

# 中国农产品贸易隐含碳排放测度与时空分析

丁玉梅<sup>1,2</sup>, 廖程胜<sup>2</sup>, 吴贤荣<sup>3</sup>, 田云<sup>4</sup>

- (1.湖北工业大学 循环经济研究中心/经济与管理学院,湖北 武汉 430068;  
2.湖北工业大学 经济与管理学院,湖北 武汉 430068;  
3.华中农业大学 经济管理学院,湖北 武汉 430070;  
4.中南财经政法大学 工商管理学院,湖北 武汉 430073)



**摘要** 利用 MRIO 模型对我国大陆地区 31 个省(市、区)在 2002—2011 年间的农产品贸易隐含碳排放进行了测算,结果发现:我国农产品出口、进口隐含碳排放量总体均处于增长态势,且后者增速较之前者更快;农产品净出口隐含碳排放逐年降低,自 2003 年开始成为碳排放污染转出国;我国农产品隐含碳排放与净出口隐含碳排放较大的省份大多位于东部地区,而中西部地区的隐含碳排放量相对较小。继而采用 LMDI 因素分解方法,进一步分解农产品出口隐含碳排放的影响因素有结构效应、技术效应和规模效应。最后提出优化农产品的进出口结构;全方位监管“隐性”碳排放的国际转移;设定区域农产品生产环境规制级差,实施区域碳转移补偿制度等政策建议。

**关键词** 农产品贸易; 隐含碳排放; 时空分析; 多区域投入产出模型; 规模效应

**中图分类号:** F 323.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1008-3456(2017)01-0044-11

**DOI 编码:** 10.13300/j.cnki.hnwkxb.2017.01.006

随着全球温室气体排放的不断加剧,虽然对外贸易中隐含碳排放的相关文献很多,但从行业来看主要是围绕工业品,针对农业的还相对较少,农产品贸易隐含碳排放方面不少问题亟待进一步解决。在国际上的相关学术研究中,“隐含碳”又被称之为“Embodied Carbon”,国外对隐含碳研究始于 20 世纪 90 年代,其中 Wyckoff 等研究了 OECD(经合组织)国家 1984—1986 年间贸易中的隐含碳排放。他们得出结论:当国内依靠进口相对较大时,只依靠国家内部范围内进行减排效果是不尽如人意的<sup>[1]</sup>。Machado 等以巴西为例,对其 1970—1992 年国际贸易中的隐含碳进行了探究,结果表明,发达国家采用国内消费品制造业的外包手段,成功将本国二氧化碳排放转移到了以巴西为代表的发展中国家<sup>[2]</sup>。Antweiler 等人的研究显示贸易的技术正效应超过规模负效应,但总体结构效应具有不确定性<sup>[3]</sup>。Giovanni 等以建立行业投入产出模型评估了国际贸易对碳排放量的影响,并且计算出贸易商品中的隐含碳量,其中结果表明国家政策的决策者应关注国际贸易政策对于碳排放额外的影响<sup>[4]</sup>。Ahmed 等通过测算 24 个国家货物贸易中的二氧化碳排放量,有效论证了产业地理转移对全球温室气体排放的影响<sup>[5]</sup>。Shui 等分析了中美贸易中的隐含碳,发现中国二氧化碳排放量中的 7%~14%源于对美国的出口,如果美国将这些商品改为本国生产,美国二氧化碳排放量将增加 3%~6%<sup>[6]</sup>。Hayami 等对于加拿大与日本之前的贸易分析,指出日本出口中的碳排放量几乎都来源于进口,即都是由进口导致出口碳排放量过大<sup>[7]</sup>。Edwards 等以 CGE 模型分析了英国碳排放权的分配问题,分析结果指出一旦排放权拍卖的利益以减免雇佣税的方式进行进一步的分配,有很大的可能会产生“双重红利”<sup>[8]</sup>。

国内学者对国际贸易隐含碳问题的研究相对滞后,但很快这一问题引起了大量学者的关注与探讨,成为研究热点,其成果主要集中在两个方面:一是对外贸易隐含碳的估算。齐晔等估算了中国

收稿日期:2015-09-05

基金项目:国家自然科学基金项目“利益协同目标下农业科技共同体研发福利测度及其增进策略研究——以现代农业产业技术体系为例”(71503074);国家自然科学基金项目“气候框架公约下农业碳排放的增长机理及减排政策研究”(71273105)。

作者简介:丁玉梅(1975-),女,副教授,博士;研究方向:资源与环境经济,国际贸易。

1997—2006 年进出口贸易中的隐含碳,结果表明,我国为国外转移排放了大量的碳,隐含碳净出口占当年碳排放的比重更是由 1997 年 0.5% 左右迅速升至 2006 年 10% 左右,中国承担了大量进口国所应承担的碳排放量<sup>[9]</sup>。王文举等基于投入产出原理,并结合国际双边贸易数据,核算了世界主要碳排放大国 2005 年对外贸易的隐含碳,结果表明发展中国家为发达国家排放了数量巨大的二氧化碳,中国碳排放的急剧增加在很大程度上是为了满足发达国家日常生活所需,因此发达国家的消费者对全球碳排放的增加负有不可推卸的责任<sup>[10]</sup>。石红莲等估计了 2003—2007 年中国对美国产品出口所导致的隐含碳排放,结论表明,随着出口量的大幅增加,中国出口产品的隐含碳排放也不断增大,应通过改变碳排放核算体系、扩大内需等措施减少对美出口产品隐含碳的排放<sup>[11]</sup>。赵玉焕使用投入产出法,利用 1999—2008 年中国海关货物出口商品分类数据,研究和测算了中国出口商品中的隐含碳,研究结果显示中国是隐含碳的出口大国,出口贸易是中国 CO<sub>2</sub> 排放量逐年增长的重要原因,中国出口产品隐含碳的主要流向是美国、欧盟和日本<sup>[12]</sup>。二是对外贸易隐含碳的结构分解与影响因素研究。李艳梅等将影响出口贸易隐含碳变化的因素分解为直接碳排放强度、中间生产技术、出口总量与出口结构等四类效应,结果表明出口总量的不断增加、中间生产技术的变化是导致出口贸易隐含碳不断增加的关键原因,而直接碳排放强度下降与出口结构改善虽产生了一定的减排效应,但影响较小<sup>[13]</sup>。黄敏等利用投入产出结构分解模型(I—OSDA)分析了影响对外贸易隐含碳排放变动的驱动因素,结果表明,出(进)口总效应对隐含碳排放的变化影响程度最大,中间投入与单位产值碳排放效应均具有较强的改善效应,而出(进)口单位能源碳排放效应的改善作用均不太明显<sup>[14]</sup>。杜运苏等利用 LMDI 分析技术探究了中国出口贸易隐含碳排放增长的驱动机理,研究发现,出口总量的扩张是导致出口隐含碳持续增长的关键因素,排放强度的降低则在很大程度上抑制了隐含碳排放的增长,而结构变化对隐含碳排放的影响相对有限<sup>[15]</sup>。蒋雪梅等基于结构分解方法分析了全球 40 个主要经济体出口贸易隐含碳强度的变化情况,发现发达国家获取出口单位增加值所承担的隐含碳排放远低于发展中国家,而造成这种差距的根源在于各国碳减排技术存在较大差距<sup>[16]</sup>。

