

DOI: 10.20271/j.cnki.1673-9833.2026.0001

# 高等教育促进绿色技术创新的路径研究

孙永春, 姚侃

(广州南洋理工职业学院 数字商学院, 广东 广州 510925)

**摘要:** 基于2003—2021年中国30个省(区、市)面板数据, 对高等教育数量与质量影响绿色技术创新的路径机制进行研究, 发现二者均能显著促进绿色技术创新, 且贡献水平旗鼓相当, 但二者对绿色技术创新影响的路径机制存在差异。高等教育数量既能直接影响绿色技术创新, 也会通过提高劳动力平均受教育水平和就业质量, 进而影响绿色技术创新水平; 高等教育质量通过提升科技与教育支出促进绿色技术创新。

**关键词:** 高等教育; 绿色技术创新; 人力资本; 就业; 科教支出

**中图分类号:** G649.21

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1673-9833(2026)03-0086-08

**引文格式:** 孙永春, 姚侃. 高等教育促进绿色技术创新的路径研究[J]. 湖南工业大学学报, 2026, 40(3): 86-93.

## Research on the Pathways of Higher Education in Promoting Green Technology Innovation

SUN Yongchun, YAO Kan

(Digital Business School, Guangzhou Nanyang Polytechnic College, Guangzhou 510925, China)

**Abstract:** Based on panel data from 30 provinces (including autonomous regions and municipalities) in China between 2003 and 2021, an investigation has been conducted on the path mechanism of the impact of quantity and quality of higher education on green technology innovation. It is found that both significantly promote green technology innovation, with their contributions being relatively comparable. However, there is a diversity in the path mechanism of the impact of the quantity and quality of higher education on green technology innovation, due to the fact that the quantity of higher education not only directly affects green technology innovation, but also affects green technology innovation quality by improving the average education level and the labor force employment. The quality of higher education promotes green technology innovation by increasing expenditures on science, technology, and education.

**Keywords:** higher education; green technology innovation; human capital; employment; science and education expenditure

党的二十大报告中首次提出教育、科技、人才“三位一体”体系, 其具有重要战略意义和深远影响。

纵观世界, 国力之争从表象上看是贸易、军事摩擦, 实则是经济、科技创新实力之争, 最终体现在人才、

收稿日期: 2024-11-19

基金项目: 国家社会科学教育基金资助项目(BIA220074); 广东省普通高校重点领域科研基金资助项目(2024ZDZX4097); 广州市社科规划基金资助项目(2025GZGJ278); 广东省普通高校特色创新类基金资助项目(2024WTSCX244); 广东南博教育研究院高等教育研究专项基金资助项目(24GNZD5); 广州南洋理工职业学院教育教学改革基金资助项目(NY-2024CQ-JG001)

作者简介: 孙永春, 女, 广州南洋理工职业学院副教授, 主要研究方向为教育经济, E-mail: 5005062@qq.com

通信作者: 姚侃, 男, 广州南洋理工职业学院讲师, 博士, 主要研究方向为教育经济, E-mail: 13825106125@126.com

教育、文化的支撑上。新时代的发展决定了创新的核心地位, 创新, 尤其是绿色技术创新, 对促进环境质量和减少碳排放的作用不容忽视, 是实现人与自然和谐共生的重要力量。所谓绿色技术创新旨在减少污染, 提高技术创新效率, 谋求生态环境保护与社会经济发展的共同进步, 在贯彻绿色发展理念的同时, 要提高投入产出效率和经济效益<sup>[1]</sup>。而教育可直接带动社会的科技进步, 加速绿色技术创新进程。尤其, 高等教育处于教育系统顶层, 在科技进步和创新活动中发挥着至关重要的作用, 并从不同层面促进经济增长和可持续发展。同时很多高等教育机构已将环境教育和气候变化知识纳入其机构框架, 以促进可持续发展教育。

因此, 本研究关于促进高等教育与绿色技术创新、经济发展更好结合的研究是回应党的二十大精神, 也是回应党和国家教育事业发展的重大问题, 并对于全面提高人才自主培养质量, 深入实施人才强国战略具有重要意义。这也进一步证明大学的意义不仅超越校园或者说大学本身, 更能使其影响力延伸到整个社会。此外, 本文将高等教育发展分为两个方面, 即高等教育数量(或规模)和高等教育质量, 这两个方面对经济增长<sup>[2]</sup>、科技进步<sup>[3]</sup>和绿色技术创新<sup>[4]</sup>具有不同的影响机制。在这种情况下, 简单使用普通最小二乘法(ordinary least squares, OLS)研究高等教育发展对绿色技术创新的平均影响是不合适的。本文探讨的是高等教育发展对绿色技术创新的真正影响机制是什么, 高等教育规模和高等教育质量是否通过不同的渠道对绿色技术创新产生影响, 以及如何合理部署高等教育发展政策以促进绿色技术创新。

## 1 文献综述、理论框架与研究假设

### 1.1 文献综述

目前关于高等教育与绿色技术创新关系的研究相对较少, 但依据现有研究可归纳为两个方面: 一是从不同角度揭示了高等教育与绿色技术创新的关系, 为促进绿色发展提供了理论依据和实践指导。如孙小龙等<sup>[4]</sup>证实高等教育资源能显著促进区域绿色创新的发展, 且存在空间溢出效应。Li H. J. 等<sup>[5]</sup>以广东省为例, 说明高等教育、技术创新和区域经济发展之间存在动态互动机制, 对区域可持续发展有重要影响。Zhang T. G. 等<sup>[6]</sup>发现高等教育能显著促进区域绿色发展, 技术创新在其中发挥中介作用, 且不同地区存在差异。Chang J. L. 等<sup>[7]</sup>也认为绿色技术创新在高等教育促进可持续发展中起中介作用。二是它

