

引用格式:邵桂兰,常瑶,李晨. 出口商品结构对碳生产率的门槛效应研究[J]. 资源科学, 2019, 41(1): 142-151. [Shao G L, Chang Y, Li C. Threshold effect of merchandise export structure on carbon productivity[J]. *Resources Science*, 2019, 41(1): 142-151.] DOI :10.18402/resci.2019.01.13

# 出口商品结构对碳生产率的门槛效应研究

邵桂兰<sup>1</sup>, 常瑶<sup>1</sup>, 李晨<sup>1,2</sup>

(1. 中国海洋大学经济学院, 青岛 266100; 2. 中国海洋大学海洋发展研究院, 青岛 266100)

**摘要:**面对全球气候变暖和国际碳减排压力增大,发展低碳经济成为各国共同关心的话题,发展低碳经济的核心是提高衡量单位碳排放经济效益的碳生产率。本文基于36个国家1996—2014年的年度数据,采用面板门槛模型,分别以经济发展水平和技术水平为门槛变量研究出口商品结构对碳生产率的门槛效应,并考察如何利用这种效应提高碳生产率。结果表明,出口商品结构对碳生产率始终产生抑制作用,经济发展和技术处于高水平时出口商品结构对碳生产率抑制作用均增强。因此,只有推动经济发展和技术达到一定水平才能充分发挥出口商品结构调整对碳生产率的提高作用。此外,出口商品结构对碳生产率的影响具有显著区域差异。针对本文的研究结论,提出了相关建议。

**关键词:**门槛效应;碳生产率;出口商品结构;碳减排

DOI :10.18402/resci.2019.01.13

## 1 引言

随着全球气候变暖和国际碳减排压力日益增大,中国积极承担起大国的碳减排责任,并在《巴黎协定》基本框架下制定了碳减排目标:截止2030年,中国单位GDP二氧化碳排放量要比2005年下降60%到65%,并争取尽早达到峰值。近年来,国家大力提倡发展低碳经济,低碳经济不仅要求经济的发展,还要求碳排放的减少,同时满足这两项要求的指标是由国内生产总值与碳排放之比衡量的碳生产率,碳生产率是低碳经济的核心衡量指标。此外,2018年3月8日,美国政府通过了对钢铁和铝分别征收25%和10%进口关税的决议。较高的碳减排目标和严峻的国际形势为中国出口商品结构调整带来巨大压力。

作为国外市场需求的体现,一国出口商品结构调整会由外而内传导到国内,进而对国内生产要素方式和使用效率产生影响。此外,目前清洁能源的

利用并不普及,化石燃料仍是世界各国生产主要能源,但化石燃料的使用会产生大量碳排放,因此出口商品结构调整必然会对化石燃料使用效率和碳排放产生影响。碳生产率作为单位碳排放经济效益的衡量指标,必然也会受到出口商品结构调整的影响。改革开放以来,中国凭借丰富的劳动力和资源承接较发达国家的劳动密集型和资源密集型产业,出口产品主要集中于低价的劳动密集型产品和资源密集型产品,这部分产品生产会产生大量碳排放,且产品附加值低,出口产品低端化,导致中国碳生产率较低。如何加快推进中国外贸由依靠劳动、资源要素向依靠技术、资金要素转变是中国政府提高碳生产率、发展低碳经济迫切需要解决的问题。此外,从理论上讲,目前国内外相关研究主要集中在出口商品结构调整对碳排放的影响,并没有直接涉及出口商品结构调整对碳生产率的影响。因此,分析出口商品结构调整对碳生产率的影响,既能够

收稿日期:2018-04-13,修订日期:2018-10-30

基金项目:国家社会科学规划基金项目(11BJY064);山东省社会科学规划研究项目重大理论与实践问题研究专项(18CSJJ01);山东省自然科学基金项目(ZR2016GQ05)。

作者简介:邵桂兰,女,山东青岛人,博士,教授,博士生导师,主要研究方向为国际贸易与低碳经济。E-mail: shaoguilan@126.com

通讯作者:李晨,E-mail: phdlichen@126.com

2019年1月

丰富和发展贸易结构转型下的低碳经济理论,也能为中国进行碳减排、提高碳生产率提供政策建议,具有重要的理论和现实意义。

已有文献关于碳生产率的研究主要集中在以下四个方面:一是碳生产率理论及经济内涵分析<sup>[1]</sup>;二是碳生产率空间集聚<sup>[2]</sup>及区域差异,包括中国国内区域间差异<sup>[3]</sup>、国别差异和行业区域差异;三是碳生产率收敛机制<sup>[4]</sup>及影响因素<sup>[5]</sup>,包括基于LMDI和Laspeyres方法的碳生产率指标分解<sup>[6,7]</sup>;四是碳生产率对出口的影响<sup>[8]</sup>。上述对碳生产率影响因素的研究主要集中在内部因素方面。赵皋等、赵秀娟等学者的研究均表明,对外贸易对中国碳生产率增长起正向促进作用<sup>[9,10]</sup>。张兵兵等研究表明,以产业内贸易指数衡量的贸易竞争力与碳排放强度呈现非线性倒“U”型关系<sup>[11]</sup>。学者们虽然研究了对外贸易对碳生产率的影响,但并没有深入研究出口商品结构对碳生产率的影响。

