

# 中美林产品贸易碳流动的测算及影响因素研究

管志杰, 郭智远

**摘要:** 林产品贸易碳流动会影响一国碳库储碳量核算报告, 对一国提交减排清单、履行减排责任具有重要的影响。首先, 利用储量变化法、大气流动法、生产法分别对中美林产品贸易碳流动进行测算, 结果显示储量变化法对核算我国储碳量最为有利, 生产法次之, 而大气流动法下中美林产品贸易则增加了碳排放源; 其次, 运用引力模型, 对环境治理费用占比之差、林产品进出口贸易量之差、人均 GDP 之差、贸易开放度之差等影响中美林产品贸易碳流动的因素进行实证分析, 得出不同计量方法下, 各因素产生的影响存在差别的结论。最后, 从提高我国碳储角度出发, 结合影响因素分析的相关结论, 提出了提高我国对外开放度、扩展多元化出口市场、改善林产品出口结构、引领全球环境治理等政策建议。

**关键词:** 林产品贸易; 引力模型; 碳流动; 储量变化法; 大气流动法; 生产法

**作者简介:** 管志杰, 常州大学商学院教授、硕士研究生导师; 郭智远, 常州大学商学院硕士研究生。

**基金项目:** 国家哲学社会科学基金一般项目“全球治理非法采伐的贸易影响及对策研究”(13BGL101); 江苏省研究生科研与实践创新计划资助项目“中国木质林产品贸易碳流动测算及对策研究”(SJKY19\_2133)。

**中图分类号:** F307.2 **文献标志码:** A **Doi:** 10.3969/j.issn.2095-042X.2019.06.006

全球气候变暖已成为世界各国共同面临的挑战, 政府间气候变化专门委员会(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)公开表明 CO<sub>2</sub> 的大量排放是造成全球气候变暖的主要原因。国际上已经形成了以《联合国气候变化框架公约》(United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC)为主体, 以“共同但有区别的责任”为原则的国家和区域碳减排目标和应对行动, 发达国家和发展中国家要为应对气候变化做出不同的努力<sup>[1]</sup>。林产品作为森林资源的延伸, 具有碳排放滞后效应和替代效应, 能有效减少温室气体的排放, 因此, 林产品贸易被列为联合国气候变化谈判的重要议题。在当今全球经济一体化形势下, 林产品贸易已经成为国际贸易非常重要的组成部分, 林产品贸易会引起所储存的碳在国家间流动, 导致进出口国的碳储量发生变化。美国是我国主要的林产品贸易伙伴国, 对中美之间林产品贸易的碳流动进行测算, 分析其影响因素, 对我国增加碳储、履行减排责任具有重要的现实意义。

## 一、文献综述

目前国内外林产品贸易碳流动的研究主题主要包括以下三个: 第一, 林产品贸易碳流动对一国

碳储以及减排碳的影响。杨红强等<sup>[2-3]</sup>核算了我国林产品贸易中的碳储存和碳排放,分析了林产品贸易碳流动对我国碳储的影响,研究发现储量变化法下林产品贸易显著增加了我国碳储。Bagdon等<sup>[4]</sup>计算了加拿大的林产品碳储量发现,通过进口林产品增加的碳汇远大于培育森林所增加的碳汇。Zhang等<sup>[5]</sup>、Geng等<sup>[6]</sup>基于GFPM模型和储量变化法的整合系统,对我国林产品碳库变动进行模拟与核算,得到在储量变化法下我国林产品碳库整体减排效能会随着林产品贸易的增长得到明显上升的结论。第二,不同碳流动核算方法的对比研究。Jasinevičius等<sup>[7]</sup>从简便性、精确性、对贸易的刺激性等三个方面比较研究了储量变化法、大气流动法、生产法等三种计量方法,结果显示:生产法对一国林产品贸易起到负向抑制作用,储量变化法较其他两种方法更为精确且对贸易起到正向刺激作用。陈家新等<sup>[8]</sup>从技术、政策准则两个方面比较了三种碳流动计算方法,研究发现:生产法技术层面的要求更高,储量变化法和大气流动法更容易受到一国政策变动的影响。Pilli等<sup>[9]</sup>研究了生产法的内生影响因素,并与储量变化法、大气流动法做对比,指出林产品产量以及贸易量对核算结果的影响。第三,不同的碳流动测算方法对各国的适用性研究。肖艳<sup>[10]</sup>对2010年主要经济体林产品跨境流动状况下碳汇变化情况进行分析发现,在储量变化法下中美两国较为有利,生产法下澳大利亚损失最小,而大气流动法主要适用于俄罗斯、巴西等一些林产品大量出口的国家。Skog<sup>[11]</sup>用IPCC指南三种方法研究了1990—2005年美国林产品贸易碳流动,认为储量变化法对美国较为有利。Donlan等<sup>[12]</sup>运用不同的碳量核算方法核算爱尔兰林产品贸易的碳流动情况,并运用蒙特卡罗分析法对最后的结果进行分析,发现储量变化法下碳储量增长速度远高于大气流动法。Dias等<sup>[13]</sup>为了探究贸易对一国碳流动的影响,运用IPCC指南三种方法对1990—2004年葡萄牙林产品碳储量进行测算,结果认为大气流动法较为有利,生产法次之。白彦锋等<sup>[14]</sup>认为目前全球范围内碳量核算方法并不统一,各国主要基于经济发展和技术水平选择适合本国国情的碳量核算方法。

