

中国农业碳排放、低碳农业生产率及其协调性研究

田云^{1,2} 张俊飏^{3*}

- (1. 中南财经政法大学 应用经济学博士后流动站, 武汉 430073;
2. 中南财经政法大学 工商管理学院, 武汉 430073;
3. 华中农业大学 经济管理学院, 武汉 430070)

摘要 运用 DEA-Malmquist 模型考察中国低碳农业生产率并利用 Tapio 脱钩模型探究农业碳排放与其之间的协调性。结果表明:1)我国农业碳排放总量上升趋势较为明显,但年际间也伴随一定的波动起伏;农业碳排放强度一直处于下降趋势;农用物资、稻田与牲畜养殖所引发的碳排放量均呈上升趋势,其中农用物资碳排放所占比重一直处于上升趋势,而稻田与牲畜养殖的占比均有不同程度降低。2)1993 年以来,我国低碳农业生产率增速总体偏慢,年均仅为 0.80%,基于其累计值的年际变化可划分为平稳起伏、波动下降和波动上升等 3 个阶段;从增长源泉看,农业前沿技术进步相比农业技术效率发挥了更为显著的作用。3)我国农业碳排放与低碳农业生产率之间的脱钩类型 1993—2002 年主要表现为强负脱钩和扩张负脱钩;而 2002—2012 年则多种脱钩状态共存但以弱脱钩为主。

关键词 农业碳排放;农业碳汇;低碳农业;DEA-Malmquist 模型;脱钩模型

中图分类号 F323 **文章编号** 1007-4333(2017)05-0208-11 **文献标志码** A

Agricultural carbon emission, low carbon agricultural productivity and their coordinated relation in China

TIAN Yun^{1,2}, ZHANG Junbiao^{3*}

- (1. Postdoctoral Research Station of Applied Economics, Zhongnan University of Economics and Law, Wuhan 430073, China;
2. School of Business Administration, Zhongnan University of Economics and Law, Wuhan 430073, China;
3. College of Economics & Management, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

Abstract DEA-Malmquist model is adopted to investigate the low-carbon agriculture productivity in China, and the correlation between China's agricultural carbon emissions are then discussed and the low carbon agriculture productivity was investigated by using Tapio decoupling. The results show that: 1) The upward trend of the total agricultural carbon emission in China is obvious, while there exist certain ups and downs. The intensity of agricultural carbon emission has decreased. The trend of carbon emission that resulted from agricultural supplies, paddy fields and livestock keep rising. Among them, the proportion of agricultural supplies carbon emission increases with the proportion decrease of paddy fields and livestock at different degree; 2) China's low-carbon agricultural productivity keeps growing at an annual rate of 0.80% from 1993, and according to the interannual variation of cumulative data. It can be divided into three stages, namely smooth undulating stage, wave decline stage and volatility rise stage. Agricultural frontier technology progress has played more significant effects on growth sources than agricultural technology efficiency; 3) The decoupling type between China's agricultural carbon emission and its carbon agricultural productivity is mainly strong negative decoupling and expanding negative decoupling during the period of 1993 - 2002. Though there

收稿日期: 2016-05-09

基金项目: 国家社会科学基金重点项目(15AJY014); 教育部人文社会科学研究青年基金(16YJC790092); 中国博士后科学基金面上资助项目(2016M590735); 中央高校基本科研业务费项目(2016GS10)

第一作者: 田云, 讲师, 博士, 主要从事资源与环境经济、低碳经济研究, E-mail: tianyun1986@163.com

通讯作者: 张俊飏, 教授, 博士生导师, 主要从事农业经济理论与政策、资源与环境经济研究, E-mail: zhangjb513@126.com

are many kinds of decoupling coexist in 2002 – 2012, the weak decoupling is the principal type.

Keywords agricultural carbon emission; agricultural carbon sink; low-carbon agriculture; DEA-Malmquist model; decoupling model

我国政府在第十八届全国人民代表大会中提出了大力推进生态文明建设战略,其中重要的一点就是着力推进绿色发展、循环发展与低碳发展。在这一大背景之下,准确把握我国农业碳排放现状与低碳农业发展水平,并厘清二者间的相互关系,一方面能极大增强对我国低碳农业发展现状的宏观认知,更为重要的是,其结论的获取还能为政府部门制定低碳农业发展战略提供必要的参考依据。

目前,与之相关的研究主要围绕4个方面:1)农业碳排放的测算、时空特征及驱动机理探究。围绕中国农业碳排放量进行了全面测度,并基于时序层面探究了其动态演变特征,基于省域层面分析了其地区差异,在此基础上厘清了导致农业碳排放量持续增加的主要动因;但受研究视角阶段性的局限性影响,上述研究在碳排放指标的选择上存在一定差异,从而使得测算结果通常有所区别^[1-6]。2)农业碳排放的绩效分析与减排潜力评估。高鸣等^[7]分析了我国农业碳排放绩效的动态变化、空间聚集及收敛,发现近些年绩效值虽有提升但区域不均衡问题较为突出,且存在空间聚集效应与“俱乐部收敛”效应;吴贤荣等^[8]则在探究我国农业碳减排潜力的基础上分析了其空间关联性,发现一个省区的农业碳减排潜力水平不仅受自身经济及产业状况的影响,还与其所处的环境及相邻省区的发展状况紧密相关。3)低碳农业的理论探讨与实证检验。理论探讨主要围绕低碳农业的概念界定^[9]、低碳农业所面临的挑战^[10]、低碳农业的发展路径选择^[11]以及低碳农业发展的国际经验借鉴^[12];实证检验则是对低碳农业发展水平进行定量测度,田云等^[13]、曾大林等^[14]分别利用主成分分析法和DEA模型探究了中国低碳农业发展水平,发现省域间差异明显,绝大多数地区存在较大的提升空间。4)农户农业低碳生产行为选择及其影响因素分析。冯俊等^[15]分析了影响农户低碳化种植行为的主要因素,结果表明,种植业收入比重、现行种植行为、农户受教育水平、政府政策等变量通过了显著性检验。田云等^[16]则以化肥施用和农药使用为例,探究了影响农户农业低碳生产行为的主要因素,发现主要受户主年龄、性别、务农年限以及家庭耕地面积、是否参加农业合作组织等因素的影响。

