



碳排放约束下中国大豆全要素生产率增长与分解

杨 雪, 何玉成, 闫桂权

(华中农业大学 经济管理学院, 湖北 武汉 430070)

摘 要: 本文将碳排放纳入大豆全要素生产率分析框架, 为实现大豆低碳生产提供参考依据。首先测算并分析 2006 – 2016 年中国大豆主产区碳排放量和密度的时空特征, 然后利用基于方向性距离函数的 Malmquist-Luenberger 指数测度碳排放约束下 2006 – 2016 年中国大豆主产区 11 个省市全要素生产率。结果表明: 2016 年中国大豆碳排放量较 2006 年降低 11. 70%, 年均负增长 1. 24%, 而碳排放密度较 2006 年增长 14. 02%, 年均增长 1. 32%, 皆呈先升后降的趋势。按省份比较, 黑龙江和内蒙古碳排放量最多, 吉林和山西碳排放密度最大。2006 – 2016 年碳排放约束下中国大豆全要素生产率年均增长 2. 32%, 其中技术效率年均提升 0. 6%, 前沿技术进步年均增长 1. 66%, 中国大豆全要素生产率增长主要依靠前沿技术进步拉动, 技术效率提升作用不明显。从地区分布看, 碳排放约束下中国大豆全要素生产率存在地区不平衡现象, 西部地区增长最快, 东部地区增长最慢, 各省市全要素生产率增长模式存在差异。中国大豆主产区缺少“环境技术创新者”。根据结果本研究提出提高中国大豆全要素生产率的政策建议。

关键词: 大豆; 碳排放; 全要素生产率; Malmquist-Luenberger 生产率指数

Growth and Decomposition of China's Soybean Total Factor Productivity Under Carbon Emissions

YANG Xue, HE Yu-cheng, YAN Gui-quan

(College of Economics and Management, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

Abstract: In the paper, incorporating carbon emissions into the soybean total factor productivity analysis framework to provide reference for low carbon production in soybeans. The spatial and temporal characteristics of carbon emissions and density in China's major soybean producing areas from 2006 to 2016 are measured and analyzed, and then the Malmquist-Luenberger productivity index based on directional distance function was used. The law estimated the total factor productivity of 11 provinces and cities in China's major soybean carbon producing areas in 2006 – 2016 under carbon emission constraints. The results showed that in 2016, China's soybean carbon emissions decreased by 11. 70% compared with 2006, with an average annual negative growth of 1. 24%, while carbon emission density increased by 14. 02% compared with 2006, with an average annual growth of 1. 32%, both of which showed a trend of rising firstly and then decreasing. From a regional perspective, Heilongjiang and Inner Mongolia had the largest carbon emissions, while Jilin and Shanxi had the highest carbon emission density. Under the carbon emission constraints of 2006 – 2016, China's soybean total factor productivity grew at an average annual rate of 2. 32%, of which technical efficiency improved by 0. 6% annually, and cutting-edge technological progress increased by 1. 66% annually. It showed that the growth of China's soybean total factor productivity mainly depends on the contribution of cutting-edge technological progress, and the improvement of technical efficiency was not obvious. From the perspective of geographical distribution, there was a regional imbalance in China's soybean total factor productivity under carbon emission constraints. The western region had the fastest growth, while the eastern region had the slowest growth, and there were differences in the total factor productivity growth patterns of various provinces and cities. The main soybean producing areas in China are lacking of 'Environmental Technology Innovators'. According to the research conclusions, some policy recommendations were proposed to improve the total factor productivity of soybean in China.

Keywords: Soybean; Carbon emissions; Total factor productivity; Malmquist-Luenberger productivity index

粮食安全问题是关乎国家安全的重点问题。党的十九大报告提出“实施乡村振兴战略”, 乡村振兴战略提出的一项重要任务就是“确保国家粮食安全, 把中国人的饭碗牢牢端在自己手中”。大豆是我国主要粮食作物之一, 同时也是重要的油料作物。食用油安全是粮食安全的重要组成部分, 中国食用油安全形势不容乐观。大豆油在食用油中占

比最大, 高达 42%。近年来, 随着廉价进口大豆的疯狂涌入, 国内食用油自给率不断下降, 国产食用油自给率仅为 32. 2%。加入 WTO 后中国农产品市场逐步开放, 随着人民生活水平逐步提高, 对饲用蛋白和油脂需求不断增加, 中国超越欧盟成为世界最大的大豆进口国, 大豆产业格局发生明显变化。2017 年中国大豆进口 9 554 万 t, 同比增长 13. 9%,

收稿日期: 2018-12-30

基金项目: 国家中药材产业技术体系 (CARS-21); 国家自然科学基金 (71573098, 71173085); 中央高校基本科研业务费专项资助项目 (2662016PY072); 华中农业大学人文社科优秀人才培养计划基金 (52206-008034)。

第一作者简介: 杨雪 (1991 –), 女, 博士, 主要从事农业经济管理及产业组织等研究。E-mail: 13260642837@163. com。

通讯作者: 何玉成 (1974 –), 男, 博士, 教授, 博导, 主要从事营销管理与战略管理等研究。E-mail: 1789236634@qq. com。

占全球大豆进口量的 65%, 美国、巴西和阿根廷是中国大豆进口主要来源国, 国际市场大豆价格波动对我国大豆产业影响程度不断提升, 大豆产业安全和发展受到严重威胁。当前大豆产业发展面临诸多挑战, 出现增产、资源与环境相互制约的情况。一方面, 中国大豆单产较发达国家低, 豆农耕地规模太小, 难以实现规模效应, 导致经济效益低下, 土地和劳动力生产要素转移到效益更高的其它农业生产领域, 农户种植意愿大幅降低, 制约了大豆产业发展。另一方面, 气候变暖问题突出。大气中 CO₂ 浓度升高导致气候变化是不争的事实^[1], 农业是碳排放第二大来源^[2], 有关研究表明, 中国农业碳排放占碳排放总量的 17%^[3]。在大豆生产过程中农药、化肥、农膜等投入量不断提高, 虽然能给农民带来较高产出, 但是也导致农业碳排放不断增加。2018 年爆发的中美贸易摩擦凸显中国大豆产业对外依存度过高的问题, 同时也必将成为中国大豆产业变革的一次重要机遇, 构建多元化进口格局, 提高国产大豆自给率将成为中国大豆产业振兴的着力点。因此, 促进大豆增产增效与资源环境协调发展显得尤为迫切。

