

“双碳”背景下数字经济与绿色物流耦合协调关系研究

——以广东省为例

黄国瑞, 雷良海

上海理工大学管理学院, 上海

收稿日期: 2024年4月28日; 录用日期: 2024年6月20日; 发布日期: 2024年6月28日

摘要

十八大以来, 随着“双碳”概念的兴起, 碳减排越来越受到人们的重视, 而数字经济的蓬勃发展能为碳减排提供动力, 碳减排又能反过来拉动企业数字化升级的需求, 促进数字经济发展。文章基于“双碳”背景构建广东省数字经济与绿色物流发展评价指标体系, 并运用熵权法和耦合协调度模型分析了2013~2021年广东省数字经济与绿色物流的综合发展水平及耦合协调趋势。研究结果表明广东省数字经济与绿色物流发展水平近年来呈现出平稳上升趋势, 两系统耦合协调水平在9年间实现了由中度失调到良好协调的跨越。

关键词

数字经济, 绿色物流, 熵权法, 耦合协调度

Study on the Coupling and Coordination Relationship between Digital Economy and Green Logistics in the Context of “Dual Carbon”

—Taking Guangdong Province as an Example

Guorui Huang, Lianghai Lei

Business School, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai

Received: Apr. 28th, 2024; accepted: Jun. 20th, 2024; published: Jun. 28th, 2024

文章引用: 黄国瑞, 雷良海. “双碳”背景下数字经济与绿色物流耦合协调关系研究[J]. 运筹与模糊学, 2024, 14(3): 897-905. DOI: 10.12677/orf.2024.143325

Abstract

Since the 18th National Congress, with the rise of the concept of “dual-carbon”, carbon emission reduction has been paid more and more attention to, and the booming development of digital economy can provide impetus for carbon emission reduction, and carbon emission reduction can, in turn, stimulate the demand for enterprise digitalization upgrading and promote the development of digital economy. Based on the background of “dual-carbon”, the article constructs the evaluation index system of digital economy and green logistics development in Guangdong Province, and analyzes the comprehensive development level of digital economy and green logistics in Guangdong Province and the trend of coupling and coordination from 2013 to 2021 by using entropy weighting method and coupling coordination degree model. The results of the study show that the development level of digital economy and green logistics in Guangdong Province has shown a steady upward trend in recent years, and the coupling and coordination level of the two systems has realized a leap from moderate dysfunction to good coordination in nine years.

Keywords

Digital Economy, Green Logistics, Entropy Weight Method, Coupling Coordination Degree

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

“双碳”即碳达峰与碳中和的简称。在“双碳”背景下，绿色物流的概念开始兴起，绿色物流是指通过实施可持续的物流技术，实现运输配送、包装以及最后环节的资源优化，减少碳排放，从而促进物流行业可持续发展的物流模式。数字经济是利用数字技术来推动经济发展的一种新型经济模式，它包括了人工智能、大数据、物联网、云计算、区块链等一系列前沿技术，是物流业低碳转型不可缺少的一部分。在双碳目标指引下，中国正全力推进绿色发展，努力构建绿色低碳的循环经济体系。数字经济，作为新时代的重要经济形态，以其高效、智能的特性，为绿色转型提供了强大的动力。而绿色物流，作为绿色发展的重要一环，对于降低碳排放、提高资源利用效率具有关键作用。

广东省是我国改革开放的前沿阵地与经济发达的领头羊，数字经济发展迅猛，物流体系日益完善，研究双碳背景下数字经济与绿色物流的耦合协调关系，对于推动广东省乃至全国的绿色发展具有重要的理论意义和实践价值。本研究旨在深入探讨数字经济与绿色物流在双碳背景下的互动关系，分析二者之间的耦合机制与协调路径。通过构建合理的理论框架，结合广东省的实际发展情况，本文将对数字经济与绿色物流的发展水平进行量化评估，探究二者之间的相互影响和制约因素，进而提出促进二者耦合协调发展的政策建议。希望通过本文能够为广东省乃至全国在双碳背景下推动数字经济与绿色物流的融合发展提供有益的参考和借鉴。