上述研究成果的取得为深入探究农业碳问题奠定了基础,但也存在一定的局限性,主要表现在2个方面:1)关于农业碳排放测算、时空特征分析的研究虽然较多,但对其总量、强度以及结构的动态演变特征却缺乏全面系统地考察,同时在指标体系的编制以及碳排放系数确定上仍存在一定的改进空间;2)对低碳农业的宏观层面研究主要侧重于定性分析,以理论探讨为主,虽有研究将农业碳排放与农业投入产出纳入到了同一分析框架之中,但更多的是考察农业碳排放绩效而非低碳农业发展水平。结合一些学者对低碳农业概念的界定可知,低能耗、低排放、低污染与高收益、高碳汇的同步实现是低碳农业追求的终极目标;而碳排放绩效只是体现了低能耗、低排放、低污染与高收益,并未将高碳汇这一属性考虑在内,因此不能算作是低碳农业。

鉴于此,本研究主要围绕以下3方面展开探究:1)在延续已有测算方法的基础上对其进行小幅修整,然后测算中国1993—2012年的农业碳排放量,并基于总量、结构2方面维度对其时序演变规律进行分析;2)结合低碳农业的概念,将农业碳排放与农业碳汇分别作为非合意产出与合意产出纳入到农业投入产出的分析框架,并将其定义为低碳农业生产率,然后利用DEA-Malmquist模型,对我国低碳农业生产率进行测算并分析其源泉,以便厘清导致其不断变化的内在驱动机理;3)在明确我国农业碳排放与低碳农业生产率现状及其时序演变规律的基础上,利用脱钩理论探究二者之间的相互关系,并归纳其阶段变化特征。

1 研究方法 with 数据来源

1.1 农业碳排放测算体系编制

关于农业碳排放测算体系的构建,目前已有相对成熟的研究体系,本研究主要参照胡向东^[17]、闵继胜^[4]、贺亚亚^[18]、张广胜^[6]等的相关研究,综合其观点拟从3方面对农业碳排放进行考察:1)农用物资投入所引发的碳排放,具体包括化肥、农药、农膜、农用柴油直接使用以及农业灌溉耗费电能所导致的碳排放;2)水稻在其自然生长过程中伴随的甲烷(CH₄)排放;3)牛、马、驴、骡、骆驼、猪、羊、家禽等畜

禽养殖活动所导致的碳排放,包括肠道发酵所引起的 CH_4 排放以及粪便管理活动所导致的 CH_4 和 N_2O 排放,各类碳源所对应的碳排放系数也基本出自上述文献或者联合国政府间气候变化专门委员会(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)。据此构建农业碳排放测算公式如下:

$$E = \sum E_i = \sum T_i \delta_i \quad (1)$$

式中: E 为农业碳排放总量, E_i 为各类碳源所引发的碳排放量, T_i 为各碳排放源的量, δ_i 为各碳排放源的碳排放系数。农业碳排放测算所需原始数据主要出自历年的《中国农村统计年鉴》、《中国农业统计资料》、《中国畜牧业年鉴》及其他地方年鉴。另外,为确保一致性,参照 IPCC 第四次评估报告将 N_2O 和 CH_4 统一置换成标准 C,换算标准为 1 t CH_4 和 N_2O 所引发的温室效应分别相当于 6.818 2 t 和 81.272 7 t C 引发的温室效应。

1.2 低碳农业生产率测度方法及变量设置

1.2.1 低碳农业生产率测度方法

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,在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生产率进行有效测度。该方法在探究碳排放约束下的农业生产率以及环境规制下的农业生产率方面均得到了广泛运用。而本研究与这些研究的指导思想基本一致,也是考虑了非合意产出,唯一区别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 $t \sim (t+1)$ 时期基于乘除结构和相邻参比的 SBM 方向性距离函数的生产率指数,并定义为低碳农业生产率(LTFP)指数:

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

式中: $\text{LTFP}(x^{t+1}, y^{t+1}, b^{t+1}; x^t, y^t, b^t)$ 表示从 t 期到 $(t+1)$ 期低碳农业生产率变化情况,可分解为农业技术效率变化指数(EFF)和农业技术进步指数(TECH)。 $\text{LTFP}(\cdot) > 1$ 、 $\text{LTFP}(\cdot) = 1$ 和 $\text{LTFP}(\cdot) < 1$ 分别表示低碳农业生产率处于增长、不变和下降状态; $\text{EFF}(\cdot) > 1$ 、 $\text{EFF}(\cdot) = 1$ 、 $\text{EFF}(\cdot) < 1$ 分别表示农业技术效率处于改善、不变和恶化状态; $\text{TECH}(\cdot) > 1$ 、 $\text{TECH}(\cdot) = 1$ 、 $\text{TECH}(\cdot) < 1$ 分别表示农业前沿技术处于进步、不变和退步状态。

1.2.2 变量设置

本研究主要选取如下变量作为农业投入指标:

1) 劳动投入。为保证数据的可获取性,延续其他研究的一般做法,将各省(市、区)第一产业年末从业人员作为劳动力投入替代指标, 10^4 人。

2) 土地投入。考虑到数据来源的一致性,同时也为了消除复种指数影响,将选取农作物播种面积作为土地投入的替代变量, 10^3 hm^2 。

3) 化肥投入。以各省(市、区)每年的实际化肥折纯施用量为准, 10^4 t 。

4) 农药投入。以各省(市、区)每年的实际农药使用量为准, t 。

5) 农膜投入。以各省(市、区)每年的实际使用的农膜量为准, t 。

6) 农业机械动力投入。以各省(市、区)每年的农业机械总动力为准, 10^4 kW 。

7) 灌溉投入。以各省(市、区)每年的有效灌溉面积为准, 10^3 hm^2 。

8) 役畜投入。以各省(市、区)每年所拥有的农用役畜数量为准, 10^4 头。

相关原始数据主要出自历年的《中国统计年鉴》和《中国农村统计年鉴》。农业产出由合意产出和非合意产出构成。其中,农业碳排放将作为非合意产出的替代变量;而合意产出由 2 部分构成:1) 农业经济产出,为了能与农业投入统计口径保持一致,本研究选择广义农业总产值作为替代变量,且以 2005 年不变价表示,单位为亿元。2) 农业生态产出,将以农业碳汇作为其替代变量,单位为 10^4 t 。鉴于数据的可获取性以及研究的成熟性,农业碳汇只考察主要农作物在整个生长周期中的碳吸收,而不考虑林地和草地^[19]。参照以往研究,农业碳汇的计算式表示为:

