

# 我国生鲜农产品冷链物流效率评价研究 ——基于三阶段 DEA 模型和 Malmquist 指数

朱鹏颐 李霖芝

(福建师范大学经济学院,福州 350100)

**摘要:**生鲜农产品冷链物流作为有效助力乡村振兴的支柱型产业,其流通效率对促进乡村振兴战略的实施具有重要作用。本文选取了 2017-2021 年全国 30 个省域的面板数据为样本,运用三阶段 DEA 模型和 Malmquist 指数对我国生鲜农产品冷链物流效率进行分析评价,分解全要素生产率,探究全要素生产率变化的原因。研究结果表明,我国整体生鲜农产品冷链物流发展水平不高,各地区综合效率差异明显;纯技术效率是制约生鲜农产品冷链物流效率提高的主要因素;地区经济发展水平与生鲜农产品冷链物流效率不匹配。最后,本文针对上述结果给出相应的建议,为提高我国生鲜农产品冷链物流效率提供了相应的参考。

**关键词:**冷链物流;效率评价;三阶段 DEA;Malmquist 指数

随着国家经济的高速增长及人民物质生活水平的提高,我国生鲜农产品的市场规模不断扩大,生产总值逐年提高,推动了我国冷链物流需求的快速增长。中国物流与采购联合会数据统计结果显示,2021 年我国总体食品冷链物流需求量高达 3.02 亿吨,大约是我国农产品总产量的四分之一,10 年间总产量增长幅度超过 300%,其中需求量最大的为蔬菜、水果和肉类,分别占比 27.8%、23.5% 和 19.6%。为保障人民的食品消费安全,我国对生鲜农产品冷链物流的发展愈加重视,不断完善乡村物流体系和加快生鲜农产品冷链物流体系建设,保障冷链物流业的健康发展。

当下我国生鲜农产品市场需求量大,然而生鲜农产品受温度影响具有易腐烂、易损耗等特性,营养和价值均受产品新鲜度的影响,因此传统物流无法满足生鲜农产品的运输标准,只有使用冷链物流模

式才能保证生鲜农产品的质量。但我国冷链物流产业起步较晚,冷链物流技术不够成熟,总体水平与发达国家相比差距较大,造成我国出现生鲜农产品冷链流通效率低下、产品腐损率高。根据中物联冷链委数据,2022 年我国果蔬、肉类、水产品冷链流通率分别达到 22%、34% 和 41%,冷藏运输率分别为 35%、57% 和 69%,而发达国家肉禽流通率已经达到 100%,蔬菜、水果流通率达 95% 以上。相比之下,我国冷链流通率较低、腐损率偏高,冷链效率仍有较大提升空间。因此,本文运用三阶段 DEA 模型和 Malmquist 指数对全国 30 个省域的生鲜农产品冷链物流产业进行效率评价研究,以期对我国区域生鲜农产品冷链物流的发展现状和存在问题提供理论依据和政策建议。

## 一、文献综述与理论基础

目前,学术界对于农产品冷链物流的研究主要

**基金项目:**教育部国际教育合作项目“福建师范大学中菲索莱达‘汉语言+’国际教育合作项目”(B23ESB002304C01)

**作者简介:**朱鹏颐(1968—),福建福州人,福建师范大学索莱达学院副院长,福建师范大学经济学院副教授,主要研究方向:企业管理与物流管理。

分成两类,一类是从国家、区域或企业层面对生鲜农产品冷链物流效率进行评价,另一类是对生鲜农产品冷链物流的发展过程及其中存在的问题进行分析并提出对策。

生鲜农产品冷链物流效率评价中,不同学者分别从不同研究视角运用不同研究方法针对国家、区域或企业层面进行评价。赵亮等<sup>[1]</sup>运用 DEA 模型对河南众品集团的投入产出效率进行分析;Soysal M<sup>[2]</sup>等探究生鲜农产品冷链物流效率的影响从易腐坏性和冷链物流成本角度出发,认为加快物流基础设施建设、减少碳排放及制定相关税收优惠等措施有助于发展生鲜农产品冷链物流;Kayakutlu G 等<sup>[3]</sup>构建四次评价指标体系,对两家大型第三方冷链物流企业效率进行评价;刘阳等<sup>[4]</sup>通过选取投入、产出和环境指标构建辽宁省生鲜农产品冷链物流效率评价指标体系,运用三阶段 DEA 模型对辽宁省效率进行研究分析;张旭等<sup>[5]</sup>结合广州市冷链物流发展现状构建生鲜农产品冷链物流效率评价体系,使用 DEA solver9.0 对广州市生鲜农产品冷链物流效率进行评价分析;尚晓彤<sup>[6]</sup>运用 DEA 模型和 Malmquist 指数对我国农产品冷链物流效率进行评价分析;万凤娇等<sup>[7]</sup>引入碳排放指标运用三阶段 DEA 模型对全国生鲜农产品冷链物流效率进行研究;郑云<sup>[8]</sup>使用非期望产出与三阶段 DEA 模型来研究全国农产品冷链物流在碳排放约束下的效率水平。

在生鲜农产品冷链物流发展现状以及发展过程

中存在的问题方面,Abad<sup>[9]</sup>等指出温控技术在整个生鲜农产品冷链物流系统中的重要性,应加大温控技术的投入,同时与相关前沿技术相结合,更好地保障生鲜农产品的质量;Amorim P<sup>[10]</sup>使用多目标规划模型并进行求解,来解决生鲜农产品新鲜度及最小成本问题;刘丽琴<sup>[11]</sup>通过研究河南省食品冷链物流发展现状及面临的挑战,给出了合适的运作模式;王志刚<sup>[12]</sup>分析并总结了我国生鲜农产品冷链物流的发展现状,指出我国生鲜农产品冷链物流产业存在的潜在威胁,并提出针对性的建议和对策;毋庆刚<sup>[13]</sup>使用 SWOT 分析工具研究我国冷链物流发展环境,提出目前存在的问题及解决方案,最后对我国冷链物流发展进行预测;蒋文娟<sup>[14]</sup>结合 AHP 和 DEA 方法,通过对比重庆市两大冷链物流龙头企业,深入了解重庆市冷链物流企业的发展现状,分析存在的问题并给出相应的对策建议;刘浩<sup>[15]</sup>指出目前我国冷链物流发展速度慢、技术水平不高的原因,并提供相应的改进措施。

生鲜农产品。生鲜农产品是指农牧业生产过程中产生的未经过加工或者仅进行了初加工且对保存条件要求较高的初级农产品,主要包含新鲜蔬菜、新鲜水果、肉、蛋、奶、水产品等。生鲜农产品不适合在常温下贮存,具有易腐易损的特性,容易受到外界环境的影响,如:温度、湿度等,不仅会破坏生鲜农产品的新鲜程度,还会削弱本身的营养价值。表 1 为部分生鲜农产品的适宜储藏温度和储藏期。

表 1 部分生鲜农产品的适宜储藏温度和储藏期

种类	温度/℃	储藏期	
水果	桔	3.3 - 8.9	3 - 8 周
	柠檬	14.4 - 15.6	1 - 6 周
	苹果	-1.1 - 4.4	3 - 8 月
	梨	-1.1 - 0.6	2 - 7 月
	桃	-0.6 - 0	2 - 4 周
	杏	-0.6 - 0	1 - 2 周
	李	-0.6 - 0	2 - 4 周
	油桃	-0.6 - 0	2 - 4 周

续表

	种类	温度/℃	储藏期
蔬菜	番茄	7.2 - 10	4 - 7 天
	黄瓜	7.2 - 10.0	10 - 14 天
	茄子	7.2 - 10.0	1 周
	青椒	7.2 - 10.0	2 - 3 周
	秋葵	7.2 - 10.0	7 - 10 天
	扁豆	4.4 - 7.2	7 - 10 天
	甘薯	0	4 - 8 天
	花椰菜	0	10 - 14 天

数据来源:生鲜农产品冷链流通规范

农产品冷链物流。冷链物流起源于 19 世纪上半时期冷冻机的发明,但当时并未得到大家的重视。随着人民消费水平的提高,在食品消费方面的需求发生了转变,对新鲜、多样和营养的生鲜农产品需求量与日俱增,由此,与冷链物流相关的理论知识开始兴起。冷链物流的基本含义是指冷藏冷冻食品在生产、贮藏、运输、销售,到消费者各个环节中一直处于规定的低温环境下,进而保证食品质量,减少食品损耗的一项系统工程。它是伴随着科学技术的进步、制冷技术的发展建立起来的,是以冷冻工艺学为基础、以制冷技术为手段的低温物流过程。

