

文章编号: 2096-1618(2025)01-0118-07

基于三阶段数据包络分析模型的四川省 冷链物流效率测度研究

汪 潇, 袁玉婷, 徐思雨, 李晟东
(成都信息工程大学物流学院, 四川 成都 610225)

摘要:随着市场经济的发展,居民对高质量物流服务的需求日益增长,提高各地区物流效率显得愈发重要。在评价指标选取科学合理的原则基础上,构建冷链物流投入产出的效率测度指标体系;通过建立三阶段数据包络分析模型,对四川省18个地级市冷链物流的效率值进行综合测度分析。基于此,提出通过完善相关政策、法规,不断夯实基础设施建设、完善区域交通网以及加强技术与人才投入等措施,进一步提升四川省冷链物流效率。

关键词:冷链物流;效率测度;三阶段DEA;四川省

中图分类号:O29

文献标志码:A

doi:10.16836/j.cnki.jcuit.2025.01.018

0 引言

随着中国经济的发展,居民对高质量消费品和高质量物流服务的需求日益增长,冷链市场规模逐渐扩大,预测到2024年可能将扩大至5500亿元。《“十四五”冷链物流发展规划》报告里明确指出,为尽快解决冷链行业痛点和瓶颈,要加快构建一个高效、安全绿色、智慧化、可靠的现代冷链物流体系,以提高服务质量水平和效率,对冷链物流的全场景提出更高的发展目标。

冷链物流是借助相关的设施设备与技术,确保生鲜等保质期较短的冷链产品在生产、储存、加工、运输等环节中始终处于所需要的温度环境下的特殊供应链系统。四川省农业产业发达,生产的农产品产量大,种类繁多,实现冷链物流高质量发展和可靠的现代冷链物流体系是非常重要的。为此,四川省由省发展改革委、交通运输厅联合围绕健全冷链物流体系、推动冷链物流运输全方面创新、提高冷链物流服务质量各个方面,对整个冷链物流的发展提出更高的要求。近年来,四川省及各地市州高度重视冷链物流的发展,投入大量的园区、车辆、仓库等资源要素,冷链物流的建设不断向纵深发展,取得了丰硕的成绩。基于此,采用科学合理的方法,衡量四川省冷链物流发展的有效性,识别制约物流发展的瓶颈因素,有利于了解四川省冷链物流发展效率情况,实现投入资源要素的合理配置,为冷链物流体系建设朝着集约、高效发展提供决策依据和理论参考。

国内外冷链物流相关研究较为丰富。朱梦琳^[1]

借助GM(1,1)灰色预测模型,预估2021-2025年成都市主要农产品冷链物流的需求量。Bin等^[2]基于能量平衡方程,研究了不同运输时间下果蔬冷链物流的冷藏方式和碳排放量。Zheng等^[3]研究分析并整合了多式联运和冷链食品配送的特点,设计了一种改进的粒子群优化算法以选择最佳物流路径。Chen等^[4]研究了前置仓的冷链物流,从低碳经济的角度提出一个时间依赖的绿色车辆路径问题。相关文献采用云粒子群算法^[5]、Floyd算法^[6]、结构解释模型^[7-8]等方法对冷链物流问题进行研究,提出提高农村冷链物流效率的措施建议。此外,方凯等^[9-10]针对中国冷链物流绩效,基于绿色供应链的冷链物流企业绩效评价体系,并且采用DEA模型对其进行评价。郑云等^[11-14]应用三阶段数据包络分析模型(data envelopment analysis, DEA)模型,并且和Malmquist指数等方法相结合,对中国农产品冷链物流的效率做出了评价分析。

目前在冷链物流效率问题的研究方面取得了一定的进展,主要集中在生鲜农产品冷链管理、路径优化以及绿色供应链等领域。这些研究在实际操作层面能够为降低成本、提高效率和资源利用等方面提供实质性指导,尤其是DEA模型等定量方法的应用,为评价冷链物流效率提供客观可行的途径,帮助识别潜在的改进空间。然而,在整体冷链物流系统效率的分析上存在局限,关注点主要集中于局部细节而缺乏系统性视角,未能全面衡量不同环节的相互影响。此外,虽有模型,但将其直接应用于特定地区可能忽视了地区特色,无法准确刻画地域差异。

