

农业生产何以存在低碳效率幻觉? ——来自1997—2016年31个省份面板数据的证据

何培培^{1,2}, 张俊飏^{1,2}, 何可^{1,2}, 陈柱康^{1,2}

(1. 华中农业大学经济管理学院, 武汉 430070; 2. 湖北农村发展研究中心, 武汉 430070)

摘要: 利用1997—2016年中国31个省份的面板数据, 测算基于农业污染物影子价格的农业低碳效率, 探讨各省份农业低碳效率幻觉存在与否的问题, 并在此基础上分析农业低碳效率幻觉程度的影响因素。结果表明: (1) 1997—2016年, 中国农业低碳效率均值呈先下降后上升的总体趋势, 且“东—中—西”梯度递减的态势明显。(2) 总体上, 存在农业低碳效率幻觉的省份数量呈先增后减趋势; 分区域看, 东部和中部存在农业低碳效率幻觉的省份数量逐渐减少, 而西部地区则不断增加。(3) 农业经济发展水平、农业生产节能技术水平、农业发展重视程度、农业产业结构对农业低碳效率幻觉程度具有负向影响, 而农业规模化水平、农业受灾率和农业人力资本的影响效应为正。

关键词: 农业生产; 低碳效率幻觉; 影子价格; 影响因素; 省际差异

宏观经济增速放缓已成为不争的事实, 掩藏在经济增长能力下的农业能源消耗与污染排放的环境问题势必随其“掩饰力”的减弱而集中爆发^[1]。由于农业碳减排成本的上升, 以往以农业污染物量为基础的农业低碳效率测度法并不能完全衡量其对环境造成的影响^[2], 且在进行省际比较时缺乏公允性^[1]。基于污染物影子价格的农业低碳效率能从价值量角度对其进行有效性评价, 进而判断是否存在因农业减排成本和农业低碳效率值双重增加而导致的农业低碳效率幻觉情形, 平衡好生态环境与农业经济效益的关系, 为农业经济高质量发展提供较为科学的决策依据。农业低碳效率 (agricultural low-carbon efficiency) 是农业碳排放在现有基础上的减排潜力, 以较少的资源投入、较低的碳排放, 获得最多的农产品^[1,3]。已有研究基于农业面源污染、农业碳排放或农业面源污染与农业碳排放相结合的非期望产出指标, 利用DEA模型评价农业低碳效率^[3-6], 认为全国范围内农业低碳效率呈上升趋势, 且区域差异较大。但这仅仅是从投入产出量的关系上考察了农业生产对环境造成的影响, 且并未给出生态环境与经济利益的权衡比较。鉴于此, 有学者将农业面源污染或农业碳排放作为非期望产出指标, 基于方向性距离函数, 构建影子价格评价模型, 测算农业污染物的影子价格, 以了解农业污染的边际减排成本^[7-10], 但并未基于影子价格进一步测算农业生产的低碳效率。

只有经济发展与环境保护同步进行, 才能实现农业生产数量与质量的双赢。多数研究证实我国绝大部分省份的农业低碳效率皆呈上升态势, 但是监测数据却显示环境质量

收稿日期: 2019-04-25; 修订日期: 2019-08-15

基金项目: 国家自然科学基金项目 (71703051, 71333006); 国家教育部哲学社会科学重大课题攻关项目 (15JZD014); 中宣部文化名家暨“四个一批”人才项目

作者简介: 何培培 (1995-), 女, 四川崇州人, 博士研究生, 主要从事资源与环境经济研究。

E-mail: hpp@webmail.hzau.edu.cn

通讯作者: 张俊飏 (1962-), 男, 陕西咸阳人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事资源与环境经济、农业经济理论政策研究。E-mail: zhangjb513@126.com

不容乐观。在此背景下,学界开始对以环境效率为核心、衡量不同省份间污染物造成经济、环境影响的公允性进行反思,认为当前仅关注环境效率会忽视环境效率增加而环境质量降低的事实^[1],导致对效率实质的误判^[11],由此提出环境效率幻觉(eniromental efficiency illusion)概念^[1,2]。目前,有关环境效率幻觉的研究较少,且已有研究尚未区分工业和农业部门^①,不可否认的是工、农业的投入产出关系极为不同,将二者合在一起既可能高估农业部门的环境效率,更可能掩盖工业与农业环境效率幻觉的区别。因此,有必要对工业和农业进行产值与污染物的双重剥离,单独测算考虑污染物影子价格时的农业环境效率,并以此判断农业生产中是否存在效率幻觉现象。

基于此,本文以农业碳排放为非期望产出,测算基于污染物影子价格的农业低碳效率,并评价31个省(自治区、直辖市)1997—2016年的农业低碳效率变化;针对农业低碳效率在衡量农业经济发展质量过程中的缺陷,提出农业低碳效率幻觉概念,并比较其区域分布差异;在此基础上进一步探究农业低碳效率幻觉程度的影响因素,以期对农业可持续发展、生态环境与农业产值的平衡取舍提供更切实的依据。

1 研究方法 with 数据来源

1.1 研究方法

1.1.1 农业低碳效率评价模型

世界可持续发展工商理事会(WBCSD)认为环境效率是产品或服务的价值与污染物环境总成本即污染物影子价格的比值,因此,可构建农业低碳效率的评价模型。假设某地区农业生产投入 x 种要素, $x=(x_1, x_2, \dots, x_N) \in R_+^N$,同时获得期望产出 y , $y=(y_1, y_2, \dots, y_M) \in R_+^M$,非期望产出 b , $b=(b_1, b_2, \dots, b_l) \in R_+^l$,则用投入—产出集合表示的低碳技术可能性集为:

$$p(x) = \{(y, b): x \text{ 可以生产出 } (y, b)\} \quad (1)$$

由此,引入方向性距离函数,假设农业产出增长方向向量 $g=(g_y, g_b)$,则基于产出方向的方向性距离函数为:

$$\bar{D}_0(x, y, b; g_y, g_b) = \max\{\beta: (y + \beta \times g_y, b - \beta \times g_b) \in p(x)\} \quad (2)$$