供应链管理理论。本文的研究内容是对我国各省(市、自治区)生鲜农产品冷链物流效率进行评价,物流效率评价是物流管理的方法之一,物流管理又隶属于供应链管理的部分内容,因此,阐释供应链管理理论是理解本文研究目的的基础。所谓供应链管理,是指以达到一定的客户服务水平为条件,把供应商、制造商、仓库、配送中心和渠道商等有效地组织在一起来进行商品制造、转运、分销及销售从而达到整个供应链系统最小成本目的的管理方法。供应链管理五个基本内容为计划、采购、制造、配送、退货。生鲜农产品供应链是指以生鲜农产品为对象,以企业或组织为核心,从生产环节到消费环节所构成的功能型链状网。在详细具体的农产品供应链管理下,选择符合实际情况的运输途径和节点,从整体上提高农产品物流的运行效率,与此同时与农产品

供应链有关的信息可流通于供应链的各个节点中。生鲜农产品供应链作为一个集成化的结构模式,不仅是一条物流链、信息链和资金链,同时还是一条具备增值功能的链条。目前我国对于生鲜农产品的需求量正在急剧加大,因此做好生鲜农产品供应链的完善整合有助于改善生鲜农产品物流高成本的现状。

效率理论。效率理论的发展可以分为三个阶段:第一阶段为古典经济效率理论,主要针对工业生产领域的效率问题。第二阶段为新古典效率理论,重点在于如何实现效率的最大化从而实现规模经济。第三阶段为现代效率理论,主张将效率分解为配置效率和技术效率。配置效率是通过投入要素的组合和配置从而实现产出最优,技术效率是指在技术水平不变时,达到最小的投入获得最大的产出目的的能力,能够体现现阶段技术水平下研究对象的发挥程度。

## 二、研究方法 with 变量选取

传统的 DEA 模型在计算效率时并未考虑当地的环境因素和随机误差的影响,导致所得出的结果有偏差。本文的三阶段 DEA 模型是在第二阶段剔除了环境因素和随机噪声对决策变量的影响,使得调整后的数据更加实际客观。在此基础上采用 Malmquist 指数模型探究全要素视角下各省(市、自治区)生鲜农产品冷链物流效率的变化态势,找出

影响生鲜农产品冷链物流效率的因素,使研究结果更全面。同时,指标的选取也是 DEA 模型的关键内容,评价指标由产出变量、投入变量和环境变量构成,合理地选取指标才能真实有效地反映各决策单元的效率。

(一)三阶段 DEA 评价模型

第一阶段——传统 DEA 理论分析初始效率。第一阶段,使用原始投入产出数据进行初始效率评价。DEA 模型可分为投入导向和产出导向,根据本文研究的问题,目标是求解投入最小化的效率,故选择投入导向下的 BBC(规模报酬可变)模型。对于任一决策单元,投入导向下对偶形式的 BCC 模型可表示为:

$$s. t. \begin{cases} \sum_{j=1}^n X_j \lambda_j + S^- = \theta X_0 \\ \sum_{j=1}^n Y_j \lambda_j - S^+ = Y_0 \end{cases}$$

其中,  $j=1, 2, \dots, n$  表示决策单元,  $X, Y$  分别是投入、产出向量,  $S^+, S^-$  为松弛变量。DEA 模型本质上是一个线性规划问题:

若  $\theta=1, S^+ = S^- = 0$ , 则决策单元 DEA 有效;

若  $\theta=1, S^+ \neq 0$ , 或  $S^- \neq 0$ , 则决策单元弱 DEA 有效;

若  $\theta < 1$ , 则决策单元非 DEA 有效。

第二阶段——随机前沿方法(SFA)回归模型。

第一阶段计算的效率值容易受到环境、管理无效率、统计噪声等外界因素的干扰,第二阶段的目的是消除外界因素对效率测度的影响,通过对所有投入松弛变量构造如下 SFA 回归方程:

$$X_{ni}^A = X_{ni} + [\max(f(Z_i; \beta_n)) - f(Z_i; \beta_n) \beta_n] + [\max(V_{ni}) - V_{ni}] \quad i=1, 2, \dots, I; n=1, \dots, N$$

其中,  $X_{ni}^A$  是调整后的投入;  $X_{ni}$  是调整前的投入;  $[\max(f(Z_i; \beta_n)) - f(Z_i; \beta_n) \beta_n]$  是对外部环境因素进行调整;  $[\max(V_{ni}) - V_{ni}]$  是剔除随机噪声的影响。

第三阶段——DEA - BCC 分析。采用第一阶段的 DEA - BCC 模型对调整后的数据进行效率分析。

基于第二阶段剔除外部环境和随机噪声后产生的新的投入值代替原始投入值,结合初始的产出变量,再次利用 DEA - BCC 模型进行纯管理的效率评价。

(二)Malmquist 指数模型

三阶段 DEA 模型具有截面数据的特征,体现的是某个固定时点上的效率值,是一种静态评价。在此基础上, Malmquist 指数通过距离函数来描述多个输出变量与输入变量之间的投入产出关系,是一种动态分析方法,使研究所得结果更加全面。基于第  $t$  期和第  $t+1$  期参照技术的 Malmquist 指数为:

$$M_i^t = D_i^t(x_i^{t+1}, y_i^{t+1}) / D_i^t(x_i^t, y_i^t)$$

$$M_i^{t+1} = D_i^{t+1}(x_i^{t+1}, y_i^{t+1}) / D_i^{t+1}(x_i^t, y_i^t)$$

其中,  $D_i$  为距离函数;  $x_i^t, x_i^{t+1}$  分别代表  $i$  地区在第  $t$  期和第  $t+1$  期的投入向量;  $y_i^t, y_i^{t+1}$  分别代表  $i$  地区在第  $t$  期和第  $t+1$  期的产出向量。

由以上两式的几何平均值为综合生产率指数:

$$M_i(x_i^t, y_i^t, x_i^{t+1}, y_i^{t+1})$$

$$= \left[ \frac{D_i^t(x_i^{t+1}, y_i^{t+1})}{D_i^t(x_i^t, y_i^t)} \times \frac{D_i^{t+1}(x_i^{t+1}, y_i^{t+1})}{D_i^{t+1}(x_i^t, y_i^t)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

$$= \frac{D_0^t(x_i^{t+1}, y_i^{t+1})}{D_0^t(x_i^t, y_i^t)} \left[ \frac{D_0^t(x_i^{t+1}, y_i^{t+1})}{D_0^{t+1}(x_i^{t+1}, y_i^{t+1})} \times \frac{D_0^t(x_i^t, y_i^t)}{D_0^{t+1}(x_i^t, y_i^t)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

(2)是(1)的分解式,表示综合生产率指数可以分解为技术效率变化(EFFCH)和技术变化(TECH),技术效率变化又可以进一步分解为规模效率变化(SECH)和纯技术效率变化(PECH)。

根据 DEA - Malmquist 生产力指数方法,对全要素生产率变化进行分解:

$$TFPCH = EFFCH \times TECH = PECH \times SECH \times TECH$$

(三)变量选取

投入指标的选取主要有三个原则:首先是投入与产出指标之间必须具有高度的相关性;其次各投入指标、各产出指标之间相关性不能过高;最后就是指标的可获得性。本文通过查阅和整理相关的农产品冷链物流文献,遵循整体性、重要性、经济性、可比性和可操作性原则,最终确定了投入、产出、环境三个方面的指标,并构建如下指标体系如表 2。

表 2 生鲜农产品冷链物流效率评价指标体系

指标类型	变量名称	变量	单位
投入指标	冷库容量	$X_1$	万吨
	物流业相关固定资产投资	$X_2$	亿元
	物流网络里程数	$X_3$	千米
	物流业相关从业人员	$X_4$	万人
产出指标	生鲜农产品冷链货运量	$Y_1$	万吨
	人均主要农产品产量	$Y_2$	公斤
环境指标	经济发展水平	$Z_1$	亿元
	技术发展水平	$Z_2$	%
	政府支持	$Z_3$	%