们之间的联系在于都关注到高等教育在绿色技术创新中的重要性, 差异则体现在研究的方法、区域范围、侧重点等方面。有的研究侧重于探讨高等教育人力资本的作用, 如张青根等<sup>[8]</sup>指出, 高等教育人力资本对本地和邻地绿色经济发展均有显著促进效应, 技术创新在高等教育人力资本和绿色经济发展之间发挥了非完全中介效应。有的关注高等教育与产业结构的耦合协调, 如周均旭等<sup>[9]</sup>研究出现, 高等教育与产业结构耦合协调对绿色创新具有显著的促进作用, 能通过优化人力资本配置和促进人力资本高级化间接影响绿色技术创新。还有的研究聚焦金融发展、高等教育与绿色技术创新的关系等。如 Zhou X. X. 等<sup>[10]</sup>指出金融发展可以通过扩大高等教育促进绿色技术演变, 金融发展和高等教育的联合扩张能显著增强绿色技术创新。

基于以上分析, 本研究贡献可归纳为三点: 第一, 现有对高等教育与绿色技术创新关系的研究大多只停留在理论层面, 本研究采用定量分析方法, 拓展和丰富了高等教育理论。第二, 能够为高等教育促进绿色技术创新提供理论支撑, 为进一步推动教育链、创新链、产业链、人才链深度融合提供理论支撑。第三, 本研究从定量层面肯定了大学的多重功能, 强调了其在可持续经济发展中的地位, 为中国的高等教育改革提供了学理参考和决策依据。

### 1.2 理论框架

本研究参考 A. Castelló-Climent 等<sup>[11]</sup>采用人力资本投资理论探讨了教育规模和质量对经济增长的影响, 将高等教育衡量指标分为高等教育数量和高等教育质量两部分。同时, 依据上述文献综述探讨高等教育数量和高等教育质量对绿色技术创新的作用机制, 将高等教育对绿色技术创新的影响机制勾勒如图 1。

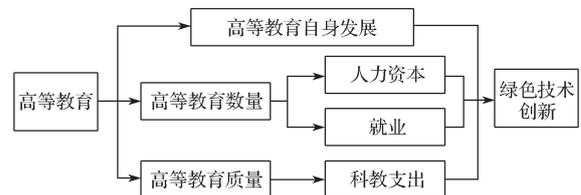


图 1 高等教育对绿色技术创新的作用机制框图

Fig. 1 Mechanism of higher education on green technology innovation

### 1.3 研究假设

#### 1.3.1 高等教育对绿色技术创新的直接影响

2022 年联合国召开的第 77 届教育变革峰会明确提出“教育必须促进可持续发展”。高等教育对绿色技术创新的直接影响具体表现在 4 个方面。第一, 人才培养方面。具体表现: 一是输送专业人才队伍。

高等教育通过开设诸如环境科学、新能源技术、生态工程中与绿色技术相关的专业学科,系统地培养掌握专业知识和技能的人才。这些毕业生能直接进入绿色技术研发、应用等岗位上,成为推动绿色技术创新的核心力量。二是培养创新思维与能力。高校注重培养学生的批判性思维、创造性思维及解决复杂问题的能力,使其在面对绿色技术创新难题时,能提出新颖的想法和解决方案。第二,科研成果产出方面。具体表现如下:一是基础理论研究支撑。高校汇聚了大量科研人员,他们针对绿色技术相关领域开展基础理论研究。二是应用技术研发推动。高校的科研团队积极致力于绿色技术应用方面的研发工作。比如高校实验室里研发的新型节能建筑材料、低污染的绿色化工工艺等成果,能直接转化并应用到相关产业中,实现绿色技术从理论到实际应用的跨越,实实在在地促进绿色技术创新发展。第三,平台与资源方面。具体表现:一是提供科研设施与平台。高等院校不仅配备先进的实验室、测试中心等,还搭建了产学研合作等各类科研平台,为研究人员开展绿色技术创新提供了良好的实验条件。二是营造学术交流氛围与资源共享。高校会举办众多学术讲座、学术会议等,国内外相关领域的专家学者汇聚,分享绿色技术最新研究进展、前沿理念等。同时,高校的学术数据库等资源也方便科研人员查阅借鉴已有研究成果,避免重复研究,加快绿色技术创新步伐。第四,示范与引导作用方面。具体表现:树立绿色理念和榜样。高等教育机构自身践行绿色发展理念,建设绿色校园,在校园的废弃物处理、生态环境营造等多方面采用绿色技术和管理手段。这为社会起到了良好的示范作用,引导更多社会主体重视并采用绿色技术创新成果,也激励相关企业等效仿开展绿色技术创新实践。因此,高等教育是影响绿色技术创新的关键变量。一些学者直接将高校带入区域经济场域中,将其视为知识经济时代与政府、企业并立的直接驱动经济发展的重要力量<sup>[12]</sup>。基于以上分析,本文提出如下假设:

