生产率研究领域(Mccarl & Schneider, 2000; Murray, 2004),仅考察农业经济效率,而忽略了环境污染的代价。在目前低消耗、低排放生产模式倡导下,绿色、低碳农业是必然趋势,为了避免农业发展评价方法的扭曲,在追求经济增长的同时,必须将环境因素也纳入进来(Hailu & Veeman, 2000)。事实上,已有学者开始意识到这个问题,并尝试将环境约束同资源条件同时纳入国民经济核算体系,但他们所考察的环境因素各有不同。杨俊和陈怡(2011)、王奇等(2012)重点考察的是化肥投入过程中产生的氮、磷等污染物对农业生产率的影响,而李谷成等(2011)、韩海彬和赵丽芬(2013)、潘丹和应瑞瑶(2013)等人关注的是农业面源污染对农业生产效率的规制作用;也有学者试图从农业碳排放的角度来评价农业生产效率变动,但由于数据的不完整性未考虑农作物秸秆燃烧所产生的碳排放,导致评估结果解释性受限(吴贤荣等, 2014)。而一些国外学者率先将影子价格原理运用到对经济评价中的环境污染治理成本研究领域之后(Färe & Grosskopf, 1993),不少学者借助方向距离函数和污染物影子价格模型来评估不同决策单元的减排成本差异(Ghorbani & Motallebi, 2009)。Aigner和Chu(1968)运用生产函数模型来估算影子价格,而Färe和Grosskopf(1999)首次采用距离函数的估计方法进行创新,此后距离函数方法得以推广。袁鹏和程施(2011)则使用二次型方向性距离函数的方法,估算了二氧化硫、烟尘、废水等污染物的影子价格;涂正革(2009)以工业二氧化硫排放为研究对象,运用距离函数测算其影子价格;陈诗一(2010)、吴贤荣等(2015a, 2015b)、Wei等(2012)、Du等(2015)运用了环境方向性距离函数的方法,对我国不同行业的二氧化碳影子价格作出了衡量,探讨了温室气体排放权与地区间减排责任划分相关问题,为温室气体减排成本问题的探究奠定了基础。

上述研究成果是对农业碳排放相关文献的极大补充和丰富,同时也为农业碳减排量化问题探讨提供了新的研究思路,但随着探索的不断深入,该领域研究存在以下几个方面有待进一步拓展:(1)环境因素在经济核算体系中的重要性逐渐凸显,而相应文献资料亟需补充;(2)农业

经济评价体系中环境损失的衡量标准不一,导致政策制度考核标准混乱;(3)农业领域减排措施研究多停留在定性层面,政策制定缺乏具体量化依据。基于此,本文在构建农业经济核算体系时,同时考虑期望产出与碳排放等环境因素的非期望产出,利用方向距离函数构建农业碳排放影子价格模型,估算1993-2014年中国30个省市自治区(不包含港、澳、台和西藏地区)的种植业碳排放边际减排成本,并对各地区低碳生产效率及减排成本的区域差异动态趋势进行探究。

二、研究方法

(一)方向距离函数

根据方向距离函数,在追求期望产出的同时,将环境污染等非期望产出也纳入进来(Färe & Grosskopf, 1993),用 $P(x)$ 来表示经济-环境生产可能性集合,若农业生产投入要素为 x ,期望产出为 y 、非期望产出为 c ,生产集 $P(x)$ 应满足如下几个方面的条件,如式(1):

$$\begin{cases} P(x) \text{ 为闭集合, } x \in R_+^N \\ (y, c) \in P(x) \text{ 且 } y' \leq y, \text{ 则 } (y', c) \in P(x) \\ (y, c) \in P(x) \text{ 且 } c' \leq c, \text{ 则 } (y, c') \notin P(x) \\ (y, c) \in P(x) \text{ 且 } c = 0, \text{ 则 } y = 0 \end{cases} \quad (1)$$

在实际操作和计算中,利用DEA方法进一步将上述思想具体化(Chung et al., 1997)。假设共考察 I 个地区,即决策单元(DMU)的个数为 I 个,其中某一地区的投入要素 x ,形成地区生产总值(y 即期望产出)和农业碳排放(c 即非期望产出),则在规模报酬不变条件下该生产过程可以用上述集合的方式描述为式(2):

$$\begin{cases} P(x) = \{(y, c) : (x, y, c)\} \\ \sum_{i=1}^I \lambda_i x_i \leq x \\ \sum_{i=1}^I \lambda_i y_i \geq y \\ \sum_{i=1}^I \lambda_i c_i = c \\ \lambda_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, I \end{cases} \quad (2)$$

距离函数方法的优势在于当某一投入要素或产出指标不能够进行价格量化时,可以构建一个多投入与多产出并存的生产模型,若定义产出增长方向向量 $g=(g_y, -g_c)$,则方向距离函数追求在投入要素恒定的条件下实现期望产出的最大扩张可能和非期望产出的最大缩减可能,表述如式(3):

$$D_c(x, y, c; g_y, -g_c) = \max \{ \lambda : (y + \lambda g_y, c - \lambda g_c) \in P(x) \} \quad (3)$$