#### (四) 投入指标

投入要素的选取主要包括人、财、物三个方面,故投入指标选取冷库容量、物流业相关固定资产投资、物流网络里程数和物流业相关从业人员这四个指标来衡量。但目前的统计资料中没有冷链物流相关的具体数据,故本文选取物流业相关从业人员和物流业相关固定资产投资来代替冷链物流业相关数据。当下我国物流业统计工作仍处于初级阶段,无法获取针对物流业的经济统计数据,研究发现,交通运输、仓储及邮政业总产值在物流业增加值中高达 85%,因此选取交通运输、仓储和邮政业的相关数据来界定物流业,同时为了保证数据的科学性,本文借鉴文献引入生鲜农产品的运量占物流总运量的比率(K),将各指标数据乘以该比率来近似反映生鲜农产品冷链物流的实际投入。

冷库容量用来反映各省域冷链物流的固定资产投资,作为重要的基础设施,代表冷链物流产业物流要素投入。物流相关固定资产投资表示政府对交通运输、仓储和邮政业的投资。将该指标数据与比率 K 相乘来表示生鲜农产品的固定资产投资,代表冷链物流产业的资本要素投入。物流相关从业人员表示投入交通运输、仓储和邮政业三个行业的员工数量之和。将该指标数据与比率 K 相乘来表示生鲜农产品物流从业人员数量的投入,代表冷链物流产业的劳动力要素投入。物流网络里程数表示公路里程、铁路营业里程及内河里程之和。

#### (五) 产出指标与环境指标

产出要素体现投入要素参与运作所得到的产物,包括商品和服务两方面,而服务要素难以实现量化,故本文将生鲜农产品冷链货运量、人均主要农产品产量作为产出指标进行效率评价,前者体现农产品的运输成果而后者体现数量产出成果。依据《中国冷链物流发展报告》对农产品冷链的统计标准,生鲜农产品冷链货运量是各地区禽蛋、水产品、蔬菜、肉类、水果、牛奶、茶叶产量的加总,体现冷链物流产业的运输水平和运输成果,以及冷链物流运输系统的能力强弱。人均主要农产品产量是指按人口总数平均得出的农产品数量,是国民经济的重要指标之一。

三阶段 DEA 模型通过剔除环境因素和随机噪声的干扰使得结果更加准确,故环境变量应选择对生鲜农产品冷链物流效率产生影响但不受决策单元主观控制的因素。综合冷链物流的发展特点,本文选取经济发展水平、技术发展水平和政府支持这三个指标作为外部环境变量。经济发展水平选择地区生产总值(GDP)作为反映地区经济发展的环境变量。技术发展水平指标选择信息传输、软件和信息技术服务占固定资产投资的比例代表地区技术发展程度。政府支持作为农产品冷链物流发展的关键因素之一,定义地方财政交通运输支出占地方财政一般预算支出的比例作为地方政府的支持力度。

### 三、实证研究

本节通过选取我国 30 个省域 2017 - 2021 年间的相关数据,运用三阶段 DEA 模型和 Malmquist 指数模型对我国生鲜农产品冷链物流的效率水平进行实证分析。从综合效率、纯技术效率、规模效率和全要素生产率四个方面对效率进行分析,同时将剔除环境因素和随机噪声的变量进行前后对比分析,准确地反映效率的动态变化情况。

#### (一)数据来源与描述统计

本文对我国生鲜农产品冷链物流效率进行评

价,进而反映我国生鲜农产品冷链物流发展状况,但由于西藏自治区和港澳台地区存在大量数据缺失,最终收集我国 30 个省域的省级面板数据作为样本,数据来源于 2018 - 2022 年的《中国统计年鉴》《中国物流年鉴》《中国能源统计年鉴》和《中国冷链物流发展报告》,以及各省域的地方统计年鉴。表 3 为我国 30 个省域 2017 - 2021 年生鲜农产品冷链物流投入、产出和环境变量的描述性统计。

表 3 样本数据描述性统计

指标	极小值	极大值	均值	标准差
农产品冷链货运量(万吨)	223.529	14253.893	4058.242	3206.206
人均主要农产品产量(公斤)	3.0000	2499.0000	493.4733	458.5849
冷库容量(万吨)	12000	6252811	1492663	1313437
物流相关固定资产投资(亿元)	86.633	5923.214	2035.258	1445.795
物流相关从业人员(万人)	15062.34	415317.17	172732.81	90283.01
物流网络里程数(千米)	3.7259	86.4093	27.1981	16.7366
经济发展水平(亿元)	2624.83	124369.70	32592.47	25555.86
技术发展水平(%)	0.0026923	0.0473858	0.0140220	0.0079092
政府支持(%)	0.0198289	0.1226175	0.0548430	0.0178178

数据来源:2018 - 2022 年国家统计局统计年鉴相关数据计算整理

#### (二)原始数据 DEA - BCC 分析

第一阶段运用 DEAP2.1 软件,计算 2017 - 2021 年我国 30 个省域的生鲜农产品冷链物流初始效率

结果,表 4、表 5、表 6 分别表示不同省域在不同时期的综合效率值、纯技术效率值、规模效率值及排名情况。

表 4 2017 - 2021 年我国 30 个省域第一阶段综合效率值

DMU	2017	2018	2019	2020	2021	平均值	排名
北京	0.287	0.237	0.237	0.249	0.257	0.253	30
天津	0.810	0.794	0.734	0.808	0.859	0.800	18
河北	1	1	1	1	1	1	1
山西	1	1	1	1	0.839	0.968	9
内蒙古	1	1	1	1	1	1	1
辽宁	1	1	1	1	1	1	1
吉林	1	1	1	1	1	1	1
黑龙江	0.870	0.976	0.858	0.951	0.952	0.921	12
上海	0.735	0.735	0.736	0.762	0.701	0.734	23
江苏	0.888	0.917	0.974	1	1	0.956	10
浙江	0.767	0.796	0.843	0.769	0.756	0.786	20
安徽	1	1	1	1	1	1	1
福建	0.614	0.609	0.643	0.738	0.800	0.681	25
江西	0.908	0.947	0.828	0.762	0.808	0.851	14
山东	1	1	0.929	0.995	1	0.985	8
河南	0.979	0.921	0.885	1	0.923	0.942	11
湖北	0.628	0.635	0.643	0.671	0.722	0.660	27
湖南	0.850	0.866	0.707	0.829	0.799	0.810	17
广东	0.720	0.748	0.741	0.703	0.705	0.723	24
广西	1	1	1	1	1	1	1
海南	0.891	0.821	0.828	0.867	0.843	0.850	15
重庆	0.484	0.527	0.490	0.551	0.611	0.533	29
四川	0.544	0.502	0.562	0.594	0.650	0.570	28
贵州	0.814	0.815	0.643	0.656	0.776	0.741	22
云南	1	0.729	0.720	0.703	1	0.830	16
陕西	1	0.800	0.822	0.922	0.937	0.896	13
甘肃	0.681	0.931	0.860	0.737	0.776	0.800	19
青海	1	0.933	0.527	0.448	0.447	0.671	26
宁夏	1	1	1	1	1	1	1
新疆	0.808	0.909	0.839	0.588	0.672	0.763	21
平均值	0.843	0.838	0.802	0.810	0.828	0.824	