**H<sub>1a</sub>** 高等教育数量越多,绿色技术创新水平提升越快;

**H<sub>1b</sub>** 高等教育质量越高,绿色技术创新能力越强。

### 1.3.2 高等教育对绿色技术创新的影响路径

1) 促进人力资本水平路径。依据张心悦等<sup>[13]</sup>的研究,一个国家的人力资本水平越高,对于世界前沿科技的学习、吸收和消化能力越强,该国对世界前沿技术的追赶速度越快。据世界银行相关研究结果:劳动力平均受教育年限每增加1 a, GDP 将增加9%。

也就是说,适当扩大高等教育机构,增加高等教育的人口规模和数量,可提高劳动力的受教育程度,而具有高素质的劳动力更易于参与环境保护,具有环保意识和行动能力,同时也培养大量绿色创新人才,从而推动绿色技术创新水平的发展。依据现有研究,本研究采用劳动力平均受教育水平衡量人力资本水平。

2) 提升就业路径。自高等教育扩招以来,高校毕业生就业数量大量增加,这些拥有高学历的就业人员拥有丰富的知识和技能,也更有助于其创新创业,实现自己的理想。因此,高等教育的普及为大量毕业生创新创业提供更有力的支撑。此外,高等教育部门通过培养大量环境与技术相结合的创新人才,使高等教育通过绿色就业达到经济、社会和环境的协调发展。因为高素质人力资本不仅促进了技术创新和知识进步,还直接影响着绿色生产力和能源效率水平。一些研究发现,人力资本对提高能源效率<sup>[14]</sup>、经济增长<sup>[15]</sup>和可持续绿色发展有关键作用。例如,技能成熟的工人更有能力降低能源消耗,受教育程度较高的人更倾向于选择节能电器,这些都有利于促进绿色可持续发展。

3) 促进科教支出路径。高等教育通过培养高素质人才、促进知识积累和传播,直接或间接推动绿色技术创新<sup>[16]</sup>。绿色技术创新通常指可持续、环保的技术创新,旨在减少对环境的负面影响,同时提升生产效率,其不仅能带动经济增长,还能推动社会向绿色可持续发展转型。绿色技术创新的实现,通常需要高等教育系统培养相关人才,科教支出为技术研发提供必要的资金支持。科教支出通常指政府或社会在科研、教育和技术创新上的投入,尤其是对高等教育和科研机构的资助。科教支出的增长可通过以下几个途径促进高等教育与绿色技术创新之间的联系:一是提升教育质量与科研水平。足够的科教支出能改善高等教育机构的科研条件,推动绿色技术的基础研究和技术开发。增加投入可提高科研人员待遇、增加设备和实验室设施、支持更多跨学科的合作等,从而提升教育质量和创新能力。二是加强合作与创新平台建设。科教支出可用于搭建更好的合作平台,如大学与企业的产学研合作,可推动绿色技术创新的产业化进程。此外,增加科教支出也可促进政府与学术界、企业界之间的协调,形成良性的技术创新生态系统。科教支出作为中介效应,连接了高等教育与绿色技术创新。通过增加资金投入,不仅能提升高等教育的科研能力,也能直接促进绿色技术的创新和产业化。基于以上分析,本文提出如下假设:

**H<sub>2a</sub>** 高等教育数量通过提高人力资本水平促进

绿色技术创新;

$H_{2b}$  高等教育数量通过增加就业促进绿色技术创新;

$H_{2c}$  高等教育质量通过增加科教支出促进绿色技术创新。

## 2 研究设计

### 2.1 变量选择与描述分析

#### 2.1.1 被解释变量

本文的被解释变量为绿色技术创新( $G$ ),是衡量经济活力的重要指标。目前学术界对绿色技术创新指标的衡量各不相同,本文结合DEA中具有非期望产出超效率(DEA-SBM)模型和GML(Global Malmquist-Luenberger)指数测度了2002—2021年中国30个省(区、市)的绿色技术创新效率,并参考其他研究者的做法,将GML指数表示如下:

$$G_t^{t+1} = \frac{1 + \overline{S}_V^G(x', y', b'; g^x, g^y, g^b)}{1 + \overline{S}_V^G(x^{t+1}, y^{t+1}, b'^{t+1}; g^x, g^y, g^b)} \quad (1)$$

式中: $G_t^{t+1}$ 为以 $t$ 期为基准的 $t+1$ 期相对变动值;

$\overline{S}_V^G(x', y', b'; g^x, g^y, g^b)$ 为SBM距离函数; $x$ 为期望投入; $y$ 为期望产出; $b$ 为非期望产出。

GML指数以1为阈值,大于1表示该省份绿色技术创新效率提升;小于1表示该省份绿色技术创新效率下降;等于1表示该省份绿色技术创新效率处于稳定状态。

绿色技术创新变量的测算,分别参考了孙小龙<sup>[4]</sup>、Zhou Y.<sup>[17]</sup>等的研究。投入变量分别是研发资本投入、研发人员和能源消耗;产出变量分别为各省GDP、创新产出(采用专利申请授权量衡量)、工业废水、废气和工业固废。数据来源分别为《中国科技统计年鉴》《中国能源统计年鉴》《中国统计年鉴》《中国环境统计年鉴》,出现缺失数据时通过插值法或查阅各省统计年鉴补充。