实际上,在规模回报不变的条件下,上述思想可以进一步表述为式(4):

$$D_c^l(x_i^l, y_i^l, c_i^l; g_y, -g_c) = \max \lambda$$

$$s.t. \begin{cases} \sum_{j=1}^N \lambda_j x_j^l \leq x_i^l \\ \sum_{j=1}^M \lambda_j y_j^l \geq y_i^l + \lambda g_y \\ \sum_{j=1}^L \lambda_j c_j^l = c_i^l - \lambda g_c \\ \lambda_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, n \end{cases} \quad (4)$$

其中,目标函数即低碳生产效率 $\lambda \in [0, 1]$, $\lambda = 0$ 表示完全无效率状态; $\lambda = 1$ 表示生产单位处于生产前沿,无效率损失; $\lambda < 1$ 表示生产单位存在效率损失,在投入产出上存在进一步改进的空间。

(二)碳排放影子价格

影子价格表述为在某一特定投入前提下,单位碳排放变动量所带来的总产值变动量(Färe & Grosskopf, 1993)。假定期望产出的市场决定价格为 p_y , 非期望输出的相对影子价格为 p_c , 则收益函数可表示为式(5):

$$R = p_y y - p_c c - p_x x \quad (5)$$

对于每个决策单元,设定收益最大化,如式(6):

$$\begin{aligned} \max \quad & p_y y - p_c c - p_x x \\ s.t. \quad & \bar{D}_0[x, (1+\beta)y, (1-\beta)c] \leq 1 \end{aligned} \quad (6)$$

其拉格朗日函数形式为(7)式:

$$L = p_y y - p_c c - p_x x - \phi \{ \bar{D}_0[x, (1+\beta)y, (1-\beta)c] - 1 \} \quad (7)$$

其中, ϕ 为拉格朗日乘子,实现收益最大化需满足以下两个条件:

$$p_y - \phi \frac{\partial \bar{D}_0}{\partial (1+\beta) y} (1+\beta) = 0 \quad (8)$$

$$-p_c - \phi \frac{\partial \bar{D}_0}{\partial (1-\beta) c} (1-\beta) = 0 \quad (9)$$

故在收益最大化条件下可以计算出非期望输出的影子价格,如式(10):

$$p_c = -p_y \times \frac{\partial \bar{D}(x, y, c, g_y, -g_c) / \partial c}{\partial \bar{D}(x, y, c, g_y, -g_c) / \partial y} \quad (10)$$

通过式(10)计算出的非期望产出影子价格即为农业碳排放边际减排成本。

三、数据处理

本文所需基础数据均来自《中国农村统计年鉴》《中国农业统计资料》等年鉴统计资料。需

要说明的是,鉴于中国台湾、香港、澳门和西藏地区数据难以获取,本文以中国大陆30个省(市、区)作为研究对象。此外,由于研究方法对异常值十分敏感,如西藏,故本文暂不考虑。参考以往相关研究,采用目前学界广泛认可的碳排放核算公式(吴贤荣等,2015):

$$c = \sum c_i = \sum e_i \varepsilon_i \quad (11)$$

式(11)中, c 为农业生产碳排放总量, c_i 为某一碳源的碳排放量, e_i 为碳源基础数据, ε_i 为某一碳源的碳排放系数。本文重点研究种植业碳排放,故根据种植业碳源分布特征,拟从以下三个方面(即生产要素投入、稻田和作物秸秆)来识别碳源因子及排放系数。

一是生产要素投入所引发的碳排放。种植业生产物资要素投入具体包括农用化肥、农用药物、农用薄膜、农用柴油以及农业灌溉消耗电能直接或间接所导致的温室气体排放,排放系数分别为 0.8956kgC/kg、4.9341kgC/kg、5.18kgC/kg、0.5927kgC/kg 和 266.48kgC/hm²,系数来源于 IABCAU 及 IPCC^①公布资料。

二是稻田所产生的甲烷气体排放。由于水稻生长过程中会产生大量甲烷气体,而水稻生长受气候条件因素影响较大,我国幅员辽阔,各省(市、区)之间气候条件存在较大差异,因此,不同省(市、区)水稻生长过程中的甲烷气体排放系数也会存在差异。本文将参考唐红侠等(2009)研究结果中的带有地区性差异的甲烷气体排放系数。

三是农作物秸秆燃烧所引发的二氧化碳和一氧化碳气体排放。根据农作物草谷比系数计算出各地区作物秸秆量,具体到我国,主要涉及玉米、水稻、小麦、棉花、油菜、花生、豆类、薯类等作物品种;由于玉米、水稻、小麦三类主要作物是我国农作物秸秆产量的主要来源(李飞跃和汪建飞,2013),限于数据,本文暂考虑这三种作物。