结合四川省冷链物流的实际发展现状,本文旨在整体系统层面上,建立一个能够全面评价冷链物流效

率的指标体系。将从投入指标和产出指标两个方面入手,构建一个切实可行且适用于四川省情况的评价模型。本研究采用三阶段的效率测度 DEA 模型,以更准确地衡量四川省冷链物流的发展效率。模型充分考虑投入、产出之间的关联性,以及不同阶段的效率变化,为评价冷链物流系统的综合效率提供更精准的测算方法。通过对四川省冷链物流的效率进行测算和评价,将为相关决策提供有力的依据,为冷链物流资源的合理配置提供科学指导,从而推动整个冷链物流系统向着更高效、更可持续的方向发展。

1 三阶段 DEA 模型

2002 年, Fried 等^[15]提出一种改进的三阶段 DEA 模型,以更准确地评价决策单元的效率,弥补传统 DEA 模型未考虑环境因素和随机噪声对效率评价的影响的不足。该模型的过程包括 3 个阶段。

第一阶段为投入导向的 BCC 规模收益可变模型。

$$\begin{aligned} & \min \theta - \varepsilon (\hat{e}^T S^- + \hat{e}^T S^+) \\ & \text{s. t. } \begin{cases} \sum_{j=1}^n X_j \lambda_j + S^- = \theta X_0 \\ \sum_{j=1}^n Y_j \lambda_j - S^+ = Y_0 \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \end{cases} \end{aligned} \quad (1)$$

式中, λ_j 、 S^- 、 S^+ 为非负变量, j 为特定决策单元, X 和 Y 分别为投入和产出。当 $\theta=1$ 时, 表明该决策单元具有有效性; 而当 $\theta < 1$ 时, 表示该决策单元在 DEA 评价中属于无效状态。此外, BCC 模型的综合技术效率 (TE) 用来分析效率值, 进一步分解为纯技术效率 (PTE) 和规模技术效率 (SCE)。三者之间的关系可用 $TE = PTE \cdot SCE$ 表示。

第二阶段采用类似 SFA 回归模型的方法。在第一阶段的 DEA 计算中, 受到环境因素和统计噪声的影响, 决策单元的绩效可能无法全面准确地反映其实际管理效率。鉴于此, 第二阶段的主要目标在于通过对第一阶段的松弛变量进行分解, 以分析涉及的 3 种效应。为实现目标, 通常借助 SFA 回归方法。在 SFA 回归中, 运用第一阶段的松弛变量对环境变量和混合误差项进行回归分析。

根据 Fried 等的思路, 构建类似下述的 SFA 回归函数 (以投入导向为例):

$$S_{ni} = f(Z_i; \beta_n) + V_{ni} + \mu_{ni}, i = 1, 2, \dots, I; n = 1, 2, \dots, N \quad (2)$$

式中, S_{ni} 为第 i 个决策单元在第 n 项投入上的松弛值; Z_i 为环境变量, β_n 为环境变量的系数。混合误差项

$V_{ni} + \mu_{ni}$ 包括两部分, 其中 V_{ni} 表示随机干扰, μ_{ni} 表示管理无效率。 v 符合正态分布 $N(0, \sigma_v^2)$, 代表随机误差项, 描述随机干扰对投入松弛变量的影响; 遵循零点截断的正态分布 $N^+(0, \sigma_v^2)$, 描述管理因素对投入松弛变量的影响。

SFA 回归的目标在于消除环境因素和随机因素对效率测度的影响, 以使所有决策单元能够在相同的外部环境中进行调整。具体的调整公式为

$$X_m^A = X_{ni} + [\max(f(Z_i; \hat{\beta}_n)) - f(Z_i; \hat{\beta}_n)] + [\max(V_{ni}) - V_{ni}], i = 1, 2, \dots, I; n = 1, 2, \dots, N \quad (3)$$

式中, X_m^A 为经过调整的投入数据, 而 X_{ni} 为调整前的原始投入数据。式中 $[\max(f(Z_i; \hat{\beta}_n)) - f(Z_i; \hat{\beta}_n)]$ 用于对外部环境因素进行调整, 从而使决策单元在相同的环境条件下进行比较。另外, $\max(V_{ni}) - V_{ni}$ 则将所有决策单元置于相同的基准水平上, 以排除随机干扰的影响。