2. 文献综述

数字经济与绿色物流耦合协调发展指的是数字经济与绿色物流两大领域在相互促进、相互支持中实现共同发展的一种理想状态。在数字经济时代，大数据、云计算、物联网、人工智能等先进技术的广泛

应用,为绿色物流的发展提供了强大的技术支撑;同时,绿色物流的发展也反过来推动数字经济的进步。因此,本文的文献综述主要包括三个方面:

2.1. 数字经济的研究

目前有关数字经济的研究已较为成熟。学者们对数字经济的研究主要涉及对数字经济内涵的探讨与数字经济发展水平的测度两方面。赵剑波等人对数字经济的内涵进行了深入探讨,将其概括为“三化”,即数字化产业、产业数字化以及数字化治理[1]。薛静娴基于数字经济的核心要素,从数字化基础设施、数字化应用以及数字化产业发展三个维度构建了一套指标体系,用于衡量中国数字经济的发展状况。研究结果显示,虽然我国数字经济发展呈现出不断上升的趋势,但不同地区之间的发展水平仍存在一定的差异[2]。梁秋霞等人则强调了数字经济中数字化知识和信息的关键作用,他们认为数字经济是以这些要素为基础,以科技创新为动力,借助现代信息通讯设施来创造新价值的新型经济形态[3]。

2.2. 绿色物流的研究

绿色物流,作为一种注重环保和可持续发展的新型物流模式,正逐渐受到业界的广泛关注。鲍明杰在“双碳”背景下详细阐述了实施绿色物流管理的策略,他强调绿色物流不仅有助于推动物流业的发展,更是实现经济可持续发展的重要途径[4]。王玲等人则进一步探讨了“双碳”目标下绿色物流的发展路径。他们提出,为了推动绿色物流的高质量发展,我国可以从调整能耗结构、优化运输方式、提升包装回收利用率等多个方面入手,同时加强技术创新和人才培养,为绿色物流的发展提供有力支持[5]。

2.3. 数字经济与绿色物流的关系研究

此方面研究主要集中在数字经济对绿色物流发展的影响。王春娟等构建了绿色物流高质量发展评价体系,结合 2011~2020 年中国地级市面板数据探讨绿色物流高质量发展效应,认为数字经济通过促进技术创新与提升居民收入两条途径促进绿色物流高质量发展[6];张蓉以我国 30 个省份为研究对象,构建数字经济与绿色物流耦合协调度模型分析我国省域数字经济域绿色物流协调性,结果发现耦合协调度自西向东增加,东部地区协调水平较高[7]。

综上所述,尽管数字经济领域的研究成果丰硕,但关于绿色物流的探讨相对较少。因此,本文基于“双碳”背景,构建了一套数字经济与绿色物流的指标评价体系。采用熵权法,对广东省数字经济与绿色物流的综合水平和变化趋势进行了深入分析。同时,借助耦合协调模型,实证探讨了广东省数字经济与绿色物流的耦合协调发展态势。本研究旨在为相关政策的制定提供有价值的参考依据,推动数字经济与绿色物流的协同发展。

3. 数字经济与绿色物流耦合协调发展机制分析

3.1. 数字经济对绿色物流的支持保障机制

在“双碳”目标的推动下,数字经济的发展为绿色物流的壮大奠定了坚实的基础。一些数字化相关企业运用先进的人工智能、大数据和物联网技术,实现了对物流过程的实时追踪和监控,优化了资源的配置和调度。这不仅仅加强了行业之间的信息交流与共享,也有效打破了行业壁垒,减少了信息不对称的问题。这样一来,物流效率得到了显著提升,同时也大幅降低了物流业的碳排放水平,从而推动了绿色物流的稳步发展。