关于出口商品结构对碳排放影响的研究主要集中在国内,朱启荣、刘轶芳等、乌力吉图、苑立波学者们认为中国贸易结构变动增加了碳排放,原因在于高碳排放行业产品出口在中国出口产品中占比较高<sup>[12-15]</sup>。潘安等通过分析出口行业结构和出口地区结构调整,认为总体上出口结构调整增加了中国碳排放,出口地区结构调整减少了碳排放,但由于重工业出口增多,出口行业结构调整增加了碳排放<sup>[16]</sup>。此外,李国志等学者认为贸易结构与碳排放呈非线性关系,他们采用变参数模型,实证分析发现初级产品出口和工业制成品出口对碳排放的影响系数均为正,前者呈逐渐增加的趋势,后者呈逐渐降低的趋势。两者影响程度不同,呈现阶段性特征<sup>[17]</sup>。

经过文献梳理,出口商品结构对碳排放产生正向影响并呈现阶段性特征,但出口商品结构对碳生产率直接影响为何?现有研究并未涉及。事实上,由于出口商品结构会对碳排放产生影响,也会不可避免地碳生产率产生影响。以资本技术密集型产品出口占总出口比重衡量出口商品结构时,当资本技术密集型产品出口占总出口比重较小时,劳动密集型、资源密集型制成品出口增加,消费拉动生产,粗放型高碳排放行业产品生产较多,由于这部

分产品价格低、附加值低,导致碳排放增加的速度高于产出增加的速度,碳生产率较低;当资本技术密集型产品出口比重较大时,一方面相比于劳动密集型和资源密集型产品,资本技术密集型制成品生产产生的碳排放强度更高,碳排放下降速率更快<sup>[18]</sup>,而碳排放强度在数值上是碳生产率的倒数,资本技术密集型制成品碳生产率更低,但提高速率更快。另一方面劳动密集型和资源密集型制成品生产规模扩大,其生产产生的碳排放也增多,同时规模收益递增效应减弱,碳生产率较低<sup>[19]</sup>,两方面因素影响下资本技术密集型产品出口比重较高时碳生产率较低,但碳生产率提高速率更快。因此,出口商品结构对碳生产率的影响存在阶段性特征。

目前文献虽涉及出口商品结构对碳排放的影响,但仍存在一些不足:

(1)从研究视角上来看,已有文献仅涉及贸易规模对碳生产率的影响,并未直接涉及出口商品结构对碳生产率的影响。

(2)从研究方法来看,由于以资本技术密集型产品出口比重衡量的出口商品结构对碳生产率的影响程度不断变化,出口商品结构对碳生产率的影响可能存在非线性关系,因此本文首次采用面板门槛模型分析不同区制出口商品结构对碳生产率的影响,并考察如何利用这种影响提高碳生产率。

(3)从研究区域范围来看,已有文献主要研究出口商品结构对中国碳排放的影响,并未研究各国出口商品结构对其碳生产率的影响。因此,出口商品结构调整对碳生产率影响有一定的研究空间。

## 2 研究方法、变量选取与数据来源

### 2.1 研究方法

根据上文分析,出口商品结构与碳生产率之间可能存在非线性关系,即在不同区制出口商品结构可能对碳生产率产生不同影响。为避免人为主观确定门槛值划分不同样本区间造成门槛估计结果的偏误,本文采用Hansen<sup>[20]</sup>在1999年提出的静态面板门槛模型进行研究。静态面板门槛模型首次介绍了具有个体效应的面板门槛模型的计量分析方法,该方法主要有以下优点:以残差平方和最小化为条件确定门槛值;运用“自举法”(bootstrap)重复抽取多次样本检验门槛效应的显著性;克服了传统

门槛模型门槛值估计的主观性,以内生样本数据确定门槛值,具有较强的客观性。静态面板门槛模型的基本形式为:

$$y_{it} = \mu_i + \beta_1 x_{it} I(q_{it} \leq \gamma) + \beta_2 x_{it} I(q_{it} > \gamma) + e_{it} \quad (1)$$

式中, $\beta_1$ 和 $\beta_2$ 为系数; $x_{it}$ 为外生解释变量; $q_{it}$ 为门槛变量; $\gamma$ 为门槛值; $e_{it}$ 为随机扰动项; $\mu_i$ 为截面个体效应; $I$ 为指示函数,如果括号中的表达式满足,则取值1,反之,取值0。

由于经济发展水平和技术水平不同,出口商品结构对碳排放的影响也不相同,因此分别以经济发展水平和技术水平为门槛变量建立面板门槛模型。假设门槛模型为:

$$\begin{aligned} \ln cp_{it} = & \alpha_{01} + \alpha_{11} s_{it} I(\ln gdp_{it} \leq \gamma_1) \\ & + \alpha_{12} s_{it} I(\gamma_1 < \ln gdp_{it} \leq \gamma_2) + \dots \\ & + \alpha_{1n} s_{it} I(\gamma_{n-1} < \ln gdp_{it} \leq \gamma_n) \\ & + \alpha_{1(n+1)} s_{it} I(\ln gdp_{it} > \gamma_n) + \alpha_2 \ln t_{it} + \\ & \alpha_3 fdi_{it} + \alpha_4 \ln es_{it} + \alpha_5 \ln gdp_{it} + e_{it} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \ln cp_{it} = & \beta_{01} + \beta_{11} s_{it} I(\ln t_{it} \leq \delta_1) \\ & + \beta_{12} s_{it} I(\delta_1 < \ln t_{it} \leq \delta_2) + \dots \\ & + \beta_{1n} s_{it} I(\delta_{n-1} < \ln t_{it} \leq \delta_n) \\ & + \beta_{1(n+1)} s_{it} I(\ln t_{it} > \delta_n) + \beta_2 \ln t_{it} \\ & + \beta_3 fdi_{it} + \beta_4 \ln es_{it} + \beta_5 \ln gdp_{it} + \tau_{it} \end{aligned} \quad (3)$$