$$C = \sum_i^k C_i = \sum_i^k c_i Y_i (1-r) / HI_i \quad (3)$$

式中： C 为农作物总碳汇量； C_i 为某种农作物的碳汇量； k 为农作物种类数； c 为作物通过光合作用合成单位有机质所需吸收的碳； Y_i 为作物的经济产量； r 为作物经济产品部分的含水量； HI_i 为作物经济系数。具体到我国，主要涉及水稻、小麦、玉米、豆类、油菜籽、花生、向日葵、棉花、甜菜、蔬菜、瓜类、烟草和其他农作物。各类农作物的碳吸收率与经济系数主要引自韩召迎等^[20]、田云等^[21]的相关文献，各类农作物经济产量数据主要源自历年的《中国农业统计资料》和《中国农村统计年鉴》。

1.3 脱钩模型

在早期，脱钩理论主要用来探究经济发展与资

源消耗之间的响应关系，而后来 Tapio 将碳排放纳入其中并替代能源消耗变量，由此提出了碳排放弹性概念，即国民经济（用国内生产总值替代，Gross Domestic Product, GDP）变化幅度与二氧化碳排放量（ Q_{CO_2} ）变化幅度之间的比值，由此客观反映了二氧化碳变化相对于经济变化的敏感程度，其计算公式如下：

$$e = \frac{\Delta Q_{CO_2}}{Q_{CO_2}} / \frac{\Delta GDP}{GDP} \quad (4)$$

式中： e 为脱钩弹性； Q_{CO_2} 表示二氧化碳排放量；GDP表示国民经济变化量。基于弹性值的数量差异，脱钩类型可细分为弱脱钩、强脱钩等8大类，具体的等级划分标准及其所对应的弹性值见表1。

表1 Tapio模型的等级划分^[5]

Table 1 Classification of Tapio model

类型		环境压力	经济增长	弹性
Type		Environmental pressure	Economic growth	Elasticity
负脱钩 Negative decoupling	扩张负脱钩	>0	>0	$e > 1.2$
	强负脱钩	>0	<0	$e < 0$
	弱负脱钩	<0	<0	$0 \leq e < 0.8$
脱钩 Decoupling	弱脱钩	>0	>0	$0 \leq e < 0.8$
	强脱钩	<0	>0	$e < 0$
	衰退脱钩	<0	<0	$e > 1.2$
连接 Connect	扩张连接	>0	>0	$0.8 \leq e \leq 1.2$
	衰退连接	<0	<0	$0.8 \leq e \leq 1.2$

Tapio模型可将环境压力指标与经济驱动力的各种组合给予合理定位，这一显著特性使其在探究碳排放与经济增长二者关系方面发挥了极为重要的作用^[22]。考虑到低碳农业生产率是农业全要素生产率的一类特殊形式，其不同之处只是将农业的生态属性（碳排放和碳汇）纳入其中而对农业经济发展进行全新考察，因此笔者认为低碳农业生产率可以作为农业经济发展的替代变量。鉴于已有研究利用Tapio模型分析了农业碳排放与农业经济发展之间的脱钩关系^[5,23]，本研究也将尝试选用该方法考察中国农业碳排放与低碳农业生产率之间的脱钩关系，具体构建如下脱钩模型：

$$e = \frac{\Delta Q_C / Q_C}{\Delta LTFP / LTFP} \quad (5)$$

式中： Q_C 表示农业碳排放量；LTFP表示低碳农业

生产率。

2 研究结果与分析

2.1 我国农业碳排放现状及其时序演变

本研究测算1993—2012年我国农业碳排放量见表2。2012年我国农业碳排放总量为 2.7715×10^8 t，相比1993年增加了34.30%。从来源看，农用物资投入所引发的碳排放量达 1.0903×10^8 t，占到了农业碳排放总量的39.37%；稻田和牲畜养殖所导致的碳排放量分别为 6.409×10^7 t和 1.0404×10^8 t，所占比重依次为23.12%和37.54%。至于农业碳排放强度，一直呈现较为明显的下降趋势，每 10^4 元农业产值所引发的碳排放量由1993年的 1.092×10^3 kg降至2012年的 5.07×10^2 kg。

表2 1993—2012年我国农业碳排放总量、结构及强度

Table 2 Total amount, structure and intensity of agricultural carbon emissions in China from 1993 to 2012

年份 Year	农用物资投入 Agricultural materials input		稻田 Paddy		牲畜养殖 Livestock breeding		合计 Total	强度/ (kg/万元) Strength
	总量/ 10^4 t	比重/%	总量/ 10^4 t	比重/%	总量/ 10^4 t	比重/%		
	Total	Proportion	Total	Proportion	Total	Proportion		
1993	5 745.87	27.84	6 245.27	30.26	8 645.43	41.89	20 636.57	1 092.18
1994	6 071.05	28.02	6 276.35	28.97	9 319.25	43.01	21 666.65	1 055.89
1995	6 504.75	28.22	6 320.80	27.42	10 225.12	44.36	23 050.67	1 012.93
1996	6 855.99	28.29	6 606.66	27.26	10 770.36	44.44	24 233.01	973.39
1997	7 227.36	30.21	6 674.91	27.90	10 021.86	41.89	23 924.13	900.64
1998	7 449.36	31.04	6 576.32	27.40	9 973.39	41.56	23 999.06	852.32
1999	7 615.10	30.92	6 644.79	26.98	10 366.04	42.09	24 625.93	835.33
2000	7 716.66	31.26	6 394.47	25.90	10 577.72	42.84	24 688.85	808.36
2001	7 951.90	31.98	6 168.35	24.81	10 744.30	43.21	24 864.55	781.30
2002	8 116.01	32.18	6 131.96	24.32	10 969.10	43.50	25 217.08	755.36
2003	8 264.94	32.40	5 836.81	22.88	11 409.54	44.72	25 511.29	734.78
2004	8 771.56	32.59	6 247.23	23.21	11 897.87	44.20	26 916.66	721.17
2005	9 054.91	32.62	6 355.87	22.89	12 352.03	44.49	27 762.81	703.73
2006	9 317.55	33.10	6 399.23	22.73	12 435.47	44.17	28 152.25	677.04
2007	9 676.04	36.13	6 294.51	23.51	10 807.23	40.36	26 777.79	619.81
2008	9 788.70	37.43	6 351.25	24.29	10 012.70	38.29	26 152.65	572.70
2009	10 059.78	37.66	6 398.95	23.96	10 251.74	38.38	26 710.47	559.19
2010	10 375.79	38.26	6 414.46	23.65	10 328.76	38.09	27 119.01	543.82
2011	10 646.41	38.91	6 427.32	23.49	10 289.26	37.60	27 362.99	525.08
2012	10 903.07	39.34	6 408.77	23.12	10 403.54	37.54	27 715.38	507.00
平均增速 Average growth rate	3.43%	—	0.14%	—	0.98%	—	1.56%	-3.96%