3.2. 绿色物流对数字经济的需求拉动作用

绿色物流对数字经济的反作用主要是通过需求拉动效应来实现的。推动绿色物流发展所需要的新设

备，如物流园区中使用的清洁能源车辆，智慧化物流调度月台等，这些数字化设备的大量投入又反过来刺激了对数字化设备的需求，带动了数字经济的进一步发展。

本文参考余丽婷的研究[8]，得出“双碳”背景下数字经济与绿色物流的耦合共生关系如图 1 所示：

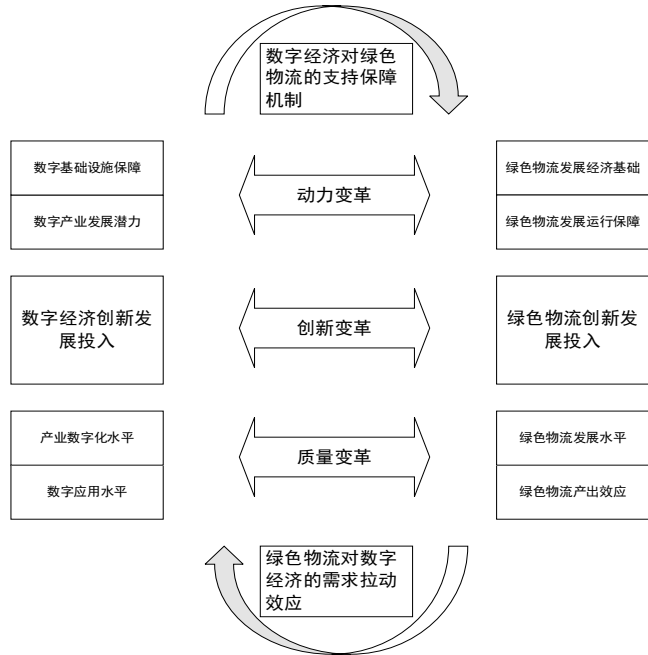


Figure 1. Coupled coordination mechanism of digital economy and green logistics

图 1. 数字经济与绿色物流耦合协调机制图

4. 数据来源与研究方法

4.1. 数据来源

自 2013 年以来，我国的数字经济发展已然步入成熟阶段，为此，本文将研究的时间范围锁定在 2013 年至 2021 年之间。本文所依据的原始数据，主要源自《中国统计年鉴》《中国第三产业统计年鉴》以及《广东社会统计年鉴》和《广东统计年鉴》等权威资料，力求确保数据的准确性和可靠性。

4.2. 评价指标体系构建

在构建本文的评价指标体系时，本文严格遵循系统性、科学性、可比性与可操作性等核心原则。同时参考了前人的研究成果[2] [7]，并结合数据的可获得性，从数字化基础设施、数字应用水平以及数字化产业发展这三个重要维度出发，全面衡量了数字经济的发展水平。数字化基础设施包括 5G 网络、云计算中心等高科技，其建设程度直接影响数字经济的运行效率与稳定性；数字化应用水平中，用数字电视用户数衡量数字经济个人层面的应用水平，用企业拥有的网站与使用的计算机台数衡量企业层面的应用水平，数字化应用水平的高低决定了数字经济的增长潜力；数字化产业发展水平主要由电子商务与软件信息业务衡量，这些产业的发展能直观反映数字经济发展水平。

考虑到邮政业、仓储业、交通运输业在物流中的重要地位，采用这三个行业的数据代表绿色物流的数据，并从绿色物流的需求，生产，环境三个方面构建指标体系。这样的构建方式既确保了评价的全面性和准确性，又提升了实际操作的可行性。具体指标及各指标对应权重见表 1，表 2。