分别对 $cp_{it}$ 、 $t_{it}$ 、 $gdp_{it}$ 和 $es_{it}$ 取对数, $\ln cp_{it}$ 为碳生产率; $s_{it}$ 为出口商品结构; $\ln t_{it}$ 为技术水平; $\ln es_{it}$ 为能源结构; $\ln gdp_{it}$ 为经济发展水平; $fdi_{it}$ 为外商直接投资净流入; $\alpha_{it}$ 和 $\beta_{it}$ 为系数; $\gamma_i$ 和 $\delta_i$ 为门槛值; $I$ 为指示函数; $e_{it}$ 和 $\tau_{it}$ 为随机扰动项。

## 2.2 变量选取

选取具有代表性的15个发达国家(美国、日本、德国、法国、英国、意大利、加拿大、澳大利亚、韩国、丹麦、挪威、荷兰、葡萄牙、西班牙、新加坡),15个发展中国家(中国、俄罗斯、南非、阿根廷、巴西、印度、印度尼西亚、墨西哥、沙特阿拉伯、土耳其、埃及、智利、泰国、马来西亚、菲律宾)和6个最不发达国家(孟加拉国、也门、埃塞俄比亚、莫桑比克、苏丹、海地)为研究对象,以碳生产率为被解释变量,以出口商品结构为解释变量研究出口商品结构对碳生产率的影响。已有研究认为,人均GDP、对外开放度、工业化、投资率、技术水平、固定资本占比、人均二氧化碳排放量、政府规模、城镇化进程、能源结构和

外商直接投资是碳生产率的影响因素<sup>[4,10]</sup>。对上述影响因素进行筛选,由于产业结构与贸易结构是经济生产和销售的两个方面,故用出口商品结构代替产业结构,在此基础上选取能源结构、人均GDP、外商直接投资净流入和技术水平作为影响各国碳生产率的控制变量。各变量具体说明如下:

(1)碳生产率。根据Kaya等对碳生产率的定义<sup>[22]</sup>,碳生产率是一国GDP与同期CO<sub>2</sub>排放量之比,在数值上是碳排放强度的倒数,表示单位碳排放的经济效益或绿色碳的GDP,是衡量低碳经济的核心指标。

(2)出口商品结构。根据SITC Rev.4(国际贸易标准分类),零至四大类为初级产品,五和七大类为资本技术密集型产品,六和八大类为劳动密集型产品,由于九大类是非正常贸易品,故不在本文的考虑范围<sup>[23]</sup>。本文以一国资本技术密集型产品出口占出口总值比重衡量一国出口商品结构,如上文所述,出口商品结构系数的预期符号为负值。

(3)技术水平。根据碳生产率分解结果<sup>[6]</sup>,效率是影响碳生产率的重要因素,而效率取决于技术水平。本文以各国专利申请数量衡量技术水平,技术水平越高,碳生产率越高。因此技术水平系数的预期符号为正值。

(4)外商直接投资净流入。外商直接投资净流入规模越大,其造成的资本积累和技术溢出效应越强,越有利于东道国碳生产率的提高,但同时外商直接投资不可避免带来污染避难所效应,因此外商直接投资净流入系数的预期符号不确定。

(5)能源结构。本文选取化石能源消耗占能源消耗总量百分比衡量能源结构。对相同的产出,化石能源消耗越多,能源利用效率越低,碳排放越多,碳生产率越低。但由于不同国家资源禀赋不同,不同化石能源碳排放系数不同,因此能源结构系数的预期符号不确定。

(6)经济发展水平。国内生产总值作为碳生产率定义中的指标之一,是影响碳生产率的重要因素。本文选取以2010年不变价美元为基期的人均GDP指标,一国经济发展水平越高,碳生产率越高,反之碳生产率越低。鉴于此,经济发展水平系数的预期符号为正。



2019年1月

### 2.3 数据来源

在考虑研究数据可得性和各国碳生产率异质性的基础上,本文选取36个国家1996—2014年的碳生产率、出口商品结构、技术水平、外商直接投资净流入、能源结构和经济发展水平指标数据作为样本研究出口商品结构对碳生产率的影响,其中测算碳生产率所需的各国GDP、人均碳排放和人口数据,技术水平、能源结构、经济发展水平和外商直接投资净流入指标数据来自世界银行公开数据库,出口商品结构指标数据来自UNCTAD数据库。在对技术水平指标数据进行处理时,将国家专利申请数量为0的原始数据先加1再取对数,以衡量不同国家技术水平对碳生产率的影响。

图1描绘了中国与其他35个国家碳生产率变化趋势。由图1可知,中国和其他35个国家碳生产率均呈上升趋势,表明样本国注重生产高附加值低碳产品,碳排放较少,碳生产率较高。此外,其他35个国家碳生产率2002年后上升趋势明显,中国碳生产率2008年后上升趋势明显。原因可能是中国自