注:农业碳排放强度=农业碳排放量/农业总产值,历年农业总产值按2005年不变价进行换算。

Note: Agricultural carbon emission intensity = Agricultural carbon emission/Agricultural gross output value. Agricultural gross output value is converted by the constant price of 2005 over the years.

2.1.1 我国农业碳排放总量时序演变特征

整体看(表2),我国农业碳排放量呈现较为明显的上升趋势,但同时也伴随着一定的波动起伏,具体可划分为4个阶段:1)1993—1996年,农业碳排放量持续快速增加,由 2.0637×10^8 t增至 2.4233×10^8 t,年均增速高达5.50%,农用物资投入量的持续增加、水稻种植面积的扩大以及牲畜饲养规模的

增大共同促使该阶段农业碳排放量不断增加。2)1996—2006年,农业碳排放量呈现出波动上升特征,由 2.4233×10^8 t增至 2.8152×10^8 t,年均递增1.15%,增速较前一阶段大幅回落;究其原因,主要受水稻种植面积变化的影响。3)2006—2008年,农业碳排放量处于下降态势,由 2.8152×10^8 t降至 2.6153×10^8 t,年均递减3.62%,牲畜饲养规模

的减少与养殖结构的优化调整是促使该阶段碳排放量减少的重要原因。4)2008—2012年,农业碳排放量处于缓慢上升的趋势,由 2.5163×10^8 t增至 2.7715×10^8 t,年均递增1.46%,农用物资投入量的持续增加是导致这一变化的主要因素。综合看,1993—2012年,我国农业碳排放总量虽经历了一定起伏,但总体上升趋势较为明显。同时,基于当前演变轨迹也可大致判断,未来几年内我国农业碳排放量可能仍然会处于持续增长态势。

2.1.2 我国农业碳排放结构时序演变特征

1993—2012年,农用物资投入、稻田与牲畜养殖所引发的碳排放量均呈现上升趋势。其中,又以农用物资投入碳排放增速最快,且一直处于增长态势,由1993年的 5.746×10^7 t增至2012年的 1.0903×10^8 t,年均增速高达3.43%;可见,我国农业生产之所以能保持良好上升势头、粮食产量屡创新高在很大程度上是依赖于农用物资投入的持续增加。稻田所引发的碳排放量起伏波动较大,但总体呈现小幅增长态势,由 6.245×10^7 t增至 6.409×10^7 t,年均微增0.14%,受水稻种植面积增减变化与种植结构优化调整的双重影响。牲畜养殖所引发的碳排放量经历了多次增减反复,最终也呈现出上升趋势,由 8.645×10^7 t增至 1.0404×10^8 t,年均递增0.98%,一方面受牲畜饲养规模的影响,另一方面则与饲养品种的变化紧密相关。进一步分析其结构演变可知,农用物资投入碳排放所占比重在考察期内呈现较为明显的上升趋势,由1993年的27.84%升至2012年的39.34%。其中,1993所占比重最低,1995年取代稻田成为农业碳排放第二大源头,2010年进一步取代牲畜养殖成为第一源头,并延续至今。稻田碳排放所占比重虽经历了一定起伏变化,但总体下降趋势较为明显,由1993年30.26%降至2012年的23.12%,初期为农业碳排放第二大源头,从1995年开始所占比重降至最低,并一直延续。牲畜养殖碳排放所占比重也经历了一些起伏,最终呈现下降态势,由1993年的41.89%降至2012年的37.54%,开始阶段为农业碳排放第一大源头,2010年被农用物资投入碳排放超越,成为第二源头。

2.2 我国低碳农业生产率及其增长源泉

1993年以来我国低碳农业生产率总体呈现缓慢增长态势(表3),年均增速仅为0.80%。从增长源泉来看,主要依赖于农业前沿技术进步,其年均贡献率为0.76%;而农业技术效率所发挥的作用较

小,年均贡献率仅为0.04%,对农业技术效率分解可知,规模效率得到了小幅改善(年均递增0.10%),而纯技术效率则处于轻微恶化态势(年均递减0.06%),存在较大的提升空间。

结合低碳农业生产率累计值的年际变化情况(表3),可将考察期(1993—2012年)划分为3个阶段:

1)平稳起伏阶段(1993—1998年)。该阶段低碳农业累计生产率基本维持在0.98左右,年际变化较小,仅小幅增加了0.14%。而与之相反的是,这一时期我国农业却处于快速发展态势,除去1997年,其他各年农业总产值实际增速均高于6%。为什么会呈现这种差异呢?原因可能在于2点:1)农业生产模式的相对滞后,产出的增加主要依赖于化肥、农药等生产要素的高投入,由此导致了农业碳排放的快速增加,从而极大制约了低碳农业生产率水平的提升。2)畜牧养殖业的快速发展加剧了碳排放,其中以生猪饲养最具代表性,1993年其出栏量仅为 3.7824×10^8 头,1998年已增至 5.0215×10^8 t头,年均增速高达5.83%,同时由于农业机械化生产尚未全面普及,以牛、马等大牲畜为代表的役畜饲养量处于较高水平,由此加剧了畜禽养殖碳排放量,进而影响了低碳农业生产率。从增长源泉来看,技术效率与农业前沿技术均表现出了一定起伏,前者最终呈现轻微恶化态势,年均递减0.30%,后者则得到了小幅改善,年均递增0.33%。分解技术效率可知,规模效率处于小幅改善状态,而纯技术效率在多数年份表现不佳。