在第三阶段, 采用经过调整的投入数据 (第二阶段已消除环境因素和随机因素影响) 以及原始产出数据, 应用传统的 DEA 方法。目的在于利用经过调整的数据, 通过重复第一阶段的计算步骤, 重新评估决策单元的效率。产出数据在此阶段保持不变, 旨在将评价集中于经过调整的投入数据对产出的影响。

2 指标选取及数据来源

2.1 指标选取

依据科学、全面、合理的原则, 根据柯布-道格拉斯生产函数, 将技术、劳动力、资本作为投入指标, 劳动要素、资本要素和物质基础被选为投入指标维度。进而投入指标分别为交通里程数、从业人员数、固定资产投资^[11-13]。产出指标从数量和生产规模两个维度出发, 选取农产品货运量, 农产品货运周转量, 生鲜农产品生产总量, 生鲜农产品生产产值。构建的指标体系如表 1 所示。

表 1 指标体系

类别	指标	单位
投入指标	运输里程数	公里
	从业人员数	人
	固定资产投资	万元
产出指标	农产品货运量	万吨
	农产品货运周转量	万吨公里
	生鲜农产品生产总量	吨
环境变量	生鲜农产品生产产值	万元
	全社会固定资产投资	万元
	地区生产总值	万元

2.1.1 投入指标

(1)运输里程数,是指各运输工具在一定时期的运输线路长度。该指标为物质基础指标。四川省地形复杂多以山地为主,冷链物流运输主要通过公路运输实现,故此指标选取公路运输里程数指代冷链物流运输里程数。

(2)从业人员数,是指在冷链物流行业工作并且取得劳动报酬的人员数。该指标为劳动力投入要素。现有数据中使用交通运输、仓储和邮政业从业人员来指代冷链物流从业人员数。

(3)固定资产投资,是以货币的形式反映冷链物流链对基础设施、固定资产和其他方面的投资规模和生产力。该指标为资本投入要素,处理方法同从业人员数指标处理方法相同,使用交通运输、仓储和邮政业3个行业固定资产投资总和来代替。

2.1.2 产出指标

(1)农产品货运量,是指一定时期内实际运输的货物数量。由于现有数据中四川省各地级市农产品货运量难以获取,故本文借鉴文献[11]的做法对相关数据进行处理,即农产品货运量 $=m \times$ 货运量。其中系数 $m = m_1 \times m_2 \times e$ (m_1 为最终消费率, m_2 为居民消费率, e 为恩格尔系数)。

(2)农产品货运周转量,是所运农产品吨数与其运送距离的乘积,能反映冷链物流的运输效果。处理方式同农产品周转量,即农产品货运周转量 $=m \times$ 货运周转量。

(3)生鲜农产品生产总量,数据是根据中国冷链物流发展报告,将冷链物流主要运输的六大类产品产量进行相加所得。即生鲜农产品总量 $=$ 肉类产量 $+$ 水产品产量 $+$ 牛奶产量 $+$ 禽蛋产量 $+$ 蔬菜产量 $+$ 瓜果产量

(4)生鲜农产品生产产值,是指在一定时期内生产的最终产品和服务的总价值,体现了生产的总规模和总水平,该指标由四川省各地级市在当年的农牧渔产值相加所得。

2.1.3 环境变量

环境变量是在DEA第二阶段SFA必不可少的测算因素。环境变量会对测算产生一定影响,从而导致测算结果不精准,缺乏科学性。冷链物流的效率不仅受到内部仓储运输等条件的制约,同时,外部的经济环境和科学发展水平等因素也会对其产生一定影响。基于投入产出的指标以及本论文研究数据多方面因素选择以下环境变量:

(1)全社会固定资产投资。全社会固定资产投资是一个总称,是指在一定时期内为整个社会进行建设

和获得固定资产的工作量和相关费用,以货币形式表示,是衡量固定投资类型、结构和发展速度等的综合性指标。社会的发展情况会对冷链物流行业产生巨大的影响。

(2)地区生产总值。地区生产总值能较好地反映各地区的发展状况,物流产业是第三产业重要的一环,地区生产总值更能反映出经济发展对物流行业的影响。

2.2 数据来源

研究数据来源于四川省各地级市统计年鉴。选取2016-2020年四川省18个地级市的面板数据作为研究样本进行分析。但考虑市统计年鉴的数据类型有差别,部分相关数据类型未被收录,因此本文部分数据利用过往年度的数据建立模型进行预测得出。