习近平总书记在十九大报告中强调要提高全要素生产率, 全要素生产率的增长作为农业发展的重要动力, 早在 20 世纪就引起了众多学者的关注。基于方向性距离函数 Malmquist-Luenberger (ML) 指数可将期望产出和非期望产出同时纳入分析框架^[4], 从而测算环境约束下全要素生产率。已有国内学者采用 ML 指数测度了环境约束下的农业全要素生产率。如闵锐等^[5,6]将农业面源污染纳入农业全要素生产率评价模型。温室气体排放受到学者广泛关注后, 不少学者将 CO₂ 排放纳入分析模型, 田伟等^[7-9]利用 ML 指数法研究了碳排放约束下农业全要素生产率。高鸣等^[10]利用 ML 指数等研究了中国农业碳排放绩效的动态变化和空间聚集与收敛等问题。现有文献针对农业特定作物品种的研究比较少, 吴丽丽等^[11]利用 ML 指数研究了碳排放约束下油菜主产区 13 个省 1985 - 2010 年的全要素生产率, 结果表明, 考虑碳排放因素后油菜全要素生产率反而有所提升。冯晓龙等^[12]采用 ML 指数测度碳排放约束下苹果全要素生产率, 结果表明全要素生产率的提升主要由技术进步拉动。司伟等^[13]采用随机前沿生产函数模型分析中国大豆主产区全要素生产率变动趋势及空间分布特征, 结果表明中国大豆全要素生产率呈下降趋势。夏佳佳等^[14]采用 Hicks-Moorsteen TFP 指数测算大豆主产区大豆全要素生产率, 结果表明 1980 - 2012 年中国大豆全要素生产率年均增长 0.6%, 且主要依靠技

术进步推动。

通过文献梳理可以发现, 已有学者从低碳经济视角测度农业或特定农作物全要素生产率, 由于不同农作物在投入产出、技术性质及对外部环境变化的敏感性方面均有较大差异^[15], 因而需要根据具体农作物分别测度其前沿生产面 and 全要素生产率, 但目前尚未有文献从低碳经济视角对大豆全要素生产率进行研究。为此, 本文以大豆为例, 测度 2006 - 2016 年中国 11 个大豆主产区全要素生产率, 并与考虑碳排放的全要素生产率进行比较, 进而识别出历年主导中国大豆生产“低碳技术创新”的主产区。

1 研究方法

1.1 方向性距离函数

测度碳排放约束下大豆全要素生产率, 需要建立一个包含期望产出及非期望产出生产可能性集, 保持期望产出增长且尽量降低非期望产出。引入 Shephard^[16]提出的方向性距离函数将此生产过程模型化, 则:

$$\vec{D}_0^t(x^t, y^t, b^t; g_y - g_b) = \sup [\beta: (y^t + \beta g_y, b^t - \beta g_b) \in p^t(X^t)] \quad (1)$$

(1) 式即为基于产出的方向性距离函数, 其中 X 表示投入, $P(X)$ 表示技术结构, (y, b) 表示产出向量, $g = (g_y, g_b)$ 表示产出增长方向向量, β 表示产出向量沿方向向量 g 所能提升和降低的最大倍数。构造如下线性规划方程求解:

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

1.2 Malmquist-Luenberger 指数模型

依据 Chung 等^[4]的研究, 基于产出导向的 t 期到 $t + 1$ 期包含非期望产出的全要素生产率指数可以表示为:

$$ML_t^{t+1} = \left\{ \frac{[1 + \vec{D}_0^t(x^t, y^t, b^t; g^t)]}{[1 + D_0^t(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1}; g^{t+1})]} \times \frac{[1 + \vec{D}_0^{t+1}(x^t, y^t, b^t; g^t)]}{[1 + D_0^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1}; g^{t+1})]} \right\}^{1/2}$$

ML 指数可分解为技术效率变化指数 (MLEFFCH) 及技术进步指数 (MLTECH), 即: $ML_t^{t+1} = MLEFFCH_t^{t+1} \times MLTECH_t^{t+1}$

$$\begin{aligned} MLEFFCH_t^{t+1} &= \frac{1 + \vec{D}_0^t(x^t, y^t, b^t; g^t)}{1 + D_0^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1}; g^{t+1})} \\ MLTECH_t^{t+1} &= \left\{ \frac{[1 + \vec{D}_0^{t+1}(x^t, y^t, b^t; g^t)]}{[1 + D_0^t(x^t, y^t, b^t; g^t)]} \times \right. \end{aligned}$$

$$\left. \frac{[1 + \overrightarrow{D_0^{t+1}}(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1}; g^{t+1})]}{[1 + D_0'(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1}; g^{t+1})]} \right\}^{1/2}$$

$ML_i^{t+1} > 1$ 或 $ML_i^{t+1} < 1$ 表示从 t 期到 $t + 1$ 期全要素生产率增长或下降; 当 $MLEFFCH_i^{t+1} > 1$ 或 $MLEFFCH_i^{t+1} < 1$ 时, 表示技术效率改善或恶化; 当 $MLTECH_i^{t+1} > 1$ 或 $MLTECH_i^{t+1} < 1$ 时, 表示前沿技术进步或退步。ML 指数与 1 的差值即为增长或降低的比例。而不考虑非期望产出的 M 指数亦可分解为 MEFFCH (不考虑非期望产出的技术效率变化指数) 和 MTECH (不考虑非期望产出的技术进步指数), 其分析方法与考虑非期望产出的 ML 指数相同, 因此不再赘述。

本研究利用 MaxDEA 软件计算 M 指数和 ML 指数及其分解值。

2 指标选取与数据来源

2.1 指标选取

(1) 投入指标。劳动投入和资本投入是大豆种植过程中主要投入要素。其中劳动投入用劳动用工数量表示, 以标准劳动日度量。资本投入选取主要物质费用, 包括种子费、化肥费、农药费和机械作业费, 为剔除价格因素的影响, 以 2006 年农业生产资料价格指数折实, 单位为元。