为了方便处理和分析,根据 IPCC 第四次评估报告(2007)的温室效应强度,本文将上述方法测算出的 CO₂、CO、CH₄ 气体统一换算成标准碳当量,以统一单位。

由以上碳排放测算方法核算非期望产出指标,然后根据方向距离函数确定投入指标和期望产出指标,所有指标的描述性统计结果见表 1。

表 1 投入产出指标描述性统计

	变量	单位	均值	标准差	最小值	最大值
投入要素 (x)	耕地(x_1)	千公顷	4853.9	3543.1	196.1	14378.3
	劳动力(x_2)	万人	1135.51	886.16	4400.67	94.78
	化肥(x_3)	万吨	150.17	126.45	1.50	708.52
	农药(x_4)	万吨	4.79	4.54	0.04	21.51
	农膜(x_5)	吨	52968.78	54656.73	21.00	343524.00
	机械(x_6)	万千瓦	2173.10	2384.85	58.30	13101.40
期望产出(y)	生产总值(AGDP)	亿元	533.0	436.2	17.9	2433.8
非期望产出(c)	碳排放总量(ACE)	万吨	711.90	573.07	5.84	2187.45

①注:IABCAU——中国农业大学农学与生物技术学院,IPCC即联合国政府间气候变化专门委员会。

四、实证结果分析

(一)种植业低碳生产效率

运用Max DEA 6.3软件计算得到基于方向距离函数的低碳生产效率值。若低碳生产效率结果值为0,表示该地区考虑碳排放因素后农业生产过程处于完全无效率状态;若低碳生产效率结果值为1,表示该地区位于生产前沿面上,农业生产过程考虑碳排放因素后的效率损失部分为0,效率最高;低碳生产效率结果值越接近1,表示投入要素不变情况下,期望产出继续增加的空间越小,同时非期望产出继续缩减的可能性也越小,表明该地区农业生产过程考虑碳排放因素后的效率值越高。图1列示了1993年和2014年中国30个省(市、区)的种植业低碳生产效率值。可以看到,北京、天津、辽宁、上海、江苏、河南、广东、广西、海南、云南和新疆等地的效率得分均为1,位于前沿生产面上,不存在技术无效率部分;福建、山东、陕西、青海等地效率值1993年分别为0.9785、0.9176、0.9862和0.8538,但到2014年均到达生产前沿面。这与国家经济结构调整、农业生态环境修复及改善等政策措施的实施密不可分,尤其近年来,大力发展生态旅游与农业观光产业,以促进农业经济发展,达到提升低碳生产效率的目的。河北、四川、内蒙古、重庆、甘肃、宁夏、吉林、黑龙江、湖南、安徽、湖北、山西、江西等地,2014年效率值相比1993年均出现不同幅度的下降,表明这些地区农业生产过程考虑碳排放因素后,与生产前沿面距离越来越远,因此效率值越来越低,这受到来自经济发展水平、农业生产方式、农业产业结构、生态农业发展进程等诸多因素的共同影响。

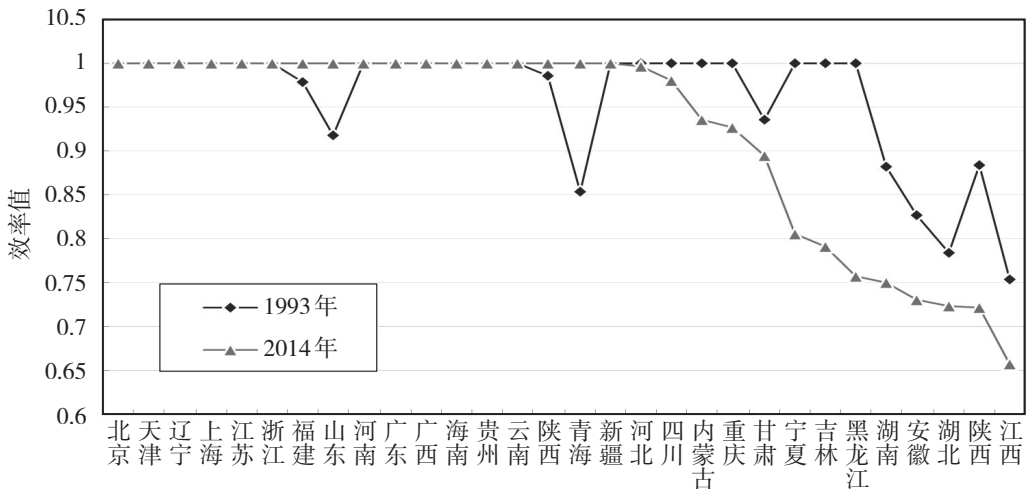


图1 1993年和2014年中国30个省(市、区)种植业低碳生产效率

图2是东、中、西三大地区的种植业低碳生产效率及全国均值时序变化趋势图。可以看到,东部地区效率水平相对较高,其次是中部地区,西部地区效率水平最低,说明相比之下,中、东部地区距离生产前沿面较近,考虑碳排放因素后,农业生产过程效率损失较少,且基本趋于平