数据来源:2018 - 2022 年国家统计局统计年鉴相关数据计算整理

表 5 2017 - 2021 年我国 30 个省域第一阶段纯技术效率值

DMU	2017	2018	2019	2020	2021	平均值	排名
北京	0.407	1	0.330	0.336	0.350	0.485	30
天津	1	1	1	1	1	1	1
河北	1	1	1	1	1	1	1
山西	1	1	1	1	0.860	0.972	15
内蒙古	1	1	1	1	1	1	1
辽宁	1	1	1	1	1	1	1
吉林	1	1	1	1	1	1	1
黑龙江	1	1	1	1	1	1	1
上海	1	1	1	1	1	1	1
江苏	0.889	0.929	1	1	1	0.964	16
浙江	0.770	0.802	0.844	0.809	0.800	0.805	24
安徽	1	1	1	1	1	1	1
福建	0.623	0.616	0.643	0.745	0.802	0.686	28
江西	0.918	0.952	0.829	0.804	0.833	0.867	19
山东	1	1	1	1	1	1	1
河南	1	1	1	1	1	1	1
湖北	0.786	0.768	0.802	0.735	0.823	0.783	26
湖南	0.918	0.940	0.822	0.886	0.880	0.889	18
广东	0.863	0.898	0.893	0.797	0.776	0.845	21
广西	1	1	1	1	1	1	1
海南	1	1	1	1	1	1	1
重庆	0.509	0.541	0.535	0.557	0.618	0.552	29
四川	0.888	0.865	0.870	0.746	0.907	0.855	20
贵州	0.824	0.822	0.648	0.656	0.792	0.748	27
云南	1	0.731	0.721	0.707	1	0.832	22
陕西	1	0.802	0.824	0.931	0.958	0.903	17
甘肃	0.702	0.977	0.907	0.740	0.812	0.828	23
青海	1	1	1	1	1	1	1
宁夏	1	1	1	1	1	1	1
新疆	0.860	0.913	0.839	0.615	0.715	0.788	25
平均值	0.899	0.919	0.884	0.869	0.898	0.894	

数据来源:2018 - 2022 年国家统计局统计年鉴相关数据计算整理

表 6 2017 - 2021 年我国 30 个省域第一阶段规模效率值

DMU	2017	2018	2019	2020	2021	平均值	排名
北京	0.706	0.237	0.717	0.741	0.735	0.627	30
天津	0.810	0.794	0.734	0.808	0.859	0.801	26
河北	1	1	1	1	1	1	1
山西	1	1	1	1	0.975	0.995	9
内蒙古	1	1	1	1	1	1	1
辽宁	1	1	1	1	1	1	1
吉林	1	1	1	1	1	1	1
黑龙江	0.870	0.976	0.858	0.951	0.952	0.921	21
上海	0.735	0.735	0.736	0.762	0.701	0.734	27
江苏	0.999	0.987	0.974	1	1	0.992	12
浙江	0.997	0.992	0.999	0.950	0.944	0.976	16
安徽	1	1	1	1	1	1	1
福建	0.986	0.989	1	0.990	0.998	0.993	11
江西	0.990	0.995	0.999	0.947	0.970	0.980	15
山东	1	1	0.929	0.995	1	0.985	14
河南	0.979	0.921	0.885	1	0.923	0.942	20
湖北	0.798	0.827	0.802	0.913	0.877	0.843	25
湖南	0.925	0.921	0.860	0.935	0.908	0.910	22
广东	0.835	0.833	0.829	0.882	0.909	0.858	23
广西	1	1	1	1	1	1	1
海南	0.891	0.821	0.828	0.867	0.843	0.850	24
重庆	0.953	0.974	0.916	0.989	0.988	0.964	19
四川	0.612	0.581	0.647	0.796	0.716	0.670	29
贵州	0.988	0.992	0.992	0.999	0.979	0.990	13
云南	1	0.998	0.999	0.995	1	0.998	8
陕西	1	0.998	0.997	0.990	0.979	0.993	10
甘肃	0.971	0.953	0.949	0.996	0.956	0.965	18
青海	1	0.933	0.527	0.448	0.447	0.671	28
宁夏	1	1	1	1	1	1	1
新疆	0.939	0.996	1	0.955	0.940	0.966	17
平均值	0.933	0.915	0.906	0.930	0.920	0.921	

数据来源:2018 - 2022 年国家统计局统计年鉴相关数据计算整理

根据表 4、表 5、表 6 的数据绘制我国 30 个省域 2017 - 2021 年的效率平均值变化情况图,能够更加直观地反映生鲜农产品冷链物流效率水平,具体内容如图 1 所示。

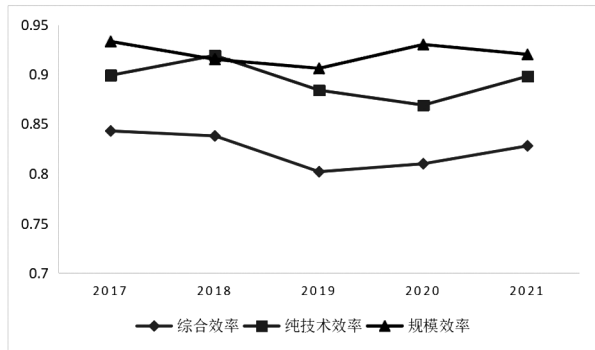


图 1 2017 - 2021 年我国 30 个省域第一阶段效率平均值  
数据来源:本文表 4 - 6 数据整理

综合效率是衡量决策单元资源配置能力和资源使用效率的综合评价。当综合效率值为 1 时,投入产出状态最优,此时认为资源配置合理,综合效率有效;当综合效率值处于 0.9 和 1 之间时,投入产出未达到最优状态,资源配置轻微不合理,综合效率弱有效;当综合效率值小于 0.9 时,投入产出状态不佳,资源配置不合理,综合效率无效。

2017 - 2019 年河北、内蒙古、辽宁、吉林、安徽、广西、宁夏这七个省域综合效率值为 1,达到 DEA 有效。说明上述省域在生鲜农产品冷链物流的资源配置和使用效率方面处于合理有效的状态。其中河北、山东和河南省于 2016 年被列为冷链物流发展示范省区。河北地理位置优越,是农产品产销大省,在冷链物流基础设施方面投入较高,为冷链物流业的发展打下了坚实基础。内蒙古作为农畜产品生产大区,主要农畜产品为牛羊肉、乳制品、蔬果类,2018 年内蒙羊肉、牛肉、牛奶产量占全国的 22.3%、9.5%、18.4%,其中羊肉和牛奶产量居全国首位,成为国家优质农畜产品输出基地。除此之外,内蒙古依托区位优势实现降本增效,冷库作为冷链物流重要组成部分也是基础设施的能耗大户,约占冷链物流总能耗的 70% 以上,而内蒙古的天然冷凉气候能够将冷链物流的能耗成本降至最低。广西作为边境口岸大区经济发展迅速,近年来也开始注重冷链物

流基础设施的投入,致力于打造西南地区最大的冷冻物流基地。“南菜北运”专项规划的提出进一步推动广西产品产地集配中心、产销商务链的形成,极大提高了冷链物流的效率水平。山东、河南五年综合效率平均值均大于 0.9,故认为其资源配置和使用效率存在轻微不合理,属于综合效率弱有效。山东地处我国东部,作为沿海省份,省内拥有大量可供开发利用的山地、林地、水面、滩涂等,在生态农业建设方面具有得天独厚的资源优势,农产品产量位居全国第一,同时山东冷库容量领先全国,农村电商发展迅速,数字农业领跑全国,冷链物流需求市场庞大,冷链物流产业前景广阔。但山东目前农产品冷链物流发展仍处于起步阶段,冷链物流现代化体系尚未形成,导致资源未得到充分利用,与农产品资源大省、消费大省、出口大省仍有差距。北京、天津、上海、浙江等发达地区的综合效率值均小于 0.9,其中天津、上海两地的纯技术效率值五年均为 1,但规模效率过低,最终导致整体效率水平不高。此外形成这些省域 DEA 无效的原因还可能与固定资产投入过多但人均主要农产品产量较低造成的资源浪费有关,即生鲜农产品冷链物流规模和技术投入无法较好地与产出相匹配,导致生鲜农产品冷链物流效率水平低下。其余的省域均表现为不同程度的 DEA 无效,部分是纯技术效率值较低还有部分是规模效率值较低引起综合效率值较低。综上所述,我国不同省域间的生鲜农产品冷链物流效率水平发展不均衡,总体水平差异较大。图 1 表明,2017 - 2021 年我国农产品冷链物流综合效率值呈现先下降后上升的趋势,其变化趋势与规模效率大致同步,并且纯技术效率整体上低于规模效率水平。

### (三) SFA 模型分析

第二阶段的目的是剔除原始投入中环境因素和随机噪声的影响,使结果更加客观准确。将经济发展水平、技术发展水平、政府支持这三个环境变量作为自变量,将第一阶段运用 DEA 模型得到的四个投入变量的松弛变量作为因变量,使用 Frontier4.1 软件进行 SFA 分析,得到相关结果。投入松弛变量为实际投入与理想投入之间的差额,差额越大表示资

