

基于先行区建设的湖北省生鲜农产品冷链韧性影响因素研究

王 静, 刘明菲

武汉理工大学管理学院, 湖北 武汉

收稿日期: 2023年4月19日; 录用日期: 2023年5月9日; 发布日期: 2023年5月23日

摘 要

为着力提升湖北省生鲜农产品冷链韧性, 提高其抵抗风险的能力, 本研究基于利益相关者理论和事故致因理论, 运用文献研究法确定了7个影响湖北省生鲜农产品冷链韧性的因素, 并通过集成DEMATEL和ISM研究因素之间的内在关系, 构建多层递阶结构模型并识别因素的影响机制。结果表明: 政策支持、高层领导的可持续信念和风险意识是增强湖北省生鲜农产品冷链韧性的重要驱动力; 敏捷性和协同合作能力具有双边关系, 直接影响韧性; 数字基础设施建设和信息化水平通过直接和间接影响敏捷性和协同合作能力, 间接影响韧性。该研究可为增强湖北省生鲜农产品冷链韧性提供参考依据。

关键词

生鲜农产品冷链韧性, 决策实验室分析法, 事故致因理论

Study on Influencing Factors on Cold Chain Resilience of Fresh Agri-Products in Hubei Province Based on Pilot Area Construction

Jing Wang, Mingfei Liu

School of Management, Wuhan University of Technology, Wuhan Hubei

Received: Apr. 19th, 2023; accepted: May 9th, 2023; published: May 23rd, 2023

Abstract

In order to strive to improve the cold chain resilience of fresh agri-products in Hubei Province and improve their ability to resist risks, based on the stakeholder theory and accident cause theory,

this study uses the literature research method to determine seven factors that affect the cold chain resilience of fresh agri-products in Hubei Province. By integrating the internal relationship between DEMATEL and ISM research factors, it builds a multi-level hierarchical structure model and identifies the influencing mechanism of factors. The results showed that policy support, sustainable belief and risk awareness of senior leaders were important driving forces to enhance the cold chain resilience of fresh agri-products in Hubei Province. Agility and collaborative ability have a bilateral relationship, which directly affects resilience. The construction of digital infrastructure and the level of informatization have an indirect impact on resilience by directly and indirectly affecting agility and collaboration capabilities. This study can provide a reference for strengthening the cold chain resilience of fresh agri-products in Hubei Province.

Keywords

Cold Chain Resilience of Fresh Agri-Products, Decision-Making Laboratory Analysis Method, Accident Cause Theory

Copyright © 2023 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

伴随着社会经济的发展,我国居民消费水平日渐提高,2021年中国生鲜电商行业市场规模为3117.4亿元,同比上升18.2%,预计2023年将达4198.3亿元,可见消费者对生鲜农产品的需求日益提升。但近年来,随着生鲜农产品冷链物流运作的复杂性和外部环境的不确定性增加,使各类生鲜农产品流通事故频发。据前瞻经济估算,我国每年因冷链“断链”的事故造成了约1200万吨水果、1.3亿吨蔬菜的浪费,经济损失超千亿元,而这背后更深层次映射出的是生鲜农产品冷链韧性的问题。因此,为了积极响应湖北省“加快建设全国构建新发展格局先行区”的号召,着力打造全国现代农业基地,提升产业链供应链韧性和安全水平,本文基于先行区的建设,对湖北省生鲜农产品冷链韧性的研究十分必要。

生鲜农产品具有易腐败、不耐储运、生产季节性强的特点,这对冷链运输以及冷链韧性提出了极高要求[1]。我国生鲜农产品冷链事故频发一方面是因为配套设施不全、信息化水平低引发“断链”;另一方面是我国冷链市场集中度不高,存在小而散、缺专人、缺资金,以及标准不统一、各自为政、监管真空等问题[2],因此如何有效识别生鲜农产品冷链韧性的因素及其影响机制,并进行有效的管理已经成为业界和学界广泛关注的话题。Christopher等将韧性定义为“系统中断后恢复到原始状态或更优状态的能力”[3];Cabral等早在2011年就提出韧性、精益、绿色和敏捷范式[4],现有文献也广泛从可见性[5]、组织间知识共享能力[6]、协同合作[7]、风险管理文化[8]、灵活性[9]和数字化技术[10]等方面对影响冷链韧性的因素展开讨论。钱存华等结合区间直觉模糊数和AHP确定了装配式建筑供应链弹性等级和关键影响因子[11],王一新等人通过ISM确定了绿色建筑冷链韧性影响因素在评价体系中的指标权重[12]。

基于此,本文以湖北省生鲜农产品冷链为研究对象,运用决策实验室分析法(DEMATEL)分析基于先行区建设的湖北省生鲜农产品冷链韧性的各影响因素的重要程度,并运用解释结构模型(ISM)构建多层递阶结构模型,分析各个因素之间的递阶关系,深入探讨湖北省生鲜农产品冷链韧性影响因素的影响机制,为打造湖北省生鲜农产品冷链强韧性提供重要参考依据。

