

低碳视角下粮食主产区农业全要素生产率比较

——基于中国 13 省 2002—2011 年数据的分析

杨璐嘉

(湖南农业大学 经济学院, 湖南 长沙 410128)

摘 要:运用 Malmquist 生产率指数(M 指数)和 Malmquist-Luenberger 生产率指数(ML 指数)对中国 13 个粮食主产区 2002—2011 年的农业全要素生产率(TFP)进行测算和比较分析,结果显示:13 个粮食主产区研究期内 ML 指数与 M 指数的变化趋势大体一致;但与考虑碳排放情况的 ML 指数相比, M 指数高估了农业 TFP 的增长速度,夸大了技术进步和技术效率对农业 TFP 的贡献作用;由 ML 指数及其分解可知,中国目前粮食主产区的农业生产方式仍然简单粗放;从技术“创新者”身份来看,产粮大省山东省、处于东部较发达地区的江苏省和位于东北粮食生产基地的辽宁、内蒙古、黑龙江、吉林等省份在实现碳排放约束条件下的农业技术创新方面发挥了重要作用,直接推动着农业环境技术的进步与创新,但中部一些省份,如湖南、湖北、江西、安徽的表现则不理想。

关 键 词:粮食主产区;农业全要素生产率;Malmquist-Luenberger 生产率指数;低碳

中图分类号:F323.3

文献标志码:A

文章编号:1009-2013(2013)06-0027-06

Comparison of agricultural TFP of the main grain production area in China from low-carbon angle of view: Based on the data of 13 provinces from 2002 to 2011

YANG Lu-jia

(College of Economics, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

Abstract: The agricultural TFP of the main grain production area in China from 2002 to 2011 were recalculated by using the approach of Malmquist-Luenberger productivity index (ML index), and comparisons of the results obtained by the conventional Malmquist index (M index) and ML index were made in this paper. The results showed that, the changing tendency of the ML index was generally consistent with M index, but if comparing the case of carbon emissions, the growth rate of the agricultural TFP was overestimated by the M index, also the contribution of technological progress and technical efficiency were exaggerated by it. From ML index and its decomposition, we found out that the mode of agricultural production in the main grain production area in China was still simple and coarse. View from the angle of technological innovation, the main grain production area in Shandong, Jiangsu, Liaoning, Inner Mongolia, Heilongjiang and Jilin played important role in agricultural technological innovation under the condition of low-carbon emission, while some provinces in central region including Hunan, Hubei, Jiangxi and Anhui were still not perfect.

Key words: main grain production area; agricultural TFP; Malmquist-Luenberger productivity index; low-carbon

一、问题的提出

近年来,CO₂作为引起温室效应的主要诱因越来越受到国际社会的高度关注。而伴随着经济的飞

速发展,中国的CO₂排放量与日俱增,减少碳排放成为一项新的艰巨任务。^[1]工业系统固然要挑起节能减排的重任,农业系统同样责无旁贷,众多研究表明,农业是温室气体重要排放源。^[2]中国是一个以种植业为主的农业大国,目前粮食安全问题已基本解决,但粮食安全生产出现了增产、资源与环境相互制约的情况。农业集约化和机械化程度的提高,化肥、农药、农膜等在农业中的广泛使用,导致中国农业正呈现“高污染、高排放、高投入、高

收稿日期:2013-06-17

基金项目:湖南省科技厅计划项目(2011FJ3240)

作者简介:杨璐嘉(1984—),女,湖南湘潭人,硕士研究生,研究方向为:农业经济与管理。

产出”的趋势^[3]。

全要素生产率(Total Factor Productivity, 简称 TFP)是衡量经济增长质量的重要指标。传统农业 TFP 的测量往往以生产要素的投入作为约束条件而忽略了环境的约束条件,在大力倡导节能减排,提倡绿色、低碳农业的今天,从低碳视角重新核算农业 TFP 将更加客观有效。李谷成^[4]研究发现“环境规制条件下”农业全要素生产率增长主要依靠技术进步贡献,是否考虑环境规制因素对农业 TFP 的估计影响较大,农业 TFP 及其增长模式具有明显的地域差异,东部优于西部,中部最慢。杨俊^[5]研究认为,忽略环境因素会高估中国的农业生产率增长,无论是考察全国还是各个省份,环境因素都对农业生产率测度产生了较大影响。闵锐^[6]对各省粮食全要素生产率考察发现,全要素生产率增长贡献有限,主要单纯依靠技术进步贡献,存在技术进步与效率损失并存的现象。韩海彬^[7]将农业面源污染作为“坏”产出纳入农业全要素生产率评价模型,其研究表明,环境约束下中国各地区农业 TFP 增长主要依靠技术进步推动,其增长也呈现东、西、中递减差异,并对其增长的收敛性进行了分析。吴丽丽^[8]专门针对油菜的全要素生产率进行了比较分析,研究表明,该作物的全要素生产率的增长也主要依靠前沿技术进步。