目前国内外关于贸易对一国林产品碳储量的影响以及计量方法的研究成果比较多,对两国之间林产品贸易所引起碳流动问题关注相对较少,对林产品贸易碳流动影响因素的实证研究更是少见。中美两国都是林产品贸易大国,且都为UNFCCC缔约国,对中美林产品贸易碳流动进行测算,对其影响因素进行分析,并提出对策,可为增大我国林产品温室气体减排潜力提供政策参考。

## 二、中美林产品贸易量分析

依据联合国粮农组织(Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO)数据库对木质林产品统计和分类的标准,木质林产品分为两类:第一类为圆木、薪材、木炭等初级加工产品,第二类为锯材、人造板、工业圆木、木片、纸和纸板、回收纸等半成品。本文仅选择半成品类林产品作为研究对象。

中美两国林产品贸易取得了快速发展,两国也成为重要的贸易伙伴<sup>[15]</sup>。贸易总额从1997年的16亿美元增长至2017年的269.9亿美元,增长了近15.9倍。中国从美国进口各类林产品的规模总体处于增长趋势,如图1-(a)。硬木类产品如工业圆木、锯材增长幅度最大,原因可能是我国为了维持林业的可持续发展,限制了原木砍伐,增加了进口量。纸类产品中回收纸的进口规模,除了2008年受金融危机影响出现了小幅度的下降外,其余年份均显著增长。木片、人造板的进口规模与1997年相比未出现明显的增大。中国出口美国各类林产品规模呈波动变化趋势,

如图 1-（b）。我国对美国出口的林产品主要为纸及纸板、人造板等。其中，纸及纸板的出口在 2008 年达到峰值 53.8 万吨之后呈现波动变化，人造板的出口出现了较大的波动，总体增长趋势较为明显。其他种类的林产品如锯材、工业圆木、木片、回收纸等出口量均较小。