源越未得到充分利用,造成资源浪费。若投入松弛变量与环境变量的回归系数大于零,说明环境变量与投入变量之间为正相关,环境变量值越大,投入变量冗余程度越高;反之,则说明环境变量与投入变量之间负相关,环境变量值越大,投入变量的冗余程度越低。表 7 为第二阶段 SFA 回归结果。

表 7 2017 - 2021 年第二阶段 SFA 回归结果

投入松弛变量	年份	常数项	经济发展水平	技术发展水平	政府支持	sigma - squared	gamma	LR
冷库容量松弛变量	2017	-1.26E+06***	1.76E+01***	9.44E+06***	6.51E+06***	3.42E+11***	0.889***	7.6**
	2018	-5.54E+05***	5.62E+00***	6.04E+05***	6.43E+05***	4.38E+11***	0.999***	14.3***
	2019	-7.39E+05***	9.34E+00***	5.06E+06***	-1.16E+05***	4.46E+11***	0.925***	7.1**
	2020	-3.37E+05***	4.06E+00***	5.15E+05***	3.04E+05***	1.08E+11***	0.938***	7.5**
	2021	-3.80E+05***	3.53E+00***	-1.74E+06***	1.12E+06***	1.52E+11***	0.963***	10.5***
物流相关固定资产投资松弛变量	2017	-1.78E+00*	1.46E-06*	5.36E+01*	1.99E+00*	2.45E+02***	0.999***	35.4***
	2018	-3.85E+01***	2.67E-04**	-6.17E+02***	4.55E+02***	1.04E+03***	1.000***	19.1***
	2019	-4.61E+01***	2.60E-04***	-6.92E+02***	5.53E+02***	1.13E+03***	0.999***	16.3***
	2020	-2.82E+01***	1.91E-04***	-1.45E+02***	2.36E+02***	8.20E+02***	0.999***	23.2***
	2021	-2.74E+01***	1.57E-04**	6.63E+01***	1.75E+02***	4.69E+02***	0.999***	20.1***
物流相关从业人员松弛变量	2017	-3.73E-02*	3.83E-07	3.28E+00*	-1.16E+00	2.81E-02**	0.999***	23.8***
	2018	-1.30E-01**	9.55E-07**	-1.67E+00*	1.65E+00**	2.96E-02***	0.999***	20.9***
	2019	-1.51E-01*	7.90E-07*	6.87E+00***	-3.45E-01	3.00E-02***	0.999***	21.4***
	2020	-1.20E-01*	5.70E-07	2.05E+00*	3.50E-01	1.60E-02**	0.999***	17.0***
	2021	-1.50E-01*	6.63E-07*	4.31E+00**	1.88E-01	3.20E-02**	0.999***	21.5***
物流网络里程数松弛变量	2017	-4.27E+04***	4.65E-01***	-1.11E+06***	3.43E+05***	3.16E+09***	0.999***	17.0***
	2018	-5.84E+04***	4.16E-01***	-1.08E+06***	7.12E+05***	2.90E+09***	1.000***	15.5***
	2019	-7.22E+04***	4.27E-01***	-1.05E+06***	8.41E+05***	3.47E+09***	0.999***	13.2***
	2020	-8.03E+04***	5.10E-01***	-7.96E+05***	9.64E+05***	3.31E+09***	0.912***	7.3**
	2021	-6.34E+04***	4.17E-01**	-3.61E+05***	4.00E+05***	4.83E+09***	0.999***	18.4***

注: \*、\*\*、\*\*\* 分别表示在 10%、5%、1% 水平下显著

数据来源: 2018 - 2022 年国家统计局统计年鉴相关数据计算整理

由表 7 可知,四个回归模型回归的单边广义似然比检验值(LR)均大于或等于 7.1,通过查询单边似然比临界值得出,投入松弛变量的单边广义似然比检验值均大于自由度为 3,显著性水平为 5% 的临界值 7.045,说明环境变量对投入变量具有显著性影响,采用 SFA 回归模型合理,有必要分离外部环境因素和随机噪声对生鲜农产品冷链物流效率造成的影响;y 值均接

近 1,说明管理无效率占总方差的绝大部分,影响投入冗余的主要原因是管理因素,随机噪声次之。同时,各环境变量在 2017 - 2021 年中对不同的投入松弛变量的影响不同。由表 7 可以看出,对于物流从业人员松弛变量,经济发展水平回归系数在少数年份不显著,说明该环境变量对投入要素的生产效率影响较小,而政府支持回归系数基本不显著,理论上说明该环境变量对

物流从业人员这一投入要素的生产效率没有影响。经济发展水平对冷库容量松弛变量、物流相关固定资产投资松弛变量、物流网络里程数松弛变量的回归系数均为正且基本通过 1% 水平下的显著性检验,说明地区经济发展水平的提高反而会加大冷库容量、物流相关固定资产、物流网络里程数的投入冗余,造成资源无法充分利用,可能是地区经济发展水平越高越容易吸引人才投入和资产投资,在一定程度上产生投入冗余,并且我国集约型经济还未完全成熟,盲目增加生产要素的投入反而会阻碍冷链物流效率水平的提高。技术发展水平对冷库容量松弛变量、物流相关从业人员松弛变量的回归系数基本为正且都通过不同水平下的显著性检验,说明当信息技术水平越高,冷链物流业愈趋于信息化、智能化,对于劳动力的需求就越少,加大冷库容量与物流相关从业人员的投入冗余。而技术发展水平对物流相关固定资产投资松弛变量、物流网络里程数松弛变量的回归系数整体为负且都通过一定水平的显著性检验,说明信息技术、信息软件越先进发达,冷链物流相关投入资源使用越充分,

利用率越高,投入冗余越少,表明信息化水平的提高在一定程度上促进农产品冷链物流业的发展。政府支持对冷库容量松弛变量、物流相关固定资产投资松弛变量、物流网络里程数松弛变量系数基本为正且都通过不同水平下的显著性检验,说明政府支持也会增加冷库容量、物流相关固定资产投资和物流网络里程数的投入冗余,产生这一现象的原因可能是我国生鲜农产品冷链物流开始发展时间较晚,暂时还未形成较大规模,政府单纯的增加资金投入会导致冷链物流产业的投入与产出之间无法得到平衡,冷链物流效率并不能达到预期目标,反而会造成投入资源的冗余。

(四)调整后数据 DEA - BCC 分析

根据第二阶段随机前沿(SFA)的分析结果,运用公式进行计算,得到调整后的投入变量值,将结果再次带入第一阶段的 DEA 模型中计算去除环境变量和随机噪声影响的决策单元效率值,此时 30 个决策单元均处于相同的评价环境中,得到的效率值更为真实可靠。表 8、表 9、表 10 为第三阶段我国 30 个省域 2017 - 2021 年农产品冷链物流效率值。

表 8 2017 - 2021 年我国 30 个省域第三阶段综合效率值

DMU	2017	2018	2019	2020	2021	平均值	排名
北京	0.287	0.122	0.249	0.252	0.257	0.233	30
天津	0.810	0.624	0.734	0.808	0.859	0.767	20
河北	1	1	1	1	1	1	1
山西	1	0.609	1	1	0.839	0.890	12
内蒙古	1	1	1	1	1	1	1
辽宁	1	1	1	1	1	1	1
吉林	1	1	1	1	1	1	1
黑龙江	0.870	1	0.858	0.951	0.952	0.926	11
上海	0.735	0.236	0.736	0.762	0.701	0.634	27
江苏	0.888	0.996	0.974	1	1	0.972	9
浙江	0.767	0.812	0.844	0.806	0.800	0.806	18
安徽	1	1	1	1	1	1	1
福建	0.619	0.603	0.643	0.745	0.800	0.682	26
江西	0.915	0.801	0.829	0.773	0.808	0.825	16
山东	1	1	0.929	0.995	1	0.985	7
河南	0.979	1	0.885	1	0.923	0.957	10