利用方向性产出距离函数和利润函数可以测算非期望产出的影子价格^②。假设 R 为农业产出收益,则收益函数为:

$$R(x, p, q) = \max\{py - qb: (y, b) \in p(x)\} \quad (3)$$

式中:期望产出的价格为 $p=(p_1, p_2, \dots, p_M) \in R_+^M$,而非期望产出的价格则为 $q=(q_1, q_2, \dots, q_l) \in R_+^l$ 。对式(3)进行变换,求得非期望产出价格 q_i :

$$R(x, p, q) \geq (py - qb) + p \times \bar{D}_0(x, y, b; g) \times g_y + q \times \bar{D}_0(x, y, b; g) \times g_b \quad (4)$$

$$q_i = -p_m \times \left(\frac{\partial \bar{D}_0(x, y, b; g)}{\partial b_i} \right) \bigg/ \left(\frac{\partial \bar{D}_0(x, y, b; g)}{\partial y_m} \right) \quad (5)$$

进一步可测算农业的低碳效率:

① 王莲芬等^[1]利用2011—2013年中国工农业数据,综合测算了31个省份的环境负荷、环境效率,以及是否存在环境效率幻觉,并进行了环境效率影响因素分析。

② 测算方法详见参考文献[7-10]。

$$E'_c = \frac{V'_c}{\sum_{i=1}^I q'_{ic} b'_{ic}} \quad (6)$$

式中： E'_c 为 t 时期第 c 个省份的农业低碳效率值； V'_c 为第 c 个省份的农林牧渔总产值； $\sum_{i=1}^I q'_{ic} b'_{ic}$ 为第 c 个省份农业污染物的影子价格，即农业污染物碳减排的总成本。

1.1.2 农业低碳效率幻觉评价模型

农业低碳效率幻觉 (agricultural low-carbon efficiency illusion) 属于环境效率幻觉范畴，是指只重视农业低碳效率名义值的增加，忽视农业减排成本上升，导致环境质量降低的情形；产生的根本原因是农业经济增长量的绝对值远大于碳减排成本增加的绝对值，从而掩盖了二者在增长速率上的巨大差距^[1,2]。在农业生产过程中，能源要素投入、翻耕、耕地灌溉既保证了农产品的有效产出，又造成了大量的碳排放。在农产品价格 p 和农业碳排放影子价格 q 既定的条件下，农业低碳效率仅与农产品产出量和农业碳排放量有关。效率提升会出现以下三种情形：一是农产品产出量增加，而农业碳排放量大致不变或减少；二是农产品产出和农业碳排放同时减少，但农业碳排放减少的速率大于农产品产出减少的速率；三是农产品产出和农业碳排放同时增加，而农业碳排放增加的速率小于农产品产出增加的速率。第一种情形不仅是农业低碳效率名义上的增加，更是农产品产出和环境质量实际上的增加与改善；第二种情形则是农业低碳效率提高，环境质量改善，导致农产品产出也随之下降；而既不影响农产品产出又符合农业低碳效率幻觉内涵的仅是第三种情形，农业低碳效率只实现了名义上的增长，农业碳排放量在增加，而整体环境质量在下降。引入价格因素后，农业低碳效率幻觉实际是指农业低碳效率提升，而农业污染物减排的边际成本随之增加，环境质量整体恶化。

根据已有研究成果^[1,2]和前文的分析，可将农业低碳效率幻觉量化为在农业低碳效率实现增长的约束条件下农业减排成本的跨期比较，其评价模型为：

$$I'_c = \frac{\sum_{i=1}^I q'_{ic} b'_{ic}}{\sum_{i=1}^I q'^{t-1}_{ic} b'^{t-1}_{ic}} - 1 \quad (7)$$

$$\text{s.t. } E'_c - E'^{t-1}_c > 0$$

式中： I'_c 表示第 c 个省份的农业低碳效率幻觉值。考虑到农业低碳效率约束，当 $I'_c > 0$ ，表示第 c 个省份 t 时期的农业减排成本高于 $t-1$ 时期，则在 t 时期出现农业低碳效率幻觉；当 $I'_c < 0$ ，表示第 c 个省份 t 时期的农业减排成本低于 $t-1$ 时期，则 t 时期不会出现农业低碳效率幻觉。

农业低碳效率幻觉程度指农业碳减排成本与农业经济产值增加的速率差异，表达为：

$$DI'_c = \frac{\sum_{i=1}^I q'_{ic} b'_{ic} / \sum_{i=1}^I q'^{t-1}_{ic} b'^{t-1}_{ic} - 1}{V'_c / V'^{t-1}_c - 1} \quad (8)$$

$$\text{s.t. } V'_c - V'^{t-1}_c > 0$$

式中： DI'_c 表示第 c 个省份 t 时期的农业低碳效率幻觉程度。考虑到农业经济的增长约束，当 $DI'_c > 1$ ，表示第 c 个省份 t 时期的农业低碳效率幻觉属于高幻觉范围；当 $0 < DI'_c < 1$ ，则表示第 c 个省份 t 时期的农业低碳效率幻觉属于低幻觉范围；当 $DI'_c < 0$ ，

表示第 c 个省份 t 时期不存在农业低碳效率幻觉。

1.2 数据来源

考虑农业生产的现实情况和数据的可获得性, 样本数据选择除澳门、香港和台湾地区的1997—2016年31个省份的农业面板数据。研究所用基础数据皆来源于《中国农村统计年鉴》(1998—2017年)、《中国统计年鉴》(1998—2017年)和各省份相关统计年鉴。种植业碳排放系数指标则来自于IPCC第四次报告(2007)和借鉴已有文献^[12,13]; 畜禽养殖业中牛、马、羊等大牲畜的年饲养量为年末存栏量, 而猪、鸡、兔等的年均饲养量则经过调整^[14], 其温室气体排放系数^[15,16]和渔业养殖的碳排放系数^[17,18]主要参考已有文献的相关数据, 同时按照温室效应强度将CH₄、N₂O等温室气体统一转换成标准碳当量^[19]。

2 结果分析

2.1 农业低碳效率幻觉分析

结合既有研究, 选择了七类投入变量表征农业生产投入情况, 分别为劳动力投入、土地投入、化肥投入、农药投入、农膜投入、农业机械动力投入以及灌溉投入^[3,10,20]。以农林牧渔总产值表征农业期望产出, 并且剔除物价因素影响, 将农林牧渔总产值换算为以1997年为基期的不变价格。以农业碳排放表征农业非期望产出, 而农业碳排放主要来源于种植业农用物资投入、畜禽养殖和水产养殖等三方面, 因此选择化肥、农药、农膜、农用柴油、翻耕、农业灌溉、主要畜禽存栏量或出栏量、水产养殖产量等碳排放源量乘以相应碳排放系数, 加总得到碳排放总量(表1)。