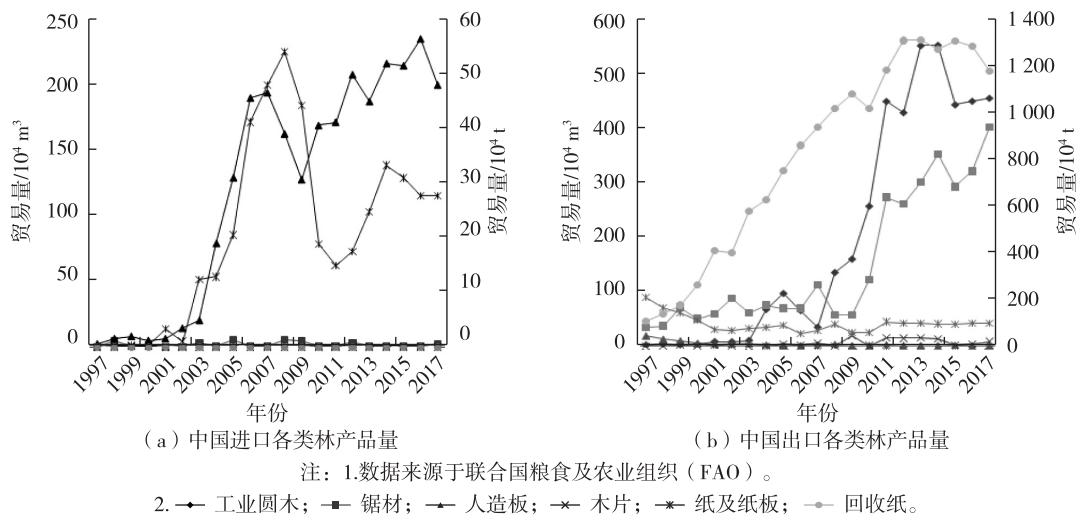


图 1 1997—2017 年中美各类林产品进出口贸易量

三、中美林产品贸易碳流动测算

（一）IPCC 框架下林产品碳流动的核算方法

《2006 IPCC 指南》提出了 IPCC 缺省法、储量变化法、大气流动法、生产法等四种不同的碳量核算方法。碳量核算方法的不同之处在于如何区别对待贸易中林产品的碳储量归属以及碳排放分配。IPCC 缺省法假设林产品所储存的碳在砍伐时全部释放到大气中，这种方法高估了林产品的碳排放。储量变化法是以国家作为系统边界来考虑林产品的碳流动变化。林产品的碳储量以及碳排放可从出口国转移到进口国。由于林产品存在碳排放滞后效应，随着进口林产品的腐烂分解，所释放的碳量要计入进口国，因此这种方法鼓励通过进口林产品增加一国的碳储量，对林产品的净进口国较为有利。运用大气流动法时，林产品进出口贸易均不改变报告国的碳储量，但报告国需要计算采伐森林减少的碳汇和消费林产品所释放的碳量，因此，这种方法对大量出口林产品的国家较为有利。运用生产法时，报告国对所进口林产品的碳储量和碳排放均不报告，对进出口国的影响由各国对林产品的使用效率来决定<sup>[15]</sup>。

采伐或统计的林产品数据是用材积来计算的，为了使林产品的碳储量和碳排放有可比性，需将碳因子转化为碳量。碳因子等于密度乘以含碳率，为林产品产量转换为碳量的缺省因子。

$$C = V \times F = V \times D \times R \tag{1}$$

式中：C 为林产品的含碳量，V 为各种林产品的体积，F 为各种林产品的碳转换因子，D 为林产品的密度，R 为林产品含碳率。IPCC 估算林产品贸易碳流动的储量变化法模型、大气流动法模型、生产法模型如下：

$$SC = P_{im} - P_{ex} - E_{im} \tag{2}$$

$$AF = P_{\text{ex}} - E_{\text{im}} \quad (3)$$

$$P = P_{\text{ex}} - E_{\text{ex}} \quad (4)$$

式中:  $SC$ 、 $AF$ 、 $P$  分别为运用储量变化法、大气流动法、生产法测算的中美两国林产品贸易碳流动量,  $P_{\text{im}}$ 、 $P_{\text{ex}}$  分别为每年进出口美国林产品的含碳量,  $E_{\text{im}}$  为进口林产品在国内使用过程中所产生的碳排放量,  $E_{\text{ex}}$  为出口林产品在使用过程中的碳排放量。由于出口的林产品碳排放量无法追踪, 所以用生产法计算中美两国林产品贸易碳流动量时, 假设出口林产品的使用状况和国内相同<sup>[16]</sup>。

## (二) 林产品碳排放测算

林产品的碳排放与废弃前的使用寿命、废弃后的碳排放速度密切相关。伦飞等<sup>[17]</sup>将林产品的废弃分为直接燃烧和自然分解两种。在自然分解条件下, 林产品所储存的碳, 会在一定的寿命年限内逐年释放, 释放年限与林产品废弃速率、分解速率、使用寿命密切相关。本文为了便于估算林产品碳排放量, 采用速率恒定和逐步递归法。第  $i$  年生产的林产品在生产之后的第  $n$  年的碳排放量计算公式为

$$E = af_1C_i + nbf_1f_2C_i \quad (5)$$

式中:  $E$  为林产品的碳排放量,  $a$ 、 $b$  分别为林产品燃烧、分解的比例,  $f_1$  为林产品的分解率,  $f_2$  为林产品的腐烂碳排放速度。以 1997 年为基准年, 则  $(1997+i)$  年的碳排放量为

$$E_i = \sum_{m=0}^{i-1} [af_1C_m + (i-m)bf_1f_2C_m] \quad (6)$$

式中: 工业圆木、木片、锯材的使用寿命为 60 年, 人造板为 40 年, 纸类产品为 10 年。因为, 硬木类产品、纸类产品的腐烂碳排放速率分别为 3%、26%, 废弃后林产品直接燃烧、自然分解的比例分别为 60%、40%<sup>[18]</sup>, 所以, 工业圆木、木片、锯材  $f_1$ 、 $f_2$  分别为 1/60、0.03, 人造板  $f_1$ 、 $f_2$  分别为 1/40、0.03, 纸类产品的  $f_1$ 、 $f_2$  分别为 1/10、0.26。  $a=0.6$ ,  $b=0.4$ 。

