

# 中国环境产品进出口贸易对碳排放的影响

毛熙彦<sup>1</sup>, 贺灿飞<sup>2</sup>, 王佩玉<sup>1</sup>, 许蕊<sup>1</sup>, 胡醒木子<sup>1</sup>, 贺舒琪<sup>2</sup>

(1. 南京大学地理与海洋科学学院, 南京 210023; 2. 北京大学城市与环境学院, 北京 100871)

**摘要:** 环境产品贸易为应对全球环境变化的国际合作提供了新途径。中国在可再生能源设备等方面具有优势, 环境产品贸易有利于落实碳达峰与碳中和目标。分析中国 1996—2019 年环境产品进出口规模、产品结构与贸易网络结构的变化, 应用 LMDI 方法将碳排放分解为排放强度、能源效率、经济水平和人口规模四个分量, 借助 ARDL-ECM 模型验证环境产品贸易与碳排放的协整关系及长短期效应。结果表明: (1) 中国环境产品贸易对碳排放的影响表现为短期促进作用和长期抑制作用。(2) 环境产品贸易主要通过促进能源效率的碳减排效应、抑制经济增长的碳排放效应而推动碳减排。(3) 贸易产品专业化短期有利于碳减排, 但从长期看多元化更有利。贸易影响力提升短期对碳减排有利, 但对进口的长期依赖不利于碳减排。(4) 碳减排不只靠能源相关产品, 非能源相关产品贸易同样能促进经济提质增效而推动碳减排。

**关键词:** 碳达峰; 贸易自由化; 环境产品; ARDL 模型; 社会网络分析

环境产品是指用于测量、防治、控制、缓解和修复各类环境问题的产品<sup>[1]</sup>。世界贸易组织 (WTO) 2001 年多哈回合谈判在议程中将环境产品单列, 试图通过减少关税与非关税贸易壁垒推动环境产品贸易自由化, 扩大环境技术的传播范围, 鼓励各国家和地区积极发展环保产业, 提升发展中国家和地区应对气候变化、改善环境问题的能力<sup>[2,3]</sup>。自此, 环境产品贸易自由化成为全球协调贸易与环境关系的新增长点, 也为应对全球气候与环境变化的国际合作提供了新抓手。

尽管国际贸易在全球碳减排过程中的作用已经是现有研究关注的焦点, 但是相关研究更侧重于对国际贸易整体格局的分析, 以及对传统行业和能源行业的评估<sup>[4]</sup>。一方面, 大量研究借助经典的“规模—结构—技术”分析框架考察贸易与碳排放的关系, 关注贸易促进下的经济增长是否有助于碳减排, 以及通过何种方式作用于碳减排<sup>[5-7]</sup>, 致力于理解国际贸易对于全球整体、局部国家和地区, 甚至于一国内部碳排放的差异化影响<sup>[8,9]</sup>。另一方面, 研究同样聚焦于国际贸易引发的隐含碳流动, 即由于生产与消费空间分离而产生的碳排放转移。通过测算隐含碳流动, 考察国际劳动分工如何改变了不同地理尺度下的碳排放格局<sup>[10]</sup>, 环境负担如何伴随国际贸易过程在各国家和地区之间转嫁<sup>[11]</sup>, 各国家和地区如何在开放条件下平衡经济收益与环境效益之间的关系<sup>[12]</sup>。尤其是发展中国家, 是否在参与国际贸易过程中承担了更多的碳排放责任<sup>[13,14]</sup>, 是否在与发达国家的贸易过程中形成了“污染避难所”效应<sup>[15,16]</sup>, 是否能够通过经济转型应对隐

收稿日期: 2021-07-12; 修订日期: 2021-09-09

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41731278, 41801104); 中央高校基本科研业务费专项资金 (020914380086)

作者简介: 毛熙彦 (1987-), 男, 福建厦门人, 博士, 副教授, 主要从事环境经济地理、全球化与区域发展研究。

E-mail: mxy@nju.edu.cn

通讯作者: 贺灿飞 (1972-), 男, 江西永新人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事经济地理、产业与区域经济发展研究。E-mail: hecanfei@urban.pku.edu.cn

含碳排放的增加<sup>[17]</sup>,也是现有研究关注颇多且未有共识的问题。然而,伴随着一系列环境相关新兴行业的发展,现有研究需要进一步延伸其视野,评估快速增长的环境产品与服务贸易如何发挥作用。

理论上讲,环境产品贸易包含了末端治理与环境友好产品,有助于提升全球各国家和地区应对气候变化的能力,促进温室气体减排。首先,环境产品贸易清单包含了大量可再生能源相关产品。以APEC清单(2012年)为例,可再生能源所涉及产品数量占比达27.8%,在各类产品中占比最高。可再生能源的推广与应用将直接作用于温室气体减排。其次,环境产品有助于改进生产设备、优化生产流程、加强控制能力,提升生产环节的资源与能源利用效率<sup>[18]</sup>。贸易自由化将促进环境产品的应用,进而促进生产过程节能减排。第三,环境产品贸易有利于推动贸易国环保产业发展(特别是出口国),拉动经济发展的同时提升环境绩效,为发展绿色经济提供助力<sup>[19]</sup>。

除了积极的一面,环境产品贸易的影响仍存在不确定性<sup>[20]</sup>。首先,由于环保行业相对较高的资金、技术门槛,以及行业自身存在的公益属性,环境产品贸易的资源环境效应更可能表现为短期不确定性和长期收益。短期内的困难和不确定性则可能制约发展中国家参与环境产品贸易的意愿<sup>[21]</sup>。其次,贸易伙伴国在环境产品贸易过程当中的地位并不对等,不同国家从贸易过程中获益存在差异<sup>[22]</sup>。这极易造成贸易收益尽归发达国家<sup>[23]</sup>,而发展中国家并不一定能够获得环境收益<sup>[24]</sup>。这一方面可能削弱发展中国家参与环境产品贸易的动力,另一方面也可能激励发达国家进一步构筑绿色贸易壁垒。由此可见,环境产品贸易是否有利于碳减排并非定数。一国参与环境产品贸易的程度,在全球贸易网络中的地位,以及长期与短期的效应差异,都可能左右环境产品贸易的碳排放效应。

自2001年加入WTO以来,中国在全球贸易网络中的地位大幅提升,为发展环境产品贸易奠定了良好基础。伴随着国家可持续发展战略的演进,生态文明建设被置于突出地位。环保产业发展和环境产品贸易开始提质增速,中国自2010年开始成为全球环境产品贸易大国,贸易总量和增速均处于全球前列。2020年9月,中国提出了二氧化碳排放力争2030年前达到峰值,努力争取2060年前实现碳中和的目标。碳达峰、碳中和目标的提出对于传统产业的转型提出了更高要求,但也为新兴产业的发展创造了机遇。如何能够让快速增长的环境产品贸易成为落实碳达峰、碳中和目标的助力?这当是中国落实碳达峰、碳中和目标的题中之义。

基于此,本文旨在剖析中国环境产品进出口的特征及其对碳排放的影响。首先,基于社会网络分析等方法,刻画中国环境产品进出口的规模、产品结构和贸易网络结构特征,揭示中国环境产品进出口贸易的发展趋势及其在全球贸易网络中的地位变化。其次,综合应用LMDI分解法将中国人为碳排放变化进一步分解为排放强度、能源效率、经济发展和人口动态四个因素的贡献,以便于检验环境产品进出口贸易如何影响碳排放变化。最后,借助计量建模检验中国环境产品进出口对碳排放的影响。如上所述,该影响可能存在短期与长期之分,故研究选择ARDL-ECM模型开展分析。在基准回归的基础上,进一步区分能源类和非能源类环境产品开展分组回归,考察其对排放强度、能源效率、经济发展和人口动态碳排放效应的影响差异,从而揭示当前中国环境产品进出口对碳排放的影响机制。研究有望为深入推进环境产品贸易、助力碳达峰与碳中和目标实现提供科学支撑。

## 1 研究方法与数据来源

### 1.1 中国环境产品进出口特征的测度

本文从贸易规模、产品结构和贸易网络结构三个方面刻画中国环境产品进出口特征。其中, 贸易规模使用进出口贸易额进行测量, 产品结构使用赫芬达尔系数测量中国进出口环境产品的多样化程度, 借鉴 Al-Marhubi<sup>[25]</sup>采用的标准化赫芬达尔系数, 计算公式为:

$$H_t = \frac{\sqrt{\sum_{j=1}^n \left( \frac{x_{jt}}{x_t} \right)^2} - \sqrt{\frac{1}{n}}}{1 - \sqrt{\frac{1}{n}}} \quad (1)$$