农产品贸易隐含碳研究也得到了一些关注,相关成果主要包括:张迪等结合海关进出口贸易数据,基于投入产出分析方法,探究了我国 2002 年农产品对外贸易的隐含碳转移,结果表明,在 2002 年中国为农产品隐含碳排放的净出口国,当年累计实现碳排放净出口 146.67 万吨。其中,农产品隐含碳的主要出口地区为亚洲,以韩国、日本最具代表;进口来源地主要包括北美、拉美和亚洲,美国是中国最为主要的农产品隐含碳进口来源国<sup>[17]</sup>。许源等利用非竞争性投入产出模型评估了我国 1995—2005 年农产品贸易隐含的二氧化碳排放,其结果表明,农产品生产所排放的二氧化碳有 3.71%~4.50% 是由出口所导致的,而农产品消费所排放的二氧化碳有 3.29%~10.10% 是由进口所满足的,中间投入的进口“节省”了大量的二氧化碳排放;总体而言,农产品净出口隐含的二氧化碳处于不断减少之中,中国已成为农产品二氧化碳排放的净进口国,农产品国际贸易为节能减排做出了一定贡献<sup>[18]</sup>。不过总体而言,目前探讨我国农产品对外贸易隐含碳的研究相对较少,许多问题都有待进一步深入。从掌握的文献来看,几乎所有学者在研究农产品贸易隐含碳时,大多以国家或者少数几个城市地区为单位来进行研究,尚未有以对我国大陆地区 31 个省(市、区)为研究对象来进行研究的。本研究选取的时间段为 2002—2011 年,可以反映加入 WTO 及 2008 年金融危机后我国的农产品贸易隐含碳排放情况。

## 一、农产品贸易隐含碳排放测度方法

20 世纪 30 年代,瓦西里·里昂惕夫研究并创立了投入产出分析方法,这种分析方法是一种用来反映经济系统各部分之间的投入与产出数量依存关系。换言之,投入产出法就是通过对投入来源和产出去向的详细记录,以此排成一张二维的投入产出表,根据表中的记录建立出具体的投入产出的数学模型,可以计算出投入产出的消耗系数值,并据以开展实际的经济分析和预测的方法。因此,应用投入产出分析方法来评价嵌入到商品和服务中的碳排放是一种宏观的、有效的工具,可进行投入与产

出的横向和纵向比较分析。

根据 MRIO 模型,基于投入产出的综合平衡关系,可建立各国投入产出矩阵:

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} & \dots & A_{1n} \\ A_{21} & A_{22} & \dots & A_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A_{m1} & A_{m2} & \dots & A_{mn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_m \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_m \end{pmatrix} \quad (1)$$

矩阵(1)中, $x_m$ 表示  $m$  国各个部门的产出; $A_{mn}$ 表示从  $m$  国到  $n$  国的投入矩阵; $y_m$ 表示  $m$  国的进出口贸易额。

简化后的投入产出数学模型为:

$$\mathbf{X} = \mathbf{A}\mathbf{X} + \mathbf{Y} = (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}\mathbf{Y} \quad (2)$$

其中, $\mathbf{A}$ 为系数矩阵; $\mathbf{X}$ 代表总产出列向量; $(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} = \{-\mathbf{X}\}$ 是列昂惕夫逆矩阵,又称完全需要系数矩阵; $\mathbf{Y}$ 代表包含其他最终产品的社会最终产品列向量。

根据公式(2),如果设  $\mathbf{E}$  为一国某行业单位总产出碳排放强度矩阵,那么该国为满足最终需求所产生的国内碳排放  $C$  可表达为:

$$C = \mathbf{E}(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}\mathbf{Y} \quad (3)$$

本文针对中国农产品贸易中的隐含碳排放,因此只考虑中国国内最终的农业碳排放( $C_a$ ),则:

$$C_a = \mathbf{R}_a \mathbf{X}_a = \mathbf{E}_a (\mathbf{I} - \mathbf{A}_{11})^{-1} \mathbf{Y} \quad (4)$$

则中国农产品贸易出口隐含碳排放( $C_a^{ex}$ )为:

$$C_a^{ex} = \mathbf{E}_a (\mathbf{I} - \mathbf{A}_{11})^{-1} y_a^{ex} \quad (5)$$

则中国农产品贸易进口隐含碳排放( $C_a^{im}$ )为:

$$C_a^{im} = \mathbf{E}_a (\mathbf{I} - \mathbf{A}_{11})^{-1} y_a^{im} \quad (6)$$

则中国农产品进出口贸易中隐含碳排放的净平衡( $C_a^b$ )为:

$$C_a^b = C_a^{ex} - C_a^{im} \quad (7)$$

如果  $C_a^b > 0$ ,则表示中国农产品出口所隐含的碳排放较进口所隐含的碳排放更多,意味着中国为农产品对外贸易碳排放净出口国,此时,中国即为农产品世界贸易的碳排放污染转入国;同理,如果  $C_a^b < 0$ ,则表示中国农产品进口所隐含的碳排放较出口所隐含的碳排放更多,也就是说,中国为农产品贸易碳排放净进口国,此时,中国即为农产品世界贸易的碳排放污染转出国;如果  $C_a^b = 0$ ,则表明中国为农产品进出口贸易的碳排放平衡国家。

## 二、中国农产品贸易隐含碳排放测度结果分析

### 1. 中国农产品贸易隐含碳排放时序演变规律

基于前文所列出的农产品贸易隐含碳排放计算方法以及联合国粮农组织统计数据库(FAOSTAT)数据,测算 2002—2011 年中国农产品进出口贸易隐含碳排放量如表 1 所示。由表 1 可知,2002 年以来,我国农产品出口隐含碳排放量、进口隐含碳排放量总体均处于增长态势。农产品进口隐含碳排放增速较之农产品出口隐含碳排放更快。根据本文的数据显示,仅在 2002 农产品进口隐含碳排放量少于农产品出口隐含碳排放量,自 2003 年,呈现完全赶超,上升态势明显。农产品进口隐含碳排放量由 2002 年的 3 909.82 万吨标准  $\text{CO}_2$  增长至 2011 年的 19 956.75 万吨标准  $\text{CO}_2$ ,9 年间共增长了 410.43%,其中 2003 年和 2004 年的年度增长率高达 58.12%和 67.30%,仅在 2005 年及 2009 年出现两次回落。同时,农产品出口隐含碳排放也保持着较高速增长,但变化曲线相对于农产品进口隐含碳排放较为平缓。其总量由 2002 年的 5 179.58 万吨标准  $\text{CO}_2$  增至 2011 年的 12 784.98 万吨标准  $\text{CO}_2$ ,共增长了 146.83%,其中 2006 年起出口隐含碳排放增长较慢,2008 年和 2009 年期间出现负增长。