稳;西部地区效率值相对偏低,介于0.75至0.95之间,且在考察期内呈现波动下降趋势;全国效率平均值总体呈现出先波动下降特征,于2007年达到考察期内最低值,为0.9039,此后经历了2007年到2011年间的波动阶段,自2011年以后,中国种植业低碳生产效率得分值呈短期上升趋势。这与国家经济结构调整、三农政策的实施与推进等宏观发展战略有密不可分的关系。中、东部较为发达地区更注重低碳农业生产方式的推广,如北京、上海、江苏、广东等地,通过合理的养分配比、改表施为深施、有机肥与化肥混施,既避免了过量施肥所造成的农田过多碳排放,还有利于改良土壤、培肥地力、补充微量元素、提高作物产量和品质,进而提升该地区低碳生产效率水平;而西部地区生产方式相对落后,过去高碳源投入、高排放的粗放型农业模式未得到根本改变,因此考虑碳排放因素后的生产效率水平不高,未来低碳农业发展形式不乐观。总体来看,在考察期初期,低碳生产效率处于下降趋势,碳排放形势进一步恶化,农业碳减排压力较大。自国务院“十一五”减排工作开展以来,各行各业致力于建设资源节约型、环境友好型社会,并取得了显著成就,为应对全球气候变化作出了重要贡献,农业也不例外。充分利用农业资源禀赋优势,采用劳动力密集型农业生产方式,强调加快淘汰落后生产力,强化节能低排、低污环保、粮食安全等指标约束,在这一系列低碳措施的推动下,大多数省份充分利用政策优势积极投身低碳减排行动中,故而种植业低碳生产效率呈逐年提升态势。

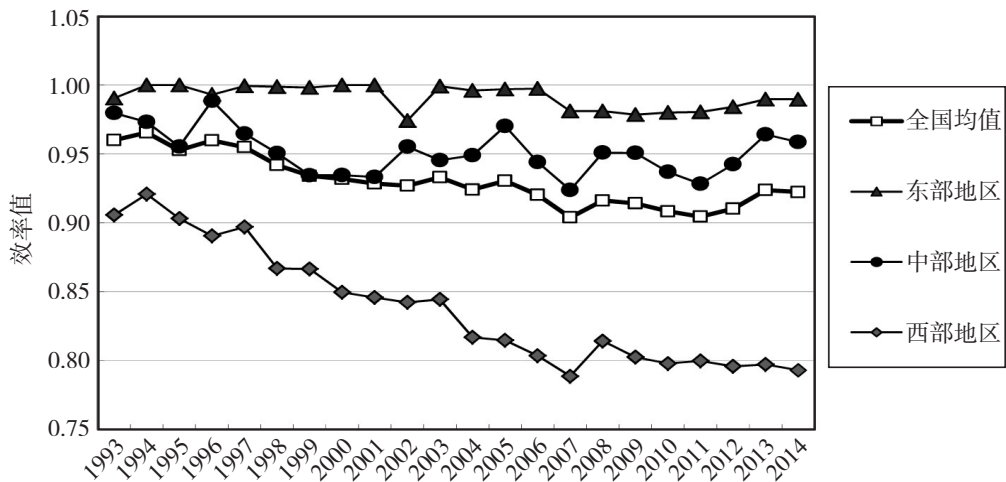


图2 1993-2014年中国三大地区低碳生产效率得分值变动趋势

(二)种植业碳减排成本

碳排放影子价格反映的是进行碳减排所要付出的经济代价,也就是在投入要素不变和生产技术恒定情况下,各地区进行碳减排的等价市场成本。种植业碳排放的等价影子价格值越大,表明其减排的经济成本就越高;反之亦然。由表2可知,我国各地区种植业碳排放影子价格呈现出明显的区域不均衡性。青海、北京、天津、宁夏、上海、海南等地区的边际减排成本较高,其种植业碳排放影子价格分别为557.83元/吨、267.36元/吨、172.38元/吨、147.18元/吨、122.81

元/吨、82.09元/吨。这些地区的碳减排的经济成本相对较高,种植业碳减排难度更大。其中,北京、天津和上海等经济发达地区,农业科技水平领先,农业产业结构中以观光休闲农业为代表的高端产业发展程度高,产业融合度高,因此种植业经济产出水平高,碳排放量少,使得其边际碳排放量的经济产出大,如果实施碳减排政策,则要付出较高经济代价。此外,比较突出的是青海省,碳排放影子价格为全国最高,可能的解释是,青海省由于气候环境因素,其种植业较少,且为单季生产,要素投放量相对较小,农业生产过程产生的总碳排放量没有产粮大省高,最终的影子价格比粮食主产区高出不少,减排所需付出的经济成本最高。相反,湖南、江苏、湖北、安徽、江西和山东等地区的边际减排成本相对较低,种植业碳排放影子价格分别为6.78元/吨、7.13元/吨、7.33元/吨、7.44元/吨、7.89元/吨和8.12元/吨。这些省区大多为水稻种植大省,气候条件适宜,种植生产多为两季大面积播种,要素投入强度高,碳排放量大,而粮食作物单位经济价值不高,导致碳排放影子价格偏低,因此,边际减排成本比较小,减排难度低。此外,随着时间推移,在考察期内,北京、天津、上海、福建和广东等五个省(市、区)的碳减排成本呈上升趋势,而大多数地区的年增长率为负。