3 四川省冷链物流效率静态测度分析

3.1 第一阶段DEA模型分析

运用Deap2.1软件测算2016-2020年四川省18个地级市的冷链物流投入与产出面板数据。对其综合效率(TE)、纯技术效率(PTE)、规模效率(SE)开展研究分析,结果如表2所示。

从总体来看,2016-2020年四川省18个地级市的冷链物流效率较好,只有2018年的综合效率未达0.9。从综合效率来看,成都、内江、南充、眉山、达州、雅安的效率值一直是1,处于生产前沿,表明资源得到有效利用;绵阳、广安、巴中的效率值较低,效率均值分别为0.632、0.782、0.440,表明还需要从产出和投入上做出较大改进。从纯技术效率来看,成都、攀枝花、内江、乐山、南充、眉山、达州、雅安的效率值一直是1,表现为冷链物流纯技术有效,其冷链物流的技术和管理能力处于四川省内领先水平;绵阳、广安、巴中的效率值较低,效率均值分别为0.663、0.798、0.638,表明这3个市应该引进更先进的技术、吸纳人才,从而提升技术水平和管理能力。从规模效率来看,成都、攀枝花、内江、南充、眉山、雅安的效率值依然为1,表明这6个城市已经实现投入规模的最优配置,可以在冷链物流中保持当前的规模投入;而巴中的效率值较低,仅为0.720,距离生产前沿面0.280,因此应适当调整规模的投入。

3.2 第二阶段SFA回归分析

使用软件Froniter4.1进行回归分析,以消除外界环境和随机噪声的干扰。本文采用对每年分别建立回归的方法,结果如表3所示。

表 2 2016-2020 年四川省 18 个地级市冷链物流效率值

地区	2016			2017			2018			2019			2020		
	TE	TPE	SE												
成都	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
自贡	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.973	0.983	0.990
攀枝花	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
德阳	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.914	0.922	0.990	0.819	0.865	0.947
绵阳	0.593	0.595	0.996	0.593	0.595	0.996	0.529	0.533	0.993	0.646	0.723	0.894	0.797	0.868	0.918
广元	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.562	0.631	0.891	0.625	0.665	0.940	1.000	1.000	1.000
遂宁	0.933	1.000	0.933	0.933	1.000	0.933	0.927	1.000	0.927	0.918	0.989	0.928	0.909	0.941	0.966
内江	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
泸州	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.682	0.866	0.787
乐山	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.975	1.000	0.975	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
南充	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
眉山	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
宜宾	0.776	0.826	0.940	0.776	0.826	0.940	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
达州	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
广安	0.904	0.915	0.988	0.904	0.915	0.988	0.626	0.672	0.933	0.646	0.657	0.984	0.830	0.830	1.000
雅安	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
巴中	0.315	0.403	0.782	0.315	0.403	0.782	0.291	0.385	0.756	0.766	1.000	0.766	0.512	1.000	0.512
资阳	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.959	1.000	0.959	0.852	0.945	0.902	1.000	1.000	1.000
平均值	0.918	0.930	0.980	0.918	0.930	0.980	0.882	0.901	0.969	0.909	0.939	0.967	0.918	0.964	0.951

表 3 松弛变量的 SFA 回归结果

变量	年份	公路交通里程数	从业人员数	冷链物流固定
		松弛变量	松弛变量	投资松弛变量
常数项	2016	-1.25E+03	-1.48E+03	-2.41E+06
	2017	2.00E+02	-1.39E+03	1.17E+03
	2018	-9.89E+02	-1.87E+03	-6.94E+04
	2019	-1.29E+03	-5.38E+03	-1.50E+04
	2020	-1.50E+04	-6.16E+03	-2.43E+07
GDP	2016	-1.21E-04	-1.34E-04	-2.09E-01
	2017	-5.22E-05	4.43E-04	-3.45E-02
	2018	2.47E-04	3.46E-04	1.41E-02
	2019	2.56E-04	9.91E-04	2.68E-03
	2020	2.68E-03	9.62E-04	3.01E-01
全社会 固定投 资额	2016	1.77E-04	2.01E-04	3.20E-01
	2017	-2.01E-05	-6.21E-05	2.13E-03
	2018	-2.20E-05	-8.11E-06	-6.47E-04
	2019	-1.46E-05	-3.99E-05	-1.32E-04
	2020	-1.32E-04	-4.10E-05	1.20E-01
σ^2	2016	1.73E+07	1.27E+07	8.37E+12
	2017	9.56E+06	8.40E+07	1.69E+11
	2018	1.62E+07	2.45E+07	1.64E+11
	2019	1.15E+07	5.39E+07	1.57E+11
	2020	1.57E+11	2.45E+08	1.53E+15
γ	2016	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00
	2017	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00
	2018	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00
	2019	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00
	2020	1.00E+00	1.00E+00	1.00E+00
LR	2016	1.40E+01	1.42E+01	1.15E+01
	2017	1.50E+01	1.60E+01	1.45E+01
	2018	1.44E+01	1.43E+01	1.51E+01
	2019	1.34E+01	1.23E+01	1.55E+01
2020	1.49E+01	1.39E+01	1.11E+01	