农产品出口隐含碳排放量和农产品进口隐含碳排放量变化共同决定了农产品净出口隐含碳排放的变化趋势。从表 1 可以看出,我国农产品净出口隐含碳排放逐年降低,除 2002 年为正值,其他每年

表 1 2002—2011 年中国农产品进出口贸易隐含碳排放

年份	出口隐含碳排放/ (万吨标准 CO <sub>2</sub> )	变动率/%	进口隐含碳排放/ (万吨标准 CO <sub>2</sub> )	变动率/%	净出口隐含碳排放/ 万吨标准 CO <sub>2</sub>	变动率/%
2002	5 179.58	—	3 909.82	—	1 269.76	—
2003	5 994.21	15.73	6 182.10	58.12	-187.89	-114.8
2004	8 535.44	42.39	10 342.37	67.30	-1 806.93	861.70
2005	9 751.01	14.24	10 274.88	-0.65	-523.87	-71.01
2006	10 479.53	7.47	10 802.02	5.13	-322.49	-38.44
2007	10 808.36	3.14	12 101.56	12.03	-1 293.2	301.00
2008	10 019.63	-7.30	14 540.62	20.15	-4 520.99	249.60
2009	9 405.88	-6.13	12 519.40	-13.90	-3 113.52	-31.13
2010	11 289.89	20.03	16 616.64	32.73	-5 326.75	71.08
2011	12 784.98	13.24	19 956.75	20.10	-7 171.77	34.64

都为负值,表明这 10 年我国农产品贸易碳排放平衡的年份并未出现。由公式(7)的计算方法可知,净出口隐含碳排放量为正值时表示农产品出口所隐含的碳排放超过进口所隐含的碳排放,由此说明,2002 年我国为农产品贸易碳排放的净出口国,即为碳排放污染转入国,也是被污染国。自 2003 年起,我国农产品净出口隐含碳排放均为负值,且绝对值除 2004 年、2006 年和 2008 年外逐年增大,且以一个较快速度增长,说明在这个阶段,我国农产品进口所隐含的碳排放超过出口所隐含的碳排放,且有扩大的趋势,为农产品贸易碳排放的净进口国,也即我国在全球农产品贸易碳排放转移国中属于碳排放污染转出国。从变动率来看,我国农产品进口所隐含的碳排放变动较为明显,分别在 2003 年、2004 年、2007 年和 2008 年出现较大变动率,分别达到 -114.80%、681.70%、301.00% 和 249.60%,进口所隐含的碳排放除了在 2005 年和 2009 年出现负增长外都是以较大速率正增长。出口隐含碳排放变动不如进口的变动大,最大的变动幅度出现在 2004 年,达到 42.39%,除 2008 年和 2009 年出现负增长外,其余年份都是正增长,而 2008 年和 2009 年的负增长是由于 2008 年金融危机给中国带来的出口量减少的负面影响造成的。而净出口隐含碳排放的变动率较前二者更大,分别在 2004 年、2007 年和 2008 年出现了巨大的涨幅,分别达到 861.70%、301.00% 和 249.60%,除 2003 年、2005 年、2006 年和 2009 年为负增长外,其余年份均为正增长。从变动幅度来看,2002 年净出口隐含碳排放为 1 269.76 万吨标准 CO<sub>2</sub>,仅 2003 年一年就减少了 1 457.65 万吨标准 CO<sub>2</sub>,为 -187.89 万吨标准 CO<sub>2</sub>,扭转为碳排放污染转出国;到 2011 年增为净进口 7 171.77 万吨标准 CO<sub>2</sub>,10 年之间通过农产品国际贸易实现碳排放污染转出 8 441.53 万吨标准 CO<sub>2</sub>。

在后京都时代的减排责任分配中,各国都发出应充分重视贸易中的隐含碳排放转移的呼吁,应避免发达国家向中国等发展中国家引起的“碳泄漏”。本文研究结果表明,2003—2011 年中国为农产品贸易碳排放污染转出国,这与宏观层面的中国贸易隐含碳排放的研究结果符合。魏本勇等对 2002 年中国贸易隐含碳排放的研究也发现,中国存在一个显著的隐含碳排放出口行为,而其他国家的消费需求是引起中国隐含碳排放出口增加的重要原因<sup>[19]</sup>。该结果与张迪等的研究结果存在一定出入,张迪等对中国农产品贸易碳排放的研究显示 2002 年中国为农产品隐含碳排放净出口国<sup>[17]</sup>,但本文结果值偏大,需要消除单位口径以及农业碳排放源选取的差异等因素。

## 2. 中国农产品贸易隐含碳排放空间分布特征

基于前文所列出的农产品贸易隐含碳排放计算方法以及相关原始数据,表 2 描述了 2002 年及 2011 年两年间我国 31 个省(市、区)农产品出口贸易隐含碳排放、进口贸易隐含碳排放以及净出口隐含碳排放的情况。从表 2 中可以发现,2011 年农产品出口隐含碳排放量居于前 5 位的省份依次是山东、四川、广东、福建和浙江,分别排放了 22 105.38 万吨、17 745.34 万吨、10 315.35 万吨、9 318.68 万吨和 6 985.04 万吨标准 CO<sub>2</sub>,与 2002 年相比,碳排放量上都有较大幅度的增长,而就排名,2002 年是山东、广东、吉林、浙江和新疆依次排在前 5 名,到了 2010 年吉林和新疆退出了前 5 名,取而代之的是四川和福建,分别排在第 2 和第 4;农产品出口隐含碳排放量居于后 5 位的省份依次是青海、山西、宁夏、重庆和贵州,分别排放了 219.80 万吨、222.50 万吨、259.06 万吨、373.38 万吨和 677.27 万吨标准

CO<sub>2</sub>,与 2002 年相比,这 5 省区虽然排在后 5 名,但其碳排放量上也都有较大幅度的增长,就排名而言,2002 年排在后 5 位的省份依次是青海、宁夏、海南、西藏和重庆,2011 年海南和西藏退出了后 5 名,山西和贵州分别排在倒数第 2 和第 4。