DMU	2017	2018	2019	2020	2021	平均值	排名
湖北	0.748	0.711	0.755	0.714	0.784	0.742	23
湖南	0.918	0.903	0.817	0.846	0.818	0.860	14
广东	0.849	1	0.893	0.796	0.733	0.854	15
广西	1	1	1	1	1	1	1
海南	0.891	0.348	0.828	0.867	0.843	0.755	22
重庆	0.493	0.509	0.525	0.551	0.611	0.538	28
四川	0.859	0.737	0.806	0.741	0.872	0.803	19
贵州	0.814	0.702	0.645	0.656	0.781	0.720	25
云南	1	0.689	0.720	0.703	1	0.822	17
陕西	1	0.729	0.822	0.930	0.956	0.887	13
甘肃	0.689	0.549	0.860	0.737	0.776	0.722	24
青海	1	0.221	0.527	0.448	0.447	0.529	29
宁夏	1	0.883	1	1	1	0.977	8
新疆	0.827	0.817	0.839	0.595	0.712	0.758	21
平均值	0.865	0.753	0.824	0.823	0.842	0.821	

数据来源:2018 - 2022 年国家统计局统计年鉴相关数据计算整理

表 9 2017 - 2021 年我国 30 个省域第三阶段纯技术效率值

DMU	2017	2018	2019	2020	2021	平均值	排名
北京	0.407	0.407	0.330	0.336	0.350	0.366	30
天津	1	1	1	1	1	1	1
河北	1	1	1	1	1	1	1
山西	1	1	1	1	0.860	0.972	15
内蒙古	1	1	1	1	1	1	1
辽宁	1	1	1	1	1	1	1
吉林	1	1	1	1	1	1	1
黑龙江	1	1	1	1	1	1	1
上海	1	1	1	1	1	1	1
江苏	0.889	0.889	1	1	1	0.956	16
浙江	0.770	0.770	0.844	0.809	0.800	0.799	23
安徽	1	1	1	1	1	1	1
福建	0.623	0.623	0.643	0.745	0.802	0.687	28
江西	0.918	0.918	0.829	0.804	0.833	0.860	20
山东	1	1	1	1	1	1	1
河南	1	1	1	1	1	1	1
湖北	0.786	0.786	0.802	0.735	0.823	0.786	24
湖南	0.918	0.918	0.822	0.886	0.880	0.885	19

DMU	2017	2018	2019	2020	2021	平均值	排名
广东	0.863	0.863	0.893	0.797	0.776	0.838	22
广西	1	1	1	1	1	1	1
海南	1	1	1	1	1	1	1
重庆	0.509	0.509	0.535	0.557	0.618	0.546	29
四川	0.888	0.888	0.870	0.746	0.907	0.860	21
贵州	0.824	0.824	0.648	0.656	0.792	0.749	27
云南	1	1	0.721	0.707	1	0.886	18
陕西	1	1	0.824	0.931	0.958	0.943	17
甘肃	0.702	0.702	0.907	0.740	0.812	0.773	26
青海	1	1	1	1	1	1	1
宁夏	1	1	1	1	1	1	1
新疆	0.860	0.860	0.840	0.615	0.715	0.778	25
平均值	0.899	0.899	0.884	0.869	0.898	0.890	

数据来源:2018 - 2022 年国家统计局统计年鉴相关数据计算整理

表 10 2017 - 2021 年我国 30 个省域第三阶段规模效率值

DMU	2017	2018	2019	2020	2021	平均值	排名
北京	0.706	0.122	0.754	0.751	0.734	0.613	29
天津	0.810	0.624	0.734	0.808	0.859	0.767	27
河北	1	1	1	1	1	1	1
山西	1	0.974	1	1	0.975	0.990	10
内蒙古	1	1	1	1	1	1	1
辽宁	1	1	1	1	1	1	1
吉林	1	1	1	1	1	1	1
黑龙江	0.870	1	0.858	0.951	0.952	0.926	25
上海	0.735	0.731	0.736	0.762	0.701	0.733	28
江苏	0.999	0.996	0.974	1	1	0.994	8
浙江	0.997	0.920	1	0.996	1	0.983	15
安徽	1	1	1	1	1	1	1
福建	0.993	0.968	1	1	0.998	0.992	9
江西	0.997	0.851	1	0.960	0.970	0.956	22
山东	1	1	0.929	0.995	1	0.985	14
河南	0.979	1	0.885	1	0.923	0.957	21
湖北	0.952	0.921	0.942	0.97	0.952	0.947	23
湖南	1	0.954	0.994	0.954	0.930	0.966	20
广东	0.985	1	1	0.999	0.945	0.986	12
广西	1	1	1	1	1	1	1

DMU	2017	2018	2019	2020	2021	平均值	排名
海南	0.891	0.665	0.828	0.867	0.843	0.819	26
重庆	0.969	0.999	0.982	0.989	0.988	0.985	13
四川	0.968	0.834	0.927	0.994	0.961	0.937	24
贵州	0.988	0.915	0.994	1	0.986	0.977	16
云南	1	0.995	0.999	0.995	1	0.998	7
陕西	1	0.954	0.997	0.999	0.998	0.990	11
甘肃	0.981	0.981	0.948	0.996	0.956	0.972	18
青海	1	0.221	0.527	0.448	0.447	0.529	30
宁夏	1	0.883	1	1	1	0.977	16
新疆	0.962	0.918	1	0.967	0.995	0.968	19
平均值	0.959	0.881	0.934	0.947	0.937	0.932	

数据来源:2018 - 2022 年国家统计局统计年鉴相关数据计算整理

将第一阶段表 4 - 6 与本阶段表 8 - 10 进行比较分析,发现 30 个省域调整前的生鲜农产品冷链物流效率与调整后的存在较为明显的差异,表明决策单元的效率在一定程度上受外部环境因素和随机扰动项的影响以及使用 SFA 模型的必要性。本文为

了更加直观地观察调整前后效率值差异,绘制了第一阶段和第三阶段 30 个省域 2017 - 2021 年生鲜农产品冷链物流的平均综合效率、平均纯技术效率、平均规模效率的对比图,如图 2 - 4 所示。

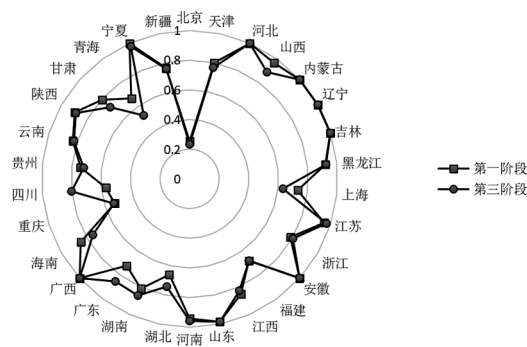


图 2 我国 30 个省域生鲜农产品冷链物流平均综合效率

数据来源:表 4、表 8 数据整理

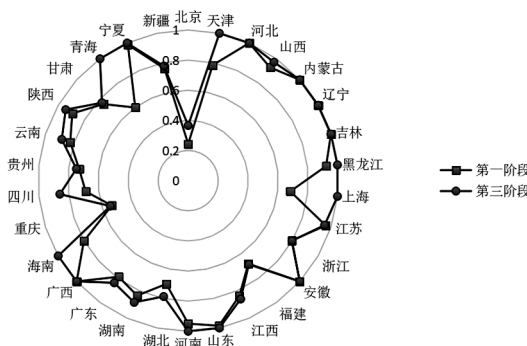


图 3 我国 30 个省域生鲜农产品冷链物流平均纯技术效率

数据来源:表 5、表 9 数据整理

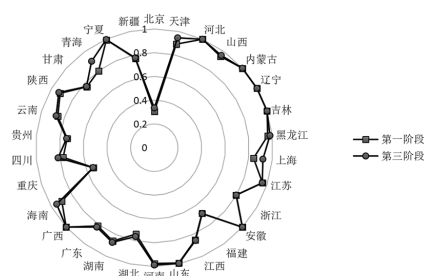


图 4 我国 30 个省域生鲜农产品冷链物流平均规模效率

数据来源:表 6、表 10 数据整理

由图 2 可知,从总体上看,剔除环境变量和随机扰动项后的数据带入 DEA 模型中得到的综合效率值低于第一阶段的综合效率值,说明这些调整后效率值降低的省域是处于有利的评价环境中。如北京、上海在第一阶段的综合效率值分别为 0.253 和 0.734,第三阶段降低为 0.233 和 0.634,说明外部环境因素为他们提供了有利的生鲜农产品冷链物流效率评价环境。河北、内蒙古、辽宁、吉林、安徽、山东、广西这七个省域调整前后的效率值并未发生变化,内蒙古、辽宁、吉林、安徽、广西一直处于效率前沿面上,山东的综合效率值也高达 0.985,表明这些省域充分利用了生鲜农产品冷链物流的投入资源并达到产出最优。对于纯技术效率和规模效率,由图 3、图