2)波动下降阶段(1998—2002年)。几乎所有年份的低碳农业生产率都低于1.0,这也使得我国2002年的低碳农业累计生产率相比1998年减少了7.57%。这一时期,我国农业发展步伐明显放缓,各年农业总产值增速均在5%之下,这与当时的整体大背景有关,由于农民所面临的负担过重,导致其种田积极性受到极大挫伤,许多农民放弃务农而转向务工,我国粮食产量也因此遭遇了一定程度的滑坡,这一方面影响了农业经济产出,因为粮食生产是农业生产的基础,同时由于粮食产量与农业碳汇量紧密相关,农业生态产出也由此受到影响。在农业投入水平保持不变的前提下,农业经济产出与生态产出同时受到影响显然不利于低碳农业生产率水平的提升。除此之外,大牲畜以及生猪饲养量的继续增加使得畜禽养殖碳排放依旧呈现上升趋势,由此也

表 3 我国低碳农业生产率增长及其源泉变化(1993—2012年)

Table 3 Low-carbon agriculture productivity growth and its sources variation in China (1993—2012)

阶段 Stage	年份 Year	技术效率			前沿技术进步			纯技术效率			规模效率			综合生产率				
		EFF		TECH	PECH		SECH	LTFP		SECH		LTFP	LTFP		LTFP			
		年际值 Annual value	累计值 Cumulative value	年际值 Annual value	年际值 Annual value	年际值 Annual value	年际值 Annual value	年际值 Annual value	年际值 Annual value	年际值 Annual value	年际值 Annual value	年际值 Annual value	年际值 Annual value	年际值 Annual value	年际值 Annual value	年际值 Annual value	年际值 Annual value	年际值 Annual value
	1993—1994	0.986 0	0.986 0	0.975 9	0.975 9	0.993 6	0.993 6	0.993 6	0.993 6	0.992 3	0.992 3	0.992 3	0.992 3	0.962 3	0.962 3	0.962 3	0.962 3	0.962 3
	1994—1995	1.008 5	0.994 4	0.994 5	0.970 6	0.998 1	0.991 7	0.991 7	1.010 4	1.002 7	1.002 7	1.002 7	1.002 7	1.003 0	0.965 2	0.965 2	0.965 2	0.965 2
平稳起伏阶段	1995—1996	0.985 2	0.979 6	1.048 4	1.017 6	0.989 7	0.981 5	0.981 5	0.995 4	0.998 1	0.998 1	0.998 1	0.998 1	1.032 9	0.996 9	0.996 9	0.996 9	0.996 9
	1996—1997	1.027 5	1.006 6	0.962 5	0.979 4	1.017 6	0.998 8	0.998 8	1.009 7	1.007 8	1.007 8	1.007 8	1.007 8	0.989 0	0.985 9	0.985 9	0.985 9	0.985 9
undulating stage	1997—1998	0.978 6	0.985 0	1.038 0	1.016 6	0.983 6	0.982 5	0.982 5	0.994 9	1.002 6	1.002 6	1.002 6	1.002 6	1.015 7	1.001 4	1.001 4	1.001 4	1.001 4
	阶段平均	0.997 0	—	1.003 3	—	0.996 5	—	—	1.000 5	—	—	—	—	1.000 3	—	—	—	—
	1998—1999	1.010 4	0.995 3	0.960 1	0.976 1	1.006 4	0.988 8	0.988 8	1.004 0	1.006 6	1.006 6	1.006 6	1.006 6	0.970 2	0.971 6	0.971 6	0.971 6	0.971 6
	1999—2000	1.032 2	1.027 4	0.925 7	0.903 5	1.014 3	1.002 9	1.002 9	1.017 7	1.024 4	1.024 4	1.024 4	1.024 4	0.955 5	0.928 4	0.928 4	0.928 4	0.928 4
波动下降阶段	2000—2001	0.984 5	1.011 5	1.021 6	0.923 1	0.991 8	0.994 7	0.994 7	0.992 7	1.016 9	1.016 9	1.016 9	1.016 9	1.005 8	0.933 8	0.933 8	0.933 8	0.933 8
Wave decline stage	2001—2002	0.991 6	1.003 0	0.999 7	0.922 8	0.998 1	0.992 8	0.992 8	0.993 6	1.010 4	1.010 4	1.010 4	1.010 4	0.991 2	0.925 6	0.925 6	0.925 6	0.925 6
	阶段平均	1.004 5	—	0.976 1	—	1.002 6	—	—	1.001 9	—	—	—	—	0.980 5	—	—	—	—
	2002—2003	0.994 2	0.997 2	1.038 6	0.958 4	0.995 0	0.987 9	0.987 9	0.999 1	1.009 5	1.009 5	1.009 5	1.009 5	1.032 6	0.955 8	0.955 8	0.955 8	0.955 8
	2003—2004	1.012 4	1.009 5	1.048 7	1.005 1	1.009 5	0.997 2	0.997 2	1.002 8	1.012 4	1.012 4	1.012 4	1.012 4	1.061 6	1.014 7	1.014 7	1.014 7	1.014 7
	2004—2005	0.992 4	1.001 8	0.991 9	0.996 9	0.984 4	0.981 7	0.981 7	1.008 1	1.020 5	1.020 5	1.020 5	1.020 5	0.984 3	0.998 8	0.998 8	0.998 8	0.998 8
	2005—2006	1.003 6	1.005 4	1.022 2	1.019 1	1.004 9	0.986 5	0.986 5	0.998 7	1.019 2	1.019 2	1.019 2	1.019 2	1.025 9	1.024 6	1.024 6	1.024 6	1.024 6
	2006—2007	0.959 4	0.964 6	1.092 5	1.113 3	0.975 2	0.962 1	0.962 1	0.983 8	1.002 7	1.002 7	1.002 7	1.002 7	1.048 3	1.074 1	1.074 1	1.074 1	1.074 1
波动上升阶段	2007—2008	1.000 8	0.965 5	0.968 0	1.077 7	0.999 5	0.961 6	0.961 6	1.001 4	1.004 0	1.004 0	1.004 0	1.004 0	0.968 8	1.040 5	1.040 5	1.040 5	1.040 5
Volatility rise stage	2008—2009	1.003 4	0.968 7	0.999 6	1.077 3	1.006 9	0.968 3	0.968 3	0.996 5	1.000 5	1.000 5	1.000 5	1.000 5	1.002 9	1.043 6	1.043 6	1.043 6	1.043 6
	2009—2010	1.038 7	1.006 2	1.022 1	1.101 1	1.022 6	0.990 2	0.990 2	1.015 8	1.016 4	1.016 4	1.016 4	1.016 4	1.061 7	1.108 0	1.108 0	1.108 0	1.108 0
	2010—2011	0.994 1	1.000 3	1.020 6	1.123 8	0.992 6	0.982 8	0.982 8	1.001 5	1.017 9	1.017 9	1.017 9	1.017 9	1.014 5	1.124 1	1.124 1	1.124 1	1.124 1
	2011—2012	1.007 5	1.007 9	1.028 2	1.155 5	1.006 2	0.988 9	0.988 9	1.001 3	1.019 3	1.019 3	1.019 3	1.019 3	1.035 9	1.164 5	1.164 5	1.164 5	1.164 5
	阶段平均	1.000 5	—	1.022 7	—	0.999 6	—	—	1.000 9	—	—	—	—	1.023 2	—	—	—	—
总平均	Total average	1.000 4	—	1.007 6	—	0.999 4	—	—	1.001 0	—	—	—	—	1.008 0	—	—	—	—