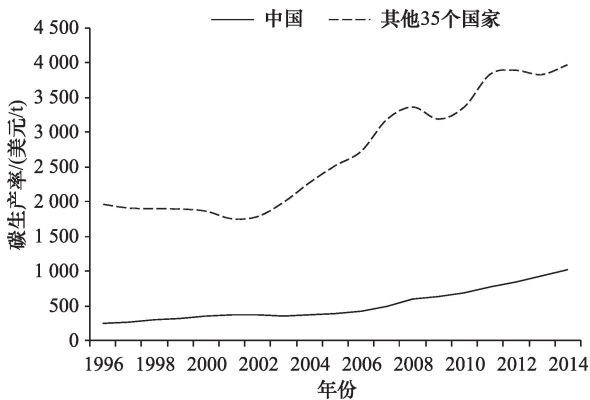


图1 中国碳生产率、样本国碳生产率比较

Figure 1 Comparison of China's carbon productivity and sample countries' carbon productivity

2001年末加入WTO后与世界各国贸易频繁,国际贸易正和作用使样本国经济迅速发展,在一定程度上提高了碳生产率。中国加入WTO初期,经济增长主要依靠高碳排放行业,碳排放增长高于经济增长,碳生产率较低,自2008年经济危机以来,中国积极调整产业结构,注重高附加值产品生产,提高了碳生产率。

然而,中国碳生产率一直处于样本国碳生产率均值之下,表明相比其他国家,中国经济仍以粗放型加工贸易为主,高附加值产品生产较少,能源利用率较低,生产产生的碳排放较多,碳生产率较低,因此,转变外贸发展方式,提高中国碳生产率刻不容缓。表1为各变量描述性统计。

## 3 实证结果及分析

### 3.1 截面依赖性检验

本文进行截面依赖性检验的主要原因是:由于宏观经济变量在很大程度上可能存在截面相关性,因此国家间出口商品结构变动极有可能存在相关性;不同面板之间可能存在截面依赖性;面板单位根检验需要考虑面板之间的截面依赖性。基于以上原因,在建立面板模型之前需要进行截面依赖性检验,以对面板模型进行拓展和优化,本文采用三种方法对面板进行截面依赖性检验。截面依赖性检验原假设是截面之间不存在依赖性。由表2可知,6个变量在1%或10%显著性水平下拒绝原假设,即所有面板之间存在截面依赖性。

### 3.2 单位根检验

为避免变量不平稳造成的伪回归问题,采用单位根检验考察各变量的平稳性。鉴于采用面板数据的特点,采用llc和fisher两种检验方法对变量进行平稳性检验以增强检验结果的可靠性。其中llc

表1 样本变量的描述性统计

Table 1 The descriptive statistical values of sample variables

变量名称	样本量	平均值	标准差	最小值	最大值
碳生产率/(美元/t)	684	2.984	0.811	0.246	4.704
出口商品结构	684	0.333	0.230	0.003	0.785
技术水平/万件	684	673.000	333.500	0	1 359.400
外商直接投资净流入/亿美元	684	300.000	631.000	-251.000	7 340.000
能源结构	684	-0.443	0.693	-3.434	0
经济发展水平/美元	684	9.063	1.621	5.229	11.425

表2 样本变量的截面依赖性检验

Table 2 Cross-section dependency test of sample variables

变量	BP_LM	Ps_LM	Bes_LM
碳生产率	201.591***	200.591***	84.177***
出口商品结构	53.736***	52.736***	10.567***
技术水平	75.767***	74.767***	24.293***
外商直接投资净投入	55.137***	54.137***	39.517***
能源结构	118.009***	117.009***	1.693*
经济发展水平	209.142***	208.142***	78.038***

注: \*、\*\*和\*\*\*分别表示10%、5%和1%的统计显著水平。

检验的原假设是所有面板是非平稳的,备择假设是所有面板是平稳的;fisher检验的原假设是所有面板都是非平稳的,备择假设是至少一个面板是平稳的。由表3可知,所有变量在1%显著性水平下均拒绝原假设,表明所有变量均平稳。

表3 样本变量的平稳性检验结果

Table 3 The stationarity test results of sample variables

变量	llc	fisher
碳生产率	-4.704***	6.577***
出口商品结构	-6.415***	5.539***
技术水平	-13.115***	23.056***
外商直接投资净流入	-7.886***	5.163***
能源结构	-2.453***	3.383***
经济发展水平	-4.910***	18.855***

注: \*、\*\*和\*\*\*分别表示10%、5%和1%的统计显著水平。

### 3.3 门槛估计及显著性检验

由于静态面板门槛模型建立在固定效应模型分析基础上,因此对门槛模型估计前需进行Hausman检验以判断模型是否适合固定效应模型。经检验p值为0.000,表明拒绝随机效应模型原假设,应采用固定效应模型。本文运用stata14.1软件进行实证分析,分别以经济发展水平和技术水平为门槛变量进行门槛效应检验,结果如表4所示。由表4可知,经济发展水平存在单一门槛,门槛值为10.099,在1%水平下显著;技术水平存在双门槛,门槛值为5.063和7.197,分别在1%和5%水平下显著。

### 3.4 门槛回归结果

根据表4门槛效应检验结果,分别构建以经济发展水平和技术水平为门槛变量的单门槛和双门槛模型,以考察不同区制出口商品结构对碳生产率的非线性影响,并考察如何发挥这种非线性关系提高本国碳生产率。门槛回归结果如表5所示。

表4 经济发展水平和技术水平门槛效应检验结果

Table 4 The threshold effect' test results of economic development

level and technology level				
门槛变量	F统计量	门槛个数	门槛值	95%置信区间
经济发展水平	94.57***	单一门槛	10.099	(10.095 10.165)
技术水平	76.49	双门槛	5.063	(4.855 5.081)
技术水平	105.62***			
	68.32**			
	14.68		7.197	(7.185 7.201)