表 2 中国 31 个省(市、区)2002 年及 2011 年农产品进出口贸易隐含碳排放

地区	2002 年			2011 年		
	出口隐含碳排放	进口隐含碳排放	净出口隐含碳排放	出口隐含碳排放	进口隐含碳排放	净出口隐含碳排放
北京	201.57	502.81	-301.24	1 980.74	17 745.34	-15 764.60
天津	84.52	95.49	-10.97	1 579.39	6 957.82	-5 378.44
河北	157.47	119.54	37.94	2 329.06	4 041.54	-1 712.49
山西	33.61	3.14	30.47	222.50	35.30	187.20
内蒙古	98.16	10.22	87.94	1 003.21	951.01	52.20
辽宁	166.93	99.74	67.19	6 383.62	5 604.59	779.03
吉林	323.85	7.75	316.10	2 270.30	1 257.68	1 012.61
黑龙江	147.24	22.80	124.44	2 001.83	3 449.90	-1 448.07
上海	206.47	361.75	-155.28	4 460.84	24 432.00	-19 971.16
江苏	196.12	377.82	-181.69	5 594.55	21 324.42	-15 729.87
浙江	254.23	160.13	94.10	6 985.04	8 252.82	-1 267.79
安徽	115.02	21.39	93.63	2 300.32	2 402.84	-102.52
福建	179.65	38.06	141.59	9 318.68	5 533.18	3 785.50
江西	42.51	3.86	38.65	889.26	168.71	720.55
山东	780.14	325.29	454.85	22 105.38	26 756.42	-4 651.05
河南	77.76	82.18	-4.41	1 897.64	2 533.81	-636.17
湖北	72.22	10.11	62.11	3 589.74	685.80	2 903.94
湖南	81.05	31.23	49.82	1 895.67	674.90	1 220.78
广东	541.55	679.69	-138.13	10 315.35	17 728.01	-7 412.66
广西	106.93	150.69	-43.75	2 659.10	6 325.78	-3 666.68
海南	8.37	5.93	2.44	701.71	246.27	455.45
重庆	23.67	1.43	22.23	373.38	770.81	-397.43
四川	99.13	13.52	85.60	17 745.34	747.31	16 998.03
贵州	34.36	1.06	33.30	677.27	1.20	676.07
云南	130.75	15.77	114.97	4 409.34	2 991.50	1 417.84
西藏	18.58	12.14	6.44	695.80	4.84	690.96
陕西	38.23	2.65	35.58	1 245.32	271.39	973.93
甘肃	28.76	6.77	21.99	1 054.46	48.89	1 005.56
青海	5.53	0.13	5.40	219.80	4.98	214.82
宁夏	6.75	0.13	6.62	259.06	0.31	258.75
新疆	207.69	18.89	188.80	2 655.94	1 446.68	1 209.26

2011 年农产品进口隐含碳排放量居于前 5 名的省份依次是山东、上海、江苏、北京和广东,分别排放了 26 756.42 万吨、24 432.00 万吨、21 324.42 万吨、17 745.34 万吨和 17 728.01 万吨标准 CO<sub>2</sub>,与 2002 年相比,这 5 省区的进口隐含碳排放有较大幅度的增长,就排名而言,2002 年排在前 5 名的省份依次是广东、北京、江苏、上海和浙江,浙江退出了前 5 名,广东一跃成为第 1 名;农产品进口隐含碳排放量居于后 5 名的省份依次是宁夏、贵州、西藏、青海和山西,分别排放了 0.31 万吨、1.20 万吨、4.84 万吨、4.98 万吨和 35.30 万吨标准 CO<sub>2</sub>,而 2002 年排在后 5 名的省份依次是青海、宁夏、贵州、重庆和陕西,重庆和陕西的排名有所上升,2011 年西藏和山西排到后 5 位,依次排在倒数第 3 和第 5。

综合以上分析可以发现,2002 年无论是农产品出口隐含碳排放量还是农产品进口隐含碳排放量排名前 5 的都为边境省份,包括东部沿海的省份和内陆边境省份,排名后 5 名的除了海南的农产品出口隐含碳排放量排在倒数第 3,其余都为内陆省份;2011 年农产品出口隐含碳排放量排名前 5 名的除了四川,其余皆为东部沿海省份,农产品进口隐含碳排放量排名后 5 名的都是内陆省份。可见,东部沿海地区由于其天然的地域优势,其在农产品进出口方面具有极大的便利性,故其进出口量较内陆省份大,以山东为例,2011 年其农产品进出口隐含碳排放都为第 1,原因在于山东是我国的经济大省,

农产品的需求量大,由于其便利的交通位置,进口农产品的量较大,但同时山东也是我国的农产品生产大省,主要以蔬菜花生等为主,远销世界各地,故其农产品出口量也较大,总之,其在进出口的过程中所排放的隐含碳也较多。

2011 年农产品净出口隐含碳排放量居于前 5 位的省份依次是四川、福建、湖北、云南和湖南,分别排放了 16 998.03 万吨、3 785.50 万吨、2 903.40 万吨、1 417.84 万吨和 1 220.78 万吨标准 CO<sub>2</sub>, 2002 年排在前 5 名的省份依次是山东、吉林、新疆、福建和黑龙江,其中只有福建依然排在前 5 名,其他排名发生较大变化;农产品净出口隐含碳排放量居于后 5 位的省份依次是上海、北京、江苏、广东和天津,分别排放了 -19 971.16 万吨、-15 764.60 万吨、-15 729.87 万吨、-7 412.66 万吨和 -5 378.44 万吨标准 CO<sub>2</sub>, 2002 年排在后 5 名的省份依次为北京、江苏、上海、广东和广西,其中只有广西取代天津成为倒数第 5。2011 年四川、福建等 18 个省(市、区)的净出口隐含碳排放量为正值,说明这些地区为农产品出口所隐含的碳排放超过进口所隐含的碳排放,即在农产品世界贸易中为碳排放污染转入地区,也是被污染地区;上海、北京等 13 个市(省、区)净出口隐含碳排放量为负值,说明这些地区为农产品进口所隐含的碳排放超过出口所隐含的碳排放,即在农产品世界贸易中为碳排放污染转出地区。2011 年相比 2002 年,山东、河北、黑龙江、浙江、重庆和安徽六省市的净出口隐含碳排放由正值变成负值,说明这 6 个地区由碳排放污染转入地区变为污染转出地区,但没有地区的净出口隐含碳排放由负值变成正值,说明并没有地区由碳排放污染转出地区变为污染转入地区。