由表 3 可发现,两个环境变量对选取的投入参数的松弛变量都有一定程度的影响,说明有必要排除环境因素和随机噪声的干扰。当 SFA 系数小于零时,环境变量对投入松弛变量起到抑制作用,能够使无效投入减少,效率增加;当 SFA 系数大于零时,环境变量与投入松弛变量起促进作用,使无效投入增加,效率降低^[13-14]。由表 3 可知,在地区生产总值对公路交通里程数、从业人员数和冷链物流固定投资投入冗余的影响上,2016 年和 2017 年对公路交通里程数、冷链物流固定投资都为负方向,表明这两年四川省 18 个地级市的经济水平发展限制了对冷链物流行业的投入,可适当加大对地区生产总值的投入;其余年份都为正方向影响,表明四川省 18 个地级市的经济水平发展导致对冷链物流行业过度投资,存在较多冗余。在全社会固定投资额对公路交通里程数、从业人员数和冷链物流固定投资投入冗余的影响上,大多为负方向影响,表明全社会的投资水平对冷链投入产生积极影响。

3.3 第三阶段 DEA 模型分析

运用 Deap2.1 软件再次对第二阶段运用 SFA 模型剔除环境影响和随机噪声干扰的投入与初始产出进行测算,结果见表 4,在经过调整投入后,南充、眉山、达州的冷链物流效率一直处于生产前沿面;2020 年,由于疫情的影响,多数城市的效率值都下降,攀枝花、遂宁、雅安在综合效率方面表现得尤为明显。计算出 2016-2020 年每个地级市的效率平均值再与第一阶段的值比较,结果如表 5 所示。

表4 调整后的2016-2020年四川省18个地级市冷链物流效率值

地区	2016			2017			2018			2019			2020		
	TE	TPE	SE												
成都	0.906	1.000	0.906	0.770	1.000	0.770	0.758	1.000	0.758	0.833	1.000	0.833	1.000	1.000	1.000
自贡	0.985	1.000	0.985	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.727	0.997	0.730
攀枝花	0.893	1.000	0.893	0.890	1.000	0.890	0.760	1.000	0.760	0.769	1.000	0.769	0.369	0.975	0.379
德阳	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.994	1.000	0.994	0.589	0.890	0.662
绵阳	0.589	0.597	0.986	1.000	1.000	1.000	0.554	0.558	0.992	0.667	0.710	0.940	0.810	0.985	0.822
广元	0.650	0.835	0.779	0.664	0.700	0.948	0.712	0.712	1.000	0.623	0.644	0.968	0.618	0.930	0.665
遂宁	0.900	1.000	0.900	0.856	0.957	0.894	0.880	1.000	0.880	0.964	1.000	0.964	0.492	0.980	0.502
内江	0.963	1.000	0.963	0.902	1.000	0.902	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.901	1.000	0.901
泸州	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.785	0.798	0.983
乐山	0.929	1.000	0.929	0.908	0.910	0.998	0.833	0.853	0.976	0.792	0.869	0.912	0.520	0.924	0.563
南充	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
眉山	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
宜宾	0.729	0.757	0.963	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.901	1.000	0.901
达州	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
广安	0.952	0.983	0.969	0.730	0.741	0.985	0.633	0.683	0.927	0.681	0.696	0.978	0.644	0.959	0.672
雅安	0.755	1.000	0.755	0.737	1.000	0.737	0.919	1.000	0.919	0.820	1.000	0.820	0.466	0.985	0.473
巴中	0.731	0.865	0.845	0.633	0.644	0.982	0.742	0.754	0.985	0.810	1.000	0.810	0.579	0.875	0.662
资阳	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.608	0.983	0.618
平均值	0.888	0.947	0.937	0.894	0.942	0.950	0.877	0.920	0.955	0.886	0.940	0.944	0.723	0.960	0.752