总的说来,已有一些文献从低碳视角重新核算农业 TFP,但选择“面源污染物”为非期望产出指标者较多,虽有文献将 CO₂ 作为非期望产出指标,但也是仅将化肥作为碳排放的唯一来源,没有考虑农药、农膜、柴油、翻耕、灌溉等影响。基于此,笔者拟综合考虑期望产出(农业总产值)的增加和非期望产出(CO₂ 排放)的减少,并较全面地统计农业 CO₂ 的各项来源,将 CO₂ 排放纳入到农业 TFP 的分析框架中来^[9],运用 Malmquist-Luenberger 指数法(ML 指数)对中国粮食主产区在碳排放约束下的农

业 TFP 进行测算,并与不考虑碳排放约束的 Malmquist 生产率指数(M 指数)进行比较,找寻两者的差距及原因。

二、分析方法和数据来源

1. 分析方法

兼顾期望产出的增加和非期望产出的减少、基于产出方向的方向性距离函数可表述为^[6]:

$$\bar{D}_0^T(x^T, y^T, b^T; g_y, -g_b) = \sup\{\beta : (y^T + \beta g_y, b^T - \beta g_b) \in P^T(x^T)\}$$

假设每个省的农业生产中使用 N 种投入 $x = (x_1, \dots, x_n) \in R_+^N$, 得到 M 种期望产出 $y = (y_1, \dots, y_m) \in R_+^M$, 以及 I 种非期望产出 $b = (b_1, \dots, b_i) \in R_+^I$, 设产出的方向性向量为 $g = (g_y, g_b)$, $P^T(x^T)$ 为生产可能性集, 表示在既定投入 x 和环境技术结构下,期望产出与非期望产出成比例扩张或收缩的最大可能数量,省份 $k'(x_k^T, y_k^T, b_k^T)$ 在 T 时期的方向性距离函数可以通过 DEA 转化成线性规划问题:

$$\begin{aligned} \bar{D}_0^T(x^{T,k'}, y^{T,k'}, b^{T,k'}; y^{T,k'}, -b^{T,k'}) &= \text{Max} \beta \\ \sum_{k=1}^K Z_k^T y_{km}^T &\geq (1 + \beta) y_{k'm}^T, m = 1, \dots, M \\ \sum_{k=1}^K Z_k^T b_{ki}^T &\geq (1 - \beta) b_{k'i}^T, i = 1, \dots, I \\ \sum_{k=1}^K Z_k^T b_{kn}^T &\leq x_{k'n}^T, n = 1, \dots, N \\ Z_k^T &\geq 0, k = 1, \dots, K \end{aligned}$$

根据 Chung et al^[10]的研究,基于方向性距离函数的 Malmquist-Luenberger 生产率指数(ML 指数)的测度可包含非期望产出的全要素生产率,从 T 到 $T+1$ 时期的 ML 指数可表示为:

$$\begin{aligned} \text{ML}_T^{T+1} &= \sqrt{\frac{1 + \bar{D}_0^T(x^T, y^T, b^T; g^T)}{1 + \bar{D}_0^T(x^{T+1}, y^{T+1}, b^{T+1}; g^{T+1})} \cdot \frac{1 + \bar{D}_0^{T+1}(x^T, y^T, b^T; g^T)}{1 + \bar{D}_0^{T+1}(x^{T+1}, y^{T+1}, b^{T+1}; g^{T+1})}} \\ &= \left[\frac{1 + \bar{D}_0^T(x^T, y^T, b^T; g^T)}{1 + \bar{D}_0^{T+1}(x^{T+1}, y^{T+1}, b^{T+1}; g^{T+1})} \right] \cdot \sqrt{\frac{1 + \bar{D}_0^{T+1}(x^T, y^T, b^T; g^T)}{1 + \bar{D}_0^T(x^T, y^T, b^T; g^T)} \cdot \frac{1 + \bar{D}_0^{T+1}(x^{T+1}, y^{T+1}, b^{T+1}; g^{T+1})}{1 + \bar{D}_0^T(x^{T+1}, y^{T+1}, b^{T+1}; g^{T+1})}} \\ &= \text{MLEFFCH}_T^{T+1} \cdot \text{MLTECH}_T^{T+1} \end{aligned}$$