Table 1. Guangdong digital economy indicator system
表 1. 广东省数字经济指标体系

一级指标	二级指标	变量	指标属性	权重
数字化基础设施	互联网域名数(万个)	X1	正向	0.0998
	互联网宽带接入端口数(万个)	X2	正向	0.1066
	移动电话基站(万个)	X3	正向	0.0891
	光缆线路长度(公里)	X4	正向	0.1098
数字化应用水平	数字电视用户数(万户)	X5	正向	0.0777
	每百家企业拥有网站数(个)	X6	正向	0.0867
	企业每百人使用计算机台数(台)	X7	正向	0.1043
数字化产业发展水平	电子商务采购额(亿元)	X8	正向	0.1214
	电子商务交易企业数(个)	X9	正向	0.0984
	软件业务收入(亿元)	X10	正向	0.1061

Table 2. Guangdong green logistics indicator system
表 2. 广东省绿色物流指标体系

一级指标	二级指标	变量	指标属性	权重
物流需求要素	地区生产总值(亿元)	Y1	正向	0.1058
	人均地区生产总值(元/人)	Y2	正向	0.0931
	第三产业产值(亿元)	Y3	正向	0.1050
	社会人均消费支出(元/人)	Y4	正向	0.0869
物流生产要素	物流业职工人数(万人)	Y5	正向	0.0484
	进出口总额(亿元)	Y6	正向	0.1333
	物流业固定资产投资(亿元)	Y7	正向	0.1072
物流环境要素	建成区绿化覆盖率(%)	Y8	正向	0.1378
	物流业能源消耗量(万吨标准煤)	Y9	负向	0.0903
	物流业碳排放量(万吨)	Y0	负向	0.0923

4.3. 研究方法

本文首先采用熵权法计算广东省数字经济与绿色物流的综合发展水平，再用耦合协调模型和相对发展度模型模型分析两个系统之间的耦合度、协调度、发展度，具体过程如下：

1) 原始数据的标准化

采用极差变换法对数据进行无量纲化处理，为避免出现无效数据在标准化过程中加入 0.001，将数据化为在[0, 1]之间的数值，公式如下：

正向指标：

$$X'_{ij} = \frac{X_{ij} - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} + 0.001 \quad (1)$$

负向指标：

$$X'_{ij} = \frac{X_{\max} - X_{ij}}{X_{\max} - X_{\min}} + 0.001 \quad (2)$$

其中 X'_{ij} 表示无量纲化后的指标, X_{ij} 表示第 i 个指标第 j 年的原始数据, $X_{\max}$ 与 $X_{\min}$ 分别表示同类指标中的最大, 最小值。

2) 用熵值法确定指标权重

熵值法的具体过程如下:

$$P_{ij} = \frac{X'_{ij}}{\sum_{j=1}^n X'_{ij}} \quad (3)$$

$$H_i = -K \sum_{j=1}^n P_{ij} \ln P_{ij}, K = \frac{1}{\ln(n)} \quad (4)$$

$$w_i = \frac{g_i}{\sum_{i=1}^m g_i}, g_i = 1 - H_i \quad (5)$$

P_{ij} 表示第 i 个指标第 j 年的值在指标总值中所占比重, n 是年份数, H_i 是第 i 个指标的信息熵, g_i 是第 i 个指标的差异系数, w_i 即熵权, 接着用线性加权法得到指标的综合得分:

$$U_j = \sum X'_{ij} w_i \quad (6)$$

U_j 是该指标第 j 年的综合得分。

3) 耦合协调模型

耦合度反映的是多个系统之间的连接强度, 本文使用耦合协调模型判断数字经济与绿色物流这两个系统之间的协调发展程度, 耦合协调度越大, 则系统间的耦合协调程度越高, 具体计算公式如下:

$$C = \frac{U_1 * U_2}{\sqrt{\left(\frac{U_1 + U_2}{2}\right)^2}} \quad (7)$$

$$D = \sqrt{C * (0.5U_1 + 0.5U_2)} \quad (8)$$

其中 U_1 , U_2 分别表示数字经济与绿色物流发展水平, C 为耦合度, D 是耦合协调度。

4) 相对发展度模型

耦合协调模型无法反映系统之间的相对发展程度, 所以本文采用相对发展系数 η_j 来比较数字经济与绿色物流的相对发展程度。

$$\eta_j = \frac{U_1}{U_2} \quad (9)$$

$\eta_j > 1$ 表示数字经济发展领先于绿色物流发展, $\eta_j = 1$ 表示两系统同步发展, $\eta_j < 1$ 表示数字经济发展滞后于绿色物流发展。