(2) 产出指标。大豆种植的产出包括期望产出及非期望产出。为了排除价格因素的影响, 期望产出用每公顷大豆主产品产量表示, 以 kg 为计量单位。非期望产出用大豆种植过程中碳排放量表示, 因大豆种植过程中碳排放主要源于化肥及农药, 其中施用化肥产生的碳排放量约占总排放量的 70%^[17], 因相关统计资料缺少大豆种植过程中的农药施用量的统计数据, 因而本文的非期望产出用化肥施用产生的碳排放量表示。碳排放量的计算式为 $E = T * \varphi$, 其中 E 表示每公顷碳排放量, T 表示每公顷化肥折纯用量, φ 为碳排放系数, 采用美国橡树岭国家实验室研究数据^[18], $\varphi = 0.8956 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

2.2 数据来源

鉴于数据的完整性和可得性, 本文选取 2006 – 2016 年中国 11 个主产区的大豆投入和产出数据, 这 11 个主产区包括黑龙江、内蒙古、吉林、辽宁、山东、河北、山西、陕西、河南、安徽和重庆。2006 – 2016 年, 这 11 个主产区大豆播种面积和产量分别占全国大豆播种面积和产量的 81.5%、77%, 因此样本具有良好的代表性。数据源于样本期间的《中国农村统计年鉴》、《全国农产品成本收益资料汇编》。

3 中国大豆碳排放时空特征分析

3.1 中国大豆碳排放时序特征分析

根据大豆生产的碳排放公式, 得出 2006 – 2016 年中国大豆主产区大豆碳排放量和密度变化趋势图 (图 1)。2016 年中国大豆碳排放总量为 0.83 万 t, 较 2006 年的 0.94 万 t 降低 11.70%, 年均负增长 1.24%。2006 – 2016 年大豆碳排放量呈先升后降的趋势。可以分为两个阶段: 第一个阶段为 2006 – 2009 年, 中国大豆碳排放量不断上涨, 从 2006 年的 0.94 万 t 上涨到 2009 年的 1.05 万 t, 涨幅为 11.70%; 第二个阶段为 2010 – 2016 年, 中国大豆碳排放量整体上呈下降的趋势。从 2010 年的 1.01 万 t 下降到 2016 年的 0.83 万 t, 降幅为 17.82%。这主要是由于此期间大豆播种面积减少了 15.42%。2016 年中国大豆碳排放密度为 114.73 万 t, 较 2006 年的 100.62 万 t 增长 14.02%, 年均增长 1.32%, 高于碳排放量的年均增长率, 说明中国大豆生产中单位面积化肥施用量不断增长。2006 – 2016 年大豆碳排放密度也呈先升后降的趋势。大体分为两个阶段: 第一个阶段为 2006 – 2012 年, 大豆碳排放密度呈现上升趋势, 从 2006 年的 100.62 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 上升到 2012 年的 123.32 $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 增幅为 22.56%。第二阶段为 2013 – 2016 年, 大豆碳排放密度大体上呈轻微下降趋势, 而同期碳排放量轻微上涨, 主要是由于同期大豆种植面积增加。

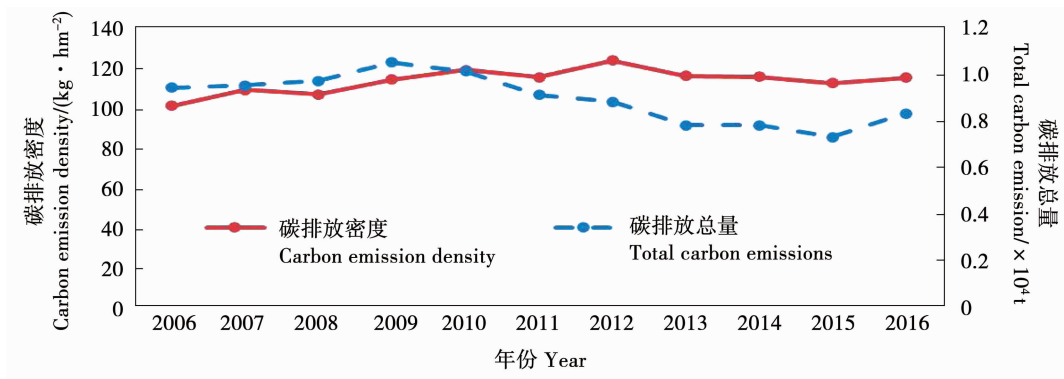


图 1 2006 – 2016 年中国大豆主产区大豆碳排放量和密度

Fig. 1 Soybean carbon emissions and density in China's major soybean producing areas in 2006 – 2016

3.2 中国大豆主产区碳排放省际特征分析

表 1 结果显示,2006 – 2016 年大豆碳排放量排在前两位的分别是黑龙江和内蒙古,分别占中国主产区大豆碳排放量的 59.9%、9.53%,主要是因为这两省大豆种植面积大,分别占大豆主产区大豆种植面积的 50.31%、10.59%,碳排放量最小的两个

省份为河北和河南。除了吉林 (18.75%)、辽宁 (40%) 和山西 (26.67%) 大豆碳排放量出现增长外,其余省市大豆碳排放量都出现下降。其中下降幅度最大的为重庆,降幅为 40%。从区域比较,大豆碳排放量西部下降最快 (–19.81%),东部碳排放量最小,下降最慢 (–14.29%)。

表 1 2006 – 2016 年中国大豆主产区各省市大豆碳排放量
Table 1 Soybean carbon emissions in various provinces and cities in China’s major soybean producing areas in 2006 – 2016
(10³ t)