### 3. 中国农产品贸易区域隐含碳排放公平性分析

从以上分析中可以看出,整体上来说,随着经济水平的发展,我国在与世界各国进行农产品贸易时逐渐成为碳排放污染转出地区,而且正呈现放大的趋势。2011 年从区域位置来看,北京、天津、河北等 11 个东部省(市)中除了辽宁、福建、海南三省的净出口隐含碳排放为正之外,其余省市都为负值,且绝对值较大,13 个净出口隐含碳排放为负值的省份中东部地区占了 8 个,而这 8 个省份的净出口隐含碳排放占了全部 13 个净出口隐含碳排放为负值的省份的 92.00%;山西、吉林、黑龙江等 8 个中部省份中,黑龙江、安徽和河南 3 省的净出口隐含碳排放为负值,其余省份的值为正;四川、重庆、贵州等 12 个西部省(市、区)中,只有重庆和广西两个地区的净出口隐含碳排放为负值,其余省份都为正值,18 个净出口隐含碳排放为正值省份中东部地区占了 10 个,这 10 个省份的净出口隐含碳排放占了全部 18 个净出口隐含碳排放为正值省份的 67.99%。由此可见,东部经济发达地区的绝大部分地区净出口隐含碳排放为负值,在农产品国际贸易中为碳排放转出地区,而且是中国最主要的碳排放转出地区,而中西部地区中大部分省份的净出口隐含碳排放为正值,在农产品国际贸易中为碳排放转入地区。因此,中国在发展农产品国际贸易的时候应该更多地考虑隐含碳在本国东部和中西部地区的责任分摊。

## 三、中国农产品出口贸易隐含碳排放影响因素分解

### 1. 农产品出口隐含碳排放影响因素分解方法

通过查阅以往研究发现,指数分解分析有多种,其中可应用于温室气体碳排放量变化的因素分解研究的常见方法是 IDA 模型。IDA 是一项较为完善的指数分解分析框架,试图从宏观上揭示各个影响因素的作用,为减排政策的确立指引方向。它以指数理论为基础,能够整体上确定各影响因素作用的大小,因而适合于连续时间的因素分析,既可以分析温室气体排放量的绝对变化,也可以分析相对变化,因此在研究中国农产品贸易中的隐含碳排放量在 2002—2012 期间内变化的因素分解分析时,选取该分析框架是适用的。

在分析出口贸易中的隐含碳排放量变化问题时,其主要思想是运用一个恒等式对出口贸易中的隐含碳排放进行描述:

$$Q = \sum_i Q_i = \sum_i E \frac{e_i}{E} f_i = \sum_i E S_i f_i \quad (8)$$

式(8)中,字母  $Q$  表示出口隐含碳总量; $E$  表示一国出口贸易总量; $e$  表示单一产业出口额; $f$  为

出口贸易隐含碳排放强度; $i$  为产业类别。

将以上 IDA 思想具体到农业,并结合我国实际情况,农产品出口隐含碳排放的变化拟从结构效应、技术效应和规模效应 3 个方面进行考察,那么中国农产品出口贸易隐含碳排放的恒等式分解形式可表示为:

$$C_a^{ex} = \frac{C_a^{ex}}{C_a} \times \frac{C_a}{GDP_a} \times GDP_a \quad (9)$$

其中, $C_a^{ex}$ 、 $C_a$ 、 $GDP_a$  分别表示农产品出口隐含碳排放量、农业碳排放量、农业增加值。

在 IDA 分析框架中,某一变量影响因素分解较为常见的操作方法有拉式指数法、算数平均迪氏指数法(AMDI)及对数平均迪氏指数法(LMDI)3 种。采用不同的方法进行因素分解分析,得出的结论也存在差异。如 Sinton 等曾经利用拉氏指数法对一定期间内年中国工业部门能源消费问题的结构变动和强度变动进行因素分解分析<sup>[20]</sup>,但由于拉氏指数法本身存在残差项难以解释的问题,因此运用拉氏指数法分解得到的研究成果是否能够真实反映并说明问题目前还存在着一定的置疑,改进的拉氏指数也无法完全避免。相较而言,迪氏指数法较为合理,实际中采用迪氏指数法分析结构变动等问题更具有说服力。其中,AMDI 方法常被用于工业产业的能源强度因素分析中,也有越来越多的学者开始将 AMDI 方法及 LMDI 方法运用于碳排放变化的影响因素研究中。田云等使用 LMDI 方法对农业碳排放影响因素进行分解研究,发现结构因素、经济因素均有较大影响<sup>[21]</sup>。

鉴于 LMDI 方法具有较为优良的性质,满足因素可逆,能够给出较为合理的因素分解,结果不包括残差项,克服了存在残差项或对残差项分解不当或不能解释的缺点,使模型说服力大大提高<sup>[22]</sup>。本文拟采用 Chunbo 等诸位学者都曾选用的 LMDI 方法对我国农产品出口贸易中的隐含碳排放变化因素进行因素分解<sup>[23]</sup>。

根据 LMDI 分解方法,农产品出口隐含碳排放主要由贸易结构、农业碳排放强度和农业经济规模共同决定,若设定其变化引起的农产品出口隐含碳排放量变化分别表示为结构效应  $Sta = \frac{C_a^{ex}}{C_a}$ 、技术效应  $Tec = \frac{C_a}{GDP_a}$  和规模效应  $Sca = GDP_a$ ,则用加法分解模式,在基期和报告期的出口贸易中隐含碳排放变动情况可表示为以下形式:

$$\Delta C_{tot} = C^t - C^0 = \Delta C_{Sta} + \Delta C_{Tec} + \Delta C_{Sca} \quad (10)$$

式(10)中, $\Delta C_{tot}$  表示加法分解模式下农产品出口隐含碳排放总效应, $\Delta C_{Sta}$ 、 $\Delta C_{Tec}$  和  $\Delta C_{Sca}$  分别表示加法分解模式下农产品出口隐含碳排放的结构效应、技术效应和规模效应;另外,设基期农产品出口隐含碳排放总量为  $C^0$ , $T$  期农产品出口隐含碳排放总量为  $C^t$ 。

在 LMDI 方法加法分解模式下,各分解因素贡献值的表达式分别为:

$$\Delta C_{Sta} = \sum \frac{C^t - C^0}{\ln C^t - \ln C^0} \ln \frac{Sta^t}{Sta^0} \quad (11)$$

$$\Delta C_{Tec} = \sum \frac{C^t - C^0}{\ln C^t - \ln C^0} \ln \frac{Tec^t}{Tec^0} \quad (12)$$

$$\Delta C_{Sca} = \sum \frac{C^t - C^0}{\ln C^t - \ln C^0} \ln \frac{Sca^t}{Sca^0} \quad (13)$$