#### 2.1.2 核心解释变量和控制变量

本研究使用2003—2021年30个省(区、市)的面板数据进行分析(鉴于数据可得性,香港、澳门、台湾和西藏除外),部分缺失变量采用插值法或移动平均法补充。核心解释变量参考A. Castelló-Climent<sup>[11]</sup>、张心悦<sup>[2]</sup>等的研究,从数量和质量两方面衡量自变量高等教育,关于高等教育数量( $N$ )指标,采用高等教育毕业生数量进行衡量,数据来源于《中国教育统计年鉴》;关于高等教育质量( $Q$ )指标,采用高等教育生均经费衡量,数据来源于《中国教育经费统计年鉴》。其他变量指标,数字经济( $D$ )、

环境规制( $R$ )、产业结构升级( $I$ )、金融发展( $F$ )、经济发展水平( $P$ )、贸易依存度( $T$ )数据来源于《中国互联网发展统计报告》《中国环境统计年鉴》《中国统计年鉴》《中国金融年鉴》《中国科学技术统计年鉴》。

各变量的分布特征见表1,且表中核心解释变量和控制变量的描述统计结果均为取对数后的值。以核心解释变量为例,可看出省份间的高等教育规模差异较大,最大值为2.165,而最小值仅0.446,高等教育质量也有一定差异,说明省份间的高等教育情况存在发展不平衡问题。控制变量数据如数字经济、贸易依存度及金融发展水平等的最大值和最小值之间差异较大,说明不同省份间、不同年份仍存在较大差异,因此,后续统计模型中,采用兼具时间和省份的双向固定效应模型进行处理,以剥离时间趋势及个体不随时间变化的遗漏变量对结果的影响<sup>[13]</sup>。

表1 变量描述性统计结果

Table 1 Descriptive statistics of variables

变量	定义	观测值	均值	标准差	最小值	最大值
$G$	绿色技术创新	570	1.025	0.088	0.585	1.597
$Q$	高等教育质量	570	10.151	0.492	8.419	11.835
$N$	高等教育数量	570	1.556	0.323	0.446	2.165
$D$	数字经济	570	-1.499	0.197	-2.028	-0.903
$R$	环境规制	570	0.083	0.157	-0.489	0.805
$T$	贸易依存度	570	4.133	1.132	1.160	6.845
$P$	区域经济发展水平	570	10.412	0.763	8.216	12.405
$I$	产业结构升级	570	-0.467	0.107	-0.902	-0.072
$F$	金融发展	570	0.278	0.247	-0.336	1.321
$S$	科教支出	570	2.897	0.179	2.359	3.227
$E$	就业	570	2.659	0.281	0.777	4.225
$C$	人力资本	570	2.494	0.269	1.442	3.760

### 2.2 方法与模型

在探讨高等教育质量和数量对绿色技术创新的影响时,为避免个体和时间对被解释变量的影响,本文先使用双向固定效应模型为基准回归模型对高等教育和绿色技术创新间的关系进行分析,模型如下:

$$Y_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 N_{it} + \alpha_2 Q_{it} + \alpha' Z_{it} + v_i + \mu_t + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

式中: $Y_{it}$ 为省份 $i$ 在年份 $t$ 的绿色技术创新; $N_{it}$ 和 $Q_{it}$ 分别为省份 $i$ 在年份 $t$ 的高等教育数量和高等教育质量; $Z_{it}$ 为相关控制变量,具体为数字经济、环境规制、产业结构升级、金融发展、经济发展水平、对外贸易; $\alpha$ 为控制变量的系数; $v_i$ 为省份固定效应; $\mu_t$ 为时间固定效应; $\varepsilon_{it}$ 为随机扰动项。

为进一步分析高等教育质量和高等教育数量对绿色技术创新的作用机制,本文分别选取就业和劳动

力平均受教育水平作为高等教育数量对绿色技术创新影响的中介变量,同时,把科教支出作为高等教育质量对绿色技术创新影响的中介变量。基于上述分析,构建如下中介效应模型:

$$Y_{it} = \beta_0 + \beta_1 Q_{it} + \beta' Z_{it} + v_i + \mu_t + \varepsilon_{it}, \quad (3)$$

$$S_{it} = \beta_0 + \beta_2 Q_{it} + \beta' Z_{it} + v_i + \mu_t + \varepsilon_{it}, \quad (4)$$

$$Y_{it} = \beta_0 + \beta_3 Q_{it} + \beta_4 S_{it} + \beta' Z_{it} + v_i + \mu_t + \varepsilon_{it}, \quad (5)$$

$$Y_{it} = \beta_0 + \beta_1 N_{it} + \beta' Z_{it} + v_i + \mu_t + \varepsilon_{it}, \quad (6)$$

$$E_{it} = \beta_0 + \beta_2 N_{it} + \beta' Z_{it} + v_i + \mu_t + \varepsilon_{it}, \quad (7)$$

$$Y_{it} = \beta_0 + \beta_3 N_{it} + \beta_4 E_{it} + \beta' Z_{it} + v_i + \mu_t + \varepsilon_{it}, \quad (8)$$

$$Y_{it} = \beta_0 + \beta_1 N_{it} + \beta' Z_{it} + v_i + \mu_t + \varepsilon_{it}, \quad (9)$$

$$C_{it} = \beta_0 + \beta_2 N_{it} + \beta' Z_{it} + v_i + \mu_t + \varepsilon_{it}, \quad (10)$$

$$Y_{it} = \beta_0 + \beta_3 N_{it} + \beta_4 C_{it} + \beta' Z_{it} + v_i + \mu_t + \varepsilon_{it}。 \quad (11)$$