## (三) 测算结果及分析

运用三种方法计算了中美两国 1998—2017 年的林产品贸易碳流动量, 测算结果差异较大, 如图 2-(a)。储量变化法和生产法下, 中美林产品贸易增加了我国的碳储; 但大气流动法的计算结果却正好相反, 即中美两国林产品贸易对我国的碳汇贡献为负, 两国林产品贸易则增加了碳排放源。储量变化法计算结果表明, 中美林产品贸易碳流动量从 1998 年开始持续增加, 2011 年碳流动量达到最大值 382.06 万吨, 增加了近 1.8 倍, 之后出现了较小幅度的下降, 整个趋势与我国林产品进出口趋势相同<sup>[5]</sup>。生产法计算结果表明, 两国林产品贸易碳流动量呈缓慢增长趋势(除 2007—2010 有较小幅度的下降之外), 平均每年增长 2.79 万吨。大气流动法计算结果表明, 中美林产品贸易碳流动量均为负值, 从 1998 年的一 6.48 万吨到 2017 年的一 507.74 万吨。单从三种方法的计算结果来看, 运用储量变化法计算中美林产品贸易碳流动, 对我国林产品的碳储量最有利。

对比分析储量变化法、生产法、大气流动法计算的中美林产品贸易的碳流动量(如图 2)发现, 人造板及回收纸在三种计算方法下差异较大, 其他种类的林产品在三种方法下差异较小。储量变化法计算结果表明, 人造板减少了我国的碳储, 而回收纸对我国的碳汇贡献为正。生产法计算结果表明, 中美林产品贸易碳流动量最多的是人造板, 而回收纸对我国碳储未有明显的影响。大气流动法计算结果表明, 只有人造板能显著增加中美林产品贸易碳流动量, 其他种类林产品贸