其中 ML_T^{T+1} 表示从 T 到 $T+1$ 期 TFP 的变化,可以分解为技术效率变化指数和技术进步变化指数。当 $ML_T^{T+1} > 1$ 时,表示 TFP 增长,反之下降;当 $MLEFFCH_T^{T+1} > 1$ 时,表示技术效率改善,反之恶化;当 $MLTECH_T^{T+1} > 1$ 时,表示前沿技术进步,反之退步。^[11]

Fare et al^[12]证明了 ML 指数与 M 指数的差别关键在于期望产出与非期望产出相对增长率的大小,当投入一定时,若 ML 指数大于 M 指数,则说明期望产出的增长速度高于非期望产出的增长,则该生

产单元相对低碳。

2. 指标的选取和数据来源

第一产业包括农、林、牧、渔,但这些部门的土地投入不便于测算,本文拟以狭义农业即种植业为研究对象。中国粮食主产区的农业资源禀赋、生产方式及生产条件比较相似并在全国具有一定代表性,^[13]因此笔者选用 2002—2011 年中国粮食主产区 13 个省(区)的投入产出数据,具体指标如表 1 所示:

表 1 投入与产出指标及数据来源^[14]

指标	单位	说明	数据来源
投入指标	播种面积	千公顷	《中国农村统计年鉴》
	化肥施用量	万吨 折纯量	《中国农村统计年鉴》
	机械总动力	万千瓦	《中国农村统计年鉴》
	农业从业人数	万人 第一产业从业人数减去林、牧、渔业人数	《中国农业年鉴》、《中国林业统计年鉴》、《中国畜牧业年鉴》、《中国渔业统计年鉴》
产出指标	总产值(期望)	亿元 按农业价格指数折算为 2004 年的不变价格	《中国统计年鉴》
	CO ₂ (非期望)	万吨 碳源及碳排放系数 ^[15]	美国橡树岭国家实验室
		化肥 0.895 6 kg/kg	美国橡树岭国家实验室
		农药 4.934 1 kg/kg	美国橡树岭国家实验室
		农膜 5.18 kg/kg	南京农业大学农业资源与生态环境研究所
		柴油 0.592 7 kg/kg	IPCC 联合国气候变化政府间专家委员会
		翻耕 312.6 kg/km ²	中国农业大学生物与技术学院
		灌溉 25 kg/cha	Du-bey

其中,定义的非期望产出是在农业生产过程中所排放的 CO₂。一般而言,农业碳源主要来自于以下几个方面:一是化肥、农药、农膜生产和使用过程中所导致的直接或间接碳排放;二是农业机械运用而导致的直接或间接消耗化石燃料(主要是农用柴油);三是农业翻耕破坏了土壤有机碳库,大量有机碳流失到空中所导致的碳排放;四是灌溉过程中电能利用间接耗费化石燃料所导致的碳排放。^[15]以上按公式 $E = \sum E_i = \sum T_i \cdot \xi_i$ 进行估算,式中 ξ_i 为各碳源排放系数, T_i 为各碳源量, E_i 为各碳源排放总量, E 为碳排放总量。^[16]

三、计量结果与分析

根据上述研究方法及数据,可以得到 2002—2011 年中国粮食主产区 TFP 增长变化趋势的两种结果(图 1):第一种情况是考虑碳排放约束下的 ML 指数,它要求期望产出(农业总产值)的增加和非期望产出(CO₂)的减少同比例变化;第二种情况是不考

虑碳排放约束的传统的 M 指数。^[17]本文计算中均以各省总产值比重为权重对各省 ML 指数值(M 指数值)进行加权平均,得到的均值再进行算术平均得到 2002—2011 年 13 个省(自治区)的 ML 指数(M 指数)均值。