制约了低碳农业生产率的增长。从增长源泉来看，技术效率相比农业前沿技术发挥了更为显著的作用，虽年际间存在波动，但总体呈现改善状态，年均递增 0.45%；而农业前沿技术则表现不佳，其在 1999—2000 年更是递减 7.43%，这也反映了当时我国农业生产正处于低谷时期，农民务农积极性受到极大冲击，农业技术采纳也因此受到影响。对技术效率进行分解可知，纯技术效率与规模效率均处于改善状态，且前者所发挥的作用更为明显。

3)波动上升阶段(2002—2012 年)。10 年中绝大多数年份低碳农业生产率处于增长态势，累计值则增加了 25.81%。之所以呈现出良好态势，主要源于 2 点：1)是农业经济重新呈现出快速增长态势，年际增速多在 5%以上；尤其自 2004 年“惠农型”中央一号文件全面实施以后，粮食产量屡创新高，农业碳汇量由此迎来了一个快速增长期，而这显然有助于低碳农业生产率的提升。2)我国畜牧业产业结构

不断优化，一定程度上减少了大牲畜的饲养量而增加了对“低排放、高附加值”畜禽的养殖数量，从而促使牲畜养殖所导致的碳排放量与畜牧业总产值之间呈现出脱钩状态，这样不仅未使畜牧业产值受到影响，还减少了其温室气体的排放，由此客观促进了我国低碳农业生产率的增长。从增长源泉看，该阶段低碳农业生产率之所以能保持增长态势得益于技术效率与农业前沿技术的双轮驱动。其中，农业技术效率呈现较为明显的起伏波动，最终小幅改善，年均递增 0.04%；而农业前沿技术在多数年份都处于进步状态，最终进步幅度相对较大，年平均增速达到了 2.27%。进一步分解技术效率可知，纯技术效率处于轻微恶化态势，规模效率则处于小幅改善状态。

2.3 我国农业碳排放与低碳农业生产率间的脱钩关系分析

参照脱钩理论以及式(5)，得出历年我国农业碳排放与低碳农业生产率之间的脱钩类型(表 4)。可

表 4 1993—2012 年我国农业碳排放与低碳农业生产率之间的脱钩关系

Table 4 The decoupling relationships between China's agricultural carbon emissions and its low-carbon development from 1993 to 2012

年份 Year	农业碳排放量变动率 $\Delta Q_c/Q_c$	低碳农业生产率变动率 $\Delta LTFP/LTFP$	弹性值 Elasticity value	脱钩类型 Decoupling type
1993—1994	0.049 9	-0.037 7	-1.32	强负脱钩
1994—1995	0.063 9	0.003 0	21.29	扩张负脱钩
1995—1996	0.051 3	0.032 9	1.56	扩张负脱钩
1996—1997	-0.012 7	-0.011 0	1.16	衰退连接
1997—1998	0.003 1	0.015 7	0.20	弱脱钩
1998—1999	0.026 1	-0.029 8	-0.88	强负脱钩
1999—2000	0.002 6	-0.044 5	-0.06	强负脱钩
2000—2001	0.007 1	0.005 8	1.23	扩张负脱钩
2001—2002	0.014 2	-0.008 8	-1.61	强负脱钩
2002—2003	0.011 7	0.032 6	0.36	弱脱钩
2003—2004	0.055 1	0.061 6	0.89	扩张连接
2004—2005	0.031 4	-0.015 7	-2.00	强负脱钩
2005—2006	0.014 0	0.025 9	0.54	弱脱钩
2006—2007	-0.048 8	0.048 3	-1.01	强脱钩
2007—2008	-0.023 3	-0.031 2	0.75	弱负脱钩
2008—2009	0.021 3	0.002 9	7.35	扩张负脱钩
2009—2010	0.015 3	0.061 7	0.25	弱脱钩
2010—2011	0.009 0	0.014 5	0.62	弱脱钩
2011—2012	0.012 9	0.035 9	0.36	弱脱钩