式中:  $j$  代表中国进口 (或出口) 环境产品的种类 (种), 以 6 位数层面的 HS 编码表示;  $t$  代表年份;  $x$  为环境产品的进口 (或出口) 贸易额;  $n$  代表当年进口 (或出口) 环境产品种类数量 (种);  $H$  为中国进口 (或出口) 环境产品的标准化赫芬达尔系数, 反映产品结构的集中程度。 $H$  的取值范围为  $[0, 1]$ , 取值越小, 反映产品结构越分散, 多样化程度越高。

贸易网络结构的测量借助社会网络分析方法, 基于全球环境产品贸易流量构成的贸易网络, 测算中国在贸易网络中的权威度指数 ( $A$ ) 和特征向量中心度 ( $EC$ ), 反映中国在全球环境产品贸易网络中的相对地位。其中,  $A$  通过测算网络中一个节点的入度占有所有节点入度之和的比例, 反映该节点在网络中的影响力<sup>[26]</sup>, 计算公式如下:

$$A_i = \frac{v_i}{\sum_{i=1}^n v_i} \quad (2)$$

式中:  $i$  表示全球环境产品贸易网络中的国家和地区;  $v_i$  表示与  $i$  国家发生环境产品贸易联系的国家和地区数量 (个), 即为贸易网络中节点的入度;  $n$  为参与全球环境产品贸易的国家和地区数量 (个);  $A_i$  反映了  $i$  国家或地区在全球环境产品贸易网络中的影响力, 取值范围为  $[0, 1]$ , 值越大, 影响力越高。

相较之下, 特征向量中心度不仅仅通过所联系节点数量来考察一个节点的影响力, 而且通过所联系节点的重要性反映一个节点自身的重要性。在特征向量中心度的刻画下, 一个节点与少量重要节点联系所具有的影响力可能大于与大量不重要节点联系所具有的影响力<sup>[27]</sup>, 计算公式如下:

$$EC_i = c \sum_{j=1}^n a_{ij} \times EC_j \quad (3)$$

式中:  $i$  和  $j$  表示全球环境产品贸易网络中的国家和地区, 即网络节点;  $a$  代表两地之间的贸易量;  $c$  为比例常数;  $EC$  即为特征向量中心度,  $EC$  越大, 节点在贸易网络中的影响力越大。可将  $EC$  写为  $EC = [ec_1, ec_2, ec_3, \dots, ec_n]^T$ , 按照如下公式进行迭代计算:

$$EC_p = c \times R \times EC_{p-1}, p = 1, 2, \dots \quad (4)$$

式中:  $R$  为网络节点的邻接矩阵;  $p$  代表迭代次数; 常数  $c = \lambda^{-1}$ ;  $\lambda$  为邻接矩阵  $R$  的本征值。迭代结束条件为归一化的  $EC'_p = EC_{p-1}$ , 即达到稳态。

### 1.2 碳排放的分解

本文首先借助 Kaya 恒等式的思路建立碳排放与人为活动之间的联系<sup>[28]</sup>, 计算公

式为:

$$C_t = \frac{C_t}{E_t} \times \frac{E_t}{GDP_t} \times \frac{GDP_t}{POP_t} \times POP_t = I_t \times S_t \times Y_t \times P_t \quad (5)$$

式中:  $t$  代表年份;  $C$  代表碳排放量 (tce);  $E$  代表能源消费量;  $GDP$  代表国内生产总值;  $POP$  代表人口总量;  $I$  代表排放强度;  $S$  代表能源效率;  $Y$  代表经济水平;  $P$  代表人口规模。据此, 可进一步借助对数平均权重迪式分解法 (LMDI) 对上式进行分解:

$$\Delta C = C_{t_2} - C_{t_1} = \Delta C_I + \Delta C_S + \Delta C_Y + \Delta C_P \quad (6)$$

式中:  $t_1$  和  $t_2$  代表测算碳排放变化的基期与末期。为实现此分解, 不妨假设各分量的权重  $W$  如下式:

$$W = (C_{t_2} - C_{t_1}) \times \left( \ln \frac{C_{t_2}}{C_{t_1}} \right)^{-1} = (C_{t_2} - C_{t_1}) / (\ln C_{t_2} - \ln C_{t_1}) \quad (7)$$

分解结果则可写为:

$$\Delta C_I = W \times \ln(I_{t_2}/I_{t_1}), \Delta C_S = W \times \ln(S_{t_2}/S_{t_1}), \Delta C_Y = W \times \ln(Y_{t_2}/Y_{t_1}), \Delta C_P = W \times \ln(P_{t_2}/P_{t_1}) \quad (8)$$

根据式 (7) 和式 (8), 可以将两期之间的碳排放变化分解为排放强度、能源效率、经济水平、人口规模变化而引致的碳排放变化。

### 1.3 环境产品进出口对碳排放的影响检验

为考察环境产品进出口对碳排放的短期和长期影响, 应用自回归分布滞后及其误差修正模型 (ARDL-ECM) 检验中国环境产品进出口与碳排放变化之间的关系。基本思路为: (1) 对变量进行单位根检验, 确保变量不超过一阶单整; (2) 应用 Pesaran 边界检验方法判断变量之间是否存在长期稳定关系; (3) 在变量协整的前提下, 应用误差修正模型估计变量间长期和短期相关系数。该方法在时间序列较短的情况下仍能得到稳健结果, 同时克服了非平稳序列可能导致的伪回归<sup>[29]</sup>, 在现有的能源与碳排放研究中已有较多应用<sup>[30-32]</sup>。

研究使用的基准回归方程如下:

$$\Delta y_t = \sum_{i=1}^{p-1} \alpha_i \Delta y_{t-i} + \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{q_j-1} \beta_{j,i} \Delta x_{j,t-i} + \gamma \left( y_{t-1} - \theta_j \sum_{j=1}^{q_j} x_{j,t-1} \right) + \varepsilon_t + \delta \quad (9)$$

式中:  $\Delta y$  表示被解释变量, 包括了碳排放变化量  $C$  及其分解分量  $C_I$ 、 $C_S$ 、 $C_Y$ 、 $C_P$ ;  $\Delta x$  表示解释变量, 包括了环境产品进出口特征相关的三个变量, 进口 (或出口) 总额  $TV$ 、进口 (或出口) 的产品结构  $H$ , 以及中国在全球环境产品贸易网络中的影响力  $A$  和  $EC$ ;  $p$  和  $q$  分别代表被解释变量和解释变量的滞后期数;  $\alpha$ 、 $\beta$  体现短期效应,  $\beta$  反映环境产品进出的作用;  $\theta$  体现长期效应, 反映两者之间的长期均衡关系;  $\varepsilon_t$  和  $\delta$  分别为误差项和常数项。

### 1.4 数据来源与处理

以 1996—2019 年为研究期, 较好地涵盖了中国对外贸易快速发展的 20 年, 也涵盖了环境产品贸易从起步到快速发展的阶段。环境产品贸易相关数据来源于联合国贸易统计数据库 (<https://comtrade.un.org/>), 共覆盖了 215 个国家和地区。由于各国家和地区对进出口产品的统计标准存在不一致, 进口国和出口国公布的贸易额可能存在差异, 即国际贸易数据存在不对称问题。考虑到进口国对进口产品征收关税, 数据相对准确, 故选择以进口国数据为准。此外, 为避免由于通货膨胀、价格波动等外部因素对时间序列