其中, $\Delta C_{Sta}$  表示从基期到  $T$  期仅有农产品出口隐含碳排放占农业碳排放总量的百分比变化而其他两个因子未发生变化导致的农产品出口隐含碳排放量的变化; $\Delta C_{Tec}$  表示贸易结构、农业经济规模不变而仅由农业碳排放强度的变化引起的农产品出口隐含碳排放从基期到  $T$  期的变化; $\Delta C_{Sca}$  表示贸易结构、农业碳排放强度均保持在基期水平而由于农业经济规模的改变导致的农产品出口隐含碳排放的变化。

## 2. 中国农产品出口隐含碳排放影响因素分解结果

基于上述 LMDI 模型以及相关数据,借助软件得到中国农产品出口隐含碳排放影响因素分解结果如表 3 所示。

表 3 中国农产品出口隐含碳排放因素分解结果

万吨标准 CO<sub>2</sub>

时间	结构效应	技术效应	规模效应	总效应
2002—2003	753.19	-118.70	5 760.05	6 394.55
2003—2004	2 933.38	-244.50	7 419.61	10 108.48
2004—2005	3 895.40	-407.55	8 394.91	11 882.77
2005—2006	4 491.02	-672.24	9 157.95	12 976.73
2006—2007	5 205.19	-1 385.71	9 693.10	13 512.58
2007—2008	4 600.10	-1 870.90	9 781.31	12 510.51
2008—2009	3 847.57	-1 960.32	9 855.32	11 742.57
2009—2010	5 574.91	-2 396.86	11 397.64	14 575.69
2010—2011	6 956.82	-2 872.66	12 789.44	16 873.61

从表 3 可知,2002—2011 年期间,结构效应、规模效应均为正,说明对中国农产品出口隐含碳排放具有较强的推动作用,而技术效应表现为负,即在一定程度上抑制了中国农产品出口隐含碳排放污染的转入。

(1)农业贸易结构效应对中国农产品出口隐含碳排放贡献的变化值为正,表明农产品出口碳排放转移的逐年剧增导致了农产品出口隐含碳排放量的不断增加,即通过农产品出口贸易转入我国的碳排放污染不断增加。从表 3 及图 1 可以看出,结构效应对中国农产品出口隐含碳排放的贡献量变化随着时间增长呈现出波动上升态势,波动阶段出现在 2007—2009 年期间。相比 2002 年,2003—2011 年结构效应累计引发了 738.62% (38 257.59 万吨)隐含碳排放增量,表明若其他因素不变,则由于农产品出口量逐年剧增引起农业贸易结构的变化进而导致中国农产品出口贸易中碳排放污染转入我国的平均每年增加 4 251.07 万吨。其中 2007 年、2010 年和 2011 年结构效应较明显,分别相比上一年引发了 62.45% (5 205.19 万吨)、59.27% (5 574.91 万吨)、61.65% (6 956.82 万吨)的隐含碳排放增量。中国作为传统农业大国,2002 年农产品出口额 180.4 亿美元,2011 年上升到 607.5 亿美元,同比增长 23.0%,在农产品出口规模扩大的同时,其引发的隐含碳排放量也在急速增加。此外,由于中国农业的资源禀赋和比较优势结构特征,中国农产品出口贸易近年来呈现如下两个趋势:一是中国出口农产品以劳动密集型以及高价值高碳排的农产品为主。如 2003 年,中国出口水产品(包括新鲜及冷冻型)约 33.4 亿美元,蔬菜出口 21.8 亿美元,园艺产品出口 52.7 亿美元,畜产品出口 27.3 亿美元,该四类主要出口农产品的产值合计占农产品总出口产值的 63.9%。二是农产品加工品的出口量在增加。2003 年中国农产品加工品出口产值 85 亿美元,占农产品出口总值的 40.2%。其中水产品加工品出口产值 19.3 亿美元,占农产品出口总值的 9.1%,肉类加工品出口产值 7 亿美元,占农产品出口总额的 3%。总体而言,中国农产品出口贸易结构导致中国农产品出口隐含碳排放污染转入不断增加,即结构效应对农产品出口隐含碳排放的贡献作用正在显现。

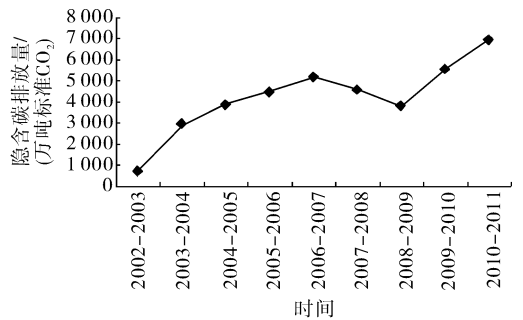


图 1 结构效应对中国农产品出口隐含碳排放的贡献量

(2)技术效应对中国农产品出口隐含碳排放贡献的变化值为负,说明技术效应抑制了中国农产品出口贸易中隐含碳排放的变化,在一定程度上促进了农产品贸易碳排放污染转移他国。从表 3 及图 2 可以看出,技术效应对中国农产品出口隐含碳排放的贡献量变化呈现出稳定负增长态势。相比 2002 年,2003—2011 年技术效应累计引发了 230.32% (11 929.45 万吨)隐含碳排放增量,表明若其他因素不变,则由于农业生产技术的提升进而引起农业碳排放强度的减小会导致中国农产品出口贸易中转入我国的碳排放污染平均每年减少 1 325.49 万吨。中国农业过去的产生方式较为粗放,以高碳排放为代价,其中碳的主要来源为农业生产过程中投入使用的化肥、农药、农用薄膜等农业生产物质,这些生产物质间接消耗能源并且产生大量农业废弃物因而产生碳排放。虽然这种高消耗高污染的生

产方式较为粗放,以高碳排放为代价,其中碳的主要来源为农业生产过程中投入使用的化肥、农药、农用薄膜等农业生产物质,这些生产物质间接消耗能源并且产生大量农业废弃物因而产生碳排放。虽然这种高消耗高污染的生



产方式至今仍然不能完全避免,但近年来农业生产技术的大幅度提升有效控制了中国农业碳排放强敌,即单位农业生产总值的农业碳排放量实现有效降低,从而在一定程度上有效减缓了农产品出口贸易中隐含碳排放转入我国的局面。一方面源于政府对农业政策的调整,有利于农业生产技术的提升。尤其“十五”期间,各地认真贯彻落实中央精神,一系列强有力的促进现代农业生产发展的政策措施有效推动了我国农业生产技术水平的提高。如农业部办公厅近年来致力于改善传统化肥施用过度并引导农业生产向现代科学施肥模式转变等大型工程,着力开展测土配方施肥技术的普及行动并大力建设示范县、实行定期工作抽查机制,以保障测土配方施肥的有效实现,除加强配方施肥宣传培训外,还注重配方肥供应网络建设,严格管理配方肥市场,并确保地方财政资金补贴。另一方面是从业人员观念的转变,也是导致中国农产品贸易隐含碳排放污染转出的重要因素。农业从业人员越来越意识到生态环境的重要性,也越来越多的关注低碳农业生产模式,尤其是现代农业新型人才,他们是推行和实践现代农业技术和低碳农业模式的中坚力量。正是由于政策保障与人民观念转变双重驱动下,农业生产高速增长的的同时,单位农业总产值的农业碳排放量得到有效控制,从而导致农产品出口贸易中中国由以前的污染转入国变为污染转出国。