表2 1993-2014年中国30个省(市、区)种植业碳减排成本 (单位:元/吨)

省份	均值	标准差	1995年	2000年	2005年	2010年	2014年
青海	557.83	74.11	617.10	493.19	627.37	474.64	527.15
北京	267.36	152.67	99.06	152.54	268.20	449.21	530.10
天津	172.38	39.53	134.07	164.30	177.75	194.96	260.94
宁夏	147.18	53.69	208.18	139.06	163.70	92.54	85.43
上海	122.81	39.84	91.48	80.82	132.33	163.59	183.60
海南	82.09	10.47	93.58	88.63	86.61	68.81	66.50
甘肃	60.45	17.77	92.10	69.30	63.55	44.84	30.26
贵州	44.89	3.96	51.19	45.64	42.66	41.24	39.67
陕西	39.58	7.33	51.65	41.50	38.08	32.39	28.59
内蒙古	38.12	6.40	46.41	37.70	35.62	37.89	29.87
云南	35.95	8.98	48.91	38.53	31.22	28.83	23.39
山西	35.87	10.36	44.41	46.51	31.39	27.02	21.57
重庆	35.76	4.99	39.80	34.49	32.04	32.78	33.69
新疆	34.61	9.59	46.57	39.59	35.38	24.51	18.34
福建	26.50	0.81	26.05	26.04	26.27	27.34	27.01
辽宁	23.32	4.31	28.36	30.62	22.01	19.90	18.78
吉林	16.75	5.79	24.21	23.44	12.72	12.98	9.54
广西	14.75	0.57	15.29	15.44	14.21	14.40	13.79
浙江	14.63	1.76	12.98	13.51	16.09	16.05	15.68
黑龙江	12.96	5.52	20.71	16.08	12.95	6.79	5.47
四川	12.83	0.95	14.28	13.15	13.19	11.73	12.07
广东	12.07	0.90	10.92	11.48	13.03	12.54	12.19
河北	11.65	2.14	14.27	13.00	10.09	9.98	9.35
河南	10.13	2.43	13.71	11.01	9.38	7.62	7.26
山东	8.12	0.94	9.25	8.62	7.49	7.18	7.24
江西	7.89	1.16	9.21	8.95	7.28	6.55	6.46
安徽	7.44	1.33	9.73	8.01	6.70	6.17	5.89
湖北	7.33	0.82	7.83	8.41	7.20	6.33	6.11
江苏	7.13	0.49	7.26	6.74	7.03	7.50	7.27
湖南	6.78	1.00	7.59	7.10	6.39	5.81	5.60
平均	68.10	15.69	63.21	56.45	65.26	63.07	68.29

从全国来看,种植业碳减排成本随时间推移呈现微弱的下降趋势(如图3所示)。1993年至1998年间持续下降,1998年以后呈波动上升趋势。分区域来看,将全国30个省(区、市)划分为华北、东北、华东、华中、华南、西南和西北七大区域,可以看到,各地区碳排放影子价格时序变化呈现降多增少的特征。具体而言,华北地区和华东地区种植业碳减排成本在考察期内呈现波动上升态势,表示随着其经济不断发展,减排所需要付出的经济代价在加快增大,即减排的难度不断加大,减排空间逐渐缩小。相对应的,东北地区、华中地区、华南地区、西南地区和西北地区的种植业碳减排成本均显示下降,意味着这些省份边际碳排放成本变动所产生的经济产值变化量在逐年下降,减排成本变得越来越小,减排空间随时间而递增。其中,西北地区和华北地区的种植业碳减排成本波动幅度最大。总体而言,尽管近年来我国农业科技有所进步,但种植业生产方式集约化程度还很低,效率损失依然存在,粮食增产主要依靠增加有形要素投入,尤其对碳源要素的投入依赖性较大的问题还未从根本上解决,我国种植业实现绿色生产任重而道远。