模型的参数估计产生影响,研究结合联合国贸易统计数据库的相关说明,借助汇率将贸易额折算为1996年美元不变价用于回归分析。

环境产品的定义和分类并无统一标准,主要依赖环境产品清单进行认定。国际上比较有影响力的环境产品清单主要包括APEC清单(1998年)、OECD清单、WTO清单和APEC清单(2012年)。其中,APEC清单(1998)年包含109个环境产品(6位数HS编码,下同),划分为热/能管理、可再生能源、空气污染控制等十大类;OECD清单包含161个环境产品,划分为污染管理、清洁技术和产品、资源管理三大类;WTO清单为全球各经济体自下而上汇总后,经压缩成包含153个环境产品的清单,划分为空气污染控制、可再生能源、环境技术等五个部分;APEC清单(2012年)是全球第一个实质性用于推动环境产品贸易自由化的清单,适用于APEC各经济体,明确要求其降低清单所列产品关税,但也正因为此,APEC清单(2012年)仅包含54个环境产品。从研究角度出发,OECD工作论文对各类清单进行比较分析之后,筛选出一份可供研究使用的环境产品清单,所含环境产品数量较多,共计246种<sup>[3]</sup>。就本文而言,这样一份口径相对宽松的清单能够较好地评估环境产品贸易自由化所具有的潜力,为此,研究选择使用此清单作为产品认定依据,并进一步将其中热量和能源管理类(HEM)、清洁或资源高效的技术和产品(CRE)、可再生能源产品(REP)三类划分为能源相关产品,其他则划分为非能源相关产品,用于分组回归。

碳排放数据来源于国际能源署(<https://www.ica.org/>)。由于涉及贸易分析,本文以关境范围为依据,故碳排放数据暂不考虑港澳台地区。GDP、人口、能源消费数据来源于历年《中国统计年鉴》,亦暂不考虑港澳台地区。

## 2 结果分析

### 2.1 中国环境产品进出口的发展格局

#### 2.1.1 中国环境产品进出口的规模变化

1996—2019年,中国环境产品进出口贸易整体发展势头迅猛(图1)。其中,环境产品进口自1996年的 $1.21 \times 10^{10}$ 美元增长至2019年的 $1.20 \times 10^{11}$ 美元,年均增长率为10.49%。环境产品出口自1996年的 $8.79 \times 10^9$ 美元增长至2019年的 $2.61 \times 10^{11}$ 美元,年均增长率达15.89%。2000年之前,环境产品进口额高于出口额;自2000年起,中国环境产品出口额开始高于进口额;自2005年开始,环境产品贸易顺差规模逐渐增大。

从变化趋势看,中国环境产品进出口不同程度地表现出“S”型增长曲线,即经历快速增长阶段之后趋于平稳。具体而言,中国环境产品进口

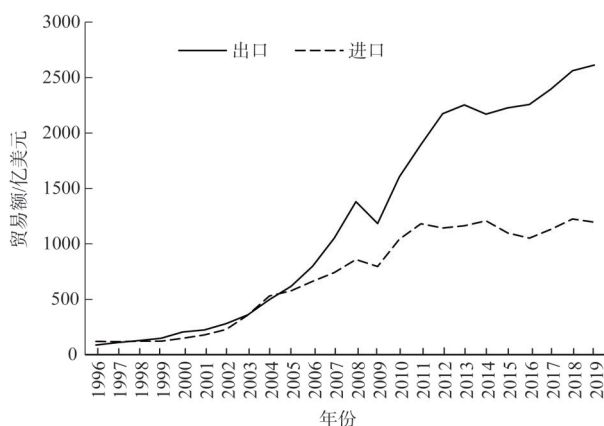
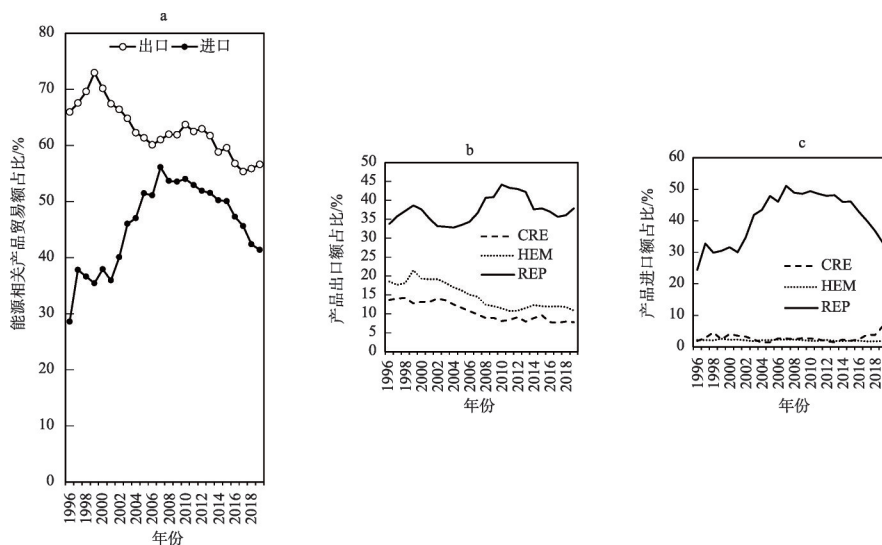


图1 1996—2019年中国环境产品进出口贸易规模变化  
Fig. 1 Changes in the scale of China's import and export trade of environmental goods from 1996 to 2019

在1996—2010年间经历了一轮快速增长期,特别是在2001—2007年间,进口额增长迅速。自2011年以来,环境产品进口整体较为平稳。相比之下,中国环境产品出口在2000—2010年间同样经历了快速增长,但其在2011—2019年间仍保持较快的增长势头,增长拐点尚未出现。

### 2.1.2 中国环境产品进出口的产品结构变化

就产品结构而言(图2),能源相关产品在中国进出口环境产品结构中占据主导地位。在1996—2019年间,能源相关产品出口最大占比可达72.96%,进口最大占比亦有56.12%。能源相关产品进口占比呈现出先增加、后减少的倒“U”型曲线形状。能源相关产品出口占比的变化亦类似,但其在研究期内增长时间较短,总体呈现出稳步下降的趋势(图2a)。整体而言,能源相关产品是中国环境产品贸易的竞争力所在<sup>[34]</sup>,对于提升能源效率、推动碳减排具有积极意义。但是,贸易结构过分集中于特定类型不利于环境产品贸易的可持续发展<sup>[35]</sup>。能源相关产品占比变化情况反映出中国环境产品贸易在维持其竞争优势基础上的多样化倾向。



注: REP表示可再生能源; HEM表示热量/能源管理; CRE表示清洁或资源高效的技术与产品。

图2 1996—2019年能源相关产品在中国环境产品贸易结构中的占比变化

Fig. 2 Changes in the proportion of energy-related products in China's environmental goods trade structure from 1996 to 2019

对此,标准化赫芬达尔系数的测算结果进一步揭示了这一趋势(图3)。1996—2019年间,中国进出口环境产品的标准化赫芬达尔系数整体呈现出下降趋势,产品结构趋于多元化。此外,能源相关产品的标准化赫芬达尔系数整体高于非能源相关产品。作为中国环境产品贸易的优势领域,能源相关产品的贸易结构较为集中在特定产品,尤其是可再生能源设备等领域(图2b、图2c)。相较之下,非能源相关产品的进出口产品结构较为分散多元。由于能源相关产品的占比较大,整体变化曲线与能源相关产品的变化曲线更为相似。

值得注意的是,2008—2014年为全球经济经历美国次贷危机和欧债危机引发的衰退,环境产品出口结构发生比较明显的改变,从相对多元重新转向相对集中,特别是在具有竞争优势的能源相关产品,其出口产品的多样化水平显著下降。相较之下,环境产

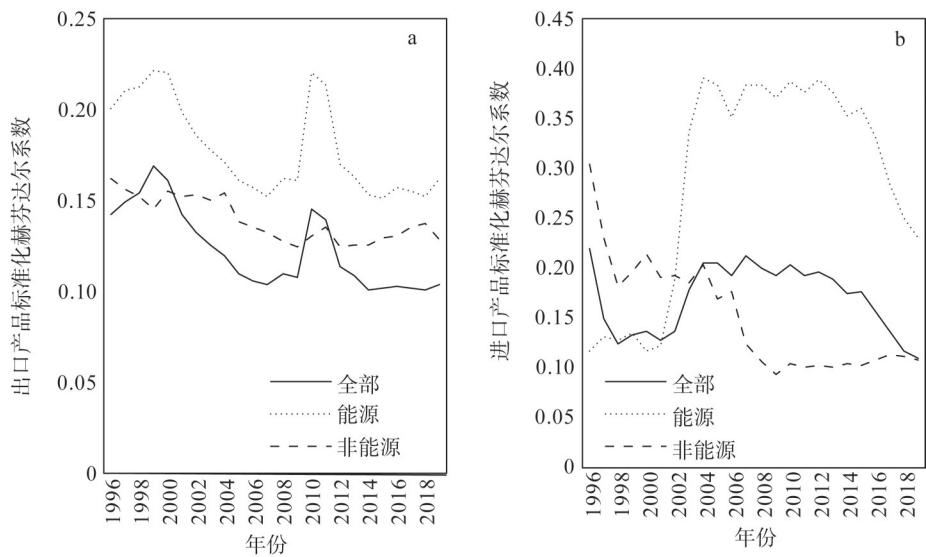


图3 1996—2019年中国进出口环境产品结构的标准化赫芬达尔系数

Fig. 3 The standardized Herfindahl coefficient of the structure of China's import and export trade of environmental goods from 1996 to 2019