式(3)~(11)中: $S_{it}$ 、 $E_{it}$ 、 $C_{it}$ 为中介变量,分别代表科教支出、就业与劳动力平均受教育水平; $\beta$ 为控制变量系数。

方程(3)~(5)与方程(6)~(11)分别是高等教育质量与高等教育数量作为核心自变量的中介模型。若系数 $\beta_1$ 、 $\beta_2$ 、 $\beta_3$ 、 $\beta_4$ 均显著,则表示存在部分中介效应,即高等教育一方面直接影响绿色技术创新,另一方面会通过中介变量对绿色技术创新产生影响;若系数 $\beta_1$ 、 $\beta_2$ 、 $\beta_4$ 均显著,但系数 $\beta_3$ 不显著,则表示高等教育对绿色技术创新的影响是通过中介效应完全实现的。

### 3 实证结果与分析

#### 3.1 基本回归分析

表2为高等教育对绿色技术创新影响的实证统计结果,其中列(1)为高等教育数量对绿色技术创新的单独影响,回归结果显示,高等教育数量每增加1%,绿色技术创新可提升0.117;列(2)为高等教育质量对绿色技术创新的单独影响,回归结果显示,高等教育质量每提升1%,绿色技术创新水平可提升0.187;列(3)为高等教育数量、高等教育质量对绿色技术创新同时影响的结果,回归显示,高等教育数量和高等教育质量对绿色技术创新的影响都为正且都显著,并且二者对绿色技术创新影响贡献水平几乎一致,说明不管是增加高素质人才的数量还是提高高等教育质量的水平,都能提升绿色技术创新的水平,这与卢文华<sup>[18]</sup>的研究结论一致,也与假设 $H_{1a}$ 和 $H_{1b}$ 相符合。换言之,高等教育的发展只有不断提升人力资本的“量”和“质”,实现“人才聚集”和“知识溢出”影响区域创新能力,才能更好地提升区域创新水平。

此外,从控制变量回归结果看,数字经济、环境规制、贸易依存度、产业升级对绿色技术创新的影响都是正向且积极显著,而金融发展和区域经济发展水平对绿色技术创新的影响是抑制、约束。就金融发展来讲,这大概因为中国地方金融发展还没达到一定规模,与发达国家确实存在一定的差距。金融风险投资保障体系不完善,无法为绿色科技创新提供合理的风险规避策略。如果过分追求扩大金融规模,则金融体系可能会因缺乏有效维护而不稳定。导致机会成本大于金融资本边际产出,就会出现金融规模扩张抑制绿色技术创新的情况。就区域经济发展水平来讲,如果区域发展不平衡、要素资源不协同,就会出现科技和人才短缺现象,从而抑制绿色技术创新发展。

表2 高等教育与绿色技术创新基准回归与特征分析  
Table 2 Higher education and green technology innovation: benchmark regression and characterization

变量	(1) G	(2) G	(3) G
N	0.117*** (0.031)	-	0.203*** (0.023)
Q	-	0.187*** (0.010)	0.202*** (0.010)
D	0.683*** (0.039)	0.481*** (0.031)	0.356*** (0.033)
R	0.084*** (0.019)	0.033** (0.015)	0.022 (0.014)
T	-0.004 (0.010)	0.053*** (0.008)	0.034*** (0.008)
I	0.367*** (0.043)	0.064* (0.038)	0.018 (0.036)
F	-0.016 (0.026)	-0.119*** (0.021)	-0.127** (0.020)
P	-0.026*** (0.009)	-0.099*** (0.008)	-0.136*** (0.009)
截距项	2.322*** (0.060)	0.727*** (0.100)	0.515*** (0.097)
N	570	570	570
R <sup>2</sup>	0.800 4	0.875 2	0.891 1
省份固定效应	是	是	是
年份固定效应	是	是	是

注:括号内为标准误,\* $p < 0.10$ ,\*\* $p < 0.05$ ,\*\*\* $p < 0.01$ ,下同。

#### 3.2 高等教育影响绿色技术创新的路径与机制

基于上文分析,高等教育数量和质量对绿色技术创新的影响作用路径与机制是不同的,具体见表3。

中介效应模型中,方程(3)对应表2中列(2),方程(4)~(5)分别对应表3中列(1)和(4),其中,方程(3)与方程(2)对应的表2中列(2)的回归系数一致,此结果已在3.1节分析。现对表3中列(1)分析,该列为自变量高等教育质量和中介变量科教支出的回归系数,结果显示系数显著且为正,这表示高等教育质量可以显著提升科教支出,同时,国家在科技与教育方面的投入支持增加,有助于高等教育质量的提升。表3中列(4)为自变量高等教育质量与中介变量科教支出同时放入的回归系数,结果显示高等教育质量对绿色技术创新的影响存在部分中介效应,即高等教育质量一方面可以直接影响绿色技术创新,另一方面通过科教支出的增加间接影响绿色技术创

新, 这与假设  $H_{2c}$  一致。具体而言, 高质量的教育能够培养出具有创新精神和批判性思维的人才, 这些人才对于绿色技术的研发至关重要。其次, 科教支出的增加可以为教育和科研提供更多资源, 包括先进的实验设备和研究资金, 这有助于提高研究效率和质量。此外, 教育投资还能增强公众对环保和可持续发展的认识, 从而为绿色技术的推广和应用创造良好的社会环境。因此, 高等教育不仅能直接促进绿色技术创新, 还可以通过科教支出的提升间接推动绿色技术创新。