地区 Area	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	均值 Mean
安徽 Anhui	0.58	0.43	0.38	0.38	0.43	0.36	0.34	0.33	0.32	0.43	0.37	0.39
河北 Hebei	0.26	0.26	0.23	0.25	0.18	0.17	0.12	0.14	0.19	0.21	0.22	0.20
河南 Henan	0.16	0.33	0.36	0.30	0.18	0.15	0.18	0.15	0.15	0.10	0.12	0.20
黑龙江 Heilongjiang	4.87	4.66	4.98	5.41	4.93	4.38	3.86	3.51	3.61	3.25	3.96	4.31
吉林 Jilin	0.32	0.71	0.73	0.71	0.68	0.54	0.44	0.46	0.44	0.33	0.38	0.52
辽宁 Liaoning	0.15	0.17	0.22	0.22	0.19	0.18	0.17	0.18	0.18	0.17	0.21	0.18
内蒙古 Inner Mongolia	0.78	0.70	0.62	0.77	0.84	0.67	0.87	0.51	0.57	0.57	0.66	0.69
山东 Shandong	0.17	0.16	0.17	0.17	0.17	0.15	0.15	0.14	0.14	0.14	0.13	0.15
山西 Shanxi	0.30	0.33	0.26	0.29	0.35	0.37	0.38	0.33	0.30	0.26	0.38	0.32
陕西 Shaanxi	0.23	0.22	0.19	0.21	0.20	0.19	0.18	0.18	0.17	0.15	0.15	0.19
重庆 Chongqing	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.04	0.04	0.02	0.02	0.03	0.04
东部 East	0.42	0.42	0.40	0.42	0.35	0.32	0.27	0.28	0.33	0.35	0.36	0.36
中部 Central	1.04	1.08	1.00	0.98	0.95	0.87	0.90	0.80	0.76	0.79	0.87	0.91
西部 West	1.06	0.96	0.85	1.02	1.08	0.91	1.08	0.73	0.76	0.74	0.85	0.91
东北 Northeast	5.34	5.54	5.93	6.34	5.80	5.10	4.48	4.16	4.23	3.75	4.56	5.02

表 2 2006 – 2016 年中国大豆主产区各省市大豆生产过程中碳排放密度
Table 2 Carbon emission density in soybean production in various provinces and cities in China’s major soybean producing areas in 2006 – 2016
(kg·hm⁻²)

地区 Area	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	均值 Mean
安徽 Anhui	59.0	45.9	38.3	39.6	45.3	40.3	39.2	38.3	37.2	51.9	44.5	43.6
河北 Hebei	120.9	136.6	122.0	147.9	124.3	122.0	97.3	109.6	156.2	181.1	209.8	138.9
河南 Henan	29.2	70.0	73.3	65.2	39.2	33.3	39.4	33.3	36.4	26.9	33.6	43.6
黑龙江 Heilongjiang	114.7	122.4	123.3	135.0	139.0	136.9	145.1	144.5	140.3	135.4	137.3	134.0
吉林 Jilin	132.7	160.1	160.3	163.0	180.7	177.5	193.0	215.6	206.5	203.1	191.0	180.3
辽宁 Liaoning	114.6	129.6	119.4	131.8	153.7	149.1	148.7	156.9	168.3	158.1	161.6	144.7
内蒙古 Inner Mongolia	83.2	92.2	92.4	91.9	103.4	97.4	140.8	90.4	112.2	107.1	108.0	101.7
山东 Shandong	91.5	94.4	103.8	108.1	107.2	98.7	100.8	98.2	93.6	102.8	101.7	100.1
山西 Shanxi	137.7	153.1	127.6	149.4	179.7	184.6	188.2	164.6	156.2	138.1	197.7	161.5
陕西 Shaanxi	123.6	122.7	102.8	110.8	114.5	110.0	108.7	117.8	149.9	136.2	137.7	121.3
重庆 Chongqing	69.9	59.0	51.2	41.4	43.1	49.7	35.5	36.4	22.4	16.5	27.3	41.1
东部 East	106.2	115.5	112.9	128.0	115.7	110.4	99.0	103.9	124.9	141.9	155.8	119.5
中部 Central	75.3	89.7	79.8	84.7	88.1	86.1	88.9	78.7	76.6	72.3	91.9	82.9
西部 West	92.2	91.3	82.1	81.4	87.0	85.7	95.0	81.5	94.8	86.6	91.0	88.1
东北 Northeast	120.7	137.4	134.3	143.3	157.8	154.5	162.3	172.4	171.7	165.6	163.3	153.0

从表 2 可以看出,2006 – 2016 年中国大豆主产区大豆碳排放密度大体呈上升趋势。除重庆 (–60.94%) 和安徽 (–24.58%) 碳排放密度下降

外,其余省份碳排放密度都呈上升趋势。其中,上升幅度最大的为河北 (75.53%),最小的为山东 (11.15%)。碳排放密度最大的两个省份是吉林和

山西,最小的3个省市是重庆、河南和安徽。这主要是因为化肥施用量不同导致的,2006-2016年吉林和山西化肥施用量分别为全国均值的160%、140%,而重庆、河南和安徽化肥施用量为全国均值的41%。从区域比较,东北地区碳排放密度最大,而中部地区最小。

4 碳排放约束下中国大豆全要素生产率分析

4.1 碳排放约束下中国大豆全要素生产率测算

2006-2016年中国11个主产区的大豆全要素生产率及碳排放约束下全要素生产率测度结果见表3、4。从表3可以看出,2006-2016年中国11个

主产区的大豆全要素生产率均值为1.029,年均增长率为2.9%。从具体省份比较,内蒙古大豆全要素生产率增长率最大,年均增长率为10.1%,而河北省大豆全要素生产率下降最为显著,高达2.6%。除河北省、山东省和山西省大豆全要素生产率下降外,其余省份都有所上升。从表4可以看出,在碳排放约束条件下,2006-2016年中国11个主产区的大豆全要素生产率均值为1.023,年均增长率为2.3%。重庆市大豆全要素生产率增长幅度居11个主产区首位,高达9.9%,而河北省的全要素生产率为0.947,下降幅度最大。由此可知,在考虑碳排放后,大豆全要素生产率明显降低,表明碳排放造成了全要素生产率的损失。

表3 2006-2016年中国大豆主产区全要素生产率测算(M指数)