4 可知,第三阶段的纯技术效率值整体上高于第一阶段效率值,规模效率值在调整前后也发生了变化。综上所述,评价生鲜农产品冷链物流效率把外部环境因素和随机干扰项考虑在内的做法是有必要的。

表 11 把我国 30 个省域按地区进行分类并计算地区年平均值。表中综合效率平均值超过全国年平均水平的地区分别为东北、华东、华中和华南这四个地区;其余地区综合效率年平均值均低于全国平均水平,造成的原因也各不相同。华北、西北地区的纯技术效率和规模效率年平均值均不高,西南地区则是受到纯技术效率的影响,导致最终综合效率值低于全国水平。

表 11 第三阶段我国各省域生鲜农产品冷链物流效率年平均值

地区	省份	综合效率	纯技术效率	规模效率
东北地区	黑龙江	0.926	1	0.926
	吉林	1	1	1
	辽宁	1	1	1
	地区平均	0.975	1	0.975
华东地区	上海	0.634	1	0.733
	江苏	0.972	0.956	0.994
	浙江	0.806	0.799	0.983
	安徽	1	1	1
	福建	0.682	0.687	0.992
	江西	0.825	0.860	0.956
	山东	0.985	1	0.985
地区平均	0.843	0.900	0.949	

地区	省份	综合效率	纯技术效率	规模效率
华北地区	北京	0.233	0.366	0.613
	天津	0.767	1	0.767
	河北	1	1	1
	山西	0.890	0.972	0.990
	内蒙古	1	1	1
	地区平均	0.778	0.868	0.874
华中地区	河南	0.957	1	0.957
	湖北	0.742	0.786	0.947
	湖南	0.860	0.885	0.966
	地区平均	0.853	0.890	0.957
华南地区	广东	0.854	0.838	0.986
	广西	1	1	1
	海南	0.755	1	0.819
	地区平均	0.870	0.946	0.935
西南地区	重庆	0.538	0.546	0.985
	四川	0.803	0.860	0.937
	贵州	0.720	0.749	0.977
	云南	0.822	0.886	0.998
	地区平均	0.721	0.760	0.974
	陕西	0.887	0.943	0.990
西北地区	甘肃	0.722	0.773	0.972
	青海	0.529	1	0.529
	宁夏	0.977	1	0.977
	新疆	0.758	0.778	0.968
	地区平均	0.775	0.899	0.887
全国	全国平均	0.825	0.890	0.934

数据来源:表 8-10 数据整理

图 5 体现我国整体生鲜农产品冷链物流效率平均值,经第三阶段调整后的效率平均值总体走势与第一阶段相比有较为明显差异,综合效率整体上呈波动上升趋势,其变化趋势与规模效率大致同步,平均值保持在 0.8 左右,距离 DEA 有效前沿面还有一定差距,表明我国生鲜农产品冷链物流发展还存在

很大的上升空间。纯技术效率整体上仍低于规模效率,这也是导致我国生鲜农产品冷链物流效率不高的原因,说明应调整生鲜农产品冷链物流的管理和技术因素,通过提高管理效率和技术应用,从而提高综合效率水平。

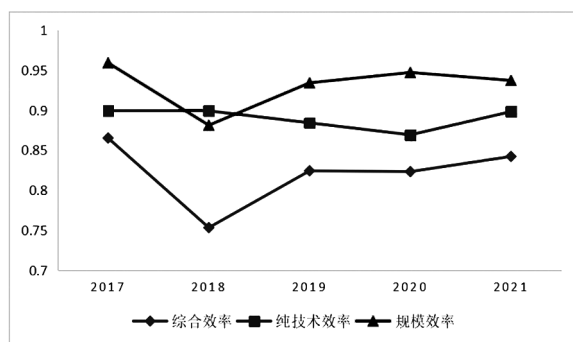


图 5 2017 - 2021 年我国 30 个省域第三阶段效率平均值

数据来源:表 8 - 10 数据整理

(五) Malmquist 指数分析

在三阶段 DEA 模型静态分析我国生鲜农产品冷链物流效率的基础上,本文结合 Malmquist 指数分析方法对我国生鲜农产品冷链物流的动态效率进行分析。Malmquist 指数是专门用来测算全要素生产率变化的指数,可分为技术进步和技术效率两部分,技术效率又能进一步分解为纯技术效率和规模效

率,其中技术进步是指新知识新技术或新方法的发明创造,技术效率则是经验积累、制度创新或管理水平提高带来的生产率提升。使用软件 DEAP2.1 将全要素生产率分解为技术效率、技术进步,而技术效率又进一步分解为纯技术效率和规模效率,找出影响我国生鲜农产品冷链物流效率的影响因素,分析结果如表 12 所示。

表 12 2017 - 2021 年我国 30 个省域 Malmquist 指数分析结果

DMU	技术效率( effch)	技术进步( tech)	纯技术效率(pech)	规模效率( sech)	全要素生产率( tfpch)
北京	0.973	1.015	0.963	1.010	0.987
天津	1.015	1.002	1	1.015	1.017
河北	1	0.984	1	1	0.984
山西	0.957	1.010	0.963	0.994	0.966
内蒙古	1	1.097	1	1	1.097
辽宁	1	1.029	1	1	1.029
吉林	1	0.925	1	1	0.925
黑龙江	1.023	0.921	1	1.023	0.942
上海	0.988	1.017	1	0.988	1.005
江苏	1.030	1.008	1.030	1	1.038
浙江	1.011	0.964	1.010	1.001	0.974
安徽	1	0.958	1	1	0.958
福建	1.066	0.993	1.065	1.001	1.059
江西	0.969	0.979	0.976	0.993	0.949
山东	1	0.996	1	1	0.996
河南	0.985	0.931	1	0.985	0.917
湖北	1.012	0.957	1.012	1	0.968
湖南	0.972	0.965	0.990	0.982	0.937

DMU	技术效率( effch)	技术进步( tech)	纯技术效率(pech)	规模效率( sech)	全要素生产率( tfpch)
广东	0.964	0.987	0.974	0.990	0.951
广西	1	0.986	1	1	0.986
海南	0.986	1.006	1	0.986	0.992
重庆	1.055	0.971	1.050	1.005	1.024
四川	1.004	0.947	1.005	0.998	0.951
贵州	0.990	0.947	0.990	1	0.937
云南	1	0.992	1	1	0.992
陕西	0.989	0.919	0.989	1	0.908
甘肃	1.030	0.922	1.037	0.993	0.950
青海	0.818	0.832	1	0.818	0.680
宁夏	1	1.054	1	1	1.054
新疆	0.963	0.865	0.955	1.009	0.833
平均值	0.992	0.971	1	0.992	0.964

数据来源:2018 - 2022 年国家统计局统计年鉴相关数据计算整理

从整体来看,2017 - 2021 年我国生鲜农产品冷链物流平均全要素生产率变化下降 3.6%,其中平均技术进步为 0.971,是导致全要素生产率指数变化的主要因素,平均技术效率为 0.992,也对全要素生产率产生一定的影响。该结果表明我国创新力度不足,需要加强新技术、新方法在我国生鲜农产品冷链物流中的运用,同时还要不断积累经验和提高管理水平来改善全要素生产率。具体来看,天津、内蒙古、辽宁、江苏、宁夏这五个省域的五项指标均大于 1,呈现上升趋势,表明这五个省域的技术投入和规模投入在生鲜农产品冷链物流业中都较为合理,即资源得到了充分利用。剩余省域的五项指标中均发现部分效率下降的趋势,其中技术效率、技术进步和全要素生产率下降的省域较多,而技术进步占比最大,说明提高技术进步对于目前生鲜农产品冷链物流的发展十分重要,也是提高全要素生产率的必要举措。

图 6 为我国 30 个省域全要素生产率的动态变化趋势,图中技术效率、技术进步和全要素生产率均呈现上下波动趋势。在 2019 年三项指标均增长迅速,而 2020 年出现大幅下降现象,尽管 2021 年有所上升但幅度缓慢,主要原因是 2019 年国家颁布冷链物流相关政策以及生鲜电商的逐步成熟,推动了冷