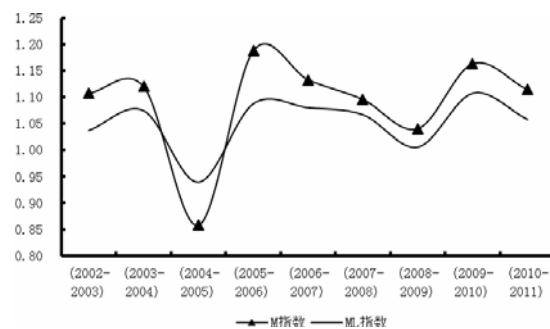


图 1 2002—2011 年中国粮食主产区 TFP 增长的变化趋势

1. 全要素生产率变动趋势

如图 1 所示,整个研究期内 ML 指数与 M 指数变化趋势基本相同,除 2004—2005 年外, M 指数大于 ML 指数且都大于 1,说明该时期农业 TFP 有

所增长但生产方式并不合理。两种情况下的 TFP 整体均呈现波动的变化态势,并逐渐由波动趋于平缓,以 2006 年为节点可分为前后两个波动周期,波动均呈现先下降后上升再下降的趋势,其中 2002—2006 年波幅较大,2007—2011 年波幅较为平缓。

(1)第一个周期波动情况。两种指数的最低值均出现在 2004—2005 年,M 指数(0.858)的下降幅度更快。M 指数下降的主要原因在于效率的严重下降(-20.8%),其幅度远大于技术进步(6.3%)。技术退步(-3.4%)和效率恶化(-2.6%)成为该时期 ML 指数(0.939)下降的直接原因。总体而言,2004—2005 年粮食主产区的农业生产效率下降,但生产方式相对低碳。2005—2006 年出现最高值,M 指数(1.188)的增幅更快,其提高的原因在于技术进步(19.2%)和技术效率(0.5%)的双重推动,ML 指数(1.087)提高的原因在于技术进步(9.5%)的推动抵消了技术效率的下降(-0.08%),M 指数高于 ML 指数的原因在于技术进步增长更快。^[17]

(2)第二个周期波动情况。两种指数的最低值均出现在 2008—2009 年,虽有降低但都为正值。M 指数在技术进步(6.2%)的推动和技术效率(-4.8%)的

反向作用下有所下降,ML 指数下降原因均在于技术效率(-3.1%)的下降抵消了技术进步(0.7%)的提高。到 2009—2010 年,两种指数又出现最高值,ML 指数提高的原因在于技术进步(9.3%)和技术效率(1.3%)都有增长和改善,M 指数的提高原因由于技术进步(5.1%)和技术效率(12.8%)的同时提高。

2. ML 指数与 M 指数差距比较

(1)在考虑环境约束的情况下。总体 TFP 平均增长率约为 5.1%,主要依靠技术进步推动(年均增长 5.2%),技术效率则出现恶化(年均下降 0.04%)。从地区来看,13 个省(自治区)的平均 TFP 增长率都是正值,其中内蒙古增长最快(8.3%,其中技术进步 7.7%,技术效率改善 0.6%);江西增长最慢(0.5%,其中技术进步 2.2%,技术效率下降 1.6%),具体排序见表 2。各省份的 TFP 也主要是由技术进步来推动,技术进步年均增长率均为正值,技术进步较快的省份有黑龙江(7.7%)、内蒙古(7.7%)、山东(7.0%)、江苏(6.6%),主要集中在北方粮食主产区和较发达地区,安徽(3%)、江西(2.2%)技术进步较慢。技术效率各省有差别:内蒙古(0.6%)、湖南(0.5%)、四川(0.5%)、湖北(0.4%)的技术效率有一定的改善,山东保持不变,其余各省则稍有下降。

表 2 2002—2011 年中国粮食主产区各省 TFP 增长及其分解

	考虑碳排放的 Malmquist-Luenberger 指数				传统 Malmquist 指数			
	ML	MLEFFH	MLTECH	排名	M	MEFFH	MTECH	排名
内蒙古	1.083	1.006	1.077	1	1.129	1.024	1.103	2
黑龙江	1.077	1.000	1.077	2	1.110	1.009	1.100	3
山东	1.070	1.000	1.070	3	1.094	1.018	1.074	6
湖北	1.067	1.004	1.062	4	1.135	1.053	1.078	1
江苏	1.066	1.000	1.066	5	1.100	1.019	1.079	5
辽宁	1.058	1.000	1.058	6	1.083	1.013	1.069	10
河北	1.051	1.000	1.051	7	1.089	1.018	1.070	7
四川	1.050	1.005	1.045	8	1.083	0.994	1.090	9
湖南	1.039	1.005	1.034	9	1.073	1.004	1.069	12
吉林	1.038	0.980	1.060	10	1.078	0.983	1.097	11
安徽	1.028	0.998	1.030	11	1.103	1.029	1.072	4
河南	1.020	0.987	1.034	12	1.087	1.010	1.077	8
江西	1.005	0.984	1.022	13	1.031	0.952	1.083	13