Table 3 Total factor productivity measurement of major soybean producing areas in China in 2006-2016(M index)												
时间 Time	安徽 Anhui	河北 Hebei	河南 Henan	黑龙江 Heilongjiang	吉林 Jilin	辽宁 Liaoning	内蒙古 Inner Mongolia	山东 Shandong	山西 Shanxi	陕西 Shaanxi	重庆 Chongqing	均值 Mean
2006-2007	1.085	0.873	0.988	0.760	0.921	1.008	1.074	0.948	1.057	1.037	1.002	0.978
2007-2008	1.063	0.913	1.059	1.470	1.277	1.125	1.257	1.089	0.917	1.024	2.151	1.213
2008-2009	1.135	0.925	1.121	0.850	0.855	0.888	0.823	0.982	0.818	1.152	0.622	0.925
2009-2010	0.963	1.069	0.984	1.294	1.169	1.157	1.845	0.926	1.223	1.072	1.026	1.157
2010-2011	1.199	1.106	1.112	1.040	1.044	1.100	0.954	1.055	1.179	0.874	0.981	1.059
2011-2012	1.062	0.933	0.794	0.944	1.047	1.070	0.991	0.987	1.008	1.041	1.009	0.990
2012-2013	0.864	1.012	1.152	0.984	0.889	0.933	1.308	0.996	0.694	0.994	0.982	0.983
2013-2014	0.932	1.057	0.796	1.194	0.935	0.710	1.227	1.060	0.959	0.889	1.249	1.001
2014-2015	1.352	0.954	1.452	0.902	0.936	0.884	0.839	0.883	0.957	1.133	1.013	1.028
2015-2016	0.916	0.902	0.865	0.841	0.999	1.316	0.689	0.999	1.125	0.927	0.925	0.955
均值 Mean	1.057	0.974	1.032	1.028	1.007	1.019	1.101	0.993	0.994	1.014	1.096	1.029

表4 2006-2016年碳排放约束下中国大豆主产区全要素生产率测算(ML指数)

Table 4 Total factor productivity measurement of China's major soybean producing areas under carbon emission constraints in 2006-2016(ML index)												
时间 Time	安徽 Anhui	河北 Hebei	河南 Henan	黑龙江 Heilongjiang	吉林 Jilin	辽宁 Liaoning	内蒙古 Inner Mongolia	山东 Shandong	山西 Shanxi	陕西 Shaanxi	重庆 Chongqing	均值 Mean
2006-2007	1.074	0.876	0.859	0.789	0.921	1.007	1.120	0.948	1.057	1.037	1.002	0.972
2007-2008	1.070	0.913	1.059	1.432	1.277	1.125	1.129	1.089	0.956	1.024	2.151	1.202
2008-2009	1.107	0.925	1.112	0.850	0.855	0.888	0.841	0.982	0.818	1.138	0.622	0.922
2009-2010	0.963	1.069	0.984	1.285	1.150	1.118	1.553	0.926	1.205	1.072	1.026	1.123
2010-2011	1.199	1.100	1.112	1.040	1.044	1.100	0.990	1.058	1.175	0.881	0.960	1.060
2011-2012	1.062	0.944	0.823	0.944	1.047	1.070	0.987	0.989	1.008	1.041	1.061	0.998
2012-2013	0.888	1.012	1.106	0.984	0.894	0.933	1.272	0.996	0.721	0.994	0.982	0.980
2013-2014	0.927	1.048	0.836	1.192	0.935	0.738	1.142	1.054	0.959	0.889	1.249	0.997
2014-2015	1.334	0.954	1.383	0.915	0.936	0.924	0.839	0.888	0.962	1.133	1.013	1.026
2015-2016	0.916	0.902	0.878	0.849	0.999	1.241	0.732	0.993	1.114	0.928	0.925	0.952
均值 Mean	1.054	0.974	1.015	1.028	1.006	1.014	1.060	0.992	0.998	1.014	1.099	1.230

4.2 中国大豆全要素生产率时间演变特征分析

为清晰判断中国大豆主产区全要素生产率变化趋势,根据表 3、4 数据作图(图 2)。

结果显示,无论是否考虑碳排放,2006 - 2016 年中国大豆主产区全要素生产率大体上都呈下降趋

势,不考虑碳排放时其下降趋势更明显。中国大豆全要素生产率(M 指数)和碳排放约束下的全要素生产率(ML 指数)在 2006 - 2012 年呈“M”型特征。在 2008 年和 2010 年达到两个峰值,2009 年达到波谷。而在 2013 - 2016 年则呈倒“U”型特征(图 2)。

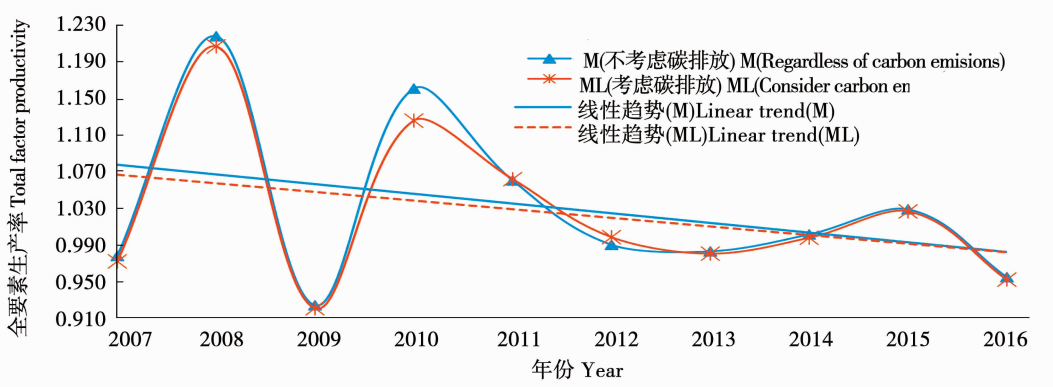


图 2 2006 - 2016 年中国大豆主产区全要素生产率变化趋势

Fig. 2 Trends in total factor productivity of major soybean producing areas in China in 2006 - 2016

表 5 2006 - 2016 中国大豆主产区全要素生产率增长与分解

演变时序 Time	不考虑碳排放 Regardless of carbon emissions			考虑碳排放 Consider carbon emissions		
	M	MEFFCH	MTECH	ML	MLEFFCH	MLTECH
2006 - 2007	0.9776	1.0231	0.9564	0.9719	1.0262	0.9476
2007 - 2008	1.2132	1.0293	1.1848	1.2024	1.0056	1.1960
2008 - 2009	0.9248	0.9853	0.9387	0.9216	0.9889	0.9318
2009 - 2010	1.1571	1.0509	1.0960	1.1228	1.0313	1.0862
2010 - 2011	1.0586	0.9944	1.0643	1.0600	1.0000	1.0600
2011 - 2012	0.9896	0.9884	1.0001	0.9979	0.9920	1.0051
2012 - 2013	0.9826	1.0189	0.9621	0.9802	1.0083	0.9712
2013 - 2014	1.0008	0.9633	1.0355	0.9972	0.9733	1.0223
2014 - 2015	1.0277	1.0039	1.0211	1.0255	0.9969	1.0278
2015 - 2016	0.9549	1.0440	0.9140	0.9524	1.0372	0.9179
均值 Mean	1.0287	1.0102	1.0173	1.0232	1.0060	1.0166