品进口则表现出差异化的趋势。1996—2000年间，中国环境产品贸易发展初期，环境产品进口的多样化水平持续提升，产品集中度表现出持续下降趋势。2001年中国成为世界贸易组织成员，恰逢多哈回合谈判加速推动全球环境产品贸易自由化进程，中国进口环境产品结构发生较大变化，进口产品大幅向具有优势的能源相关产品集中。相比之下，非能源产品的多样化水平则稳步提升。

2.1.3 中国环境产品进出口的地理格局变化

1996—2019年，中国环境产品贸易伙伴国数量从173个增加至205个，中国在全球环境产品贸易网络中的度中心性增长了18.5%。对比1996年和2019年的全球环境产品贸易网络格局（图4），在环境产品贸易自由化兴起之前，中国环境产品对外贸易流主要集中于中美、中德、中韩、中日之间，最大贸易流量为31亿美元。如今，中国环境产品进出口已形成层次清晰、覆盖广泛、结构复杂的贸易网络，主要联系方向包括北美、欧洲、东亚和东南亚各国。

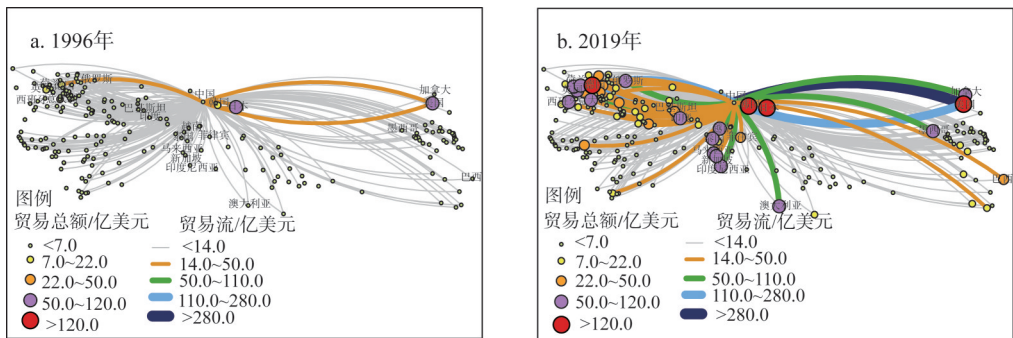


图4 中国环境产品进出口的贸易网络格局

Fig. 4 Trade network structure of China's import and export of environmental goods

对比两期网络格局，美国、德国、日本、韩国是中国稳定的、主要的环境产品贸易伙伴国。但近年来，中国环境产品进出口地理格局呈现出明显的多元化特征（表1）。随着东南亚地区制造业的快速发展，泰国、马来西亚、新加坡等国家已成为中国进口环境产品的新兴来源。与此同时，墨西哥、印度、越南、印度尼西亚、泰国也发展成为中国出口环境产品的主要目的国。

表1 1996年和2019年中国环境产品进出口额占比前十位国家

Table 1 Top 10 countries in terms of proportion of import and export of environmental goods trade in China in 1996 and 2019 (%)

排名	进口贸易额占比				出口贸易额占比			
	1996年		2019年		1996年		2019年	
1	日本	31.88	日本	23.07	美国	35.33	美国	17.14
2	美国	19.44	德国	16.79	日本	17.70	日本	7.03
3	德国	13.08	韩国	14.26	德国	6.99	德国	5.46
4	韩国	6.82	美国	12.30	法国	3.14	韩国	4.20
5	意大利	5.76	泰国	2.90	韩国	2.84	墨西哥	4.10
6	法国	3.53	马来西亚	2.89	加拿大	2.26	越南	3.46
7	英国	3.04	新加坡	2.52	意大利	2.12	印度	3.20
8	新加坡	2.33	意大利	2.38	英国	1.93	澳大利亚	2.95
9	瑞士	1.92	法国	2.09	新加坡	1.91	印度尼西亚	2.63
10	比利时	1.40	英国	1.99	澳大利亚	1.91	泰国	2.45

社会网络分析结果显示，中国参与环境产品贸易的影响力整体呈现上升趋势。对比权威度和特征向量中心度两个指标，权威度更多刻画的是中国在全球环境产品贸易网络中的影响力，而特征向量中心度更多体现的是中国环境产品对外贸易网络的整体影响力。具体而言，权威度指标在1996—2019年之间存在一定程度的波动，与中国环境产品市场发育状况相契合（图5）。在2001年之前，国内环保产业的发展仍处于初创阶段，对环境产品的需求相对较小，权威度呈现出下滑趋势。2001—2007年，得益于中国加入世界贸易组织之后进出口快速增长，权威度指数呈现出快速增长。2008年全球经济危机和2012年全球经济的二次探底，对全球贸易环境产生了较大影响，中国在此期间遭受到的反倾销、反补贴调查有所增多，例如2012年欧盟对中国光伏产业发起的“双反”调查等<sup>[36]</sup>，权威度在此期间呈现出下降趋势。此后，权威度伴随着经济复苏表现出一定回升。

特征向量中心度的变化则呈现出两阶段特征。1996—2010年间，特征向量中心度呈现出快速增长态势，与中国环境产品对外贸易网络的快速扩

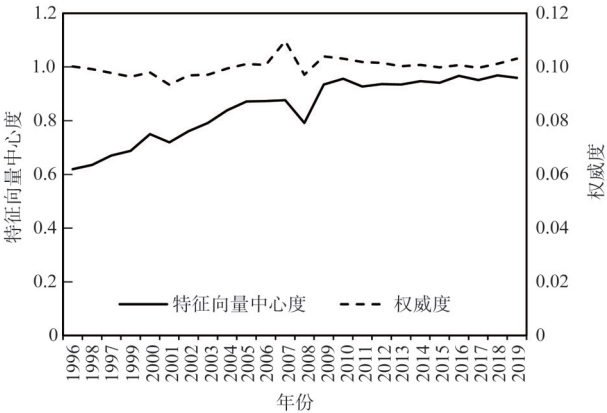


图5 中国在全球环境产品贸易网络中的影响力变化

Fig. 5 China's changing influence in global trade networks for environmental goods



张相契合。2011—2019年表现为稳中有进的变化特征，一方面环境产品对外贸易网络的大格局已相对成形，涵盖了全球主要贸易大国，决定了特征向量中心度的平稳态势；另一方面，越来越多的发展中国家开始重视并参与环境产品贸易，影响力逐步提升。中国与发展中国家的环境产品贸易成为其影响力提升的新增长点，尤以中国与东盟国家、“一带一路”沿线国家之间的贸易为典型<sup>[34,37]</sup>。

2.2 中国环境产品进出口对碳排放的影响

2.2.1 中国碳排放增长及其效应分解

1996—2019年，全国能源碳排放量从 $2.87\times10^9$  t增至 $9.81\times10^9$  t，年均增速达5.49%。若以1996年为基期，历年碳排放变化累积效应及其分解结果如图6所示。结果表明，经济水平提升（即人均GDP增长）是碳排放增加的最主要来源，1996—2019年，全国GDP增长12.74倍，人均GDP增长10.92倍，成为当前碳排放增长的主要动因。相较之下，能源效率变化（即单位GDP能耗减少）为碳排放减少贡献较大。1996—2019年，全国单位GDP能耗从1.88 tce/万元下降到2019年的0.49 tce/万元，为碳减排做出了直接贡献。除此之外，人口规模增长同样将导致碳排放增加，但相比于经济水平提升的作用明显较小。排放强度的作用在正负之间波动，对碳排放的影响具有不确定性，但总体程度较小。