(2)在不考虑环境约束的情况下。TFP 增长率约为 9.1%(比考虑环境约束情况下的 TFP 提高了 4%),主要是依靠技术进步和效率改善的双重推动,其中

年均技术进步率约为 7.8%,年均技术效率增长率为 1.7%,且 M 指数都大于 ML 指数(2004—2005 年除外),则说明该时期内农业生产方式粗放,其中农业

生产 CO₂ 排放量以年均 3.1% 的速度增长, 从 2002 年的 4 306.78 万吨上升至 2011 年的 5 666.77 万吨, 排放量巨大。从地区上来看, 不考虑环境约束的情况下, TFP 增长率排名与考虑环境约束情况下的有差异, 湖北(13.5%)增长最快(其中技术进步 7.8%, 技术效率改进 5.3%); 江西(3.1%)增长最慢(其中技术进步 8.3%, 技术效率下降 4.8%), 具体排名见表 2。各省技术进步均有所提高, 技术效率除吉林、江西、四川外均有所改善。

由以上分析可见, 与 ML 指数相比, M 指数有时会夸大技术进步的作用或技术效率的恶化程度, 因此, ML 指数对技术进步和效率变化的解释相对更合理。两种情况下 M 指数与 ML 指数差距最大的几个省分别为安徽(0.075)、湖北(0.068)、河南(0.067)、内蒙古(0.046), 说明这四个省份的农业生产方式更加粗放, 农业生产过程中使用了更多的化肥、农药和机械, 造成了二氧化碳排放的增加, 以牺牲环境为代价来提高农业产量。

3. 确认“创新者”地区

为了继续寻找在碳排放约束下生产前沿面的“创新者”, 依据 Fare et al^[18]的判断标准, 如果同时满足以下三个条件, 就会推动生产前沿面的外移。

$$(1) MLTHCH^{T+1} > 1;$$

$$(2) D_0^T(x^{T+1}, y^{T+1}, b^{T+1}; y^{T+1}, -b^{T+1}) < 0$$

$$(3) D_0^{T+1}(x^{T+1}, y^{T+1}, b^{T+1}; y^{T+1}, -b^{T+1}) = 0$$

第一个条件表示从 T 期到 T+1 期生产可能性边界沿着既定方向向量是向外扩张的, 即在既定的投入下, T+1 期对于 T 期来说有着更多的期望产出和更少的非期望产出。第二个条件表示 T+1 期投入产出值在 T 期的环境技术结构下是不可行的, 即 T+1 期的生产发生在 T 期生产可能性边界之外。第三个条件表示“创新者”必须在生产前沿面上, 即效率值等于 1。通过计算, 2002—2011 年在碳排放约束下, 中国 13 个粮食主产区中共有 8 个省份至少 1 次移动, 其中山东(7 次)、江苏(6 次)、辽宁(5 次)、内蒙古(4 次), 表 2 提供了“创新者”的身份确认情况, 从分布情况来看, 技术创新者主要是山东省和中国北方粮食生产基地的辽宁、内蒙古、黑龙江、吉林, 东部较发达省份江苏, 中部的湖南、

湖北、江西、安徽等省份技术创新程度相对落后。

表 3 2002—2011 年生产可能性边界移动的省

年份	碳排放“创新者”
2002—2003	山东、江苏
2002—2004	山东、江苏
2002—2005	河南、湖南
2002—2006	山东、内蒙古
2002—2007	辽宁、内蒙古
2002—2008	山东、辽宁、黑龙江、江苏
2002—2009	山东、辽宁、黑龙江、江苏、四川
2002—2010	山东、内蒙古、辽宁、江苏、四川
2002—2011	山东、内蒙古、辽宁、江苏、四川

四、结论及启示

1. 结论

第一, 在碳排放约束下, 研究期内中国 13 个粮食主产区农业 TFP 取得了一定的增长, 增长推动的来源主要是技术进步的“增长效应”, 而技术效率出现小幅恶化。从纵向来看, TFP 变化呈现周期性波动。从横向来看, 内蒙古农业 TFP 增长最快, 其次是黑龙江, 江西增长最慢。