知:1993—2012年,我国农业碳排放与低碳农业生产率之间的脱钩类型以负脱钩和弱脱钩为主,不同阶段差异明显。其中,1993—2002年可归为第一阶段,除少数年份(1996—1998年)之外,在其他各年份农业碳排放与低碳农业生产率之间的协调关系均表现为强负脱钩或者扩张负脱钩,即农业碳排放量处于增长态势,而低碳农业生产率要么处于恶化态势,要么虽呈现改善状态但其改善速率要明显慢于农业碳排放增速。可能的原因是,在2002年及之前,我国农业生产更多地依赖于农药、化肥等生产要素的投入,且产业结构相对单一,从而在一定程度上制约了低碳农业发展。2002—2012年为第二阶段,农业碳排放与低碳农业生产率之间虽呈现出弱脱钩、扩张连接、强负脱钩、强脱钩、弱负脱钩、扩张负脱钩等多种脱钩类型,但以弱脱钩为主,即在多数年份,农业碳排放量与低碳农业生产率均处于上升态势,但后者增速要明显快于前者,从而表现出脱钩属性。

我国农业碳排放与低碳农业生产率之间的脱钩类型表现出明显阶段性差异的可能原因是,随着国家对农业的不断重视以及环保理念的逐步增强,越来越多的人开始探究农业低碳之路,以便实现生态、环保与农业发展的协调共进;在这个大背景之下,科学技术在农业生产过程中开始扮演更为重要的角色,并对物质要素投入形成了一定的替代作用,从而在客观上推进了我国低碳农业发展。

3 结论与讨论

3.1 主要研究结论

1)2012年我国农业碳排放总量为 2.7715×10^8 t,较1993年增加了34.30%;虽总体上升趋势较为明显,但年际间也伴随着一定的波动起伏,呈现出较为明显的4阶段变化特征,依次为快速上升阶段、波动上升阶段、下降阶段与缓慢上升阶段;农业碳排放强度一直处于下降趋势,每 10^4 元农业产值所引发的碳排放量由1993年的 1.092×10^3 kg降至2013年的 5.07×10^2 kg;农用物资、稻田与牲畜养殖所引发的碳排放量均呈上升趋势,其中农用物资碳排放所占比重一直处于上升趋势,而稻田与牲畜养殖的碳排放占比均有不同程度降低。

2)1993年以来我国低碳农业生产率增速总体偏慢,年均仅为0.80%,基于其累计值的年际变化可划分为平稳起伏、波动下降和波动上升等3个阶

段。从增长源泉来看,农业前沿技术进步相比农业技术效率发挥了更为显著的作用。其中,平稳起伏阶段农业技术效率呈现轻微恶化态势,农业前沿技术得到了小幅改善;波动下降阶段农业技术效率相比农业前沿技术发挥了更为重要的作用;波动上升阶段则得益于农业技术效率与农业前沿技术的双轮驱动但后者效应要明显高于前者。分解农业技术效率可知,规模效率得到了小幅改善,而纯技术效率则处于轻微恶化态势。

3)我国农业碳排放与低碳农业生产率之间的脱钩类型以负脱钩和弱脱钩为主。其中,1993—2002年为第一阶段,农业碳排放与低碳农业生产率之间主要表现为强负脱钩和扩张负脱钩,即农业碳排放量处于增长态势,而低碳农业生产率或处于恶化态势,或虽呈现改善状态但其改善速率要慢于农业碳排放增速。2002—2012年为第二阶段,农业碳排放与低碳农业生产率之间虽呈现出弱脱钩、扩张连接、强负脱钩、强脱钩、弱负脱钩、扩张负脱钩等多种脱钩类型,但以弱脱钩为主,即在多数年份中,农业碳排放量与低碳农业生产率均处于上升态势,但后者增速要明显快于前者。

3.2 讨论

本研究对我国农业碳排放进行了重新测度,同时结合低碳农业概念运用DEA-Malmquist模型测算了我国低碳农业生产率并分析了其源泉;在此基础上利用脱钩理论探讨了二者之间的相互关系。

本研究无论从视角的选择还是研究思路的拓展都是对当前低碳农业问题研究体系的一个有效的补充,不再单纯聚焦于农业碳排放,而是在测算低碳农业生产率的基础上尝试探索二者之间的关系,由此赋予了更多的经济内涵。研究结论主要揭示了3点:

1)我国农业碳排放量年际间虽存在一定波动,但总体呈现上升趋势;

2)我国低碳农业生产率增速总体偏慢且年际波动性较强;

3)我国农业碳排放与低碳农业生产率之间以负脱钩和弱脱钩为主,未能实现强脱钩。

这与当前我国农业碳排放以及低碳农业发展现状基本一致。为此,今后应多类措施并举,着力减少农业碳排放量并加快推进低碳农业发展,以实现农业碳排放与低碳农业生产率二者之间的强脱钩。当然,限于笔者自身水平的不足以及一些资料、数据的

难以获取, 论文也存在一定局限性: 1) 关于农业碳排放测算指标体系的构建虽力求全面, 但受限于相关排放系数的难以获取导致一些因素仍未考虑在内, 比如除稻田之外的其他农田温室气体排放, 这样使得最终测算结果可能会有一定偏差; 2) 关于低碳农业并未给出较为明确的界定标准, 之所以如此主要在于低碳农业更多的是一种人们所追求的理念, 即农业生产实现低能耗、低排放、低污染与高收益、高碳汇的同步, 至于它的具体标准却是难以界定的, 目前学界也尚无此类结论。以上也是笔者下一阶段需要讨论和解决的问题。