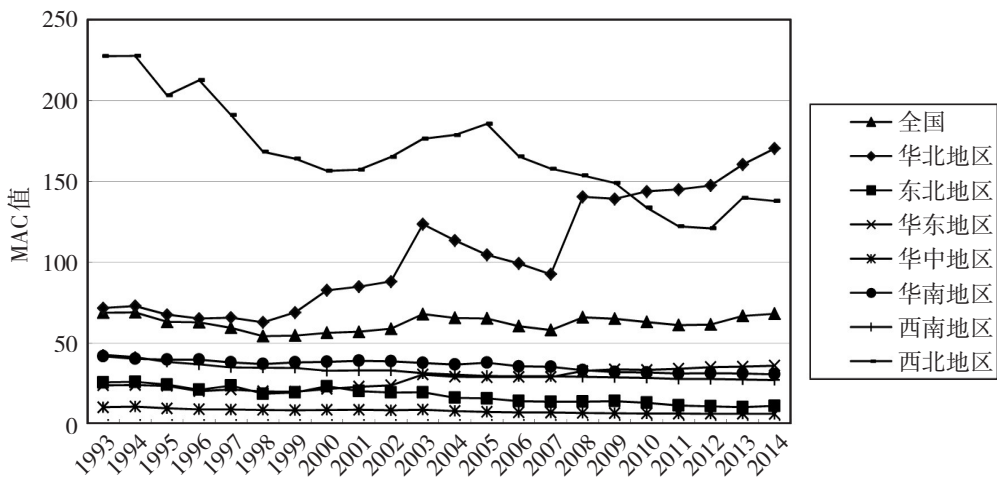


图3 1993-2014年中国七大区域种植业碳减排成本变动趋势(单位:元/吨)

进一步,用高斯 Kernel 密度函数对我国种植业碳减排成本的分布动态趋势进行估计,表达式如(12):

$$K(MAC) = \frac{1}{2\pi} \exp\left(-\frac{MAC^2}{2}\right) \quad (12)$$

图4给出了所选取的五个代表性年份的种植业碳减排成本核密度曲线。显然,不同年份碳减排成本值的聚集程度不同,在图形中表现为曲线聚拢程度越来越高,表明种植业碳减排成本的分布随时间变得越来越高度集中,碳减排成本地区差在样本考察期内经历缩小趋势较为明显;同时,随着时间推移,碳减排成本核密度函数的峰值明显在增大,在图形中表现为核密度曲线从1995年到2014年自右向左轻微偏移,表明种植业碳减排成本平均水平在减小。1995

年,边际减排成本的分配相对更加分散,每减少一吨种植业碳排放,须损失市场价值约为 25.01 元的期望产出。随着时间的推移,边际减排成本的分布变得更加集中,所有低效的地区垂直移动到边界以获得最大的期望产出。到 2014 年,每减少一吨种植业碳排放的市场价值成本平均值降至 18.76 元。

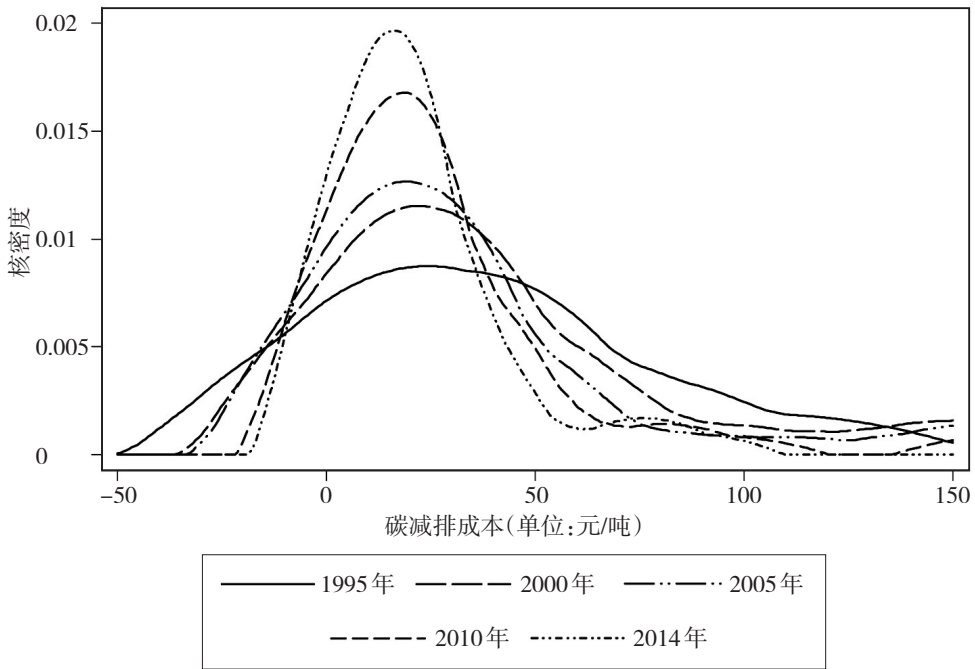


图 4 中国种植业碳减排成本核密度曲线

五、结论与讨论

(一)主要结论

总结前文分析结果,本文可得到以下基本结论:

(1)北京、天津、辽宁、上海等地的效率得分均为 1,位于前沿生产面上,不存在效率损失;福建、山东、陕西、青海等地效率值从 1993 年到 2014 年得以提升;河北、四川、内蒙古、重庆等地效率值出现不同幅度的下降;分区域来看,中、东部地区效率水平相对较高且趋于平稳,西部地区效率值相对偏低并呈现波动下降趋势;全国种植业低碳生产效率平均值在考察期内先呈现波动下降趋势,于 2007 年达到最低值,此后经历了 2007 年到 2011 年间的波动阶段,自 2011 年以后呈短期上升趋势。

(2)青海、北京、天津、宁夏、上海、海南等地种植业碳排放影子价格较高,分别为 557.83 元/吨、267.36 元/吨、172.38 元/吨、147.18 元/吨、122.81 元/吨、82.09 元/吨,表明这些省份种植业碳减

排的经济成本相对较高,减排难度大,而湖南、江苏、湖北、安徽、江西和山东等地区的边际减排成本相对较低;各地区碳排放影子价格时序变化呈现降多增少的特征,其中华北地区和华东地区种植业碳减排成本在考察期内呈现波动上升态势,减排的难度不断加大,减排空间逐渐缩小,而其他大多地区碳减排成本均显示下降。

(3)从碳减排成本核密度曲线来看,种植业碳减排成本的分布变得越来越高度集中,碳减排成本地区差在样本考察期内缩小趋势较为明显,且碳减排成本平均水平在减小;1995年的减排成本的分配相对较分散,每减少一吨种植业碳排放,须损失市场价值约为25.01元的期望产出,而2014年,每减少一吨种植业碳排放的市场价值平均值降至18.76元。

本文研究结论为制定农业碳减排政策提供了一定依据与方向:由于中国不同地区间的低碳生产效率存在差异,同时,碳减排成本地区差异较大,因此,中国农业碳减排政策的制定不可能一概而论,应该遵循“共同而有区别”的原则,兼顾效率与成本双项指标,优先考虑区域发展特征,“因省施策”,构建省际农业碳减排责任分摊机制。在此基础上,考虑低碳生产效率,对农业补贴制度进行再创新,可根据碳减排成本对低碳生产给予相应额度的财政补贴,以促进低碳农业发展。

(二)讨论

本文在构建农业经济核算体系时,同时考虑期望产出与碳排放等环境因素的非期望产出,首先利用方向距离函数构建农业碳排放影子价格模型,估算了1993-2014年中国30个省(市、区)的种植业碳排放边际减排成本,并对各省区种植业低碳生产效率及减排成本的区域差异动态趋势进行了探究。所取得的几点基本结论对丰富我国农业碳排放相关文献及拓展农业碳减排问题的研究思路具有一定贡献。相比以往研究,本文主要取得了以下三个方面的进展:①对农业生产效率的分析不仅仅停留在经济层面,而是与时俱进,综合经济和环境两方面的因素对其进行更为客观的评价;②借助方向距离函数,以农业中种植业碳排放为非期望产出来衡量农业生产过程中的环境损失部分,使得同时考虑环境损失的农业经济核算体系更科学;③基于非期望产出影子价格方法,估计种植业碳排放边际减排成本,对我国农业减排问题进行定量分析,是对以往农业碳减排定性分析的极大补充,为今后减排政策制定提供最基础的量化依据。

当然,纵使明确了种植业低碳生产效率水平及边际减排成本区域差异,但在保障粮食安全和低碳农业发展的前提下,各地区具体如何降低农业碳减排成本仍是一大难点,受制于数据的可操作性和笔者自身水平的限制,本文暂不能给出一套适用于农业领域的有效减排政策或措施,这将是笔者下一步考虑的方向。

参考文献:

- [1] 陈诗一. 工业二氧化碳的影子价格:参数化和非参数化方法[J]. 世界经济, 2010, 33(8): 93-111.