表5 2016-2020年四川省18个地级市冷链物流效率平均值前后测算结果

地区	TE			PTE			SE		
	调整前	调整后	状态	调整前	调整后	状态	调整前	调整后	状态
成都	1.000	0.816	drs	1.000	1.000	—	1.000	0.816	irs
自贡	0.995	0.994	drs	0.997	0.997	—	0.998	0.997	drs
攀枝花	1.000	0.857	drs	1.000	1.000	—	1.000	0.857	drs
德阳	0.947	0.922	drs	0.957	0.931	drs	0.987	0.988	irs
绵阳	0.632	0.716	irs	0.663	0.748	irs	0.959	0.959	—
广元	0.837	0.785	drs	0.859	0.803	drs	0.966	0.974	irs
遂宁	0.924	0.908	drs	0.986	0.977	drs	0.937	0.929	drs
内江	1.000	0.979	drs	1.000	1.000	—	1.000	0.979	drs
泸州	0.936	0.916	drs	0.973	0.987	irs	0.957	0.925	drs
乐山	0.995	0.814	drs	1.000	0.836	drs	0.995	0.974	drs
南充	1.000	0.997	drs	1.000	1.000	—	1.000	0.997	drs
眉山	1.000	1.000	—	1.000	1.000	—	1.000	1.000	—
宜宾	0.910	0.945	irs	0.930	0.950	irs	0.976	0.992	irs
达州	1.000	1.000	—	1.000	1.000	—	1.000	1.000	—
广安	0.782	0.746	drs	0.798	0.762	drs	0.979	0.978	drs
雅安	1.000	0.884	drs	1.000	1.000	—	1.000	0.884	drs
巴中	0.440	0.761	irs	0.638	0.815	irs	0.720	0.943	irs
资阳	0.962	1.000	irs	0.989	1.000	irs	0.972	1.000	irs
均值	0.909	0.891	drs	0.933	0.934	irs	0.969	0.955	drs

注:irs为上升状态,drs为下降状态,—为不变状态。

由表 5 可知,经过调整后 2016–2020 年四川省 18 个地级市冷链物流综合效率多数下降,眉山、达州、资阳的综合效率为 1,实现了 DEA 有效,只有绵阳、宜宾、巴中、资阳综合效率上升;纯技术效率上升、下降城市数目旗鼓相当,成都、攀枝花、内江、南充、眉山、雅安、资阳的效率值为 1,实现了 DEA 有效,德阳、广元、遂宁、乐山、广安下降;规模效率多数城市下降,眉山、达州、资阳的效率值为 1,实现了 DEA 有效,成都、德阳、广元、宜宾、巴中、资阳上升。

通过调整后的冷链物流效率值的变化情况可以看出,环境影响和随机噪声的干扰使综合效率和规模效率的效率值偏高,而使纯技术效率值偏低。纯技术效率、规模效率在经过调整后的平均值分别是 0.934、0.955,纯技术效率值低于规模效率值,这意味着纯技术效率对综合效率的影响更大,要提升四川省冷链物流效率应该先从纯技术效率入手。

4 结束语

本文利用四川省各市州 2016–2020 年的冷链物流投入产出面板数据,构建了冷链物流效率测度的指标体系,采用三阶段 DEA 模型,衡量四川省冷链物流的发展效率。从第一阶段 DEA 模型测度结果来看,2016–2020 年间四川省 18 个地级市的冷链物流效率表现得都较好,只有 2018 年的综合效率未达 0.9。从第二阶段 SFA 回归分析来看,在全社会固定资产投资额对公路交通里程数、从业人员数和冷链物流固定资产投资投入冗余的影响上,大都为负方向影响,表明全社会的投资水平对冷链投入产生积极影响。从第三阶段 DEA 分析结果来看,南充、眉山、达州的冷链物流效率一直处于生产前沿面;2020 年,由于疫情的影响多数城市的效率值都下降,攀枝花、遂宁、雅安在综合效率表现得尤为明显。经过评估,四川省 18 个地级市的冷链物流整体表现出色,无论是综合效率、纯技术效率还是规模效率都比较高,可达 0.9 以上,个别城市随着城市的建设、交通的发展等,冷链的各方面建设还有较大的提升空间。