由表 5 可知,2006 - 2016 年碳排放约束下中国大豆全要素生产率年均增长 2.32%,其中技术效率年均增长 0.6%,前沿技术进步年均增长 1.66%。这表明,中国大豆全要素生产率增长主要源于前沿技术进步,技术效率的增长效果不显著。2006 - 2016 年不同阶段碳排放约束下中国大豆全要素生产率存在较大的波动。2006 - 2012 年碳排放约束下中国大豆全要素生产率均值为1.046 1,年均增长 4.61%,这主要是依赖前沿技术进步(3.78%),技术效率改善不明显(0.73%)。2013 - 2016 年碳排放约束下中国大豆全要素生产率均值为0.988 8,年均负增长 1.2%,这主要也是由于前沿技术退步 1.6% 导致的,同时技术效率的改善也不明显(0.39%)。以 2006 - 2012 年碳排放约束下中国大

豆全要素生产率均值计算方式为例,(0.971 9 + 1.202 4 + 0.921 6 + 1.122 8 + 1.060 0 + 0.997 9)/6 = 1.046 1,则年均增长为(1.046 1 - 1) × 100% = 4.61%,同理,计算技术进步和技术效率。这反映出中国存在化肥施量过大,肥料利用率过低的问题。据 FAO 统计,世界化肥用量平均值为 120 kg·hm⁻²,而中国远远超出世界平均水平,发达国家化肥有效利用效率 60% ~ 70%,而中国仅为 30% ~ 40%。

4.3 中国大豆全要素生产率的空间区域特征分析

根据 M 指数和 ML 指数分解式,使用 8 个方向性距离函数可测度 2006 - 2016 年中国大豆主产区 11 个省市全要素生产率及分解变量(表 6)。

从地域分布看,碳排放约束下中国大豆全要素生产率存在地区不平衡现象,西部增长最快,其全

要素生产率、技术效率变化指数及前沿技术进步指数分别为5.8%、1.7%和3.9%，均高于全国平均水平。而东部地区增长最慢，其全要素生产率及前沿技术进步指数均下降1.7%，技术效率变化指数处于停滞状态。碳排放约束下除东部地区全要素生产率下降外，其余地区全要素生产率都有所提升，地区差异主要表现在前沿技术进步指数上，这表明以往在重视技术效率提升时忽视了前沿技术进步的重要性。中国大豆小规模分散种植，不利于大豆良种和先进的栽培技术的推广，机械化率还有待进一步提升，中国大豆机耕、机播和机收比例分别仅为67%、68%和52%，远低于美国大豆种植机械化程度。

具体到各个省(直辖市)，碳排放约束下重庆市全要素生产率增长最快，主要是依靠前沿技术进步实现，技术效率变化处于停滞状态，是一种粗放型增长方式。2006–2016年间重庆单位面积化肥施

用量上涨28.27%，单位面积用工数量下降25.10%，单位面积种子用量减少9.38%，资源投入结构不尽合理。若忽略资源优化配置而仅仅依赖前沿技术进步，必然导致生产低效及资源浪费。除重庆外，全要素生产率增长较快的还有内蒙古(6%)、安徽(5.4%)、黑龙江(2.8%)，均高于全国平均水平2.3%。但是各省全要素生产率在增长模式方面存在明显差异。内蒙古主要是依赖技术效率的改善，安徽和黑龙江主要是依赖前沿技术进步实现，技术效率变化处于停滞状态。河北、山东及山西其全要素生产率均负增长，主要是由前沿技术进步指数负增长导致。全要素生产率低于全国平均水平的还有河南(1.5%)、辽宁(1.4%)、陕西(1.4%)和吉林(0.6%)。其中，河南、吉林和陕西全要素生产率低下主要是由技术效率低下导致的，而辽宁主要是由前沿技术进步低下导致的。

表6 2006–2016 中国大豆主产区全要素生产率增长与分解

地域 Area	不考虑碳排放 Regardless of carbon emissions			考虑碳排放 Consider carbon emissions		
	M	MEFFCH	MTECH	ML	MLEFFCH	MLTECH
安徽 Anhui	1.057	1.000	1.057	1.054	1.000	1.054
河北 Heibei	0.974	1.000	0.974	0.974	1.000	0.974
河南 Henan	1.032	1.002	1.025	1.015	1.001	1.012
黑龙江 Heilongjiang	1.028	1.000	1.027	1.028	1.000	1.027
吉林 Jilin	1.007	1.001	1.007	1.006	1.001	1.006
辽宁 Liaoning	1.019	1.018	1.002	1.014	1.015	1.001
内蒙古 Inner Mongolia	1.101	1.091	1.001	1.060	1.050	1.005
山东 Shandong	0.993	1.000	0.993	0.992	1.000	0.992
山西 Shanxi	0.994	1.000	0.994	0.998	1.000	0.998
陕西 Shaanxi	1.014	1.000	1.014	1.014	1.000	1.014
重庆 Chongqing	1.096	1.000	1.096	1.099	1.000	1.099
东部 East	0.983	1.000	0.983	0.983	1.000	0.983
中部 Central	1.028	1.001	1.025	1.022	1.000	1.021
西部 West	1.070	1.030	1.037	1.058	1.017	1.039
东北 Northeast	1.018	1.006	1.012	1.016	1.005	1.011
均值 Mean	1.029	1.010	1.017	1.023	1.006	1.017

4.4 碳排放因素对中国大豆全要素生产率的影响

在大豆生产过程中，如果仅考虑期望产出而忽视非期望产出，就可能对大豆全要素生产率产生误判。本文分别计算了不考虑碳排放情形下大豆全要素生产率指数(M指数)和考虑碳排放情形下大豆全要素生产率指数(ML指数)。碳排放约束下中国大豆全要素生产率在2006–2016年的年均增长2.3%，其中技术效率年均改善0.6%，前沿技术进步年均增长1.7%。与不考虑碳排放时相比，全要素生产率和技术效率均降低，而前沿技术进步基本