5. 实证结果分析

通过以上计算, 得到广东省数字经济与绿色物流的发展指数, 并据此计算两者的耦合协调度, 相关研究表明, D 在 $[0, 0.2)$ 区间为严重失调衰退, 在 $[0.2, 0.4)$ 区间为中度失调衰退, 在 $[0.4, 0.6)$ 区间为勉强协调发展, 在 $[0.6, 0.8)$ 区间为中度协调发展, 在 $[0.8, 1.0)$ 区间为良好协调发展, 据此得出广东省数字经济与绿色物流发展协调度总结见下表:

Table 3. Measurement results of coupled and coordinated development of digital economy and green logistics in Guangdong province**表 3.** 广东省数字经济与绿色物流耦合协调发展测算结果

年度	η_j	C	D	协调类型
2013	0.3691	0.8875	0.3666	中度失调衰退绿色物流领先
2014	0.7299	0.9877	0.4672	勉强协调发展绿色物流领先
2015	1.1696	0.9969	0.5383	勉强协调发展数字经济领先
2016	1.3912	0.9865	0.6640	中度协调发展数字经济领先
2017	0.9272	0.9993	0.7057	中度协调发展绿色物流领先
2018	1.1056	0.9987	0.7590	中度协调发展数字经济领先
2019	1.2769	0.9926	0.8295	良好协调发展数字经济领先
2020	1.1274	0.9982	0.8630	良好协调发展数字经济领先
2021	0.9283	0.9993	0.9253	良好协调发展绿色物流领先

从表 1 和表 2 中我们可以清晰地看到，在数字经济产业的众多指标中，电子商务采购额、互联网宽带接入端口数以及软件业务收入的权重尤为突出。这充分表明，互联网产业的规模和数字化基础设施建设水平为广东省数字经济的蓬勃发展注入了强劲动力。与此同时，其他各项指标也均表现出不俗的权重，进一步证明了这些要素在推动数字经济发展中的不可或缺的作用。在绿色物流产业方面，进出口总额和建成区绿化覆盖率两大指标权重最大，反映出绿色物流的发展与进出口贸易的繁荣以及城市生态环境的改善密不可分。这两个方面的提升不仅为绿色物流提供了更广阔的市场空间，同时也为其创造了更加宜居的发展环境。

从表 3 中我们不难发现，数字经济与绿色物流两大系统之间的耦合度极高，基本都保持在 0.9 以上，这充分说明了两者之间的紧密关联。在 2013 至 2021 年间，广东省数字经济与绿色物流的耦合协调度持续上升，从最初的中度失调逐步演变为良好的协调发展状态。这一变化不仅体现了两大系统之间的相互支撑作用日益增强，也预示着广东省在数字经济与绿色物流融合发展方面取得了显著成效。在协调类型上，虽然初期数字经济的发展在一定程度上滞后于绿色物流，但自 2016 年起，随着国家信息化规划的发布和数字经济的全面提速，数字经济开始逐渐领先于绿色物流的发展。这一转变不仅反映了数字经济在国内的快速发展趋势，也体现了广东省在推动数字经济与绿色物流协调发展方面的积极努力。