中介效应模型中方程 (6) 对应表 2 中列 (1), 方程 (7)~(8) 分别对应表 3 中列 (2) 和 (5), 其中, 方程 (6) 与方程 (2) 对应的表 2 中列 (1) 回归系数一致, 此结果已在 3.1 节分析。现对表 3 中列 (2) 进行分析, 该列为自变量高等教育数量和中介变量就业的回归系数, 结果显示该系数显著且为正, 这表明高等教育数量可以显著提升就业的质量, 经历过高等教育的锤炼, 学生的综合素质和能力得以提升, 所展现出的能力和素质使其在就业市场中更具竞争优势。表 3 中列 (5) 为自变量高等教育数量与中介变量就业同时放入的回归系数, 结果显示高等教育数量对绿色技术创新的影响存在部分中介效应, 即高等教育数量一方面可以直接影响绿色技术创新, 另一方面通过就业人员专业素质的提升间接影响绿色技术创新, 这与假设  $H_{2b}$  一致。具体而言, 高等教育通过提升就业促进绿色技术创新的关键在于培养与市场需求相匹配的专业人才。高等教育的扩张和专业化能够为绿色技术领域提供更多的专业人才, 这些人才能推动绿色技术的研发和应用。同时, 高等教育机构通过与产业界的合作, 可以促进科技成果转化, 加速绿色技术的产业化进程。此外, 政府的政策扶持, 如提供绿色就业岗位和鼓励绿色创业, 也能直接促进绿色技术创新。因此, 高等教育通过提升就业率, 不仅能够解决劳动力市场的问题, 还能够为绿色技术创新提供人才和智力支持, 从而推动绿色经济的发展。

中介效应模型中方程 (9) 对应表 2 中列 (1), 方程 (10)~(11) 分别对应表 3 中列 (3) 和 (6), 其中, 方程 (9) 与方程 (2) 对应的表 2 中列 (1) 回归系数一致, 此结果已在 3.1 节分析。现对表 3 中列 (3) 进行分析, 该列为自变量高等教育数量和中介变量劳动力平均受教育水平的回归系数, 结果显示系数显著且为正, 这表示高等教育数量可以显著提升劳动力的受教育年限, 受过专业训练的劳动力, 其学术能力和专业素养都得到综合提升。表 3 中列 (6) 为自变量高等教育数量与中介变量劳动力平均受教育水平同时放入的回归系数, 结果显示高等教育数量

对绿色技术创新的影响存在部分中介效应, 即高等教育数量一方面可以直接影响绿色技术创新, 另一方面通过劳动力平均受教育水平的提升间接促进绿色技术创新的发展, 这与假设  $H_{2a}$  一致。具体而言, 高等教育通过人力资本促进绿色技术创新的关键在于提升教育水平和专业技能, 从而增强个体的创新能力。教育人力资本对绿色经济的影响首先体现在技术创新方面, 它通过改变生产工具、生产方式与生产理念, 极大地推动了各类技术创新活动的开展。高等教育通过培养具有绿色技术和环保专业知识的人才, 为绿色技术的发展提供了强大的智力支撑。此外, 人力资本的提升还能促进生产要素流动、生产效率提升, 最终带来绿色技术创新革新, 实现经济高质量发展。因此, 高等教育在提升人力资本方面的作用对于绿色技术创新至关重要, 它不仅能提供必要的知识和技能, 还能激发创新思维, 推动绿色技术的进步和应用。

表 3 高等教育对绿色技术创新的作用机制检验

Table 3 Mechanism testing of the role of higher education in green technology innovation

变量	(1) S	(2) E	(3) C	(4) G	(5) G	(6) G
N		0.452*** (0.151)	0.352** (0.171)		0.093*** (0.030)	0.106*** (0.030)
Q	0.095*** (0.033)			0.183*** (0.010)		
S				0.045*** (0.013)		
E					0.054*** (0.008)	
C						0.033*** (0.008)
D	-0.484*** (0.103)	0.023 (0.191)	-0.177 (0.216)	0.502*** (0.032)	0.682*** (0.037)	0.689*** (0.038)
R	-0.011 (0.050)	-0.228** (0.094)	-0.456*** (0.106)	0.034** (0.015)	0.096*** (0.018)	0.099*** (0.019)
T	0.040 (0.026)	-0.133*** (0.050)	-0.322*** (0.057)	0.051*** (0.008)	0.004 (0.010)	0.007 (0.010)
I	-0.168 (0.125)	-0.501** (0.211)	0.545** (0.239)	0.071* (0.038)	0.394*** (0.042)	0.349*** (0.042)
F	0.327*** (0.069)	0.620*** (0.126)	0.644*** (0.143)	-0.133*** (0.021)	-0.049* (0.025)	-0.037 (0.026)
P	0.021 (0.027)	0.233*** (0.047)	0.162*** (0.053)	-0.100*** (0.008)	-0.039*** (0.009)	-0.031*** (0.009)
截距项	0.653*** (0.330)	-0.271 (0.297)	1.439*** (0.336)	0.698*** (0.100)	2.336*** (0.058)	2.274*** (0.060)
N	570	570	570	570	570	570
R <sup>2</sup>	0.4167	0.4757	0.2752	0.8779	0.8145	0.8070
省份固定效应	是	是	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是	是	是