注: \*、\*\*和\*\*\*分别表示10%、5%和1%的统计显著水平;bootstrap取值1000。

表5 门槛回归结果

Table 5 Threshold regression results

变量	方程(3)门槛回归	方程(2)门槛回归
出口商品结构(经济发展水平 $\leq 10.099$ )	—	-1.371*** (-4.51)
出口商品结构(经济发展水平 $> 10.099$ )	—	-3.370*** (-8.70)
出口商品结构(技术水平 $\leq 5.063$ )	-0.324 (-1.45)	—
出口商品结构(5.063 $<$ 技术水平 $\leq 7.197$ )	-0.676*** (-3.04)	—
出口商品结构(技术水平 $> 7.197$ )	-4.060*** (-13.99)	—

注: 括号内为t值; \*、\*\*和\*\*\*分别表示10%、5%和1%的统计显著水平; 由于篇幅有限, 控制变量的回归结果不在表中一一列出, 如有需要可向作者索要。

由表5可知,以经济发展水平为门槛变量时,当人均GDP对数小于10.099时,出口商品结构系数为-1.371,在1%水平下显著;当人均GDP对数大于10.099时,出口商品结构系数为-3.370,在1%水平下显著,可见,经济发展水平越高,出口商品结构对碳生产率负向影响越强。

以技术水平为门槛变量时,当技术水平对数小于5.063时,出口商品结构对碳生产率影响系数为-0.324,但不显著;当技术水平对数处于5.063和7.197之间时,出口商品结构对碳生产率影响系数为-0.676,在1%水平下显著;当技术水平对数大于7.197时,出口商品结构对碳生产率影响系数为-4.060,在1%水平下显著。可见,技术水平越高,出口商品结构对碳生产率负向影响越强。

### 3.5 门槛回归结果分析

以经济发展水平为门槛变量时,当经济发展水平未达到门槛值时,一国经济发展水平较低,国家着力发展经济,资本技术密集型产品生产较多,同时环境规制较宽松,国内产值增加较快,国内产品

2019年1月

在国际市场上具有成本优势,因而资本技术密集型产品出口较多,但宽松的环境规制带来碳排放的大量增加,碳排放增加速度超过产值增长速度,碳生产率较低,因此经济发展水平较低时资本技术密集型产品出口较多,碳生产率较低。当经济发展水平越过门槛值后,国家经济发展达到一定水平,继续低成本出口可能会遭遇反倾销措施,鉴于反倾销措施和全球环境保护的压力,国家实施严格的环境规制,资本技术密集型产品出口较少,本国碳排放减少,碳生产率提高。此外,在本国环境规制压力下,国内企业尤其是跨国公司可能会从环境规制较低国家进口需求产品以替代本国生产,极大提高本国碳生产率。因此经济发展水平较高时资本技术密集型产品出口越少,碳生产率提高越快。

以技术水平为门槛变量时,当技术水平未达到第一个门槛值时,国内技术水平较低,生产技术含量高的产品存在困难,高水平劳动力数量较少,资本技术密集型产品出口较少,其生产产生的碳排放较少,资本技术密集型产品产值较高,因而碳生产率较高,但这种负向影响不显著,可能的原因是技术水平偏低引起碳排放增加量高于资本技术密集型产品出口减少引起碳排放减少量,导致碳生产率偏低。当技术水平处于第一个门槛值和第二个门槛值之间时,国内技术水平有所提高,国家有能力生产部分技术含量高的产品,并承接国外技术密集型产品的生产,资本技术密集型产品出口较多,但由于企业自身技术水平有限,并且各企业通过“干中学”提高生产效率的吸收能力不同,碳生产率提高较慢,碳生产率较低。当技术水平跨越第二个门槛值时,国内技术达到较高水平,企业倾向专业化生产高精尖产品,同时将大量技术含量较低产品的生产转移到国外,资本技术密集型产品出口较少,但此时企业研发能力强,生产效率高,碳剪生产率。此外,高精尖产品附加值极高,在较少资本技

术密集型产品生产产生较少碳排放情况下,碳生产率更易提高。因此,技术达到较高水平时资本技术密集型产品出口越少,碳生产率提高越快。

综上所述,门槛变量不同时,出口商品结构调整对碳生产率均产生负向影响,且在经济发展和技术处于高水平时影响均增强。这说明出口商品结构调整对碳生产率始终产生抑制作用,要推动经济发展和技术提高到一定水平,发挥减少资本技术密集型产品出口,提高本国碳生产率的作用。

### 3.6 扩展分析

根据经济发展水平和技术水平门槛值,可判定哪些国家处于经济发展或技术低水平,哪些国家处于经济发展或技术高水平。然而由于不同年份各国经济发展水平和技术水平均可能发生变化,导致一国所处区制发生变化<sup>[24]</sup>。因此本文从动态角度深入探究不同时间出口商品结构对碳生产率的影响。

在分析不同区制经济发展水平国家数量基础上,由表6可知,1996—2014年经济发展水平较低国家较多,经济发展水平较高国家较少。韩国、马来西亚、葡萄牙、南非四个经济较发达的国家并未跨过经济发展水平门槛值,并不能充分发挥出口商品结构调整对碳生产率提高的作用。此外,中国作为最大的发展中国家,经济发展水平还有待提高。