(3)规模效应对中国农产品出口隐含碳排放贡献的变化值为正,说明规模效应是导致农产品出口贸易隐含碳排放污染转入我国不断增加的主要因素。从表3及图3可以看出,规模效应对中国农产品出口隐含碳排放的贡献量变化呈现出稳定增长态势。相比2002年,2003—2011年的规模效应累计引发了84 249.35万吨的隐含碳排放增量,表明若其他因素不变,则由于农业生产规模的变化进而引起中国农产品出口贸易中碳排放污染转入我国的平均每年增加9 361.04万吨。中国人口基数大,人均耕地面积小,农业生产活动主体以单个农户为主,生产方式多为人工的传统方式,虽然近年来在国家大力发展农业机械的情况下,农业机械化水平逐渐提高,基本实现了现代化、机械化,然而农业集约化经营程度还不是很高。2002年中国农用拖拉机总数仅为91万台,平均每千公顷耕地拖拉机使用量为6台,而同时期的美国拥有农用拖拉机总数高达480万部,平均每千公顷耕地拖拉机使用量超过30台,是中国使用量的5倍以上。而就耕地面积来看,中国平均每个从事农业经济活动人口的耕地面积为0.3公顷,而美国平均每个从事农业经济活动人口的耕地面积约为61公顷,约为中国的202倍。总体来看,中国农业生产相比美国等发达国家仍然相对落后,集约化程度不够,但农业增加值保持逐年上升,从2002年的19 607.07亿元迅速增加到2011年的29 791.55亿元,表明规模效应在增加,从中国农产品出口隐含碳排放因素分解结果来看,这是导致中国农产品出口隐含碳排放污染转入量增加的一大主要因素。

## 四、结论及政策建议

### 1. 结 论

分析2002—2011年我国农产品进出口贸易隐含碳排放的时序演变规律,发现自2002年以来,我国农产品出口隐含碳排放量、进口隐含碳排放量总体均处于增长态势,农产品进口隐含碳排放增速较

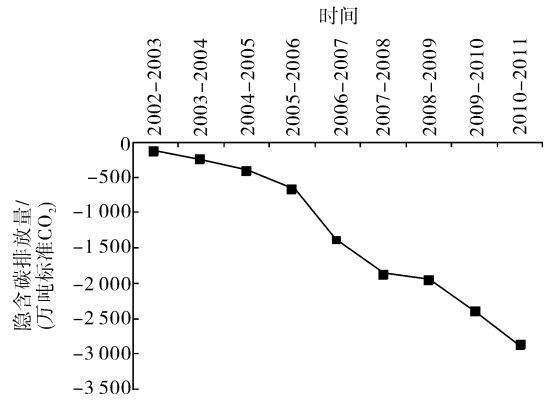


图2 技术效应对中国农产品出口隐含碳排放的贡献量

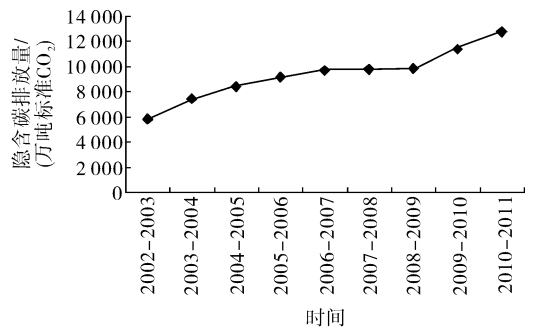


图3 规模效应对中国农产品出口隐含碳排放的贡献量

之农产品出口隐含碳排放更快,而我国农产品净出口隐含碳排放逐年降低,除2002年为正值,其他每年都为负值,说明我国2002年为农产品贸易碳排放净出口国,即在农产品世界贸易中为碳排放污染转入国,也是被污染国,自2003年起,我国农产品净出口隐含碳排放均为负值,我国农产品进口所隐含的碳排放超过出口所隐含的碳排放,且有扩大的趋势,为农产品贸易碳排放净进口国,此时,我国在农产品世界贸易碳排放转移中属于碳排放污染转出国。进一步,以2002年和2011年两年为例,测算中国31个省(市、区)农产品进出口贸易隐含碳排放,分析其空间分布特征及区域公平性,测算结果发现进出口隐含碳排放较大的省份大都为东部经济地区,净出口隐含碳排放较大的地区同样是东部地区,反之中西部地区的量都相对较小,说明中国在发展农产品国际贸易的时候应该更多地考虑隐含碳在本国东部和中西部地区的责任分摊。最后根据LMDI因素分解方法,分解农产品出口隐含碳排放的影响因素。分解结果得出,影响农产品隐含碳排放的因素分为结构效应、技术效应和规模效应,其中农业结构效应对中国农产品出口隐含碳排放贡献的变化值为正,说明农产品出口碳排放转移的逐年剧增导致了农产品出口隐含碳排放量的不断增加,即通过农产品出口贸易转入我国的碳排放污染不断增加,技术效应对中国农产品出口隐含碳排放贡献的变化值为负,说明技术效应抑制了中国农产品出口贸易中隐含碳排放的变化,在一定程度上促进了农产品贸易碳排放污染转移他国,规模效应对中国农产品出口隐含碳排放贡献的变化值为正,其值占总效应的比例最大,说明规模效应是导致农产品出口贸易隐含碳排放污染转入我国不断增加的主要因素。

## 2. 政策建议

基于以上分析结论,提出政策建议如下:

(1)优化农产品的进出口结构,对隐含碳排放量较大的农产品进出口进行调节。根据前文测算结果:自2003年起,我国农产品净出口隐含碳排放均为负值,且绝对值除2004年外逐年增大,说明在这个阶段,我国农产品进口所隐含的碳排放超过出口所隐含的碳排放,为农产品贸易碳排放净进口国,此时,我国在农产品世界贸易碳排放转移中属于碳排放污染转出国。为实现我国农产品进出口贸易中隐含碳排放的净平衡,优化农产品的进出口结构,重点应当适当控制对隐含碳量较大的农产品的进口,减少对该农产品的需求量可以减少其供给量,进而减少其产量,从间接上减少碳排放,避免对他国的碳排放污染,树立起我国负责任的大国形象,为全球碳减排做出实际贡献。