易增加了碳排放源。其中, 回收纸的碳流动量一直呈现负增长态势。

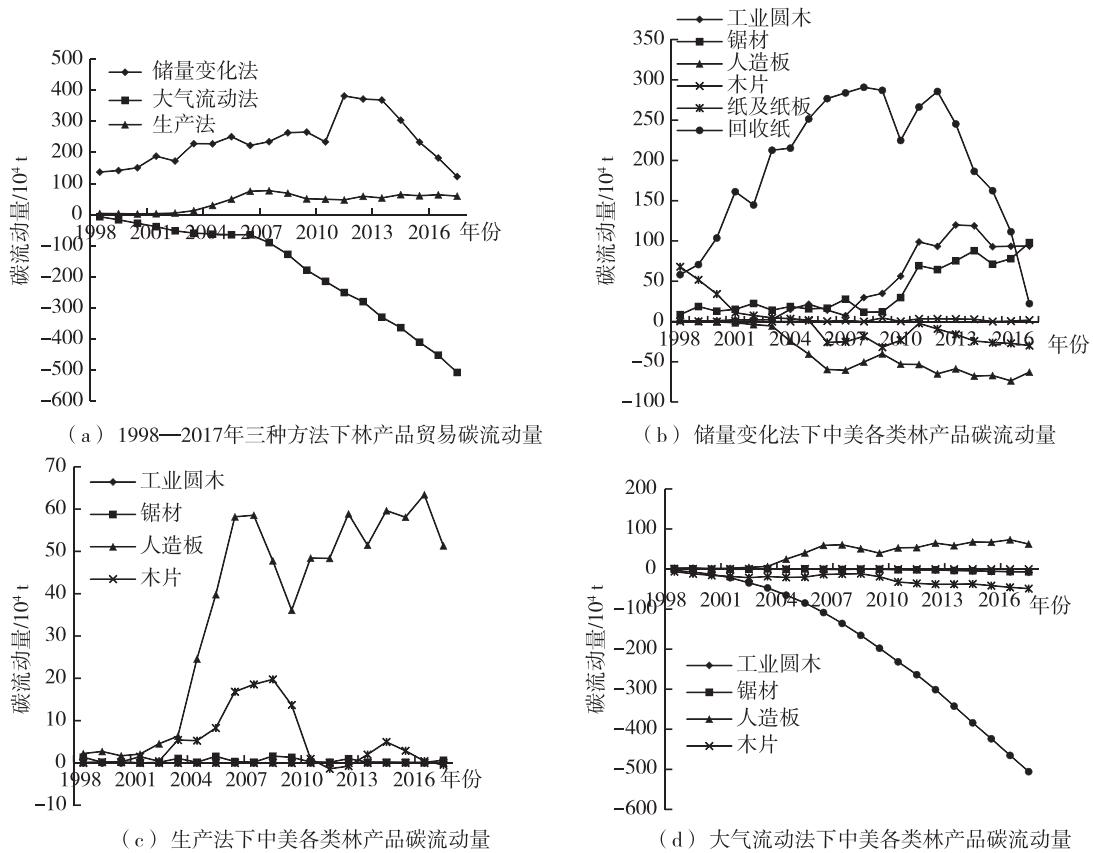


图 2 1998—2017 年中美林产品贸易碳流动量

## 四、中美林产品碳流动量影响因素实证分析

### (一) 模型构建

引力模型已成为分析国际贸易问题最成功的实证分析模型之一<sup>[19]</sup>, 基本公式如下

$$X_{ijt} = A(Y_{it} \cdot Y_{jt}) / D_{ijt} \quad (7)$$

式中,  $X_{ijt}$  表示  $t$  时期  $i$  国和  $j$  国的贸易量,  $Y_{it}$ 、 $Y_{jt}$  分别表示  $t$  时期  $i$  国和  $j$  国的 GDP,  $D_{ijt}$  表示  $t$  时期两国之间的空间距离。

本文在借鉴引力模型基本思想的基础上, 以中美林产品贸易碳流动量为因变量, 以影响中美林产品贸易碳流动量的因素为自变量, 分析这些因素在不同碳量计算方法下的影响。前文分析表明, 碳排放量能够显著影响林产品贸易碳流动量, 而碳排放量又与一国政府对环境的重视程度密切相关。董棒棒等<sup>[20]</sup>研究发现政府对环境治理投入越高, 越能推动企业增加低碳产品的生产, 减少产品使用过程中的碳排放。吉丹俊<sup>[21]</sup>研究发现一国政府对环境治理重视程度越高, 越能降低工业生产中的碳排放量。两国之间贸易碳流动又随两国林产品贸易量的变化而变化, 两国的贸易量与其人均 GDP 有关, 人均 GDP 越高, 对外贸易能力就越强, 越能增加不同种类林产品的需求<sup>[22-23]</sup>。同时, 两国的贸易量也与贸易开放度有关, 一国贸易开放程度越高, 对林产品贸易的促

进作用越明显<sup>[24-25]</sup>。因此,本文以环境治理费用占比之差  $DEC_{ij}=W_i/D_i-W_j/D_j$  ( $W_i$ 、 $W_j$  为中美两国当年工业治理费用,  $D_i$ 、 $D_j$  为当年两国国民生产总值)、林产品进出口贸易量之差 ( $DVT_{ij}$ )、人均 GDP 之差 ( $GDP_{ij}$ )、贸易开放度之差 ( $OPEN_{ij}$ ) 为自变量。为了消除异方差的影响,对基本模型两边同时取对数,并加上随机扰动项,得到模型 1—3:

$$\ln SC=a_0+a_1\ln DEC_{ij}+a_2\ln DVT_{ij}+a_3\ln GDP_{ij}+a_4\ln OPEN_{ij}+u_{ij} \quad (8)$$

$$\ln AF=a_0+a_1\ln DEC_{ij}+a_2\ln DVT_{ij}+a_3\ln GDP_{ij}+a_4\ln OPEN_{ij}+u_{ij} \quad (9)$$

$$\ln P=a_0+a_1\ln DEC_{ij}+a_2\ln DVT_{ij}+a_3\ln GDP_{ij}+a_4\ln OPEN_{ij}+u_{ij} \quad (10)$$

式中,  $SC$ 、 $AF$ 、 $P$  分别为储量变化法、大气流动法、生产法下中美林产品贸易碳流动量;  $a_0$  为常数,  $a_1$ 、 $a_2$ 、 $a_3$ 、 $a_4$ 、 $a_5$ 、 $a_6$  为模型的待估参数,  $u_{ij}$  为随机扰动项。

## (二) 数据来源

本文实证分析部分选取 1998—2016 年中美林产品贸易碳流动量作为研究数据。其中,林产品进出口贸易量数据来自联合国粮食及农业组织 (FAO); 中美两国环境治理费用分别来自《中国统计年鉴》和美国能源信息署 (EIA); 贸易开放度为一国进出口贸易总额占该国当年国内生产总值的比重,相关数据均来源于世界银行数据库。

## (三) 实证结果

单位根检验显示所有统计变量平稳,多重共线性检验表明各变量之间无多重共线性。运用三种方法得到中美林产品贸易碳流动回归结果,由调整后的可决系数可知三个模型整体拟合度较好(见表 1)。