由于不同年份各国技术水平可能发生较大变化,导致一国技术水平所处区制也发生变化,因此本文从动态角度深入探究不同技术水平下出口商品结构对碳生产率的影响。由表7可知,技术水平低于第一个门槛值的国家数量减少,由1996年的9个国家减少到2014年的6个国家,减少的国家有印度尼西亚、葡萄牙和沙特阿拉伯。这三个国家除了葡萄牙外,印度尼西亚和沙特阿拉伯的经济增速较快,表明经济增速快的国家技术水平较高,出口商品结构对碳生产率的负向影响增强,调整资本技术密集型产品出口更易提高碳生产率。技术水平处

表6 不同区制经济发展水平国家数量统计

Table 6 Statistics on countries with different districts of economic development

经济发展水平区间	国家
出口商品结构对碳生产率负向影响小的国家	阿根廷、孟加拉国、巴西、智利、中国、埃及、埃塞俄比亚、海地、印度尼西亚、印度、韩国、墨西哥、莫桑比克、马来西亚、菲律宾、葡萄牙、俄罗斯、沙特阿拉伯、苏丹、泰国、土耳其、也门、南非
出口商品结构对碳生产率负向影响大的国家	澳大利亚、加拿大、德国、丹麦、西班牙、法国、英国、意大利、日本、荷兰、挪威、新加坡、美国



表7 不同区制技术水平的国家数量变化

Table 7 Changes in the number of countries with different districts of technology level

年份	技术水平 ≤ 5.063	5.063 < 技术 水平 ≤ 7.197	技术水平 > 7.197
1996	9	12	15
1997	10	11	15
1998	9	11	16
1999	11	9	16
2000—2004	10	10	16
2005	9	11	16
2006	8	12	16
2007	8	11	17
2008—2009	7	12	17
2010	6	13	17
2011	5	14	17
2012	7	12	17
2013	5	13	18
2014	6	12	18

注:由于篇幅所限,不同年份技术水平的国家数量变化未在文中列出,如有需要可向作者索要。

于第一门槛值和第二门槛值的国家数量基本不变。技术水平高于第二门槛值的国家数量稳步增加,由1996年的15个国家增加到2014年的18个国家,增加的国家有丹麦、土耳其和马来西亚。这三个国家除了丹麦外,土耳其和马来西亚经济增速较快,同样表明经济增速快的国家技术水平较高,出口商品结构对碳生产率的负向影响增强。可见,加快经济增长速度是提高技术水平,发挥出口商品结构对碳生产率调节作用的重要途径。

### 3.7 稳健性检验

由于碳生产率提高和出口商品结构优化都是经济发展的结果,并且碳生产率也可能影响一国的贸易结构和贸易质量<sup>[8]</sup>,因此上述回归存在内生性的可能。本文通过构建出口商品结构的工具变量消除内生性可能产生的谬误回归,以此进行稳健性检验。在此,本文将出口商品结构的滞后一期作为工具变量建立静态面板门槛模型。表8列出了门槛效应检验结果。

由表8可知,加入工具变量后,经济发展水平为单一门槛,门槛值在1%水平下显著,技术水平为双门槛,门槛值在5%水平下显著,表明门槛效应存在。

表9为门槛回归结果。与表5相比,表9中各变

表8 经济发展水平和技术水平门槛效应检验结果

Table 8 The threshold effect' test results of economic development level and technology level

门槛变量	F统计量	门槛个数	门槛值	95%置信区间
经济发展水平	122.96***	单一门槛	10.099	(10.073 10.127)
技术水平	102.48	双门槛	5.063	(4.954 5.081)
	88.28**		7.197	(7.179 7.201)
	73.08**			
	13.54			

注: \*、\*\*和\*\*\*分别表示10%、5%和1%的统计显著水平;bootstrap取值1000。

表9 稳健性检验

Table 9 Robustness test

变量	方程(2)稳健性检验	方程(3)稳健性检验
出口商品结构(经济发展水平≤ 10.099)	—	-0.161*** (-0.41)
出口商品结构(经济发展水平>10.099)	—	-3.836*** (-7.39)
出口商品结构(技术水平≤ 5.063)	-0.165 (-0.63)	—
出口商品结构(5.063 < 技术水平 ≤ 7.197)	-0.197*** (-7.32)	—
出口商品结构(技术水平>7.197)	-3.356*** (-9.43)	—

注: \*、\*\*和\*\*\*分别表示10%、5%和1%的统计显著水平;括号内为t值。

量回归系数的符号和显著性均未发生显著变化,表明控制内生性后,一国出口商品结构仍对其碳生产率产生显著的抑制作用,同时说明本文的门槛回归结果是稳健的。

## 4 结论与建议

### 4.1 结论

本文基于1996—2014年36个国家的数据,采用面板门槛模型,分别以经济发展水平和技术水平为门槛变量实证研究出口商品结构对碳生产率的非线性影响,得出以下结论:

(1)以经济发展水平为门槛变量时,当经济发展水平小于门槛值时,出口商品结构对碳生产率的抑制作用较弱;当经济发展水平超过门槛值后,出口商品结构对碳生产率的抑制作用增强,通过减少资本技术密集型产品出口提高碳生产率的作用可得到充分发挥,中国作为最大的发展中国家经济发展水平较低,可见采取措施提高中国经济发展水平刻不容缓。

(2)以技术水平为门槛变量时,当技术水平小于第一个门槛值时,出口商品结构对碳生产率的抑制作用不显著,当技术水平处于第一个门槛值和第二个门槛值之间时,抑制作用显著,当技术水平跨越第二个门槛值时,出口商品结构对碳生产率的抑制作用增强,即在技术水平较高时,资本技术密集型产品出口较少,碳生产率得到充分提高,中国已越过第二个门槛值,技术水平较高,可充分发挥高技术水平对出口商品结构调整对碳生产率提高的作用。