根据各个指标的权重，由公式得到数字经济与绿色物流的综合得分，用综合得分来衡量数字经济与绿色物流的发展水平。耦合度模型能分析两个独立系统的相互作用程度，但若仅以耦合度去分析数字经济与绿色物流之间的协调程度，则可能出现两系统耦合程度较好但是各自发展水平低的情况，为更清晰地了解广东省数字经济与绿色物流之间的关系，引入耦合协调度模型，同时考虑两系统的耦合程度与发展水平，更加全面地评估数字经济与绿色物流的协调关系与发展情况，并绘制图 2 如下。

图 2 直观地展示了数字经济产业与绿色物流产业综合发展水平的上升趋势，特别是在 2015 年广东省积极响应国务院“互联网+”行动计划并推进大数据战略后，数字经济产业迎来了大幅提速的发展阶段。而绿色物流产业虽然发展增速相对稳定，但在近年来广东省对碳减排和城市绿化建设的重视下，也开始呈现出加速发展的态势。同时图 2 也直观展示了两系统耦合协调度在 9 年中实现的由中度失调到良好协调的跨越式发展。

总的来说，随着数字技术的不断进步及其在物流领域的深入应用，广东省数字经济与绿色物流产业已经形成了相互促进、相辅相成的良好发展格局。未来，随着政策的进一步支持和技术不断创新，这一格局有望得到进一步巩固和拓展，为广东省乃至全国的经济注入更多活力。

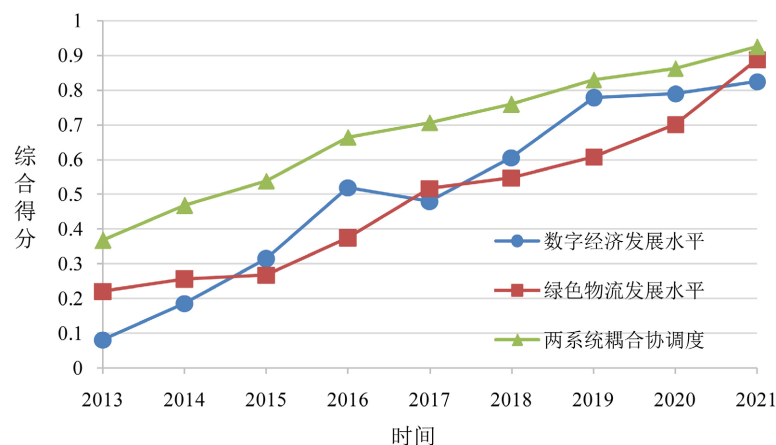


Figure 2. Digital economy and green logistics coupling and harmonization degree map of Guangdong province

图 2. 广东省数字经济与绿色物流耦合协调度图

6. 研究结论与政策建议

6.1. 研究结论

本文选取广东省为研究对象,以广东省 2013~2021 年的相关数据,构建数字经济与绿色物流发展的协调度模型,并以此计算二者的耦合协调度。研究结果显示 2013~2021 年广东省的数字经济产业与绿色物流综合发展水平均大幅上升,且经历了绿色物流发展领先到数字经济发展领先的过程。同时,广东省数字经济相关指标中权重最大的是电子商务采购额,而绿色物流相关指标中权重最大的是进出口总额,这说明广东省作为沿海经济强省,其数字经济与绿色物流耦合发展水平受外贸经济的影响较大。

6.2. 政策建议

根据研究结论,本文提出如下政策建议:

1) 做好数字经济与绿色物流发展规划,建立绿色物流标准体系

数字经济是物流业发展的“智能翅膀”,利用数字经济的优势可以更快更准的解决物流业发展的痛点、难点,比如利用大数据和人工智能优化物流路径,减少不必要的运输和排放;绿色物流的发展也能拉动对数字经济的需求,所以要建立合理的绿色物流标准体系,如车辆尾气的排放和包装物的环保程度等标准,还要建立有效的监督机制,才能更好促进数字经济与绿色物流耦合发展。广东省政府在制定数字经济与绿色物流发展规划时,应注重数字化、网格化、智能化、绿色化的发展方向,推动物流企业转型升级。同时要制定符合广东当地要求的绿色物流标准体系,提高绿色物流的规范化与标准化水平。