- [2] 董红敏,李玉娥,陶秀萍,彭小培,李娜,朱志平. 中国农业源温室气体排放与减排技术对策[J]. 农业工程学报,2008,24(10):269-273.
- [3] 韩海彬,赵丽芬. 环境约束下中国农业全要素生产率增长及收敛分析[J]. 中国人口·资源与环境,2013,23(3):70-76.
- [4] 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),2013,33(5):79-85.
- [5] 李波,张俊飏,李海鹏. 中国农业碳排放时空特征及影响因素分解[J]. 中国人口·资源与环境,2011,21(8):80-86.
- [6] 李飞跃,汪建飞. 中国粮食作物秸秆焚烧碳排放量及转化生物炭固碳量的估算[J]. 农业工程学报,2013,29(14):1-7.
- [7] 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,2011,21(11):153-160.
- [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,2013,35(7):1329-1338.
- [9] 唐红侠,韩丹,赵由才. 农林业温室气体减排与控制技术[M]. 北京:化学工业出版社,2009.
- [10] 涂正革. 工业二氧化硫排放的影子价格:一个新的分析框架[J]. 经济学(季刊),2009,9(1):259-281.
- [11] 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,2012,33(5):24-33.
- [12] 吴贤荣,张俊飏,程琳琳,田云. 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,2015a,25(6):53-61.
- [13] 吴贤荣,张俊飏,田云,薛龙飞. 基于公平与效率双重视角的中国农业碳减排潜力分析[J]. 自然资源学报,2015b,(7):1172-1182.
- [14] 吴贤荣,张俊飏,田云,李鹏. 中国省际农业碳排放:测算、效率变动及影响因素研究[J]. 资源科学,2014,36(1):0129-0138.
- [15] 杨俊,陈怡. 基于环境因素的中国农业生产率增长研究[J]. 中国人口·资源与环境,2011,21(6):153-157.
- [16] 袁鹏,程施. 我国工业污染物的影子价格估计[J]. 统计研究,2011,28(9):66-73.
- [17] Aigner,D.J. and S.F.Chu. On Estimating the Industry Production Function[J]. American Economic Review, 1968, 58(4): 826-839.
- [18] Chung,Y.H., R.Färe, and S.Grosskopf. Productivity and Undesirable Outputs: A Directional Distance Function Approach [J]. Journal of Environmental Management, 1997, 51(3): 229-240.
- [19] Du,L., A.Hanley, and C.Wei. Marginal Abatement Costs of Carbon Dioxide Emissions in China: A Parametric Analysis[J]. Environmental and Resource Economics, 2015, 61(2): 191-216.
- [20] Färe,R. and S.Grosskopf. Shadow Pricing of Good and Bad Commodities[J]. American Journal of Agricultural Economics, 1999, 80(3): 584-590.
- [21] Färe,R. and S.Grosskopf. Derivation of Shadow Prices for Undesirable Outputs: A Distance Function Approach [J]. Review of Economics and Statistics, 1993, 75(2): 374-380.
- [22] Ghorbani,M. and M.Motallebi. The Study on Shadow Price of Greenhouse Gases Emission in Iran: Case of Dairy Farms[J]. Research Journal of Environmental Sciences, 2009, 3(4): 466-475.
- [23] Hailu,A. and T.S.Veeman. Environmentally Sensitive Productivity Analysis of the Canadian Pulp and Paper Industry, 1959-1994: An Input Distance Function Approach[J]. Journal of Environmental Economics and Management, 2000, 40(3): 251-274.

- [24] Johnson,J.M.F. Agricultural Opportunities to Mitigate Greenhouse Gas Emissions[J]. Environmental Pollution, 2007, 150(1): 107–124.
- [25] Mccarl,B.A. and U.A.Schneider. US Agriculture’s Role in a Greenhouse Gas Emission Mitigation World: An Economic Perspective[J]. Review of Agricultural Economics, 2000, 22(1): 134–159.
- [26] Mosier,A.R., A.D.Halvorson, C.A.Reule, and X.Liu. Net Global Warming Potential and Greenhouse Gas Intensity in Irrigated Cropping Systems in Northeastern Colorado[J]. Journal of Environmental Quality, 2006, 35(4): 1584–1598.
- [27] Murray,B.C. Overview of Agricultural and Forestry GHG Offsets on the US Landscape[J]. Choices, 2004, 6(3): 14–18.
- [28] Wei,C., J.Ni., and L.Du. Regional Allocation of Carbon Dioxide Abatement in China[J]. China Economic Review, 2012, 23(3): 552–565.

The Efficiency and Reduction Cost of Carbon Emission in China’s Planting Industry

Wu Xianrong^{a,b}, Zhang Junbiao^{a,b} and Cheng Wenneng^a

(a: College of Economics and Management of Huazhong Agricultural University;

b: Hubei Rural Development Research Center)

Abstract: This paper constructs the agricultural economic accounting system, taking the desirable outputs and the undesirable outputs of environmental factors such as carbon emissions into account. Based on the directional distance function, we use the shadow price model of agricultural carbon emissions to estimate the marginal carbon emission reduction cost of China's 30 provinces from 1993 to 2014, then explore the regional differences and dynamic trends. The results show that: The efficiency in the eastern and central regions on the production frontier and without technical inefficiency, is relatively higher and tends to be stable, while the efficiency of the western region is relatively lower and shows a downward trend. The average value of national efficiency shows a volatile decline trend and then following a short-term upward trend in the study period; The cost of carbon emission reduction in Qinghai, Beijing, Tianjin, etc., are relatively high, and the shadow prices of carbon emission in most regions show a decreasing trend; From the Kernel Density curve, the regional difference of carbon emission reduction cost see an obvious decreasing trend during our sample investigation period, and the average carbon emission reduction cost is decreasing.

Keywords: Planting Industry Carbon Emission; Low carbon Production Efficiency; Reduction Cost; Shadow Price

JEL Classification: Q54, Q58

(责任编辑:卢玲)