参考文献 References

- [1] Johnson J M F, Franzluebbers A J, Weyers S L, Reicosky D C. Agricultural opportunities to mitigate greenhouse gas emissions[J]. *Environments Pollution*, 2007, 150(1): 107-124
- [2] 李国志, 李宗植. 中国农业能源消费碳排放因素分解实证研究: 基于 LMDI 模型[J]. *农业技术经济*, 2010(10): 66-71
Li G Z, Li Z Z. Carbon emissions decomposition analysis on agricultural energy consumption: Based on LMDI model[J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2010(10): 66-71 (in Chinese)
- [3] 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
Li B, Zhang J B, Li H P. Research on spatial-temporal characteristics and affecting factors decomposition agricultural carbon emission in China[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2011, 21(8): 80-86 (in Chinese)
- [4] 闵继胜, 胡浩. 中国农业生产温室气体排放量的测算[J]. *中国人口·资源与环境*, 2012, 22(7): 21-27
Min J S, Hu H. Calculation of greenhouse gases emission from agricultural production in China [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2012, 22(7): 21-27 (in Chinese)
- [5] 田云, 张俊飏, 李波. 中国农业碳排放研究: 测算、时空比较及脱钩效应[J]. *资源科学*, 2012, 34(11): 2097-2105
Tian Y, Zhang J B, Li B. Agricultural carbon emissions in China: Calculation, spatial-temporal comparison and decoupling effects[J]. *Resources Science*, 2012, 34(11): 2097-2105 (in Chinese)
- [6] 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(7): 18-26
Zhang G S, Wang S S. China's agricultural carbon emission: Structure, efficiency and its determinants [J]. *Issues in Agricultural Economy*, 2014(7): 18-26 (in Chinese)
- [7] 高鸣, 宋洪远. 中国农业碳排放绩效的空间收敛与分异[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 (in Chinese)
- [8] 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*, 2015, 30(7): 1172-1182
Wu X R, Zhang J B, Tian Y, Xue L F. Analysis on China's agricultural carbon abatement capacity from the perspective of both equity and efficiency[J]. *Journal of Natural Resources*, 2015, 30(7): 1172-1182 (in Chinese)
- [9] 王松良, Caldwell C D, 祝文烽. 低碳农业: 来源、原理和策略[J]. *农业现代化研究*, 2010, 31(5): 604-607
Wang S L, Caldwell C D, Zhu W F. Low carbon agriculture: Origins, principles and strategies[J]. *Research of Agricultural Modernization*, 2010, 31(5): 604-607 (in Chinese)
- [10] 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): 71-74
Ma X X. Barriers and outlet options of China's low carbon agriculture development [J]. *Reform of Economic System*, 2011(5): 71-74 (in Chinese)
- [11] 赵其国, 钱海燕. 低碳经济与农业发展思考[J]. *生态环境学报*, 2009, 18(5): 1609-1614
Zhao Q G, Qian H Y. Low carbon economy and thinking of agricultural development [J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2009, 18(5): 1609-1614 (in Chinese)
- [12] 郑恒, 李跃. 低碳农业发展模式探析[J]. *农业经济问题*, 2011(6): 26-29
Zheng H, Li Y. The research of low carbon agriculture model [J]. *Issues in Agricultural Economy*, 2011(6): 26-29 (in Chinese)
- [13] 田云, 张俊飏, 李波. 中国农业低碳竞争力区域差异与影响因素研究[J]. *干旱区资源与环境*, 2013, 27(6): 1-6
Tian Y, Zhang J B, Li B. Research on regional difference and affecting factor on competitiveness of agricultural low carbon in China[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2013, 27(6): 1-6 (in Chinese)
- [14] 曾大林, 纪凡荣, 李山峰. 中国省际低碳农业发展的实证分析[J]. *中国人口·资源与环境*, 2013, 23(11): 30-35
Zeng D L, Ji F R, Li S F. An empirical analysis of Chinese provincial low carbon agriculture [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2013, 23(11): 30-35 (in Chinese)
- [15] 冯俊, 王爱民, 张义珍. 农户低碳化种植决策行为研究[J]. *中国农业资源与区划*, 2015, 36(1): 50-55
Feng J, Wang A M, Zhang Y Z. study on farmers low carbonization plant decision-making behavior [J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2015, 36(1): 50-55 (in Chinese)
- [16] 田云, 张俊飏, 何可, 丰军辉. 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): 61-70
Tian Y, Zhang J B, He K, Feng J H. farmer's behavior of low-

- carbon agricultural production and influencing factors; Based on the survey data in Hubei Province[J]. *China Rural Survey*, 2015(4):61-70 (in Chinese)
- [17] 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):247-252
Hu X D, Wang J M. Estimation of livestock greenhouse gases discharge in China[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2010(10):247-252 (in Chinese)
- [18] 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):79-85
He Y Y, Tian Y, Zhang J B. analysis on spatial-temporal difference and driving factors of agricultural carbon emissions in Hubei Province[J]. *Journal of Huazhong Agricultural University: Social Sciences Edition*, 2013(5):79-85 (in Chinese)
- [19] 田云,张俊飏,尹朝静,吴贤荣. 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, 24(7):91-98
Tian Y, Zhang J B, Yin C J, Wu X R. Distributional dynamics and trend evolution of China's agricultural carbon emissions: An analysis on panel data of 31 provinces from 2002 to 2011[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2014, 24(7):91-98 (in Chinese)
- [20] 韩召迎,孟亚利,徐娇,吴悠,周治国. 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, 31(5):1034-1041
Han Z Y, Meng Y L, Xu J, Wu Y, Zhou Z G. Temporal and spatial difference in carbon footprint of regional farmland ecosystem; Taking Jiangsu Province as a case[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2012, 31(5):1034-1041 (in Chinese)
- [21] 田云,张俊飏. 中国农业生产净碳效应分异研究[J]. 自然资源学报, 2013, 28(8):1298-1309
Tian Y, Zhang J B. Regional differentiation research on net carbon effect of agricultural production in China[J]. *Journal of Natural Resources*, 2013, 28(8):1298-1309 (in Chinese)
- [22] 彭佳雯,黄贤金,钟大洋,赵雲泰. 中国经济增长与能源碳排放的脱钩研究[J]. 资源科学, 2011, 21(5):87-92
Peng X W, Huang X J, Zhong T Y, Zhao Y T. Decoupling analysis of economic growth and energy carbon emissions in China[J]. *Resources Science*, 2011, 21(5):87-92 (in Chinese)
- [23] 田云,张俊飏,李波. 湖北省农地利用碳排放时空特征与脱钩弹性研究[J]. 长江流域资源与环境, 2012, 21(12):1514-1519
Tian Y, Zhang J B, Li B. Research on spatial and temporal characteristics and decoupling elasticity in agricultural land use carbon emission in Hubei Province [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2012, 21(12):1514-1519 (in Chinese)

责任编辑:刘迎春