## 4 结论与建议

### 4.1 结论

使用 2003—2021 年 30 个省份的面板数据,研究了高等教育质量与高等教育数量对绿色技术创新的影响路径与作用机制,得到如下结论。

第一,不论是高等教育数量还是高等教育质量均能显著促进绿色技术创新,但更要注重高等教育质量的提升。具体而言,从表 2 中列(1)和(2)高等教育数量和质量单独对绿色技术创新的影响来看,高等教育质量系数 0.187 比高等教育数量系数 0.117 的贡献度更大。从列(3)所示高等教育数量和质量同时对绿色技术创新的影响来看,二者的系数几乎相同,即对绿色技术创新的贡献同样重要,换言之,高等教育数量与质量的共同增强才能更好地为绿色技术创新提供“量”和“质”的积累,激发科技创新活力,促进环境与经济的双赢。

第二,高等教育数量和高等教育质量对绿色技术创新存在不同的影响路径及作用机制。具体表现如下:一是高等教育数量影响绿色技术创新的路径之一为劳动力平均受教育水平。由表 3 中列(3)可知,高等教育数量对绿色技术创新的影响存在中介效应,即高等教育数量是通过劳动力平均受教育水平间接影响绿色技术创新。表 3 中列(6)显示高等教育数量对绿色技术创新影响的直接贡献为 0.106,通过劳动力平均受教育水平的间接贡献为 0.033。此外,控制变量中,数字经济和产业升级对绿色技术创新的贡献较大,贡献度分别为 0.689 和 0.349,故应大力发展数字经济,促进产业转型升级。二是高等教育数量影响绿色技术创新的路径之二为就业。由表 3 中列(2)可知,高等教育数量对绿色技术创新的影响存在中介效应,即高等教育数量是通过就业质量的提升间接影响绿色技术创新的。表 3 中列(5)显示高等教育数量对绿色技术创新影响的直接贡献为 0.093,通过就业的间接贡献为 0.054。此外,控制变量中,数字经济贡献最大,其系数为 0.682;表明数字经济与绿色技术创新的有效融合有助于实现可持续发展目标;其次为产业升级,其系数为 0.394,产业升级显著促进了绿色技术创新的发展。三是高等教育质量影响绿色技术创新的路径之三为科教支出。由表 3 中列(1)可知,高等教育质量对绿色技术创新的影响存在中介效应,即高等教育数量是通过科教支出的增加间接影响绿色技术创新。表 3 中列(4)显示高等教育质量对绿色技术创新影响的直接贡献为 0.183,通过科教支出的间接贡献为 0.045。此外,控制变量中,数

字经济和产业升级对绿色技术创新的贡献仍然较大,分别为 0.502 和 0.071。

### 4.2 建议

依据以上研究结论,得到如下几点政策启示。

第一,适度调控高等教育规模、不断优化高等教育质量,提升人力资本质量。学者 Zhu T. T. 等<sup>[19]</sup>发现在现有水平下高等教育规模的过度扩大会加剧碳排放,不利于经济的可持续发展。因此,政策应重点关注教育质量的全面提升,包括教师队伍的专业化培养、课程内容的前沿化改革以及教学方法的创新性强化。特别是在绿色技术相关领域,应鼓励建立专业研究中心,引入跨学科的教研模式,加强与国际领先科研机构合作,以此提高人力资本质量和创新能力。

第二,构建教育与高质量就业的桥梁。政策应加强高等教育与就业市场之间的联系,以提升教育与就业的匹配度。这需要建立一个动态的教育内容更新机制,以适应劳动市场的快速变化。同时,加强学生的职业生涯规划教育,提供实习、就业指导和职业培训等服务,确保毕业生能顺利融入高质量就业环境。

第三,增强科教投入,促进绿色技术研发与应用。鉴于科教支出对于绿色技术创新的关键作用,政策应大幅度增加对相关领域的投资。学者 A. Fahim 等<sup>[20]</sup>也认为增加高等教育经费不仅能促进创新进而提升经济发展水平与质量。这涉及增加基础科研资金、设立特定绿色技术研发基金以及激励私人部门和国际资本参与。除了资金投入,还应重视知识产权保护、成果转化机制的完善以及科研成果商业化路径探索。

研究局限与展望:一是由于研究指标较多,数据收集受到限制,研究时间跨度较短,后期将不断对高等教育和绿色技术创新的作用机制路径进行长期跟踪和观察。二是未来将引入空间分析方法,以全面理解高等教育对绿色技术创新的作用机制,加强对不同地区高等教育和绿色技术创新差异性及其动态变化的理解。

### 参考文献:

- [1] LEE C C, HE Z W, YUAN Z H. A Pathway to Sustainable Development: Digitization and Green Productivity[J]. *Energy Economics*, 2023, 124: 106772.
- [2] 张心悦, 马莉萍. 高等教育提升全要素生产率的作用机制[J]. *教育研究*, 2022, 43(1): 35-46.  
ZHANG Xinyue, MA Liping. The Mechanism for Higher Education to Improve Total Factor Productivity[J]. *Educational Research*, 2022, 43(1): 35-46.
- [3] 吴菊珍, 谌艳芳. 高等教育资源配置对区域创新能力