表1 农业生产投入产出指标

Table 1 Indicators of agricultural production input and output

一级指标	二级指标	变量及说明
投入指标	劳动力投入	农林牧渔业从业人员/万人
	土地投入	农作物播种总面积/千hm ²
	化肥投入	化肥施用量/折纯, 万t
	农药投入	农药施用量/万t
	农膜投入	农膜使用量/万t
	农业机械动力投入	农业机械总动力/万kW
	灌溉投入	有效灌溉面积/千hm ²
期望产出指标	农林牧渔总产值	农林牧渔总产值/亿元
非期望产出指标	农业碳排放	化肥、农药、农膜、农用柴油、翻耕、农业灌溉、主要畜禽、水产养殖碳排放总量/万t

2.1.1 基于影子价格的农业低碳效率

以MaxDEA 5.0为计算平台, 在引入农业污染物影子价格后, 根据式(6), 测算出1997—2016年31个省份, 共620个决策单元的农业低碳效率。按年份计算基于影子价格的农业低碳效率均值, 全国及三大区域的基本情况见图1、图2。

总体来看, 1997—2016年全国及三大区域的农业低碳效率均值均呈先下降后上升趋势, 说明引入污染物影子价格后, 农业低碳效率仍在不断提高, 环境质量有好转的趋势和可能。就全国而言(图1), 根据农业低碳效率值的变化趋势, 可划分为三个阶段: 1997—2003年为总体下降阶段、2004—2010年为总体上升阶段、2011—2016年为快速上升阶

段，第一阶段出现下降的可能原因是1998年的特大洪水造成全国农业歉收，同时农作物播种面积连年下降，导致农业产量和产值也随之下降。由图1还可看出，2007年前后全国农业低碳效率均值再次达到1，说明2000—2007年间，农业要素投入带来的环境成本高于农业产值，农业生产处于资源粗放利用阶段；而2007年以后，农业低碳效率均值大于1，说明农业要素投入带来的农业产值高于环境成本，全国范围内农业生产开始正式进入资源节约与环境友好阶段。就三大区域而言（图2），在样本考察期内，东部地区农业低碳效率均值趋势变化与全国平均水平保持一致，但一直高于全国平均水平，中部地区则在2007—2014年间高于全国平均水平，此后又低于全国平均水平，而西部地区农业低碳效率则明显低于东部和中部地区，且一直低于全国平均水平。

考虑到全国31个省份在自然资源禀赋、生态承载力、农业生产技术和农业生产结构等方面存在的较大差异，全国或区域层面农业低碳效率的变化可能无法准确反映各省份的实际情况，且农业低碳效率均值的上升趋势甚至可能掩盖部分地区部分年份农业低碳效率恶化的实质。因此，为考察农业低碳效率是否存在省际差异，对比1997—2016年间及1997—2003年和2004—2016年间各省份农业低碳效率均值及排名情况（表2）。由表2可以看出，三个时期的农业低碳效率均值及其排名变化较大，除海南外，2004—2016年及1997—2016年各省份农业低碳效率排名几乎一致，说明2004—2016年间全国31个省份的农业低碳效率增长速度较快且省际间的差异较大。综合比较1997—2003年、2004—2016年各省份农业低碳效率均值发现，除了海南、云南、内蒙古、宁夏、甘肃和西藏外，对于其他省份而言，2004—2016年农业低碳效率均值大于1997—2003年均值，且增长幅度较大，这基本迎合了图1中自2004年后农业低碳效率均值上升的趋势特征。值得注意的是，海南在1997—2003年的农业低碳效率均值为3.084，但在2004—2016年，其农业低碳效率均值仅为0.778，是东部地区农业低碳效率最低的省份，可能的原因是该地区农业生产条件优越，全年皆可种植，但为追求超高经济产值，造成化肥、农药的过度使用，对生态环境造成巨大压力。而河南、山东、黑龙江、湖北、四川等传统农业大省的农业低碳效率反而低于非传统农业大省，低

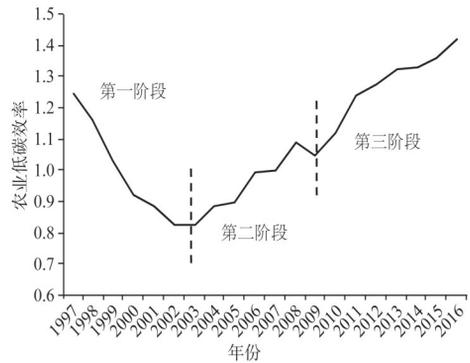


图1 1997—2016年全国农业低碳效率趋势

Fig. 1 National agricultural low-carbon efficiency trends from 1997 to 2016

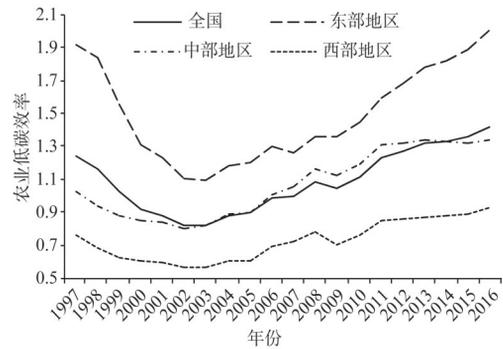


图2 1997—2016年区域^③农业低碳效率趋势

Fig. 2 Regional agricultural low-carbon efficiency trends from 1997 to 2016

③ 按照国家统计局的区域划分方法，东部包括北京、天津、辽宁、河北、山东、江苏、上海、浙江、福建、广东、海南；中部包括黑龙江、吉林、山西、河南、安徽、湖北、湖南、江西；西部包括内蒙古、广西、重庆、四川、贵州、云南、西藏、陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆，下同。

表2 各省(市、区)农业低碳效率均值及排名

Table 2 Average and ranking of agricultural low-carbon efficiency in each provincial-level region