为提升四川省冷链物流发展效率,需要进一步完善相关政策法规、持续紧跟国际国内冷链物流的发展动态,做好落实政策;不断加强基础设施建设,完善区域交通网,畅通四川省冷链物流流通体系;加强技术与人才投入,培养专业性技术人才与管理人才,推广保鲜防腐

技术在冷链物流行业中的有效应用,加快物联网、人工智能、大数据技术等冷链物流领域的落地运用。

致谢:感谢成都信息工程大学科研基金(KYTZ202188);成都信息工程大学大学生创新创业训练计划项目(202310621321)对本文的资助

参考文献:

- [1] 朱梦琳. 基于 GM(1,1) 模型的成都市农产品冷链物流需求预测[J]. 物流工程与管理, 2022, 44(11): 69–72+78.
- [2] Bin L, Jiawei L, Aiqiang C, et al. Selection of the cold logistics model based on the carbon footprint of fruits and vegetables in China[J]. Journal of Cleaner Production, 2022, 334: 130251.
- [3] Zheng C, Sun K, Gu Y, et al. Multimodal Transport Path Selection of Cold Chain Logistics Based on Improved Particle Swarm Optimization Algorithm[J]. Journal of Advanced Transportation, 2022: 5458760.
- [4] Chen J, Liao W, Yu C. Route optimization for cold chain logistics of front warehouses based on traffic congestion and carbon emission[J]. Computers & Industrial Engineering, 2021, 161: 107663.
- [5] Zhang S, Chen N, She N, et al. Location optimization of a competitive distribution center for urban cold chain logistics in terms of low-carbon emissions[J]. Computers & Industrial Engineering, 2021, 154: 107120.
- [6] 林雅菲. 国家物流枢纽建设背景下 A 公司冷链物流枢纽布局研究[J]. 中国物流与采购, 2022(16): 70–72.
- [7] 易美, 黎聪. 共同配送模式下冷链物流的配送优化途径分析[J]. 中国物流与采购, 2022(18): 95–96.
- [8] 赵旭, 潘胡飞. 基于 ISM 的农村冷链物流效率影响因素分析[J]. 物流技术, 2016, 35(6): 97–100.
- [9] 方凯, 钟涨宝, 王厚俊, 等. 基于绿色供应链的我国冷链物流企业效率分析[J]. 农业技术经济, 2014(6): 45–53.
- [10] 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.
- [11] 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]. 合肥:安徽大学,2021.
- [12] 宋冰清. 湖北省生鲜农产品冷链物流效率研究 [D]. 淮南:安徽理工大学,2021.
- [13] 刘宇. 基于三阶段 DEA 模型的中国出版印刷业效率评价[J]. 企业经济,2022,41(1):122-130.
- [14] 寇儒欣,梅康妮,秘玉清,等. 基于三阶段 DEA 模型的我国中医医院运营效率研究[J]. 中国医院,2023,27(3):33-36.
- [15] Fried H O, Lovell C A K, Schmidt S S, et al. Accounting for environmental effects and statistical noise in data envelopment analysis[J]. Journal of productivity Analysis,2002,17: 157-174.

Study on Efficiency Measurement of Cold Chain Logistics in Sichuan Province based on Three-Stage DEA Model

WANG Xiao, YUAN Yuting, XU Siyu, LI Shengdong

(College of Logistics, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China)

Abstract: With the development of the market economy and the growing demand for quality logistics services, improving logistics efficiency in various regions is becoming increasingly important. It establishes a system of indicators for measuring the efficiency of inputs and outputs of cold chain logistics based on the principle of scientific and rational selection of evaluation indicators. Through the establishment of a three-stage DEA logistics efficiency measurement model, cold chain logistics efficiency values are measured and analyzed in depth in 18 prefecture-level cities in Sichuan province. Against this backdrop, this paper highlights the need to further improve the efficiency of cold chain logistics in Sichuan Province by improving relevant policies and regulations, continuously strengthening infrastructure, developing the region's transportation network, and increasing investment in technology and human resources.

Keywords: cold chain logistics; efficiency measurement; three-stage DEA; Sichuan Province