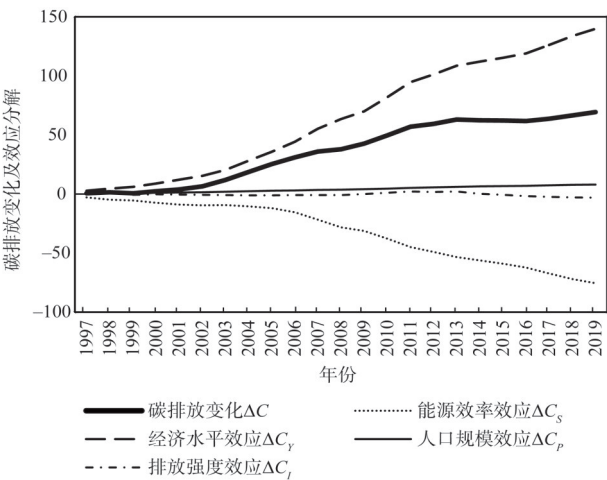


图6 1996—2019年碳排放总量变化及其效应分解  
Fig. 6 Change of total carbon emissions and its effect decomposition from 1996 to 2019

2.2.2 环境产品进出口与碳排放变化的关系

首先对碳排放变化及其分解分量（ $C$ 、 $C_I$ 、 $C_S$ 、 $C_Y$ 、 $C_P$ ）、中国环境产品进口额（ $TV_I$ ）和出口额（ $TV_E$ ）、中国进口环境产品结构（ $H_I$ ）和出口结构（ $H_E$ ）、中国在环境产品贸易网络中的影响力（ $A$ ）和中国环境产品对外贸易网络的影响力（ $EC$ ）等变量进行单位根检验，结果见表2，所有变量都为一阶单整，符合使用ARDL-ECM模型的前提条件。

其次，区分出口和进口的作用差异，分开进行实证检验。为避免共线性问题，分别

表2 变量单位根检验结果  
Table 2 Unit root test results of variables

	趋势	$C$	$C_I$	$C_S$	$C_Y$	$C_P$	$TV_I$	$TV_E$	$H_I$	$H_E$	$A$	$EC$
水平值	否	0.23	0.13	0.32	0.26	0.55	0.69	0.91	0.57	0.63	0.08	0.37
	是	0.55	0.52	0.34	0.56	0.78	0.94	0.68	0.86	0.56	0.04	0.35
一阶差分	否	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	是	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
结论		I(1)	I(1)	I(1)	I(1)	I(1)	I(1)	I(1)	I(1)	I(1)	I(1)	I(1)

注：表中为检验统计量的 $p$ 值，I(1)表示一阶单整。

测算了进/出口特征变量之间的相关关系，结果发现 $EC$ 与 $TV$ 、 $H$ 等指标之间均存在较高的相关关系，考虑到 $A$ 和 $EC$ 均能够反映中国在全球环境产品贸易中的地位，且 $A$ 更多反映自身变化，故在模型分析中选择 $A$ 作为贸易影响力指征，不将 $EC$ 纳入模型。

再次，借助Pesaran边界检验方法，分别对进口和出口的 $C$ 、 $TV$ 、 $H$ 和 $A$ 进行协整检验。结果显示（表3），环境产品进口特征与碳排放变化、能源效率碳效应、经济水平碳效应之间存在协整关系，环境产品出口特征与碳排放变化、排放强度碳效应、经济水平碳效应之间存在协整关系。

表3 边界检验结果  
Table 3 Boundary test results

关系检验	滞后阶数	$F$ 统计量	协整关系
$F(C TV_i, H_i, A_i)$	ARDL(2, 2, 0, 0)	8.679***	存在
$F(C TV_{E_i}, H_{E_i}, A_{E_i})$	ARDL(1, 2, 2, 1)	12.428***	存在
$F(C_i TV_i, H_i, A_i)$	ARDL(2, 1, 0, 0)	4.437	不存在
$F(C_i TV_{E_i}, H_{E_i}, A_{E_i})$	ARDL(1, 2, 2, 0)	11.281***	存在
$F(C_{S_i} TV_i, H_i, A_i)$	ARDL(1, 2, 3, 1)	12.912***	存在
$F(C_{S_i} TV_{E_i}, H_{E_i}, A_{E_i})$	ARDL(1, 1, 1, 1)	2.529	无法判断
$F(C_{Y_i} TV_i, H_i, A_i)$	ARDL(1, 1, 2, 1)	6.024***	存在
$F(C_{Y_i} TV_{E_i}, H_{E_i}, A_{E_i})$	ARDL(1, 2, 1, 1)	5.705**	存在
$F(C_{P_i} TV_i, H_i, A_i)$	ARDL(1, 0, 0, 0)	1.725	不存在
$F(C_{P_i} TV_{E_i}, H_{E_i}, A_{E_i})$	ARDL(1, 0, 1, 0)	2.555	不存在

注：\*\*\*表示显著性水平为1%，\*\*表示显著性水平为5%，下同。

最后，对存在协整关系的变量进行参数估计，结果见表4。从模型1和模型4的参数估计结果可以看出，环境产品进口和出口对碳排放变化的长期系数均显著为负，短期系数则显著为正，表明中国环境产品进口和出口在短期之内造成了碳排放的波动。但是从长期看二者对于碳减排均将发挥积极作用，中国环境产品贸易的持续发展势必将有助于碳达峰目标的实现。随着中国出口环境产品结构的多样化水平提升，以及中国在全球环境产品贸易网络中的地位提升，环境产品出口对碳排放增加同时存在显著促进作用。

尽管环境产品的进口与出口均对碳减排具有积极作用，但模型2和模型5反映出环境产品进出口影响碳减排的机制差异。模型2表明环境产品进口有助于降低由于能源效率（即单位GDP能耗）产生的碳排放。一方面，环境产品进口额的增长能够在短期抑制能源效率导致的碳排放增长；另一方面，环境产品进口的多元化能够在短期抑制能源效率导致的碳排放增加，但从长期层面看逐步趋向于专业化的进口则对于碳减排更为有利。模型5则表明环境产品出口有助于降低由于排放强度（即单位能耗的碳排放）产生的碳排放。尽管环境产品出口增长在短期可能造成排放强度碳效应增强，但从长期来看，环境产品出口额的增长有助于提升能源效率，减少排放强度造成的碳排放增加。

此外，模型3和模型6的系数估计结果表明，中国环境产品进口与出口的增长在短期内促进了经济增长（即人均GDP提升）造成的碳排放增加，但随着中国在全球环境产品贸易网络中的地位提升，环境产品进出口在一定程度上也能抑制经济增长造成的碳排放增加。值得注意的是，环境产品进出口对于经济增长引致的碳排放增加并不存在显著的长期效应，这也进一步论证了环境产品贸易是平衡“发展—环境”关系的有效途径。环

表4 中国环境产品进出口对碳排放的长期和短期作用

Table 4 Long-term and short-term effects of import and export trade of environmental goods on carbon emissions in China

变量	模型1	模型2	模型3	模型4	模型5	模型6
	C(2, 2, 0, 0)	Cs(1, 2, 3, 1)	Cs(1, 1, 2, 1)	C(1, 2, 2, 1)	Cs(1, 2, 2, 0)	Cs(1, 2, 1, 1)
长期系数						
$TV_I$	-0.016**	0.014	-0.009			
$H_I$	-0.144	-12.771**	8.386			
$A_I$	5.595	-3.193	3.783			
$TV_E$				-0.009***	-0.002**	-0.005
$H_E$				7.360**	4.034**	0.487
$A_E$				7.081***	1.517***	5.236*
短期系数						
$\Delta TV_{It}$	0.025***	-0.011**	0.022***			
$\Delta TV_{It-1}$	0.012***	-0.007				
$\Delta H_{It}$		11.852***	-2.356			
$\Delta H_{It-1}$		8.415***	-4.716*			
$\Delta H_{It-2}$		9.553***				
$\Delta A_{It}$		3.135**	-2.504*			
$\Delta TV_{Et}$				0.006*	0.002	0.009**
$\Delta TV_{Et-1}$				0.018***	0.010***	0.007
$\Delta H_{Et}$				6.001*	4.083*	6.905*
$\Delta H_{Et-1}$				-8.855**	-4.439*	
$\Delta A_{Et}$				-2.215		-2.700*
$\Delta A_{Et-1}$						
$ECM_{t-1}$	-0.459**	-0.712**	-0.530**	-0.994***	-1.279***	-0.700***
$Adj-R^2$	0.724	0.860	0.877	0.767	0.797	0.762