省(市、区)	1997—2016年		1997—2003年		2004—2016年		省(市、区)	1997—2016年		1997—2003年		2004—2016年	
	排名	均值	排名	均值	排名	均值		排名	均值	排名	均值	排名	均值
广东	1	1.877	4	1.585	2	2.034	河北	17	1.040	14	0.939	19	1.095
浙江	2	1.859	3	1.735	3	1.926	辽宁	18	0.989	13	0.960	20	1.005
福建	3	1.835	2	1.761	4	1.875	山东	19	0.981	22	0.688	16	1.139
上海	4	1.770	11	1.123	1	2.119	山西	20	0.968	23	0.667	18	1.130
江苏	5	1.684	5	1.492	6	1.787	贵州	21	0.963	25	0.642	17	1.136
北京	6	1.646	7	1.241	5	1.865	河南	22	0.903	19	0.799	21	0.959
海南	7	1.585	1	3.084	23	0.778	黑龙江	23	0.823	20	0.748	22	0.863
湖南	8	1.478	8	1.165	7	1.646	吉林	24	0.699	21	0.689	24	0.704
重庆	9	1.308	9	1.163	9	1.386	云南	25	0.641	27	0.689	25	0.662
天津	10	1.275	6	1.269	13	1.279	内蒙古	26	0.604	24	0.663	27	0.571
安徽	11	1.272	12	0.981	8	1.430	宁夏	27	0.602	26	0.614	26	0.596
江西	12	1.272	10	1.126	11	1.351	甘肃	28	0.433	28	0.469	29	0.414
湖北	13	1.216	16	0.912	10	1.379	新疆	29	0.428	29	0.375	28	0.457
广西	14	1.161	15	0.921	12	1.291	青海	30	0.329	30	0.280	30	0.355
陕西	15	1.109	17	0.887	14	1.228	西藏	31	0.138	31	0.157	31	0.128
四川	16	1.099	18	0.865	15	1.225	全国	—	1.096	—	0.987	—	1.155

碳效率均值普遍不高。

2.1.2 农业低碳效率幻觉的省际差异分析

虽然农业低碳效率值在近年来始终呈增长态势,但随着经济增速放缓,碳减排成本增速逐渐高于经济增速,导致效率幻觉现象产生。单纯用农业低碳效率衡量各地区的农业经济发展质量可能存在诸多弊端,会忽略农业减排过程中不断上升的成本问题,增加农业减排压力,导致政府增加在农业减排方面的支出^[1],进而损害农业经济发展。只有建立于农业低碳效率幻觉基础之上的效率上升,才能够准确反映农业经济发展质量。因此,根据式(7)、式(8)计算31个省份的农业低碳效率幻觉值及其程度。受篇幅限制,只列出2007年之后的值,详见表3。

由表3可以看出,2007—2016年,我国绝大多数省份的农业低碳效率幻觉程度为正值,说明在样本期间内,大部分省份都存在农业低碳效率幻觉。而大多数省份农业低碳效率幻觉值处于0~1之间,属于低幻觉范围,说明这些省份的农业经济增长速度快于农业碳减排成本增加的速度,虽然低碳效率有所提高,但相应的减排成本却小幅增加,生态环境本质上并未得到有效改善。仍有少数省份,如云南和青海,2016年农业低碳效率幻觉值分别为1.189和4.082,属于高幻觉范围,说明两省农业低碳效率的提高伴随着较大幅度的环境污染成本上升,生态环境较之前年份仍有所恶化。

从农业低碳效率幻觉出现的省份数量看,在样本考察期内,全国31个省份中出现农业低碳效率幻觉的省份数量呈先增加后减少的波动变化态势,由1998年的1个增加至2005年的25个,而后锐减至2006年的7个、2009年的12个,此后稳中有降,直至2016年的7个,在2006年和2009年先后出现两次低谷。有趣的是,1998—2016年的19年间,31个省份无一例外都曾出现过农业低碳效率幻觉情形,北京和上海出现次数最

表3 2007—2016年各省(市、区)农业低碳效率幻觉程度

Table 3 Degree of agricultural low-carbon efficiency illusion in each provincial-level region from 2007 to 2016

省(市、区)	2007年	2008年	2009年	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年	2016年
北京	-94.054	0.046	0.477 ^a	-0.431	0.031	-0.113	-0.601	18.128 ^a	13.906 ^a	-3.694
天津	-0.203	0.341	2.832	0.046	-0.124	0.381	-0.091	-0.161	-1.877	0.566
河北	0.596	-0.947	-2.192	-0.116	0.033	0.545	0.284	-1.529	0.140 ^a	2.479 ^a
山西	-1.213	-0.028	0.132	0.018	0.526	3.152	0.400	1.250	0.406 ^a	-1.154
内蒙古	0.733	1.132	10.574	0.519	-0.206	1.134	0.984	-59.163	-1.678	0.727 ^a
辽宁	1.663	0.173	1.560	1.115	-0.129	0.228	0.577	-0.278	0.876	-0.085
吉林	1.079	-0.219	2.851	0.200	0.153	1.150	0.303	-4.325	-73.612	0.147 ^a
黑龙江	0.966	-0.098	10.078	1.284	0.297	0.501	0.167	24.299	-0.489	0.032 ^a
上海	-0.969	0.546	-5.007	1.315	-0.363	-10.039	-2.964	1.630 ^a	-8.174	-2.393
江苏	0.350	0.285	3.531	0.349	0.082	0.253	-0.169	-0.045	-0.377	-0.724
浙江	1.184	0.538	0.589	0.195	0.141	0.842	0.737	3.198 ^a	-1.139	-0.567
安徽	0.397	0.075	-10.042	0.533	0.355	2.015	0.702	2.108	-4.684	-0.850
福建	2.507	0.301	0.244 ^a	-0.015	0.053	0.327	0.065	0.467	0.588	0.152
江西	1.857	0.253	0.550 ^a	-0.031	0.064	0.467	0.101	1.400	1.128	0.228
山东	0.134	0.601	2.559	0.681	0.090	1.160	0.796	1.844	-2.733	0.363 ^a
河南	0.473	-0.373	18.660	0.044	-0.098	0.253	-0.810	-3.460	0.252 ^a	-0.775
湖北	0.523	0.262	-1.583	0.259	0.086	0.141	1.194	-6.050	-2.085	-0.017
湖南	0.448	0.371	-0.698	0.369	0.108	0.253	2.828	2.698	-0.819	-0.644
广东	2.343	0.104	-1.587	0.323	0.327	0.441	-0.048	0.667	0.674	-0.123
广西	0.513	0.492	-1.113	0.422	0.140	-6.211	0.970	1.561	0.630	0.278
海南	-6.398	0.385	-0.779	0.354	0.544	-2.085	-13.835	0.738	29.899	-1.969
重庆	2.149	0.510	-7.209	0.587	0.193	0.493	1.007	3.110	0.592	-0.140
四川	0.170	0.200	-0.349	0.057	0.122	-0.079	-31.580	2.866	-0.022	-0.423
贵州	0.463	0.603	-0.590	-0.566	-0.100	0.199	0.386	0.247	0.181	-0.055
云南	1.150	0.542	5.082	4.198	0.244	0.841	0.297	8.391	-0.802	1.189
西藏	1.325	4.138	-4.138	-3.244	0.940	-3.149	0.751	-1.356	0.309	-0.395
陕西	0.624	0.153	-55.059	0.164	0.197	1.897	0.500	-0.812	-0.362	0.682
甘肃	0.897	0.339	2.479	0.773	2.494	0.649	0.910	4.379	1.545	-0.938
青海	-0.279	-0.108	-8.656	0.567	0.847	-0.466	1.179	0.931	-0.127	4.082
宁夏	1.795	0.539	-7.237	0.403	0.209	1.710	0.564	0.225 ^a	0.155	-0.404
新疆	0.820	0.702	-0.113	0.075	-4.370	0.814	1.565	17.473	0.431 ^a	-16.096
存在效率幻觉	25	25	12	25	24	24	23	17	11	7