第二, 环境因素对 TFP 及其分解指数有一定的影响。与加入环境因素的 ML 指数相比, 传统的 M 指数高估了农业 TFP 的增长速度, 放大了技术变化和效率变化对农业 TFP 的影响程度。根据两种指数及其分解来分析同一个时期 TFP 变动的原由, 会得出不同的结果。例如 2005—2006 年 TFP 均有所增长, 根据 M 指数分析可知, 其增长的原因是技术进步与技术效率的双重推动; 而根据 ML 指数可知, 技术进步与技术效率反向作用导致了技术进步的损失, 阻缓了 TFP 的增长速度。

第三, 从技术“创新者”身份来看, 产粮大省山东、处于东部较发达地区的江苏和位于东北粮食生产基地的辽宁、内蒙古、黑龙江、吉林等省份在推动碳排放约束条件下农业 TFP 的技术创新上发挥了重大作用, 直接推动着中国农业环境技术的进步与创新。但中部一些省份, 如湖南、湖北、江西、安徽, 表现则不理想。

2. 启示

第一, ML 指数排名靠后的安徽、河南、江西三省, 在技术效率恶化的情况下主要借助于技术进

步的推动实现了 ML 指数增长,说明在今后的发展中,这三省应在重视农业低碳技术引进与创新的同时,加强对农业生产过程的管理,建立和完善相关低碳农业制度,提高农业资源的利用率、优化资源配置、挖掘现有农业低碳技术应用的潜力,减少无效投入,控制无效产出,使农业投入与产出的组合更接近于环境生产曲线。

第二,对于 ML 指数排名靠前的内蒙古、黑龙江、山东三省,在技术效率不变的情况下,主要是依赖于技术进步推动 ML 指数的增长。由此说明,该三个省的农业技术应用及实践的效果较好,实现农业的高效与低碳并不矛盾。尤其是山东省从农机节能技术的应用、可再生资源的普及、绿色生产体系的建设等方面全面发展低碳农业并取得了良好的成效,其他各省可借鉴其发展模式及成果,因地制宜,推动本省低碳农业的发展。

参考文献:

- [1] 张利霞,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):103-106.
- [2] 刘星辰,杨振山.从传统农业到低碳农业[J].中国生态农业学报,2012,20(6):674-680.
- [3] 许广月.中国低碳农业发展研究[J].经济学家,2010(10):72-78.
- [4] 李谷成.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.
- [5] 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.
- [6] 闵锐,李谷成.环境约束条件下的中国粮食全要素生产率增长与分解[J].经济评论,2012(5):34-42.
- [7] 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.
- [8] 吴丽丽,郑炎成.碳排放约束下我国油菜全要素生产率增长与分解[J].农业现代化研究,2013,34(1):77-80.
- [9] 崔文田,高宇.Malmquist指数与Malmquist-Luenberger指数的比较研究[J].西安工程科技学院学报,2005,19(2):152-161.
- [10] Chung Y H, Fare R, Grosskopf S. Productivity and undesirable outputs: a directional distance function approach [J]. Journal of Environmental Management, 1997, 51(3): 229-240.
- [11] 赵成柏,毛春梅.碳排放约束下我国地区全要素生产率增长及影响因素分析[J].中国科技论坛,2011(11):68-74.
- [12] Fare R, Grosskopf S, Pasurka C. Accounting for Air Pollution Emissions in Measuring State Manufacturing Productivity Growth[J]. Journal of Regional Science, 2001, 41: 381-409.
- [13] 顾丽丽,郭庆海.我国粮食主产区的演变与可持续发展[J].经济纵横,2011(12):83-86.
- [14] 岳立,赵海涛.二氧化碳约束下中国主要工业省区的能源技术效率[J].统计与信息论坛,2011,26(10):39-44.
- [15] 李波,张俊飏.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.
- [16] 刘伟明,唐东波.环境规制、技术效率和全要素生产率增长[J].产业经济研究,2012(5):28-35.
- [17] 王奇,王会.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(5):24-32.
- [18] Fare R, Grosskopf S, Margaritis D. APEC and the Asian economic crisis: early signals from productivity trends [J]. Asian Economic Journal, 2001, 15(3): 325-342.
- [19] 鲁钊阳.省域视角下农业科技进步对农业碳排放的影响研究[J].科学学研究,2013,31(5):674-683.
- [20] 徐庆国,刘红梅.低碳农业与可持续发展[J].作物研究,2010,24(4):224-227.
- [21] 杨培源.中国发展低碳农业的路径选择[J].江苏农业科学,2012,40(7):10-12.

责任编辑:李东辉