上没有变化(表6)。这与杨璐嘉^[19]、潘丹等^[20-21]学者的研究类似，他们认为忽视碳排放约束会导致全要素生产率的高估。

Fare等^[22]认为M与ML指数大小反映期望产出和非期望产出相对增长率大小。给定资源投入情况下，若M指数小于ML指数，则表明非期望产出增长率低于期望产出增长率，那么该决策单元相对低碳。从区域来看，中部、西部和东北部3个地区的ML指数均小于M指数(表6)，说明这3个区域大豆生产中不存在碳减排技术创新。考虑碳排放

因素后,西部地区 ML 指数下降最快降幅为 1.2%。从各省市来看,M 指数小于 ML 指数的有山西(0.4%)和重庆(0.3%),说明这两个省(市)大豆生产相对低碳环保。M 指数大于 ML 指数的有安徽(-0.3%)、河南(-1.7%)、吉林(-0.1%)、辽宁(-0.5%)、内蒙古(-4%)和山东(-0.1%),这些省份 2006-2016 年单位面积化肥施用量增长率大于全国平均水平,需要优化大豆种植生产要素投入结构,亟需改善施肥方式,提升肥料利用率。

4.5 确认大豆生产“低碳技术创新”省份

上文分析了碳排放约束下中国大豆全要素生产率的时空特征,但是哪些省份推动前沿面外移?为确定碳排放约束下生产前沿面的“环境技术创新者”,依据 Fare 等^[22]的判断标准,具体条件为:

- (1) $MLTECH^{t+1} > 1$;
- (2) $\vec{D}_0^t(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1}; y^{t+1}, -b^{t+1}) < 0$
- (3) $\vec{D}_0^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1}; y^{t+1}, -b^{t+1}) = 0$

条件(1)表示在既定投入下,t+1 期对于 t 期有更多的期望产出及更少的非期望产出;条件(2)表示 t+1 期的生产位于 t 期的生产可能性边界之外;条件(3)表示“创新者”必须在生产前沿面上。同时满足以上条件才能被确定为“环境技术创新者”,根据测算结果,2006-2016 年在碳排放约束下,中国大豆主产区没有省市移动到生产前沿面,即中国大豆主产区没有“环境技术创新者”。

5 结论及启示

5.1 结 论

本文对 2006-2016 年大豆主产区 11 个省市大豆碳排放量进行核算,分析大豆主产区不同年份碳排放总量和密度,随后采用基于方向性距离函数的 Malmquist-Luenberger 生产率指数法估算了碳排放约束下 2006-2016 年大豆主产区 11 个省市全要素生产率,得到如下结论:

(1)2006-2016 年中国大豆碳排放总量降低 11.70%,年均负增长 1.24%,呈现先升后降的趋势。而大豆碳排放密度增长 14.02%,年均增长 1.32%,也呈现先升后降的趋势。从区域来看,黑龙江和内蒙古碳排放量最多,吉林和山西碳排放密度最大。西部大豆主产区碳排放量下降最快,而东部碳排放量最小,下降也最慢。东北地区碳排放密度最大,而中部地区最小。

(2)2006-2016 年碳排放约束下中国大豆全要素生产率年均增长 2.3%,其中技术效率年均改善 0.6%,前沿技术进步年均增长 1.7%。与不考虑碳排放相比,全要素生产率和技术效率都有所降低,

但前沿技术进步基本上没变。无论是否考虑碳排放,2006-2016 年中国大豆主产区全要素生产率整体上呈下降态势,忽视碳排放时中国大豆全要素生产率下降更为显著。中国大豆全要素生产率(M 指数)及碳排放约束下的全要素生产率(ML 指数)在 2006-2012 年呈“M”型特征,而在 2013-2016 年则呈倒“U”型特征。

(3)从地域分布看,碳排放约束下中国大豆主产区全要素生产率增长模式存在差异,并存在区域不平衡现象,西部地区增长最快,东部地区增长最慢。中部、西部和北部 3 个地区在大豆生产过程中不存在减少碳排放的技术创新。安徽、河南、吉林、辽宁、内蒙古和山东,这些省份需要优化生产要素投入结构,控制化肥用量,提升化肥利用率。2006-2016 年在碳排放约束下,中国大豆主产区缺乏“环境技术创新者”。

5.2 对策建议

根据研究结果,本文提出如下对策建议:

(1)改变传统作业方式,提升大豆投入要素利用率。采用大豆生物肥等新型农业肥料代替传统化肥,采用技术培训、大豆示范区建设等措施提升农户对测土配方施肥技术的认知水平,鼓励豆农积极使用环境友好型生产技术,提升大豆生产要素的使用效率。

(2)加大大豆科研投入力度,推动区域间大豆种植业均衡发展。科研投入不足使得中国大豆单产低下,应加快推进科技创新,加强大豆技术推广力度,提升中国大豆技术效率。政府应采取措施推动西部低碳生产技术向东部转移,就东部而言,应强化与西部地区的交流合作,引进先进的大豆低碳生产技术,同时需要结合自身资源禀赋,转变大豆生产方式,提升化肥、农药、农膜等生产要素的利用率,加快实现“资源节约,环境友好”大豆种植模式。

(3)重庆市、安徽、黑龙江、河北、山东、山西和辽宁这些省市大豆全要素生产率波动主要受前沿技术进步波动的影响,说明这些省市在今后的发展中要加强对大豆生产过程的管理,完善农药化肥管理法律制度,推进低碳耕作方式和技术的研究及应用,优化投入资源配置,提升农业资源利用率。

参考文献

[1] 侯彩霞,赵雪雁,文岩,等.不同生计方式农户的碳足迹研究——以黑河流域中游张掖市为例[J].自然资源学报,2014,29(4):587-597. (Hou C X, Zhao X Y, Wen Y, et al. Different subsistence farmers, carbon footprint research: A case study of city of Zhangye in midstream of Heihe river basin[J]. Journal of Natu-