注：^a表示值虽为正，但农林牧渔产值与农业碳减排成本同为负增长，不属于农业低碳效率幻觉范畴。

少，仅分别在2001年、2003年、2008年、2011年和2005年、2006年、2008年、2010年出现过4次；而黑龙江、江西、云南出现农业低碳效率幻觉的次数最多，为13次，且集中出现在2002—2014年这13年间。

结合图2、表3可以看出，东部地区农业低碳效率大幅提升，存在农业低碳效率幻觉的省份数量较少且呈下降趋势，绝大多数省份不存在低碳效率幻觉情形，环境质量得以

真正好转。这得益于东部地区得天独厚的经济社会条件,先进适用的农业技术、农业综合开发和土地综合整治促使东部地区规模化经营效果明显^[21],农作物单产水平较高,农业产值较高且生产耗能低。中部地区农业低碳效率幻觉普遍偏低甚至无幻觉,且较多数省份的农业低碳效率提升,环境质量得已改善。中部地区多是农业大省,随着国家政府各项支农政策落实、农业机械化作业水平提高和农业结构的调整,农业产值得到大幅增加;为响应农业废弃物资源化利用的号召,中部地区大量废弃物得到有效利用,其环境负担显著减少。虽然中东部地区面临生猪畜禽养殖等粪便排放污染问题,但随着养殖管理的规范化和规模化,其产生的废弃物都能很好地实现资源化利用,对环境的危害较小。而西部地区大多数省份都存在农业低碳效率幻觉情形,尤其是青海、云南的低碳效率幻觉程度偏高。一方面,西部地区地形地势较为陡峭和自然资源禀赋条件较差导致农业生产要素利用方式较为粗放;另一方面该地区部分省份农业生产以草原畜牧业为主,牲畜成为高碳排放源^[16],加之气候变化加剧草场退化,大多数省份环境质量有恶化的趋势,甚至可能存在潜在的生态环境危机。

2.2 农业低碳效率幻觉程度的影响因素分析

2.2.1 模型构建与变量选择

为准确衡量农业低碳效率幻觉程度与各影响因素的关系,设定面板数据模型以实证检验各因素的影响程度。静态面板模型设定如下:

$$\ln DI_{i,t} = \alpha_i + \sum_{j=1}^j \beta_j \ln X_{j,i,t} + \mu_i + \varepsilon_{i,t} \quad (9)$$

式中: α_i 为常数项; β_j 为各影响因素的待估参数; μ_i 为省份个体固定效应; $\varepsilon_{i,t}$ 为随机误差项; $\ln DI_{i,t}$ 为农业低碳效率幻觉程度 $DI_{i,t}$ 的对数形式; $\ln X_{j,i,t}$ 为各影响因素的对数形式。值得注意的是,农业低碳效率幻觉值可能为正也可能为负,为使研究有意义,只对存在农业低碳效率幻觉的省份进行实证分析。

根据农业低碳效率幻觉程度的定义,其大小主要受两方面因素的影响,一是农业碳减排成本的变化,二是农林牧渔总产值变化。农业碳减排成本即农业碳排放的影子价格主要受区域经济发展水平、农业生产技术节能水平等因素的影响^[2];而影响农业低碳效率的因素则很多,借鉴已有研究^[5,16],主要从以下七大类影响因素进行详细考察(表4)。

理论上,(1)人均农业总产值反映了农业经济发展水平的变化情况,农业经济发展水平越高,农业低碳效率越高,其低碳效率幻觉程度可能越低,预判效应方向为负;同时为探究农业经济发展水平与低碳效率幻觉程度间是否存在“U”型关系,引入其平方项。(2)农业生产节能技术水平反映了单位农业产值所耗费的能源情况,农业生产节能技术水平越高,对环境排放碳的压力越小,农业低碳效率幻觉程度越低,预判效应方向为负。(3)地方政府越重视农业发展,农业总产值可能越高,从而导致农业低碳效率幻觉程度越低,预判效应方向为负。(4)农业产业结构表征为农牧业产值的占比,农牧产品的经济价值相对较高,但同时也是最大最集中的碳排放源,会对环境产生较大的负影响,因此,对农业低碳效率幻觉程度的影响效应未知。(5)农业规模化水平反映了农业经营的集约程度,一方面农业小规模经营既有利于精细管理,提升农业绩效,另一方面又可能造成物质要素的过度投入,增加环境成本,对农业低碳效率幻觉程度的影响效应未知。(6)农业受灾率越高,会造成物质要素投入的效率损失,加剧农业低碳效率幻觉程度,预判效应方向为正。(7)农业人力资本越高,越能够促进要素资源的合理配置,

表4 农业低碳效率幻觉程度的影响因素

Table 4 Factors affecting the degree of agricultural low-carbon efficiency illusion

影响因素	变量表征说明及单位	影响效应预判
农业经济发展水平 (<i>ael</i>)	农林牧渔总产值/农林牧渔业从业人员/(万元/人)	负向
农业生产节能技术水平 (<i>etl</i>)	农业机械总动力/农林牧渔总产值/(kW/亿元)	负向
农业发展重视程度 (<i>cp</i>)	地方财政农林水事务支出/地方财政一般预算支出	负向
农业产业结构 (<i>is</i>)	农牧业产值/农林牧渔总产值	未知
农业规模化水平 (<i>sc</i>)	农村居民家庭经营耕地面积/(亩/人)	未知
农业受灾率 (<i>dr</i>)	农作物受灾面积/农作物播种总面积	正向
农业人力资本 (<i>edu</i>)	农村家庭劳动力平均受教育年限/年	负向