注：\*表示显著性水平为10%，下同。

境产品贸易有望在推动中国经济增长的同时不引致更大的碳排放增量。

2.2.3 不同类型环境产品进出口与碳排放变化的关系

进一步将环境产品分为能源相关与非能源相关两类，并进行分组分析。表5展示了能源相关环境产品的系数估计结果。模型7~模型9考察能源相关环境产品进口与碳排放关系，模型10~模型11考察能源相关环境产品出口与碳排放关系。

模型7和模型10的系数估计结果表明，能源相关环境产品进口与出口，能够在长期层面促进碳减排。模型8的结果表明，能源相关环境产品进口规模的增长、产品多元化水平的提升能够从长期层面抑制能源效率的碳排放效应，侧面反映出能源相关环境产品的贸易有助于降低单位GDP的能耗，进而促进碳减排。相比之下，模型11的结果表明，能源相关环境产品出口规模增长、产品多元化水平的提升能够从长期层面抑制排放强度的碳排放效应，体现出本土能源相关环境产业的发展对于提升能源效率的积极作用。

模型9的结果表明，从短期看，更为专业化的能源相关环境产品进口有助于抑制经济增长引致的碳排放增加。但是，能源相关环境产品进口多样化水平的提升有助于从长期层面抑制经济增长的碳排放效应。

表5 中国能源相关环境产品进出口对碳排放的长期和短期作用

Table 5 Long-term and short-term effects of China's import and export trade of energy-related environmental goods on carbon emissions

变量	模型7	模型8	模型9	模型10	模型11
	C(2, 2, 1, 2)	Cs(3, 3, 0, 3)	Ci(3, 3, 3, 0)	C(3, 2, 2, 3)	C(1, 2, 2, 1)
长期系数					
$TV_I$	-0.023 <sup>*</sup>	-0.034 <sup>***</sup>	0.013 <sup>**</sup>		
$H_I$	-0.331	1.895 <sup>***</sup>	2.652 <sup>**</sup>		
$A_I$	3.975	1.462	-2.336 <sup>**</sup>		
$TV_E$				-0.012 <sup>**</sup>	-0.004 <sup>**</sup>
$H_E$				5.495 <sup>**</sup>	3.615 <sup>**</sup>
$A_E$				4.730 <sup>**</sup>	1.903 <sup>**</sup>
短期系数					
$\Delta TV_{It}$	0.050 <sup>***</sup>	0.006	0.034 <sup>***</sup>		
$\Delta TV_{It-1}$	0.031 <sup>**</sup>	0.019	0.003		
$\Delta TV_{It-2}$		0.034 <sup>*</sup>	0.022 <sup>*</sup>		
$\Delta H_{It}$	1.263		-2.490 <sup>***</sup>		
$\Delta H_{It-1}$			-2.365 <sup>***</sup>		
$\Delta H_{It-2}$			-2.980 <sup>***</sup>		
$\Delta A_{It}$	-5.240 <sup>***</sup>	-3.034 <sup>**</sup>			
$\Delta A_{It-1}$	-1.937	-4.917 <sup>**</sup>			
$\Delta A_{It-2}$		-2.699 <sup>*</sup>			
$\Delta TV_{Et}$				0.032 <sup>**</sup>	0.004
$\Delta TV_{Et-1}$				0.005	0.010 <sup>***</sup>
$\Delta H_{Et}$				-8.000 <sup>*</sup>	1.016
$\Delta H_{Et-1}$				1.964	-2.814 <sup>*</sup>
$\Delta A_{Et}$				-9.567 <sup>***</sup>	-1.599 <sup>**</sup>
$\Delta A_{Et-1}$				-4.112 <sup>**</sup>	
$\Delta A_{Et-2}$				-2.346 <sup>*</sup>	
$ECM_{t-1}$	-0.597 <sup>**</sup>	-1.454 <sup>***</sup>	-1.519 <sup>***</sup>	-1.322 <sup>***</sup>	-1.216 <sup>***</sup>
$Adj-R^2$	0.751	0.779	0.943	0.890	0.729

表6展示了非能源相关环境产品的系数估计结果。模型12~模型14考察非能源相关环境产品进口与碳排放关系，模型15~模型17考察非能源相关环境产品出口与碳排放关系。模型12与模型15的结果表明，非能源相关环境产品的进口与出口规模扩张均能从长期层面促进碳减排。与能源相关产品不同的是，非能源相关产品的进口存在更为显著的短期效应，而非能源相关产品的出口影响则表现为长期效应。

模型13和模型16结果表明，非能源相关环境产品进口和出口均能够抑制能源效率的碳排放效应，得益于进口规模扩张与进出口结构多样化，侧面反映出环境产品进出口在提升经济效率、降低单位产出能耗方面的积极作用。模型14和模型17的结果表明，非能源相关环境产品出口规模扩张还能够抑制经济增长的碳排放效应，但进口则对于经济增长的碳排放效应具有促进作用。值得注意的是，中国在全球环境产品贸易网络中影响力的提升，仍将对碳排放增长具有促进作用，尤其表现在经济增长引发的碳排放增加。



表6 中国非能源相关环境产品进出口对碳排放的长期和短期作用  
Table 6 Long-term and short-term effects of import and export trade of non-energy-related environmental goods on carbon emissions in China

变量	模型12	模型13	模型14	模型15	模型16	模型17
	C(2, 3, 3, 2)	C <sub>s</sub> (2, 1, 0, 0)	C <sub>i</sub> (1, 0, 0, 3)	C(1, 0, 3, 0)	C <sub>s</sub> (2, 1, 1, 0)	C <sub>i</sub> (1, 1, 1, 1)
长期系数						
$TV_t$	-0.037 <sup>*</sup>	-0.013 <sup>***</sup>	0.048 <sup>**</sup>			
$H_t$	-1.220	13.163 <sup>***</sup>	-8.613 <sup>***</sup>			
$A_t$	4.077	8.050 <sup>***</sup>	17.473 <sup>**</sup>			
$TV_E$				-0.016 <sup>**</sup>	-0.004	-0.014 <sup>**</sup>
$H_E$				14.051	27.968 <sup>***</sup>	-8.324
$A_E$				4.663 <sup>**</sup>	1.699 <sup>*</sup>	3.714 <sup>**</sup>
短期系数						
$\Delta TV_{It}$	0.068 <sup>***</sup>	0.013				
$\Delta TV_{It-1}$	0.017 <sup>**</sup>	0.030 <sup>***</sup>				
$\Delta TV_{It-2}$	0.038 <sup>***</sup>					
$\Delta H_{It}$	3.386 <sup>*</sup>	-15.410 <sup>***</sup>				
$\Delta H_{It-1}$	1.482	-11.556 <sup>***</sup>				
$\Delta H_{It-2}$	-5.959 <sup>***</sup>	-7.109 <sup>***</sup>				
$\Delta A_{It}$	-6.100 <sup>**</sup>	-3.377	-13.138 <sup>**</sup>			
$\Delta A_{It-1}$	2.624 <sup>*</sup>		-8.828 <sup>**</sup>			
$\Delta A_{It-2}$			-3.754 <sup>*</sup>			
$\Delta TV_{Et}$					-0.029 <sup>***</sup>	0.040 <sup>***</sup>
$\Delta H_{Et}$				-1.017	-20.901 <sup>***</sup>	14.202 <sup>**</sup>
$\Delta H_{Et-1}$				-6.112		
$\Delta H_{Et-2}$				-13.989 <sup>*</sup>		
$\Delta A_{Et}$						-3.660 <sup>**</sup>
$ECM_{t-1}$	-0.635 <sup>***</sup>	-1.458 <sup>***</sup>	-0.760 <sup>***</sup>	-0.866 <sup>***</sup>	-0.854 <sup>***</sup>	-0.573 <sup>***</sup>
$Adj-R^2$	0.909	0.782	0.629	0.575	0.811	0.830

3 结论与启示

3.1 结论

环境产品贸易自由化为应对全球气候与环境变化的国际合作提供了有效途径。直观地看，环境产品贸易包含可再生能源设备、热/能管理设备等能源相关产品，贸易自由化有助于其推广与应用，能够促进碳减排，对落实碳达峰和碳中和目标具有积极意义。但是，在环境产品贸易实际发展过程中，各国家与地区参与环境产品贸易的诉求不同，方式各异，获益也存在区别。环境产品贸易并不必然产生积极的资源环境效应，其经济效益和环境效应存在时空差异。据此，本文关注中国快速发展的环境产品贸易是否有助于其碳减排相关目标，主要结论如下：