链物流的发展;2020 年的新冠疫情给冷链物流带来了极大冲击,主要表现为业务开展受阻、运营成本上升、人力资源紧张等,尽管 2021 年这些问题均相应缓解,全要素生产率有所改善,但整体效率提升仍然较为缓慢。

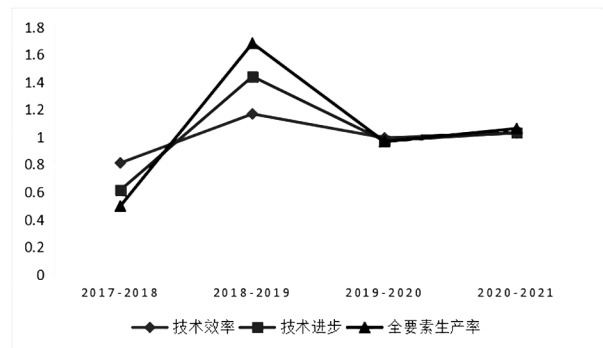


图 6 我国 30 个省域全要素生产率动态变化趋势

数据来源:2017 - 2021 年国家统计局统计年鉴相关数据计算整理

#### 四、结论与对策建议

随着社会的发展,作为一个促进农村经济发展的行业,生鲜农产品冷链物流越来越受到国家的重视,它不仅能够助力乡村产业经济,推动乡村振兴发展,还能够提高人民生活水平。本文利用三阶段 DEA 模型和 Malmquist 指数分析方法,建立生鲜农产品冷链物流效率评价指标,对 2017 - 2021 年我国

30 个省域生鲜农产品冷链物流效率进行研究, 最终结论如下: 第一, 我国生鲜农产品冷链物流效率受到外部环境因素和随机噪声的影响。通过对比第一阶段和第三阶段测算结果, 大部分省域经第三阶段调整后效率值相较于第一阶段效率值都有所差异, 并且不同的环境变量对投入指标松弛变量产生的影响也不同。例如, 整体调整后的综合效率值小于调整前效率值; 技术发展水平这一环境变量的提高会增加冷库容量的投入冗余, 降低物流网络里程数的投入冗余等。第二, 我国生鲜农产品冷链物流发展不均衡, 导致效率出现明显差异。从省域层面分析, 内蒙古、辽宁、吉林、安徽、广西一直处于效率前沿面上, 效率远超其他省域, 同时还存在综合效率值过低的省域, 如北京、上海。从区域层面分析, 东北、华东、华中和华南这四个地区生鲜农产品冷链物流综合效率年平均值高于全国水平, 而华北和西北则低于全国年平均效率值, 且最高效率值的东北地区和最低的西南地区差距较大。第三, 从全国层面分析, 我国生鲜农产品冷链物流综合效率基本维持在 0.8 左右, 并未达到 DEA 有效, 导致综合效率值偏低的主要原因是纯技术效率偏低, 而规模效率普遍高于纯技术效率, 故我国在生鲜农产品冷链物流的管理和技术水平方面还有很大的提升空间。第四, 生鲜农产品冷链物流效率与地区经济发展水平不匹配。经济发展水平高的地区, 如北京、上海、天津, 其冷链物流综合效率在全国排名靠后。相反, 内蒙古、辽宁、吉林、安徽、广西这些经济发展水平一般的地区, 其冷链物流综合效率一直位于效率前沿面上。主要原因可能是经济发展水平高的地区不具备发展生鲜农产品冷链物流的地理优势, 从而降低了该地区的生鲜农产品冷链物流效率水平。综合以上研究结果, 为提升我国生鲜农产品冷链物流效率, 提出以下建议。

(一) 对于生鲜农产品冷链物流效率处于效率前沿面的省域, 应积极发挥其带头作用, 共同促进生鲜农产品冷链物流发展。同时, 效率偏低的省域应当因地制宜地调整产业结构, 主动加强与高效率省域的交流合作, 总结这些省域的发展管理经验, 因地

制宜地调整产业结构, 合理配置现有资源, 推动冷链物流业的调整升级。

(二) 夯实生鲜农产品冷链物流基础设施建设, 通过加快完善基础设施网络、优化冷链设施布局, 推动冷链物流业健康协调发展。大力发展冷链多式联运、公路冷链专线、冷鲜航班等运输模式, 为冷链运输品质提供保障。同时, 作为冷链管理的关键因素, 应根据各地区的实际需求情况, 针对性地提供基础设施建设, 避免造成资源浪费。

(三) 推动生鲜农产品冷链物流技术创新发展, 推进冷链运输工具专业化、冷链运载单元标准化发展, 加强网络信息化建设, 提高信息技术水平。由分析结果可知, 多数省域综合效率偏低是受到纯技术效率的影响, 鼓励生鲜农产品冷链物流企业引入现代化信息技术, 实现对冷链物流各个环节的实时跟踪, 同时不断研发和创新技术, 增强管理水平, 提高生鲜农产品冷链物流综合效率。

(四) 加快生鲜农产品冷链物流专业复合型人才培养、引进工作, 积极推进冷链物流从业人员专业技能培训, 通过多元化的人才培养模式建设高水平冷链物流人才队伍。人才缺乏是影响冷链物流业效率和发展的关键因素, 高等院校应积极开展产学研培养模式创新, 设置相关学科专业并完善相关课程。同时, 开展高等院校与冷链物流企业的合作交流, 建立相关的培训和实验基地, 培养出专业的冷链物流技术人才和管理人才, 多方位提高生鲜农产品冷链物流的效率。

#### 参考文献:

- [1] 赵亮, 马秋艳. 基于 DEA 的生鲜农产品冷链物流投入产出效果分析——以河南省众品集团为例 [J]. 物流技术, 2015, 34(13): 146 - 149.
- [2] Soysal M, Bloemhof - Ruwaara J M, J. Modeling food logistics networks with emission considerations: The case of an international beef supply chain [J]. International Journal of Production Economics, 2014, 152(2): 57 - 70.
- [3] Kayakutlu G, Buyukozkan G. Assessing Per-

formance Factors for a 3PL in a Value Chain[J]. International Journal of Production Economics, 2011, 131(2):441-452.

[4]刘阳,长孙旭辉,秦鹏辉,周静. 辽宁省生鲜农产品冷链物流效率评价[J]. 物流技术, 2023, 42(2):80-83+152.

[5]张旭,张文峰. 基于 DEA 模型的广州市生鲜农产品冷链物流效率分析[J]. 南方农村, 2017, 33(2):33-36.

[6]尚晓彤. 我国农产品冷链物流效率评价及提升对策研究——基于 DEA—Malmquist 指数[J]. 物流工程与管理, 2023, 45(1):81-83+80.

[7]万凤娇,邱志成. 基于三阶段 DEA 的生鲜农产品冷链物流效率评价[J]. 科技和产业, 2022, 22(11):316-320.

[8]郑云. 碳排放约束下基于三阶段 DEA 模型的中国省域农产品冷链物流效率评价研究[D]. 安徽大学, 2021.

[9]Abad E, Palacio F, Nuin M. RFID smart tag for traceability and cold chain monitoring of foods;

Demonstration in an intercontinental fresh fish logistic chain[J]. Journal of Food Engineering, 2009, 93(4):394-399.

[10] Amorim P, Almada-Lobo B. The Impact of Food Perishability Issues in The Vehicle Routing Problem[J]. Computers & Industrial Engineering, 2014, 67(1):223.

[11]刘丽琴. 河南省食品冷链物流运作模式浅析[J]. 物流科技, 2016, 39(8):59-61.

[12]王志刚,王启魁,钟倩琳. 农产品冷链物流产业的发展现状、存在问题及对策展望[J]. 农业展望, 2012, 8(4):55-59.

[13]毋庆刚. 我国冷链物流发展现状与对策研究[J]. 中国流通经济, 2011, 25(2):24-28.

[14]蒋文娟. 基于 AHP-DEA 模型的重庆市冷链物流企业绩效评价研究[D]. 重庆理工大学, 2019.

[15]刘浩. 生鲜农产品冷链物流的现状与发展对策[J]. 中国农业资源与区划, 2016, 37(3):184-186+232.

(责任编辑 章皓月)