一方面对环境破坏的可能性越小，另一方面会提升农业经济增长水平，因而农业低碳效率幻觉程度越低，预判效应方向为负。

2.2.2 实证结果分析

由于面板数据需要考虑非观测效应与解释变量是否相关，Hausman 检验均拒绝随机效应模型的原假设，因此选择双向固定效应模型进行估计。由于模型可能存在互为因果和样本自选择引起的内生性问题，本文选取 $\ln ael$ 、 $\ln etl$ 两个解释变量的滞后一期项作为工具变量，以控制影响农业经济发展及生产节能技术使用的自然资源禀赋、历史发展等不可观测因素，利用两步法进行模型内生性检验^[22]，在5%的显著性水平下拒绝了解释变量均外生的原假设，认为 $\ln ael$ 为内生解释变量。若仍进行 OLS 回归会导致结果有偏，故采用 2SLS 估计方法对其进行修正。在 2SLS 估计结果中，模型 IV 将内生解释变量 $\ln ael$ 与工具变量作回归，其 R^2 为 0.965，表明所选两个工具变量满足相关性要求；模型 V 将两个工具变量引入方程中进行估计。而且模型 V 通过了不可识别检验、弱工具变量检验、Sargan 检验，说明模型设定不存在工具变量过度识别和识别不足等问题^[22]。估计结果见表 5。

双向固定效应回归结果 I、II、III 分别探究了除农业生产节能技术水平、农业经济发展水平外的其他因素、所有因素对农业低碳效率幻觉程度的影响。进一步，利用 2SLS 方法避免内生性问题导致参数估计有偏，2SLS 回归结果 V 其估计参数的方向与回归结果 III 相比较一致，不同之处在于，其大小和显著性发生了变化，验证了前文估计结果有偏。进行内生性处理后，(1) 农业经济发展水平的负向影响效应为 0.531，明显小于 0.808，但其统计意义并不显著，说明在排除内生性问题的情形下，农业经济发展水平对农业低碳效率幻觉程度的负向影响有所削弱。(2) 农业生产节能技术水平的负向影响效应为 2.099，明显大于 1.283，说明技术水平每提高 1%，低碳效率幻觉程度降低速率由 1.283% 增至 2.099%，说明内生性问题可能掩盖了节能技术对降低农业低碳效率幻觉程度的作用。(3) 农业发展重视程度的负向影响效应则为 14.368，小于未进行内生性处理的 14.513，财政支出中农林水事务支出所占比例每增加 1%，低碳效率幻觉程度降低速率由 14.513% 降至 14.368%，说明政府支持农业发展对降低低碳效率幻觉的影响有轻微弱化。(4) 农业产业结构的负向影响效应并不显著，但可以说明发展农牧业带来的产值增加足以弥补其对环境产生的影响，可以通过调整种植业、养殖业内部结构以达到提效增产的双重目标。(5) 农业规模化水平的正向影响效应显著为 1.053，略小于 1.113，人均耕地每增加 1%，低碳效率幻觉程度提升速率由 1.113% 降至 1.053%，说明目前我国大部分省份的人均耕地面积仍过小，并未发挥规模化经营的优势。(6) 农业受灾率对低碳效率幻

表5 农业低碳效率幻觉程度影响因素的估计结果

Table 5 Estimation of factors affecting the degree of agricultural low-carbon efficiency illusion

解释变量	双向固定效应			2SLS	
	I	II	III	IV	V
<i>lnael</i>	-0.499 (0.430)		-0.808* (0.456)		-0.531 (0.447)
<i>lnael_1</i>				0.984*** (0.023)	
<i>lnetl_1</i>				0.116** (0.048)	
<i>lnetl</i>		-0.963* (0.509)	-1.283** (0.592)	-0.013 (0.055)	-2.099*** (0.585)
<i>cp</i>	-15.988*** (5.313)	-20.302*** (3.654)	-14.513*** (4.951)	0.118 (0.211)	-14.368** (5.768)
<i>is</i>	-1.989 (3.623)	-2.675 (4.153)	-2.626 (4.383)	-0.153 (0.155)	-4.646 (3.932)
<i>lnsc</i>	0.636 (0.443)	0.980* (0.513)	1.113** (0.529)	-0.044** (0.017)	1.053* (0.601)
<i>dr</i>	0.894 (0.686)	1.336* (0.685)	0.957 (0.686)	-0.030 (0.034)	1.220* (0.738)
<i>lnedu</i>	3.720 (2.425)	4.306** (1.985)	6.071** (2.221)	0.094 (0.162)	4.518* (2.407)
常数项	-5.132 (6.095)	-4.919 (5.130)	-8.753 (5.783)	-0.071 (0.433)	-3.162 (5.971)
R^2	0.088	0.094	0.104	0.965	
不可识别检验					0.000
弱工具检验					1225.144***
Sargan 检验					0.225

注：由于农业生产节能技术水平 *lnetl* 的 P 值为 0.0919，在 5% 的显著性水平下不能拒绝所有变量均外生的原假设，故认为其不是内生解释变量。人均农业生产总值平方系数值为 0，故未报告。括号内为稳健标准误，不可识别检验报告的是 LM 检验的 P 值，弱工具变量检验报告的是 Cragg-Donald Wald F 统计量，Sargan 检验报告的是 P 值，***、**、* 分别表示在 1%、5%、10% 的显著性水平下显著。

觉程度的正向影响显著，为 1.220，明显大于 0.957，即受灾面积每增加 1%，会造成低碳效率幻觉程度增速由 0.957% 增至 1.220%，说明气候变化导致的极端天气对农业生产的影响仍不可忽略，否则会造成大量投入要素的浪费。(7) 农业人力资本对农业低碳效率幻觉程度的影响显著为正，分别为 4.518 和 6.071，当人力资本每增加 1%，低碳效率幻觉程度提升速率由 6.071% 降至 4.518%。值得注意的是，这与预期严重不符，似乎意味着农村家庭劳动力平均受教育年限越高，可能越会强化低碳效率幻觉程度。可能的原因是随着劳动力大量外出务工，留在农村且从事农业生产的劳动力主要为中老年人，其人力资本积累本身较低，因此农业生产并未有效发挥人力资本对于环境友好、资源节约的正向促进作用。