(3)不同国家出口商品结构对碳生产率的抑制作用不同。在样本国研究期内,大多数国家经济发展水平并未跨过门槛值,只有少数国家经济发展达到高水平,发展经济,调整出口商品结构,提高碳生产率仍是重中之重。此外,技术水平越过两个门槛值的国家增多,并且经济增速越快的国家技术水平较高,出口商品结构调整对碳生产率影响越强。

#### 4.2 政策建议

基于以上研究结论,本文对中国碳生产率提高提出以下政策建议:

(1)从不同门槛变量区制视角优化出口商品结构,提高能源利用率,减少碳排放,提高碳生产率,是中国实现碳减排目标的重要途径。

(2)发展经济仍是中国的首要任务,然而大规模发展经济,生产资本技术密集型产品会不可避免产生碳排放,要寻求正确方式方法平衡经济发展带来碳生产率提高和碳排放增加的矛盾。

(3)中国要加快并保持适当经济增长速度,继续吸收先进技术溢出,提高技术水平,加强生产工艺的创新,形成技术创新对生产效率和碳生产率提高的路径依赖。

#### 参考文献(References):

- [1] 张丽峰. 碳生产率的经济背景及其内涵分析[J]. 经济问题探索, 2013, (5): 37-41. [Zhang L F. The economic background and its connotation of carbon productivity [J]. *Inquiry into Economic Issues*, 2013, (5): 37-41.]
- [2] 刘习平, 盛三化, 王珂英. 经济空间集聚能提高碳生产率吗?[J]. 经济评论, 2017, (6): 107-121. [Liu X P, Sheng S H, Wang K Y. Whether economic spatial agglomeration can increase carbon pro-

- ductivity or not?[J]. *Economic Review*, 2017, (6): 107-121.]
- [3] 潘家华, 张丽峰. 我国碳生产率区域差异性研究[J]. 中国工业经济, 2011, (5): 47-57. [Pan J H, Zhang L F. Research on the regional variation of carbon productivity in China [J]. *China Industrial Economics*, 2011, (5): 47-57.]
- [4] 李小平, 王洋. “一带一路”沿线主要国家碳生产率收敛性及其影响因素分析[J]. 武汉大学学报(哲学社会科学版), 2017, 70(3): 58-76. [Li X P, Wang Y. A study on the convergence of carbon productivity in the major countries of the belt and road and the analysis of its influencing factors[J]. *Journal of Wuhan University (Philosophical and Social Science)*, 2017, 70(3): 58-76.]
- [5] 唐志鹏, 刘卫东, 宋涛. 基于混合地理加权回归的中国省域碳生产率影响因素分析[J]. 资源科学, 2017, 39(12): 2223-2232. [Tang Z P, Liu W D, Song T. Factors affecting China's provincial carbon productivity based on mixed geographically weighted regression modeling[J]. *Resources Science*, 2017, 39(12): 2223-2232.]
- [6] Lu Z, Yang Y, Wang J. Factor decomposition of carbon productivity change in China's main industries: based on the Laspeyres decomposition method[J]. *Energy Procedia*, 2014, 61(1): 1893-1896.
- [7] Lu J C, Fan W G, Ming M. Empirical research on China's carbon productivity decomposition model based on multi-dimensional factors[J]. *Energies*, 2015, 8(4): 3093-3117.
- [8] 王树柏, 李小平. 提高碳生产率有助于出口质量提升吗-基于166个经济体跨国面板数据的分析[J]. 国际贸易问题, 2017, (1): 93-103. [Wang S B, Li X P. Does the increasing carbon productivity improve the export quality-based on the transnational panel data analysis of 166 economies [J]. *Journal of International Trade*, 2017, (1): 93-103.]
- [9] 赵皋, 费能云. 外商直接投资、自主创新与碳生产率增长[J]. 资源开发与市场, 2014, 30(2): 187-190. [Zhao G, Fei N Y. Foreign direct investment, independent innovation and carbon productivity growth [J]. *Resource Development and Market*, 2014, 30(2): 187-190.]
- [10] 赵秀娟, 张捷. 对外贸易对碳生产率的影响-基于88个国家1992~2011年面板数据的实证分析[J]. 国际商务: 对外经济贸易大学学报, 2016, (1): 28-39. [Zhao X J, Zhang J. The impact of foreign trade on carbon productivity: an empirical study based on 1992-2011 panel data from 88 countries[J]. *International Business*, 2016, (1): 28-39.]
- [11] 张兵兵, 田曦, 朱晶. 贸易竞争力与二氧化碳排放强度: 来自跨国面板数据的经验分析[J]. 经济问题, 2016, (9): 61-68. [Zhang B B, Tian X, Zhu J. Trade competitiveness and carbon dioxide emission intensity: evidence from cross-country panel data[J]. *Journal of Economic Issues*, 2016, (9): 61-68.]
- [12] 朱启荣. 中国出口贸易中的CO<sub>2</sub>排放问题研究[J]. 中国工业经济, 2010, (1): 55-64. [Zhu Q R. Research on the CO<sub>2</sub> emissions produced by China's exports [J]. *China Industrial Economics*,