（1）环境产品贸易对碳排放的影响表现为短期不确定性和长期效益并存，即环境产品贸易短期内由于拉动经济增长而造成碳排放进一步增加。但从长期看，环境产品贸易发展有助于优化经济结构，提升能源效率，进而促进碳减排。这也侧面反映了环境产品

贸易通过技术创新与经济转型提升贸易经济体应对气候变化的能力,二者皆为长期过程。

(2) 中国环境产品贸易的发展主要通过促进能源效率的碳减排效应、抑制经济增长的碳排放效应,从而作用于碳减排。将碳排放分解为排放强度、能源效率、经济水平和人口规模四个效应分量。其中,显著影响中国碳排放变化的分量为经济水平的正效应和能源效率的负效应。实证结果表明,中国环境产品贸易特征主要与经济水平、能源效率两个效应存在协整关系,并且环境产品贸易发展显著地发挥了抑制正效应、促进负效应的作用,对碳减排产生积极影响。

(3) 除了贸易规模扩张,贸易产品结构与贸易网络结构同样影响其碳排放效应。从短期看,贸易产品专业化更有利于碳减排,但从长期看,需要多元化的贸易产品结构推动碳减排。中国在全球贸易网络中的地位提升在短期对碳减排有利,但是从长期看,进口贸易影响力的持续提升可能反而造成碳排放增加,非能源相关产品出口影响力的提升同样将促进碳排放增加。这也侧面反映出,环境产品贸易推动碳减排的实质在于其有助于促进能源与经济转型,实现经济效益和环境效益的统一。

(4) 环境产品贸易对碳排放的影响并非只来源于能源相关产品,非能源相关产品的贸易发展同样有助于促进经济提质增效,从而减少碳排放。能源相关产品的进口多元化能够进一步促进碳减排,抑制能源效率、经济增长的碳排放效应。相比之下,非能源相关产品的进出口多元化都能够促进碳减排,能够抑制能源效率的碳排放效应。

### 3.2 启示

“双碳”目标将对中国未来40年的工业化和城市化产生深远影响,生产和消费向着清洁、低碳方向转型是大势所趋,这一过程中势必产生对环境产品的需求。自多哈回合以来,环境产品贸易开始在全球范围内提速,中国环境产品的对外贸易逐渐兴起并快速发展,尤其是在可再生能源设备等领域具有贸易竞争优势,对于落实“双碳”目标具有促进作用。结合研究在贸易总量、贸易产品结构和贸易网络结构方面的发现,认为中国环境产品贸易在落实“双碳”目标方面的作用仍有较大探索空间:

(1) 积极探索“双循环”体系下的环境产业发展。一方面关注环境产品贸易自由化对于本土产业清洁、低碳转型的积极意义;另一方面,应进一步关注环境产品贸易自由化对于本土环境产业发展的促进作用。前者直接促进经济转型,后者将强化技术与服务保障。

(2) 积极探索环境产品贸易结构的多元化。当前中国环境产品的贸易竞争力更集中于可再生能源设备等领域,而且更多停留在环境产品的加工与制造环节,这在一定程度上造成了中国环境产品贸易的规模在不断扩大,但其产生的经济和环境效益将存在明显局限。为此,面向“双碳”目标的环境产品贸易,应当重视推进环境产品沿着价值链升级,在更多品类上具有国际竞争力。

(3) 积极参与环境产品贸易自由化相关的国际规则制定与多边谈判,警惕各类“绿色贸易壁垒”。环境产品贸易为平衡“发展—环境”关系提供了新路径。各国在环境产品清单制定过程中不可避免地存在“扬长避短”和“本土优先”的倾向,如中国光伏行业在过去十余年间所遭受的美国和欧盟反倾销、反补贴调查,对于行业发展产生了显著影响。要充分发挥环境产品对于“双碳”目标的积极作用,制度体系建设是关键,尤其是当前中国在全球环境产品贸易网络中地位不断提升的背景下。

## 参考文献(References):

- [1] OECD. Environmental goods and services: An assessment of the environment, economic and development benefits of further global trade liberalization. Paris: OECD, 2000.
- [2] BALINEAU G, DE MELO J. Removing barriers to trade on environmental goods: An appraisal. *World Trade Review*, 2013, 12(4): 693-718.
- [3] TAMINI L D, SORGHIO Z. Trade in environmental goods: Evidence from an analysis using elasticities of trade costs. *Environmental and Resource Economics*, 2018, 70: 53-75.
- [4] DONG D, AN H, HUANG S. The transfer of embodied carbon in copper international trade: An industry chain perspective. *Resources Policy*, 2017, 52: 173-180.
- [5] COPELAND B R, TAYLOR M S. Trade, growth, and the environment. *Journal of Economic Literature*, 2004, 42(3): 7-71.
- [6] ZHANG Y. Scale, technique and composition effects in trade-related carbon emissions in China. *Environmental and Resource Economics*, 2012, 51(3): 371-389.
- [7] 原媛, 席强敏, 李国平. 产业关联水平对碳排放演化的影响机理及效应研究: 基于欧盟27国投入产出数据的实证分析. *自然资源学报*, 2017, 32(5): 841-853. [YUAN Y, XI Q M, LI G P. The impact of industrial relevancy on regional carbon emission: Empirical analysis based on the input-output data of EU countries. *Journal of Natural Resources*, 2017, 32(5): 841-853.]
- [8] 吕天宇, 曾晨, 刘泽瑾, 等. 空间互动视角下CO<sub>2</sub>排放驱动因素及溢出效应: 基于全球98个国家的数据分析. *生态学报*, 2020, 40(24): 8974-8987. [LYU T Y, ZENG C, LIU Z J, et al. Driving factors and spillover effects of CO<sub>2</sub> emissions from the perspective of spatial interaction: A case study of 98 countries worldwide. *Acta Ecologica Sinica*, 2020, 40(24): 8974-8987.]
- [9] 徐博, 杨来科, 钱志权. 全球价值链分工地位对于碳排放水平的影响. *资源科学*, 2020, 42(3): 527-535. [XU B, YANG L K, QIAN Z Q. The impact of global value chain position on carbon emissions. *Resources Science*, 2020, 42(3): 527-535.]
- [10] 刘宏筵, 张济建, 张茜. 全球供应链视角下的中国碳排放责任与形象. *资源科学*, 2021, 43(4): 652-668. [LIU H D, ZHANG J J, ZHANG X. China's carbon emission responsibility and image from the perspective of global supply chain. *Resources Science*, 2021, 43(4): 652-668.]
- [11] 吴景辉, 张戈, 王耕. 能源富集区贸易隐含碳及隐含SO<sub>2</sub>排放转移: 以山西省为例. *自然资源学报*, 2020, 35(6): 1445-1459. [WU J H, ZHANG G, WANG G. Study on trade embodied carbon and embodied SO<sub>2</sub> emission transfer in energy enrichment areas: A case study of Shanxi province. *Journal of Natural Resources*, 2020, 35(6): 1445-1459.]
- [12] 刘竹, 孟靖, 邓铸, 等. 中美贸易中的隐含碳排放转移研究. *中国科学: 地球科学*. 2020, 50(11): 1633-1642. [LIU Z, MENG J, DENG Z, et al. Embodied carbon emissions in China-US trade. *Science China Earth Sciences*, 2020, 50(11): 1633-1642.]
- [13] 钟章奇, 姜磊, 何凌云, 等. 基于消费责任制的碳排放核算及全球环境压力. *地理学报*, 2018, 73(3): 442-459. [ZHONG Z Q, JIANG L, HE L Y, et al. Global carbon emissions and its environmental impact analysis based on a consumption accounting principle. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(3): 442-459.]
- [14] 余娟娟, 龚同. 全球碳转移网络的结构与影响因素分析. *中国人口·资源与环境*, 2020, 30(8): 21-30. [YU J J, GONG T. Analyzing the deconstruction and influencing factors of the global carbon transfer network. *China Population, Resources and Environment*. 2020, 30(8): 21-30.]
- [15] 李小平, 卢现祥. 国际贸易、污染产业转移和中国工业CO<sub>2</sub>排放. *经济研究*, 2010, (1): 15-26. [LI X P, LU X X. International trade, pollution industry transfer and Chinese industries CO<sub>2</sub> emissions. *Economic Research Journal*, 2021, (1): 15-26.]
- [16] 余东华, 张明志. “异质性难题”化解与碳排放EKC再检验: 基于门限回归的国别分组研究. *中国工业经济*, 2016, (7): 57-73. [YU D H, ZHANG M Z. Resolution of "the heterogeneity difficulty" and re-verification of the carbon emission EKC: Based on the country grouping test under the threshold regression. *China Industrial Economics*, 2016, (7): 57-73.]
- [17] QI T, WINCHESTER N, KARPLUS V J, et al. Will economic restructuring in China reduce trade-embodied CO<sub>2</sub> emissions?. *Energy Economics*, 2014, 42: 204-212.
- [18] YOO S H, KIM J S. Trade liberalization in environmental goods: Major issues and impacts. *Korea and the World Economy*, 2011, 12(3): 579-610.
- [19] MEALY P, TEYTELBOYM A. Economic complexity and the green economy. *Research Policy*, 2020, 103948, Doi: 10.1016/j.respol.2020.103948.