3 结论与讨论

本文基于1997—2016年31个省份面板数据，利用MaxDEA 5.0软件，测算了620个决策单元基于污染物影子价格的农业低碳效率，并分析了农业低碳效率的省际差异。由于农业低碳效率评价农业经济增长质量存在缺陷，农业低碳效率幻觉能够解释当前以期望产出、非期望产出为指标的低碳效率提高，而环境质量却又未能改善的悖论。主要研究结论如下：（1）1997—2016年，全国农业低碳效率呈先下降后上升趋势。东部地区农业低碳效率均值高于中部和西部地区，整体上农业低碳效率值呈“东—中—西”梯度递减态势，且地区差距呈扩大趋势，省际差异明显。全国绝大部分省份的农业低碳效率还存在较大的提升空间。（2）整体上出现农业低碳效率幻觉的省份数量随时间变化先增加后减少，且受宏观经济新常态的影响，西部地区出现农业低碳效率幻觉的省份数量增加。结合农业低碳效率上升和农业低碳效率幻觉程度的区域差异判断，并非31个省份的农业低碳效率提高皆由环境质量改善带来，大部分是由于农业经济增长的绝对值高于环境成本增长的绝对值。此外，东部和中部的省份生态环境质量得以真正好转，而西部地区的生态环境质量则仍面临恶化的趋势。（3）从影响农业低碳效率幻觉程度因素的实证结果看，农业经济发展水平、农业生产节能技术水平、农业发展重视程度、农业产业结构等因素对农业低碳效率幻觉程度的影响为负，而农业规模化水平、农业受灾率和农业人力资本的影响效应则为正，且农业发展重视程度、农村人力资本及农业生产节能技术水平的影响程度较大。

基于以上结论，优化农业要素资源配置、提升农业生产节能技术水平和提高农业经济效益是实现农业低碳效率提升、打破农业低碳效率幻觉的有效路径。促进农业经济提质增效和减少农业碳排放需要继续推广先进适用的农业生产技术、管理技术，及时提供农业气象与生产信息服务，进一步提高农业生产者的资源利用效率和生产、管理等水平，发挥人力资本的积累效应，使其实际产出不断向生产前沿面逼近，维持农业污染物排放与产出增长的平衡点，最大限度提高农业的经济效益。东、中、西三大区域由于其自然、经济和社会条件大不相同，需要因地制宜以减少农业低碳效率幻觉的发生。具体而言，在东中部地区，依托先进的农业生产技术和管理技术，继续优化农业要素配置，提升农业经济发展质量；生猪、畜禽养殖大省要继续加强养殖规模化、规范化管理，实现畜禽废弃物的无害化、资源化利用。在西部地区则需要加强宏观农业调控和加大农业生产投入，进一步完善农业发展的基础设施、社会化服务建设，同时优化大农业结构、降低畜牧污染排放对脆弱生态环境的影响。不可否认的是，农业污染与产出相伴相生，但农业生产又必须投入要素以保证产出，因此，需要将农业环境绩效纳入环境考核体系之中，协调好经济发展、资源支撑、环境保护三者的关系。

参考文献(References):

- [1] 王连芬,戴裕杰. 中国各省环境效率及环境效率幻觉分析. 中国人口·资源与环境, 2017, 27(2): 69-74. [WANG L F, DAI Y J. Analysis of provincial eco-efficiency and eco-efficiency illusion in China. China Population, Resources and Environment, 2017, 27(2): 69-74.]
- [2] 高翠云. 减排和经济结构调整条件下的中国碳定价问题研究. 长春: 吉林大学, 2018. [GAO C Y. Research on carbon pricing in China under the conditions of carbon abatement and economic structural adjustment. Changchun: Jilin University, 2018.]
- [3] 王宝义,张卫国. 中国农业生态效率的省际差异和影响因素: 基于1996—2015年31个省份的面板数据分析. 中国农村经济, 2018, (1): 46-62. [WANG B Y, ZHANG W G. Cross-provincial differences in determinants of agricultural eco-