- 影响的实证研究[J]. 江西师范大学学报(自然科学版), 2018, 42(3): 283-290.
- WU Juzhen, CHEN Yanfang. The Empirical Study on the Influence of Education Resource Allocation on Regional Innovation Ability[J]. Journal of Jiangxi Normal University (Natural Science Edition), 2018, 42(3): 283-290.
- [4] 孙小龙, 李子华, 李芳芝. 高等教育资源与绿色创新关系的实证检验[J]. 统计与决策, 2022, 38(23): 80-84.
- SUN Xiaolong, LI Zihua, LI Fangzhi. An Empirical Test of the Relationship Between Higher Education Resources and Green Innovation[J]. Statistics & Decision, 2022, 38(23): 80-84.
- [5] LI H J, LIU S. Higher Education, Technological Innovation, and Regional Sustainable Development: Insights from a VAR Model[J]. Discrete Dynamics in Nature and Society, 2021(1): 8434528.
- [6] ZHANG T G, MA Z, SHANG Y S. Higher Education, Technological Innovation, and Green Development: Analysis Based on China's Provincial Panel Data[J]. Sustainability, 2023, 15(5): 4311.
- [7] CHANG J L, LI B, CHEN B, et al. Does Higher Education Promote Sustainable Development? Role of Green Technology and Financial Performance[J]. Environmental Science and Pollution Research International, 2023, 30(41): 94890-94903.
- [8] 张青根, 徐汇杰. 高等教育人力资本、技术创新与绿色经济发展[J]. 黑龙江高教研究, 2024, 42(9): 58-67.
- ZHANG Qinggen, XU Huijie. Higher Education Human Capital, Technology Innovation and Green Economic Development[J]. Heilongjiang Researches on Higher Education, 2024, 42(9): 58-67.
- [9] 周均旭, 刘冰洁, 刘子俊. 高等教育与产业结构耦合协调对绿色创新的影响: 基于人力资本的双重路径视角[J]. 当代教育论坛, 2023(5): 1-13.
- ZHOU Junxu, LIU Bingjie, LIU Zijun. How Can Integration Between Industry and Higher Education Enable Green Innovation: Dual Path Perspective Based on Human Capital[J]. Forum on Contemporary Education, 2023(5): 1-13.
- [10] ZHOU X X, HU X Y, DUAN M, et al. Go for Economic Transformation and Development in China: Financial Development, Higher Education, and Green Technology Evolution[J]. Evaluation Review, 2024, 48(1): 32-62.
- [11] CASTELLÓ-CLIMENT A, HIDALGO-CABRILLANA A. The Role of Educational Quality and Quantity in the Process of Economic Development[J]. Economics of Education Review, 2012, 31(4): 391-409.
- [12] YE F Y, YU S S, LEYDESDORFF L. The Triple Helix of University-Industry-Government Relations at the Country Level and Its Dynamic Evolution Under the Pressures of Globalization[J]. Journal of the American Society for Information Science and Technology, 2013, 64(11): 2317-2325.
- [13] 张心悦, 闵维方. 教育在提高全要素生产率中的作用研究: 基于线性与非线性视角[J]. 北京大学教育评论, 2021, 19(3): 101-124, 191.
- ZHANG Xinyue, MIN Weifang. The Impact of Education on Total Factor Productivity Growth: A Linear and Nonlinear Perspective[J]. Peking University Education Review, 2021, 19(3): 101-124, 191.
- [14] LIU M, LEE C C. Capturing the Dynamics of the China Crude Oil Futures: Markov Switching, Co-Movement, and Volatility Forecasting[J]. Energy Economics, 2021, 103: 105622.
- [15] 赵莎莎. R&D资本、异质型人力资本与全要素生产率: 基于空间相关性和区域异质性的实证分析[J]. 现代经济探讨, 2019(3): 44-56.
- ZHAO Shasha. R&D Capital, Heterogeneous Human Capital and Total Factor Productivity: Empirical Analysis Based on Spatial Relevance and Regional Heterogeneity[J]. Modern Economic Research, 2019(3): 44-56.
- [16] 张玉鹏, 王茜. 人力资本构成、生产率差距与全要素生产率: 基于中国省级面板数据的分析[J]. 经济理论与经济管理, 2011, 31(12): 27-36.
- ZHANG Yupeng, WANG Qian. Composition of Human Capital, Distance to Frontier and Total Factor Productivity: An Empirical Analysis of the Provincial Panel Data in China[J]. Economic Theory and Business Management, 2011, 31(12): 27-36.
- [17] ZHOU Y, XING X P, FANG K N, et al. Environmental Efficiency Analysis of Power Industry in China Based on an Entropy SBM Model[J]. Energy Policy, 2013, 57: 68-75.
- [18] 卢文华. 高等教育资源承载力、人力资本与区域创新能力耦合关系研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古财经大学, 2022.
- LU Wenhua. Study on the Coupling Relationship Among Higher Education Resources Carrying Capacity, Human Capital and Regional Innovation Ability[D]. Hohhot: Inner Mongolia University of Finance and Economics, 2022.
- [19] ZHU T T, PENG H R, ZHANG Y J, et al. Does Higher Education Development Facilitate Carbon Emissions Reduction in China[J]. Applied Economics, 2021, 53(47): 5490-5502.
- [20] FAHIM A, TAN Q M, BHATTI U A, et al. The Nexus Between Higher Education and Economic Growth in Morocco: An Empirical Investigation Using VaR Model and VECM[J]. Multimedia Tools and Applications, 2023, 82(4): 5709-5723.