表 1 中美林产品贸易碳流动模型回归结果

变量	模型 1		模型 2		模型 3	
	系数	$t$ 值	系数	$t$ 值	系数	$t$ 值
$a_0$	21.02	5.60	-32.19	-3.48	-85.80	-9.59
$\ln DEC_{ij}$	-0.49	-0.90	0.53 <sup>3)</sup>	3.97	-0.87 <sup>3)</sup>	-6.68
$\ln DVT_{ij}$	1.20 <sup>3)</sup>	10.02	1.42 <sup>3)</sup>	4.78	1.17 <sup>3)</sup>	4.09
$\ln GDP_{ij}$	-3.23 <sup>3)</sup>	-6.42	1.37	1.10	6.61 <sup>3)</sup>	5.50
$\ln OPEN_{ij}$	0.40 <sup>3)</sup>	5.61	-0.64 <sup>3)</sup>	-3.48	1.58 <sup>3)</sup>	9.38
调整后 $R^2$	0.93		0.97		0.98	

注: <sup>1)</sup> 表示在 10% 水平下显著, <sup>2)</sup> 表示在 5% 水平下显著, <sup>3)</sup> 表示在 1% 水平下显著。

对三个模型分别进行 BG 检验发现,模型 1、模型 2、模型 3 的  $P$  值分别为 0.38、0.13、0.11,均大于 0.05,故三个模型均不存在时间序列相关。三个模型回归结果如下:

$$\ln SC=21.02+1.20\ln DVT_{ij}-3.23\ln GDP_{ij}+0.40\ln OPEN_{ij}+u_{ij} \quad (11)$$

$$\ln AF=-32.19+0.53\ln DEC_{ij}+1.42\ln DVT_{ij}-0.64\ln OPEN_{ij}+u_{ij} \quad (12)$$

$$\ln P=-85.80-0.87\ln DEC_{ij}+1.17\ln DVT_{ij}+6.61\ln GDP_{ij}+1.58\ln OPEN_{ij}+u_{ij} \quad (13)$$

## (四) 结果讨论

第一,两国环境治理费用占比之差在储量变化法、生产法下对林产品贸易碳流动量的影响为负,且影响显著,而在大气流动法下影响为正,影响不显著。合理的解释为:近年来我国政府不

断增加环境治理投入, 促进企业提高林产品的使用寿命以及科技含量, 减缓林产品碳释放速率, 在大气流动法下必然增加中美两国林产品贸易碳流动量。而美国环境治理费用占比随着国内生产总值的提高出现明显下降, 对环境治理的重视程度相对下降<sup>[26]</sup>, 致使林产品的使用效率降低, 碳排放量增加, 在生产法下必然减少中美林产品贸易碳流动量。

第二, 林产品进出口贸易量之差在储量变化法、大气流动法、生产法下对林产品贸易碳流动量均具有显著正向影响。合理的解释为: 从 1997 年开始, 我国对美国林产品的进出口量均增加, 且进口增加幅度大于出口增加幅度。在储量变化法下, 中美林产品贸易碳流动量随着林产品进出口量之差的扩大而增加。在大气流动法以及生产法下, 随着出口林产品的增多, 中美林产品贸易碳流动量也增加。

第三, 两国人均 GDP 之差在储量变化法下对林产品贸易碳流动量具有显著负向影响, 而在大气流动法、生产法下影响为正, 生产法下影响显著, 大气流动法下影响不显著。合理的解释为: 根据需求层次理论, 两国人均 GDP 之差越大, 需求层次差距越大, 通过贸易满足不同种类林产品需求的可能性越大。我国从美国进口的林产品主要以圆木、锯材等一些寿命较短、分解速率较快的资源密集型产品为主, 储量变化法下会增加我国林产品的碳排放, 减少中美林产品贸易碳流动量。而我国对美国出口的林产品则以木制品、木家具、纸及纸制品、人造板等四类劳动密集型产品为主<sup>[15]</sup>, 这些产品的共同特点是储碳时间较长、分解速率较慢, 生产法下我国林产品的碳排放会减少, 有利于中美林产品贸易碳流动量的增加。