- efficiency in China: An analysis based on panel data from 31 provinces in 1996-2015. *China Rural Survey*, 2018, (1): 46-62.]
- [4] 李谷成. 中国农业的绿色生产率革命: 1978—2008年. *经济学季刊*, 2014, 13(2): 537-558. [LI G C. The green productivity revolution of agriculture in China from 1978 to 2008. *China Economic Quarterly*, 2014, 13(2): 537-558.]
- [5] 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. *中国农村观察*, 2014, (5): 59-71, 95. [TIAN W, YANG L J, JIANG J. Measurement and analysis of the Chinese agricultural eco-efficiency from the perspective of low carbon: Based on SBM model of the undesirable outputs. *China Rural Survey*, 2014, (5): 59-71, 95.]
- [6] 侯孟阳, 姚顺波. 1978—2016年中国农业生态效率时空演变及趋势预测. *地理学报*, 2018, 73(11): 2168-2183. [HOU M Y, YAO S B. Spatial-temporal evolution and trend prediction of agricultural eco-efficiency in China: 1978-2016. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(11): 2168-2183.]
- [7] 汪慧玲, 卢锦培, 白婧. 中国农业污染物影子价格及其污染成本研究. *吉林大学社会科学学报*, 2014, 54(5): 40-48. [WANG H L, LU J P, BAI J. Shadow prices and pollution costs in Chinese agriculture. *Jilin University Journal Social Sciences Edition*, 2014, 54(5): 40-48.]
- [8] FARE R, GROSSKOPF S, WEBER W L. Shadow prices and pollution costs in U.S. agriculture. *Ecological Economics*, 2006, 56(1): 89-103.
- [9] 李南洁, 肖新成, 曹国勇, 等. 面源污染下三峡库区农业生态环境效率及影子价格测算. *农业工程学报*, 2017, 33(11): 203-210. [LI N J, XIAO X C, CAO G Y, et al. Agricultural eco-environment efficiency and shadow price measurement in Three Gorges Reservoir Area under non-point source pollution constraints. *Transactions of the CSAE*, 2017, 33(11): 203-210.]
- [10] GUAN X L, ZHANG J B, WU X R, et al. The shadow prices of carbon emissions in China's planting industry. *Sustainability*, 2018, 10(3): 753-765.
- [11] LARRICK R P, SOLL J B. Economics: The MPG illusion. *Science*, 2008, 320(5883): 1593-1594.
- [12] 段华平, 张悦, 赵建波, 等. 中国农田生态系统的碳足迹分析. *水土保持学报*, 2011, 25(5): 203-208. [DUAN H P, ZHANG Y, ZHAO J B, et al. Carbon footprint analysis of farm and ecosystem in China. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2011, 25(5): 203-208.]
- [13] 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. *中国人口·资源与环境*, 2011, 21(8): 80-86. [LI B, ZHANG J B, LI H P, et al. Research on spatial-temporal characteristics and affecting factors decomposition of agricultural carbon emission in China. *China Population, Resources and Environment*, 2011, 21(8): 80-86.]
- [14] 陈苏, 胡浩. 中国畜禽温室气体排放时空变化及影响因素研究. *中国人口·资源与环境*, 2016, 26(7): 93-100. [CHEN S, HU H. Study on the spatial-temporal changes and influence factors of greenhouse gases emission from livestock and poultry in China. *China Population, Resources and Environment*, 2016, 26(7): 93-100.]
- [15] 何艳秋, 戴小文. 中国农业碳排放驱动因素的时空特征研究. *资源科学*, 2016, 38(9): 1780-1790. [HE Y Q, DAI X W. Phase characteristics and regional differences in agriculture carbon emissions in China. *Resources Science*, 2016, 38(9): 1780-1790.]
- [16] 姚成胜, 钱双双, 李政通, 等. 中国省际畜牧业碳排放测度及时空演化机制. *资源科学*, 2017, 39(4): 698-712. [YAO C S, QIAN S S, LI Z T, et al. Provincial animal husbandry carbon emissions in China and temporal-spatial evolution mechanism. *Resources Science*, 2017, 39(4): 698-712.]
- [17] 董双林, 王芳, 罗福凯, 等. 鱼类养殖企业碳排放及其产污程度的比较分析. *中国渔业经济*, 2010, (6): 38-43. [DONG S L, WANG F, LUO F K, et al. Calculation of the carbon emission and its comparison with the pollution in the fish-culture enterprise. *Chinese Fisheries Economics*, 2010, (6): 38-43.]
- [18] 李晨, 冯伟, 邵桂兰. 中国省域渔业全要素碳排放效率时空分异. *经济地理*, 2018, 38(5): 179-187. [LI C, FENG W, SHAO G L. Spatio-temporal difference of total carbon emission efficiency of fishery in China. *Economic Geography*, 2018, 38(5): 179-187.]
- [19] 吴贤荣, 张俊飏, 朱焯, 等. 中国省域低碳农业绩效评估及边际减排成本分析. *中国人口·资源与环境*, 2014, 24(10): 57-63. [WU X R, ZHANG J B, ZHU Y, et al. Evaluation of provincial low-carbon agriculture performance and estimation of marginal abatement costs in China. *China Population, Resources and Environment*, 2014, 24(10): 57-63.]
- [20] 周迪, 郑楚鹏, 华诗润, 等. 公平与效率协调视角下的中国碳减排潜力与路径. *自然资源学报*, 2019, 34(1): 80-91. [ZHOU D, ZHENG C P, HUA S R, et al. The potentialities and paths of China's carbon emission reduction based on the coordination of fairness and efficiency. *Journal of Natural Resources*, 2019, 34(1): 80-91.]
- [21] 封志明, 孙通, 杨艳昭. 2003—2013年中国粮食增产格局及其贡献因素研究. *自然资源学报*, 2017, 32(2): 177-185. [FENG Z M, SUN T, YANG Y Z. Study on spatio-temporal patterns and contribution factors of China's grain output increase at the county level during 2003-2013. *Journal of Natural Resources*, 2017, 32(2): 177-185.]
- [22] 刘明辉, 卢飞. 城乡要素错配与城乡融合发展: 基于中国省级面板数据的实证研究. *农业技术经济*, 2019, (2): 33-46. [LIU M H, LU F. Study on the influence of factor mismatch on urban-rural integration development: Evidence from Chinese provincial panel data. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2019, (2): 33-46.]

Why there is a low-carbon efficiency illusion in agricultural production: Evidence from Chinese provincial panel data in 1997-2016

HE Pei-pei^{1,2}, ZHANG Jun-biao^{1,2}, HE Ke^{1,2}, CHEN Zhu-kang^{1,2}

(1. College of Economics & Management, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;

2. Hubei Rural Development Research Center, Wuhan 430070, China)

Abstract: Based on the panel data from China's 31 provincial-level regions in 1997-2016, this article measures the low-carbon efficiency with shadow price of agricultural pollutants. Due to the shortcomings of low-carbon efficiency evaluation of agricultural economic growth quality, its illusion can explain why the environmental quality has not improved, while the current low-carbon efficiency with expected and undesired output has been sorted. So, this article further discusses the existence of the agricultural low-carbon illusion in each provincial-level region, and analyzes factors of degree of the agricultural low-carbon efficiency illusion. The results show that, from 1997 to 2016, the average of agricultural low-carbon efficiency showed an overall trend of decreasing and then rising, it was higher in the eastern region than in the central and western regions. And the trend of "East-Middle-West" gradient decreasing was obvious, and the regional gap showed an expanding trend with obvious inter-provincial differences. In general, the number of provinces with agricultural low-carbon efficiency illusion increased first and then decreased with time. In the sub-region, the number of provinces with agricultural low-carbon illusion in the eastern and central regions gradually decreased, while that of the western region kept increasing, which meant the quality of agro-ecological environment in most eastern and central provinces really improved. The level of agricultural economic development and the agricultural production energy conservation technology, degree emphasis on agricultural development, structure of agricultural industry, scale of agricultural scale, agricultural disaster rate and human capital affect the degree of agricultural low-carbon efficiency illusion. The effects of the first four factors were found to be negative, while those of the others were positive. Based on the above conclusions, optimizing the allocation of agricultural resources, upgrading the level of agricultural production energy-saving technology and improving agricultural economic benefits are effective ways to promote the agricultural low-carbon efficiency and break the illusion of low-carbon efficiency in agriculture. Obviously, it is necessary to adopt advanced and applicable agricultural production techniques and management technologies continuously, provide timely agricultural meteorological and production information services, and improve the resource utilization efficiency and production and management skills of agricultural producers, so as to promote agricultural economic quality and reduce agricultural carbon emissions.

Keywords: agricultural production; low-carbon efficiency illusion; shadow price; determinant; cross-provincial differences