2) 鼓励企业加大技术研发投入

企业的技术创新对数字经济与绿色物流的发展均有重大影响。一方面,数字经济持续发展的核心动力就在于技术的创新,企业通过研发新的算法,开发更加智能的软件、优化数据的处理能力,可以提升企业数字经济的效率,推动数字化技术的升级与普及;另一方面,技术研发投入还可以推动物流业绿色化发展,企业通过技术创新研发更环保的包装材料,推广电动车辆和节能技术,可以减少物流过程中的碳排放与环境污染,实现可持续发展。广东省政府应鼓励企业加大技术研发投入,推动物流行业的技术创新和模式创新。通过支持企业开展数字化、绿色化的研发和应用来推动物流业转型升级。

3) 完善数字经济与绿色物流基础设施建设

从数字经济发展的角度,完善基础设施是推动其发展的关键。数字经济高度依赖于网络、数据中心、

云计算平台等技术设施, 这些设施的完善会提高数字信息的传输速度和数据处理能力, 为数字经济的创新和发展提供坚实基础; 对于绿色物流, 基础设施的完善同样重要, 绿色物流强调在物流过程中实现环保、节能减排, 通过建设更加高效环保的物流园区、配送中心和运输网络, 绿色物流的运作效率和环保效率都会提升。根据本文的研究结论, 数字化基础设施建设水平对数字经济发展具有重要影响, 广东省政府应通过完善数字经济与绿色物流相关基础设施建设, 提高物流效率, 降低能源的消耗与碳排放。

4) 扩大国际贸易, 加强国际合作交流

国际贸易的扩大能为数字经济与绿色物流的发展提供更广阔的市场和更多机会。随着全球化的加速, 数字经济的跨境交易、跨境电商等模式开始蓬勃发展, 这促进了物流需求的增长, 为绿色物流提供了更多的应用场景和发展空间。如前文所示, 数字经济与绿色物流是两个相互关联, 相互促进的领域, 加强国际交流合作, 能推动二者在技术创新、产业协调、市场开拓等方面的深度融合, 形成更加完整、高效的产业链和价值链。通过参与国际竞争与合作, 还可以学习借鉴国际先进经验, 提升本国数字经济与绿色物流产业的国际竞争力。本文研究结果显示, 国际贸易对广东省数字经济与绿色物流发展影响很大。广东省政府应大力发展对外贸易, 加强国际交流合作, 引进世界先进的物流技术与管理经验, 提高我国数字经济与绿色物流的国际竞争力。

参考文献

- [1] 赵剑波, 杨丹辉. 加速推动数字经济创新与规范发展[J]. 北京工业大学学报(社会科学版), 2019, 19(6): 71-79.
- [2] 薛静嫻. 中国数字经济发展水平测度与分析[J]. 北方经贸, 2023(8): 42-46.
- [3] 梁秋霞, 葛新宇, 张琰佳, 等. 长江经济带的数字经济测度[J]. 宁波工程学院学报, 2021, 33(3): 64-70.
- [4] 鲍明杰. 低碳经济下绿色物流管理策略研究[J]. 铁路采购与物流, 2023, 18(11): 52-54.
- [5] 王玲, 严伟. “双碳”目标背景下绿色物流发展路径研究[J]. 辽宁行政学院学报, 2023(3): 40-45.
- [6] 王春娟, 郭凯歌. 数字经济赋能绿色物流高质量发展效应分析[J]. 华东经济管理, 2024, 38(2): 53-63.
- [7] 张蓉. 我国省域数字经济与绿色物流协同发展探讨[J]. 商业经济研究, 2023(18): 90-94.
- [8] 余丽婷. 高质量发展目标下数字经济和物流业耦合协调关系研究——以安徽省为例[J]. 重庆三峡学院学报, 2023, 39(5): 39-50.