第四, 两国贸易开放度之差在储量变化法、生产法下对林产品贸易碳流动量具有显著正向影响, 而在大气流动法下具有显著负向影响。合理的解释为: 我国加入 WTO 后, 政府为了促进对外贸易开放, 出台了出口退税、信用担保等政策。而美国贸易保护主义抬头, 采取了一些贸易限制措施, 拉大了中美两国对外开放度的差距<sup>[27]</sup>。储量变化法下, 我国出口林产品减少, 有利于中美之间林产品贸易的碳流动的增加; 大气流动法下却相反。生产法下随着林产品出口量的减少, 碳释放量减少更加明显, 所以选择生产法有利于中美林产品贸易碳流动量的增加。

## 五、政策建议

根据最新的《2013 IPCC 指南》, 各国要基于森林管理参考水平报告本国林产品碳储量及其变化, 并建议将生产法作为国际上核算林产品贸易碳流动的通用方法<sup>[2]</sup>。因此本文主要基于生产法的回归结果提出增加我国碳储的相关对策。

第一, 我国应充分发挥在全球环境治理中的关键角色, 带动其他国家加大环境治理投入。近年来, 我国政府高度重视环境治理。在环境治理中, 我国政府应逐渐从积极的建设者向引领者转变, 带动其他国家在发展经济的同时加大环境治理费用投入, 优化能源结构, 降低能源消耗强度, 减少工业生产过程中的碳排放量。

第二, 我国应扩展多元化出口市场, 降低对美国市场的依赖。生产法下我国林产品出口规模扩大有利于中美林产品贸易碳流动量的增加, 但美国的贸易保护致使我国林产品出口受阻。所以我国应逐渐实现林产品出口市场多元化以降低美国贸易保护影响, 积极扩展海外市场, 挖掘新的需求市场, 降低因对美国林产品市场的过度依赖而造成的贸易风险。

第三,完善林产品出口政策,调整林产品出口结构。首先,要制定和完善林产品的出口制度和相应规范流程,扩大技术密集型林产品的出口规模,以此带动我国整个林产品行业结构的调整和升级。其次,政府要健全相关的法律制度,鼓励低碳经济发展,以财政补贴和降低税率等方式推动企业实现低碳生产,对高耗能、高排放的林产品的出口采取限制措施。

第四,进一步扩大林业对外开放,全面提高对外开放水平。生产法下,我国贸易开放度的提高有利于中美贸易碳流动量的增加。因此,我国应充分利用国内外市场,加快林业发展,制定有利于扩大林产品进出口的相关政策。另外,推动企业实施合法性认证、森林认证,以满足欧、美市场要求,提高我国林产品在国际市场上的占有率。

#### 参考文献:

- [1] FISCHER P W, CULLEN A C, ETTL G J. The effect of forest management strategy on carbon storage and revenue in western washington: a probabilistic simulation of tradeoffs [J]. Risk analysis, 2017, 37 (1): 173-192.
- [2] 杨红强, 王珊珊. IPCC 框架下木质林产品碳储核算研究进展: 方法选择及关联利益 [J]. 中国人口·资源与环境, 2017, 27 (2): 44-51.
- [3] 杨红强, 季春艺, 陈幸良, 等. 中国木质林产品贸易的碳流动——基于气候谈判的视角 [J]. 林业科学, 2014, 50 (3): 123-129.
- [4] BAGDON A, HUANG C H, DEWHURST S, et al. Climate change constrains the efficiency frontier when managing forests to reduce fire severity and maximize carbon storage [J]. Ecological economics, 2017, 140 (5): 201-214.
- [5] ZHANG X B, YANG H Q, CHEN J X. Life-cycle carbon budget of China's harvested wood products in 1900—2015 [J]. Forest policy and economics, 2018, 92 (2): 181-192.
- [6] GENG A X, CHEN J X, YANG H Q. Assessing the greenhouse gas mitigation potential of harvested wood products substitution in China [J]. Environmental science & technology, 2019, 53 (3): 1732-1740.
- [7] JASINEVIČIUS G, LINDNER M, CIENCIALA E, et al. Carbon accounting in harvested wood products: assessment using material flow analysis resulting in larger pools compared to the IPCC default method [J]. Journal of industrial ecology, 2018, 22 (1): 121-131.
- [8] 陈家新, 杨红强. 全球森林及林产品碳科学研究进展与前瞻 [J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2018, 42 (4): 1-8.
- [9] PILLI R, FIORESE G, GRASSI G. EU mitigation potential of harvested wood products [J]. Carbon balance and management, 2015, 10 (1): 62-68.
- [10] 肖艳. 木质林产品跨境交易下碳储量核算方法比较分析 [J]. 世界林业研究, 2012, 25 (4): 11-15.
- [11] SKOG K E. Sequestration of carbon in harvested wood products for the United States [J]. Forest products journal, 2008, 58 (6): 56-72.
- [12] DONLAN J, BLACK K, HENDRICK E, et al. Future change in carbon in harvested wood products from Irish forests established prior to 1990 [J]. Carbon management, 2013, 4 (4): 377-386.
- [13] CLÁUDIA DIAS A, LOURO M, ARROJA L, et al. Comparison of methods for estimating carbon in harvested wood products [J]. Biomass and bioenergy, 2009, 33 (2): 213-222.
- [14] 白彦锋, 姜春前, 张守攻, 等. 木质林产品碳计量方法对比分析及应用的潜在影响 [J]. 浙江农林大学学报, 2013, 30 (3): 423-427.
- [15] 陈勇, 王登举, 宿海颖, 等. 中美贸易战对林产品贸易的影响及其对策建议 [J]. 林业经济问题, 2019, 39 (1): 1-7.
- [16] 张旭芳, 杨红强. 应对气候变化的中美木质林产品碳储量和碳减排比较 [J]. 林业经济, 2014, 36 (7): 26-31.
- [17] 伦飞, 李文华, 王震, 等. 中国伐木制品碳储量时空差异 [J]. 生态学报, 2012, 32 (9): 2918-2928.
- [18] 周国模, 姜培坤. 毛竹林的碳密度和碳贮量及其空间分布 [J]. 林业科学, 2004, 40 (6): 20-24.
- [19] 管志杰, 徐艳. 海峡两岸贸易政策措施影响研究 [J]. 常州大学学报(社会科学版), 2017, 18 (5): 69-79.