- 2010, (1): 55-64. ]
- [13] 刘轶芳, 蒋雪梅, 祖垒. 低碳约束下我国贸易结构的合理性研究[J]. 管理评论, 2010, 22(6): 106-113. [Liu Y F, Jiang X M, Zu L. A study on the rationality of China's international trade structure under low-carbon emission constraints[J]. *Management Review*, 2010, 22(6): 106-113. ]
- [14] 乌力吉图. 中国贸易结构与碳排放的关联分析[J]. 经济经纬, 2012, (6): 37-41. [Wu L J T. An analysis of correlation between China's international trade structure and carbon emissions [J]. *Economic Survey*, 2012, (6): 37-41. ]
- [15] 苑立波. 中国CO<sub>2</sub>排放变动的结构因素分析——一个包含贸易结构的分解模型[J]. 统计与信息论坛, 2012, 27(8): 70-75. [Yuan L B. A structural decomposition analysis on change of embodied carbon emission in China: an structural decomposition analysis with trading structure[J]. *Statistics and Information Forum*, 2012, 27(8): 70-75. ]
- [16] 潘安, 吴肖丽. 出口结构调整降低了中国碳排放吗?[J]. 中南财经政法大学学报, 2017, (5): 117-125. [Pan A, Wu Q L. Does export structural adjustment reduce China's carbon emissions? [J]. *Journal of Zhongnan University of Economics and Law*, 2017, (5): 117-125. ]
- [17] 李国志, 王群伟. 中国出口贸易结构对二氧化碳排放的动态影响——基于变参数模型的实证分析[J]. 国际贸易问题, 2011, (1): 82-89. [Li G Z, Wang Q W. Dynamic effects on carbon dioxide emissions of China's export trade structure: empirical analysis based on variable parameter model [J]. *Journal of International Trade*, 2011, (1): 82-89. ]
- [18] 贺亚琴, 冯中朝. 中国出口结构优化——基于碳排放的视角[J]. 中国科技论坛, 2015, (1): 132-137. [He Y Q, Feng Z Z. China's export structure optimization—based on carbon emissions [J]. *Forum on Science and Technology in China*, 2015, (1): 132-137. ]
- [19] 高文静, 柳亚琴, 潘明清. 工业化、城镇化对工业碳生产率的门槛效应分析[J]. 宏观经济研究, 2017, (4): 112-121. [Gao W J, Liu Y Q, Pan M Q. The threshold effect of industrialization and urbanization on industrial carbon productivity[J]. *Macroeconomics*, 2017, (4): 112-121. ]
- [20] Hansen B E. Threshold effects in non-dynamic panels: estimation, testing and inference[J]. *Journal of Econometrics*, 1999, 93(2): 345-368.
- [21] 环球网财经. 贸易额占全球八成[EB/OL]. (2016-09-04)[2018-04-13]. <http://finance.huanqiu.com/caigc/2016-09/9399100.html>. [Finance. huanqiu. com. G20 Trade Accounts for 80% of the World [EB/OL]. (2016-09-04)[2018-04-13]. <http://finance.huanqiu.com/caigc/2016-09/9399100.html>. ]
- [22] Kaya Y, Yokobori K. Environment, Energy and Economy: Strategies for Sustainability[M]. Tokyo: United Nations University Press, 1997.
- [23] 李季, 支大林. FDI与垂直型产业内贸易实证研究——基于中韩统计数据的Granger因果验证[J]. 兰州商学院学报, 2012, 28(2): 95-100. [Li J, Zhi D L. An empirical analysis of FDI and vertical intra-industry trade—granger-causality test based on the statistical data of China and Korea [J]. *Journal of Lanzhou Commercial College*, 2012, 28(2): 95-100. ]
- [24] 佟金萍, 陈国栋, 杨足膺, 等. 居民消费水平对生活碳排放的门槛效应研究[J]. 干旱区资源与环境, 2017, 31(1): 38-43. [Tong J P, Yang G D, Yang Z Y, et al. Threshold effects of household consumption level on residential carbon emissions[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2017, 31(1): 38-43. ]

## Threshold effect of merchandise export structure on carbon productivity

SHAO Guilan<sup>1</sup>, CHANG Yao<sup>1</sup>, LI Chen<sup>1,2</sup>

(1. School of Economics, Ocean University of China, Qingdao 266100, China;

2. Marine Development Studies Institute, Ocean University of China, Qingdao 266100, China)

**Abstract:** In the face of global warming and the increasing pressure of international carbon emission reduction, the development of a low-carbon economy has become a common concern in all countries. The core of the development of a low-carbon economy is to improve the carbon productivity which can measure the economic benefits of carbon emissions per unit. Therefore, the identification of the factors of carbon productivity will provide an empirical evidence for increasing carbon productivity in various countries and exhibit a reference for reducing carbon emission intensity in China. Based on the 1996-2014 annual data of 36 countries, this study adopted a panel threshold model to study the threshold of merchandise exports structure for carbon productivity by using the economic development level and technology level threshold variables and learn how to use this influence to improve carbon productivity. The results demonstrate that the merchandise export structure has always been an inhibitory effect on carbon productivity, which is strong when the economic and technology development is in a relatively high level. We assume that merchandise export structure adjustment can improve carbon productivity when economic development and technology is in a proper level. In addition, the impact of merchandise export structure on carbon productivity has a significant regional difference. Based on the conclusion of this study, relevant suggestions are put forward. It is essential to optimize the structure of export commodities and improve energy efficiency from different perspectives of variable threshold system. It is also needed to solve the contradiction between carbon productivity increase and carbon emission increase, maintain appropriate economic growth rates, absorb advanced technology spillover, and improve the technical level.

**Key words:** threshold effect; carbon productivity; merchandise exports structure; carbon emission reduction