- [20] 龚清华, 张建民. 环境产品贸易自由化对进口国的效应分析. 经济经纬, 2014, 31(1): 73-78. [GONG Q H, ZHANG J M. The effects of trade liberalization in environmental goods in importing countries. Economic Survey, 2014, 31(1): 73-78.]
- [21] KIM J A. Opportunities and challenges in liberalizing the environmental goods and services market: The case of developing countries in Asia. Journal of World Trade, 2006, 40(3): 527-548.
- [22] HE Q, FANG H, WANG M, et al. Trade liberalization and trade performance of environmental goods: Evidence from Asia-Pacific economic cooperation members. Applied Economics, 2015, 47(29): 3021-3039.
- [23] VIKHLYAEV A. Environmental goods and services: Defining negotiations or negotiating definitions?. Journal of World Trade, 2004, 38(3): 93-122.
- [24] 温珺, 尤宏兵. 环境产品贸易自由化能改善发展中国家的环境质量吗?. 国际经贸探索, 2017, 33(12): 22-36. [WEN J, YOU H B. Effects of trade liberalization in EGs on environment: Empirical study based on panel data of developing economies. International Economics and Trade Research, 2017, 33(12): 22-36.]
- [25] AL-MARHUBI F. Export diversification and growth: An empirical investigation. Applied Economics Letters, 2000, 7(9): 559-562.
- [26] 喻依, 甘若依, 樊锁海, 等. 基于PageRank算法和HITS算法的期刊评价研究. 计算机科学, 2014, 41(6A): 110-113. [YU Y, GAN R Y, FAN S H, et al. Journal evaluation based on PageRank algorithm and HITS algorithm. Computer Science, 2014, 41(6A): 110-113.]
- [27] 饶悦, 沈丽珍, 汪侠. 基于大型科研基础设施共享的区域创新网络研究: 以山东省为例. 地理研究, 2021, 40(6): 1840-1856. [RAO Y, SHEN L Z, WANG X. Research on regional innovation network based on large-scale scientific research infrastructure sharing: Take Shandong as an example. Geographical Research, 2021, 40(6): 1840-1856.]
- [28] KAYA Y. Impact of carbon dioxide emission control on GNP growth: Interpretation of proposed scenarios. Paris: IPCC Energy and Industry Subgroup, Response Strategies Working Group, 1989.
- [29] 张国兴, 张培德, 修静, 等. 节能减排政策措施对产业结构调整与升级的有效性. 中国人口·资源与环境, 2018, 28(2): 123-133. [ZHANG G X, ZHANG P D, XIU J, et al. Are energy-saving and emission reduction policy measures effective for industrial structure restructuring and upgrading?. China Population, Resources and Environment, 2018, 28(2): 123-133.]
- [30] 陶长琪, 宋兴达. 我国CO<sub>2</sub>排放、能源消耗、经济增长和外贸依存度之间的关系: 基于ARDL模型的实证研究. 南方经济, 2010, (10): 49-60. [TAO C Q, SONG X D. A study on the relationship of CO<sub>2</sub> emissions, energy consumption, economic growth, and trade openness in China: Analysis based on ARDL model. South China Journal of Economics, 2010, (10): 49-60.]
- [31] JAYANTHAKUMARAN K, VERMA R, LIU Y. CO<sub>2</sub> emissions, energy consumption, trade and income: A comparative analysis of China and India. Energy Policy, 2012, 42: 450-460.
- [32] RAHMAN M M, KASHEM M A. Carbon emissions, energy consumption and industrial growth in Bangladesh: Empirical evidence from ARDL cointegration and Granger causality analysis. Energy Policy, 2017, 110: 600-608.
- [33] SAUVAGE J. The stringency of environmental regulations and trade in environmental goods. OECD Trade and Environment Working Papers, 2014/03.
- [34] 王艳华, 傅泽强, 邬娜, 等. 我国与“一带一路”沿线国家环境产品贸易竞争力比较分析. 生态经济, 2020, 36(6): 164-167. [WANG Y H, FU Z Q, WU N, et al. Analysis on the trade competitiveness of environmental goods between China and countries along the Belt and Road. Ecological Economy, 2020, 36(6): 164-167.]
- [35] 卫迎春, 张梅梅. 中国环境产品出口贸易影响因素的动态分析: 基于CMS模型测算. 国际商务研究, 2017, (1): 65-74. [WEI Y C, ZHANG M M. A dynamic analysis of influential factors of China's environmental products export: Based on constant market share model. International Business Research, 2017, (1): 65-74.]
- [36] 朱向东, 贺灿飞, 朱晟君. 贸易保护如何改变中国光伏出口目的国格局?. 地理研究, 2019, 38(11): 2565-2577. [ZHU X D, HE C F, ZHU S J. How does protectionism change the pattern of the destinations of Chinese photovoltaic export?. Geographical Research, 2019, 38(11): 2565-2577.]
- [37] 黄成亮. 中国与东盟国家环境产品贸易: 挑战与对策. 对外经贸实务, 2019, (3): 43-45. [HUANG C L. Environmental goods trade between China and ASEAN: Challenges and strategies. Practice in Foreign Economic Relations and Trade, 2019, (3): 43-45.]



## Effects of China's trade in environmental goods on carbon emissions

MAO Xi-yan<sup>1</sup>, HE Can-fei<sup>2</sup>, WANG Pei-yu<sup>1</sup>, XU Rui<sup>1</sup>, HU Xing-mu-zi<sup>1</sup>, HE Shu-qi<sup>2</sup>

(1. School of Geography and Ocean Science, Nanjing University, Nanjing 210023, China;

2. College of Urban and Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871, China)

**Abstract:** Trade liberalization of environmental goods offers new insights into the global efforts in response to global environmental changes. China has comparative advantages in trading energy-related products such as renewable energy equipment. The emerging environmental goods trade in China may contribute to China's commitment to carbon peak before 2030 and carbon neutrality before 2060. This study traces the trade development of environmental goods in China during 1996-2019, and depicts its structural changes in products and trading partners. Using the LMDI approach, this study decomposes carbon emissions into four components, namely, emission intensities, energy efficiencies, economic growth, and population growth. Then, the ARDL-ECM model is used to examine the co-integration of environmental goods trade and carbon emission reduction, and its long- and short-term effects. The results reveal that: (1) The development of environmental goods trade has a negative effect in terms of the short-term carbon emissions, but a positive one in the long run. (2) Environmental goods trade enlarges the carbon reduction effects of energy efficiencies, and reduces the carbon emissions aroused by economic growth. (3) The concentration of specific products may promote carbon reduction in the short run. Nevertheless, carbon reduction, in the long run, requires a diversity of products. The improvement of the trade network benefits the carbon reduction in the short run. However, the increasing reliance on imports, in the long run, has adverse effects on carbon reduction. (4) Effects of environmental goods trade on carbon reduction origin from both energy-related products and the others. Non-energy-related products also exhibit their capacity in promoting energy efficiencies and economic restructuring, which contributes to carbon reduction.

**Keywords:** carbon peaking; trade liberalization; environmental goods; ARDL model; social network analysis