(2)全方位监管“隐性”碳排放的国际转移。实证研究发现,农用物资、稻田以及畜禽养殖已经成为我国农业碳排放最为重要的三大来源,且农产品贸易日益呈现出进口土地密集型农产品、出口劳动密集型产品的贸易格局,并在未来很长一段时期内将继续维持这种状况,这一贸易结构决定了无论是在国际贸易还是国内农产品流通过程中,以中间产品投入为载体的“隐性”碳排放的国际空间转移与国内区域转移不可避免。在我国农业产业结构持续优化升级以及持续向现代化推进的过程中,对农产品贸易隐含碳排放空间转移的忽视将会给我国在国际气候责任承担中造成较大的负面影响。因此,需要我国相关政府部门就关键农业产业及产品实施全方位的监管,尤其是政府环境监管部门、发改委两型办等相关政府机构需要对进口农产品的中间品碳含量进行精准测算,并以此为依据选择与其相关联的环境规制来进行约束。在高农用物资投入的农业产业以及畜禽养殖业等高碳排产业,需要适当加强环境规制的力度与强度,达到农用物资的高效利用以及畜禽粪便等废弃物的循环再利用。在积极采取政府环境规制政策的同时,还需要积极加强市场引导,采取一些以环境保护为目的的市场手段,比如征收环境税、收取排污费、推进碳排放权交易等。

(3)设定区域农产品生产环境规制级差,实施区域碳转移补偿制度。以地区实际情况为依据,建立区域差异化的农业碳税征收试点与推广体系。造成区域间碳排放表现出转移不均衡的一个重要原因是各区域之间环境规制的级差。因此,由政府部门对各个区域的碳排放与转移的空间不均衡性设置环境规制级差,并明确其方向与指导原则,在兼顾公平与效率的前提下,同时满足中国各个省(自治区、直辖市)实现环境效率最大化,设定如下:碳排放转入地区(中西部地区)应该采用严格的环境规制,而碳排放转出地区(东部地区)宜采取一般性的环境规制,而且该环境规制极差必须标准化、可度量化。就碳减排指标分配的角度来看,显然,东部地区应承担更多的碳减排任务,而中西部地区的减

排指标可通过市场机制适当地向东部沿海等环境效率较高的地区倾斜。而从碳排放转移的角度来看,在环境规制级差条件下,最合理的碳排放路线为:东部沿海地区—京津地区—北部沿海地区—东北地区—中西部地区。

### 参 考 文 献

- [1] WYCKOFF A W, ROOP J M. The embodiment of carbon in imports of manufactured products[J]. *Energy policy*, 1994, 22(3): 187-194.
- [2] MACHADO G, SCHAEFFER R, WORRELL E. Energy and carbon embodied in the international trade of Brazil: an input-output approach[J]. *Ecological economics*, 2001(39): 409-424.
- [3] ANTWEILER W, BRIAN R, COPELAND, et al. Is free trade good for the environment? [J]. *The American economic review*, 2001, 91(4): 877-908.
- [4] GIOVANNI M, ROBERTO S, ERNST W. Energy and carbon embodied in the international trade of Brazil: an input-output approach[J]. *Ecological economics*, 2001(39): 409-424.
- [5] AHMED N, WYCKOFF A. Carbon dioxide emissions embodied in international trade of goods Organisation for Economic Co-operation and Development[C]. Paris: OECD.
- [6] SHUI B, HARRIS R. The role of CO<sub>2</sub> embodiment in US-China trade[J]. *Energy policy*, 2006(34): 4063-4068.
- [7] HAYAMI H, NAKAMURA M. CO<sub>2</sub> emission of alternative technologies and bilateral trade between Japan and Canada: technology option and implication for joint implementation[C]. Paper presented at the 14th international conference on input-output techniques held at UQAM, Montreal, Canada, 2002. 10-15 October.
- [8] EDWARDS T H, HUTTON J P. Carbon abatement and its international effects in Europe including effects on other pollutants: a general equilibrium approach[C]. University of York Economics Discussion Paper, March, 1999.
- [9] 齐晔, 李惠民, 徐明. 中国进出口贸易中的隐含碳排放估算[J]. *中国人口资源与环境*, 2008(18): 25-30.
- [10] 王文举, 向其凤. 国际贸易中的隐含碳排放核算及责任分配[J]. *中国工业经济*, 2011(10): 56-64.
- [11] 石红莲, 张子杰. 中国对美国出口产品隐含碳排放的实证分析[J]. *国际贸易问题*, 2011(4): 56-64.
- [12] 赵玉焕. 国际贸易新理论对政府作用的定位[J]. *经济问题*, 1996(9): 17-18, 29.
- [13] 李艳梅, 付加锋. 中国出口贸易中隐含碳排放增长的结构分解分析[J]. *中国人口·资源与环境*, 2010(8): 53-57.
- [14] 黄敏, 刘剑锋. 外贸隐含碳排放变化的驱动因素研究——基于 I-O SDA 模型的分析[J]. *国际贸易问题*, 2011(4): 94-103.
- [15] 杜运苏, 孙辉煌. 中国出口贸易隐含碳排放增长因素分析: 基于 LMDI[J]. *世界经济研究*, 2012(11): 44-49, 88.
- [16] 蒋雪梅, 刘轶芳. 全球贸易隐含碳排放格局的变动及其影响因素[J]. *统计研究*, 2013, 30(9): 29-36.
- [17] 张迪, 魏本勇, 方修琦. 基于投入产出分析的 2002 年中国农产品贸易隐含碳排放研究[J]. *北京师范大学学报(自然科学版)*, 2010(6): 738-743.
- [18] 许源, 顾海英, 吴开尧. 中国农产品贸易隐含的 CO<sub>2</sub> 评估——基于非竞争型投入产出模型[J]. *生态经济*, 2013(8): 82-86.
- [19] 魏本勇, 方修琦, 王媛, 等. 基于投入产出分析的中国国际贸易碳排放研究[J]. *北京师范大学学报(自然科学版)*, 2009(4): 413-419.
- [20] SINTON J E, LEVINE M D. Changing energy intensity in Chinese industry: the relative importance of structural shift and intensity change [J]. *Energy policy*, 1994(22): 239-25.
- [21] 田云, 张俊飏, 尹朝静, 等. 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(7): 91-98.
- [22] 徐军委. 基于 LMDI 的我国二氧化碳排放影响因素研究[D]. 北京: 中国矿业大学, 2013.
- [23] CHUNBO M, DAVID I S. Biomass and China's carbon emissions: a missing piece of carbon decomposition[J]. *Energy policy*, 2009, 36(7): 2517-2526.

(责任编辑:陈万红)