- ral Resources, 2014, 29(4):587-597.)
- [2] 张广胜,王珊珊. 中国农业碳排放的结构、效率及其决定机制[J]. 农业经济问题, 2014, 35(7):18-26. (Zhang G S, Wang S S. The structure, efficiency and decision mechanism of China's agricultural carbon emissions[J]. Issues in Agricultural Economy, 2014, 35(7):18-26.)
- [3] 赵文晋,李都峰,王宪恩. 低碳农业的发展思路[J]. 环境保护, 2010(12):38-39. (Zhao W J, Li D F, Wang X E. Development ideas of low carbon agriculture [J]. Environmental Protection, 2010(12):38-39.)
- [4] Chung Y H, Färe R, Grosskopf S. Productivity and undesirable outputs: A directional distance function approach [J]. Microeconomics, 1995, 51(3):229-240.
- [5] 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——基于省域面板数据与序列 Malmquist-Luenberger 指数的观察[J]. 经济评论, 2012(5):34-42. (Min R, Li G C. A study on growth and decomposition of China's grain TFP under environmental constraints: Empirical analysis based on provincial panel data and sequence Malmquist-Luenberger index [J]. Economic Review, 2012(5):34-42.)
- [6] 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. (Han H B, Zhao L F. Growth and convergence of agricultural TFP in China under environmental regulations[J]. China Population, Resources and Environment, 2013, 23(3):70-76.)
- [7] 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):59-71. (Tian W, Yang L J, Jiang J. Measurement and analysis of China's agricultural environmental efficiency from low carbon perspective——SBM model based on unexpected output [J]. China Rural Survey, 2014(5):59-71.)
- [8] 张林,冉光和,蓝震森. 碳排放约束与农业全要素生产率增长及分解[J]. 华南农业大学学报(社会科学版), 2015(3):22-32. (Zhang L, Ran G H, Lan Z S. Growth and decomposition of agricultural total factor productivity in China under carbon emission constraints [J]. Journal of South China Agricultural University (Social Science Edition), 2015(3):22-32.)
- [9] 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, 29(11):7-12. (Tian Y, Zhang J B, Wu X R, et al. Growth and sources of agricultural productivity in China under carbon emissions constraint [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2015, 29(11):7-12.)
- [10] 高鸣,宋洪远. 中国农业碳排放绩效的空间收敛与分异——基于 Malmquist-luenberger 指数与空间计量的实证分析[J]. 经济地理, 2015, 35(4):142-148. (Gao M, Song H Y. Dynamic changes and spatial agglomeration analysis of the Chinese agricultural carbon emissions performance [J]. Economic Geography, 2015, 35(4):142-148.)
- [11] 吴丽丽,郑炎成,李谷成. 碳排放约束下我国油菜全要素生产率增长与分解——来自 13 个主产区的实证[J]. 农业现代化研究, 2013, 34(1):77-80. (Wu L L, Zheng Y C, Li G C. Growth and source of rape total factor productivity in China under carbon emissions constraint——An empirical study from 13 main producing areas [J]. Research of Agricultural Modernization, 2013, 34(1):77-80.)
- [12] 冯晓龙,刘明月,霍学喜. 碳排放约束下中国苹果全要素生产率研究[J]. 中国农业大学学报, 2017, 22(2):157-168. (Feng X L, Liu M Y, Huo X X. Study on total factor productivity of apple in China under carbon emissions [J]. Journal of China Agricultural University, 2017, 22(2):157-168.)
- [13] 司伟,王济民. 中国大豆生产全要素生产率及其变化[J]. 中国农村经济, 2011(10):16-25. (Si W, Wang J M. Total factor productivity of China's soybean production and its changes [J]. Chinese Rural Economy, 2011(10):16-25.)
- [14] 夏佳佳,郭萍,余康. 我国大豆全要素生产率增长的变动与分解——基于 Hicks-Moorsteen TFP 指数的研究[J]. 南方农业学报, 2015, 46(5):917-921. (Xia J J, Guo P, Yu K. Change and decomposition of soybean's total factor productivity growth in China——Based on Hicks-Moorsteen TFP index [J]. Journal of Southern Agriculture, 2015, 46(5):917-921.)
- [15] 厄尔·O·黑迪,约翰·L·狄龙. 农业生产函数[M]. 沈达尊,朱希刚,厉为民,译. 北京:农业出版社, 1991:220-228. (Earl O H, John L D. Agricultural production function[M]. Shen D Z, Zhu X G, Li W M, translation. Beijing: Agricultural publishing house, 1991:220-228.)
- [16] Shephard R W. A dynamic formulation of index functions for the theory of cost and production[M]// Eichhorn W, Henn R, Opitz O, et al. Theory and Applications of Economic Indices. Physica-Verlag Heidelberg, 1978:417-448.
- [17] 苏杨. 中国农村环境污染调查[EB/OL]. [http://theory. people. com. cn/GB/49154/49369/4027248. html](http://theory.people.com.cn/GB/49154/49369/4027248.html). 2006 [2012- 11- 21] (Su Y. Rural environmental pollution survey in China. [EB/OL]. [http://theory. people. com. cn /GB/49154/49369 /4027248. html](http://theory. people. com. cn /GB/49154/49369 /4027248.html). 2006 [2012- 11- 21])
- [18] West T O, Marland G. A synthesis of carbon sequestration, carbon emissions, and net carbon flux in agriculture: comparing tillage practices in the United States[J]. Agriculture Ecosystems & Environment, 2002, 91(1):217-232.
- [19] 杨璐嘉. 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[J]. 湖南农业大学学报(社会科学版), 2013(6):27-32. (Yang L J. 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 [J]. Journal of Hunan Agricultural University (Social Sciences), 2013(6):27-32.)
- [20] 潘丹,孔凡斌. 我国农业全要素生产率差异与收敛分析——基于环境污染视角[J]. 江西社会科学, 2013(9):43-47. (Pan D, Kong F B. Analysis of the difference and convergence of total factor productivity in China's agriculture——Based on the perspective of environmental pollution [J]. Jiangxi Social Sciences, 2013(9):43-47.)
- [21] 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. (Pan D, Ying R Y. Agricultural total factor productivity growth in China under the binding of resource and environment [J]. Resources Science, 2013, 35(7):1329-1338.)
- [22] 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.