- [20] 董棒棒, 李莉, 唐洪松, 等. 环境规制、FDI与能源消费碳排放峰值预测——以西北五省为例 [J]. 干旱区地理, 2019, 42 (3): 689-697.
- [21] 吉丹俊. 中国省域二氧化碳边际减排成本估计: 基于参数的方法 [J]. 常州大学学报 (社会科学版), 2017, 15 (1): 52-62.
- [22] 田刚, 吴天博, 张滨. 中国与“丝绸之路经济带”沿线国家木质林产品贸易的潜力分析——基于引力模型的实证研究 [J]. 林业经济, 2018, 40 (7): 49-55.
- [23] 田明华, 史莹赫, 高薇洋, 等. 基于引力模型的中国木质林产品进出口影响因素研究及贸易潜力测算 [J]. 林业经济问题, 2018, 38 (5): 10-18.
- [24] 沈自崢, 吴国春, 曹玉昆, 等. 中国与东盟木质林产品贸易影响因素与贸易潜力的分析——基于引力模型 [J]. 林业经济问题, 2017, 37 (6): 26-31.
- [25] 戴明辉, 沈文星. 中国木质林产品贸易流量与潜力研究: 引力模型方法 [J]. 资源科学, 2010, 32 (11): 2115-2122.
- [26] 康晓. 气候变化全球治理的制度竞争——基于欧盟、美国、中国的比较 [J]. 国际展望, 2018, 10 (2): 91-111.
- [27] 耿利敏, 沈文星. 中美林产品贸易现状、产业对比及发展对策分析 [J]. 经济研究导刊, 2018 (35): 115-117.

## On the Measurement and Influencing Factors of Carbon Flow in Sino-US Forest Products Trade

Guan Zhijie, Guo Zhiyuan

**Abstract:** The carbon flow of forest products trade affects a country's carbon inventory accounting report, and exerts important impacts on a country's submission of emission reduction list and performance of emission reduction responsibility. By using the stock-change approach, the atmospheric-flow approach and the production approach respectively to calculate the changes of the carbon flow of Sino-US forest products trade, it demonstrates that the stock-change approach is the most conducive to China's carbon stock accounting, followed by the production approach, while the Sino-US forest products trade has become a carbon source by the atmospheric-flow approach. Secondly, based on the gravitational model, an empirical analysis is carried out of the factors affecting the carbon flow of Sino-US forest products trade which include the difference between the proportions of environmental management costs; the difference between the import and export trade volumes of forest products; the difference between GDP per capita and the difference in trade openness, and the conclusion is reached that by different measurements, influences produced by different factors are different. Finally, from the perspective of improving China's carbon stock, combined with the conclusion through the analysis of the influencing factors, suggestions are put forward such as further opening to the outside world, expanding diversified export markets, improving the export structure of forest products and leading the global environmental governance.

**Keywords:** forest products trade; the gravitational model; carbon flow; the stock-change approach; the atmospheric-flow approach; the production approach

(收稿日期: 2019-08-13; 责任编辑: 沈秀)