2. 生鲜农产品冷链韧性影响因素识别

2.1. 生鲜农产品冷链的相关研究

生鲜农产品冷链物流是指将肉、禽、水产、蔬菜、水果、蛋等生鲜农产品从产地采收(或屠宰、捕捞)后,在产品加工、贮藏、运输、分销、零售等环节始终处于适宜的低温控制环境下,最大程度地保证产品品质和质量安全、减少损耗、防止污染的特殊供应链系统。生鲜农产品冷链全过程的实质是集生鲜农产品产的预冷、使用冷藏车进行运输、冷库进行农产品存储、低温箱进行配送、冰箱进行销售为一体的冷链网络,在这个网络当中,各个要素相互影响,相互支持与制约[13],具体流程如图1。

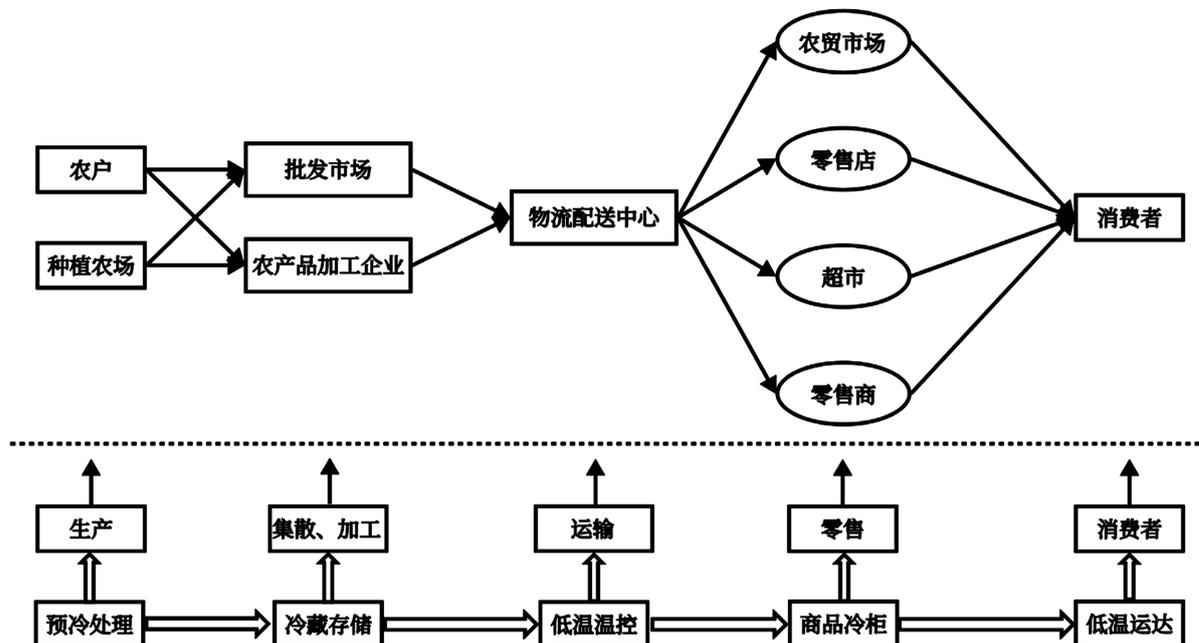


Figure 1. Cold chain flowchart of fresh agricultural products

图 1. 生鲜农产品冷链流程图

2.2. 生鲜农产品冷链韧性的相关研究

韧性(resilience)一词源于拉丁语“resillo”,最早于1970年被运用于物理学领域,随后在1973年,被Holling引入生态学领域,开始向多学科领域发展[14]。韧性决定了系统吸收变化的能力,系统恢复平衡的速度越快,其稳定性就越大[15]。有研究认为高适应性冷链的主要特征为高效性、响应性和柔性[16],加强供应商之间的横向合作、加工商和零售商的纵向合作,可以降低冷链中断的风险,提高冷链韧性[17];加强企业对资源重新配置的能力和优化企业的冷链管理基础设施能够增强冷链韧性[18];生鲜农产品冷链各成员间的信息共享策略和库存控制策略对冷链韧性有正向影响[19];增强冷链柔性、敏捷性益于提高冷链韧性[20]。本文将生鲜农产品冷链韧性定义为:“生鲜农产品冷链在遭受冲击时快速做出适应性调整,维持自身稳定且可持续发展,并向高质量高水平不断发展的能力”[21]。

2.3. 基于事故致因理论的生鲜农产品冷链韧性的影响因素识别

图1构建的生鲜农产品冷链流程图显示,如果生鲜农产品冷链中断发生,则涉及到的主要因素为管理因素、设备因素、环境因素和人员因素。因此本研究采用事故致因理论中的轨迹交叉理论模型对生鲜农产品冷链中断事故中的易感的管理、设备、环境和人员因素进行识别,通过分析影响冷链中断

的原因, 反向思考能够提高生鲜农产品冷链韧性的关键因素。轨迹交叉理论模型认为事故的发生是因为人的运动轨迹与物的运动轨迹异常接触所致, 是物直接接触于人或人暴露于有害的环境之中, 事故发生的原因可以分为人的不安全行为和物的不安全状态[22]。生鲜农产品冷链物流体系是一个运行的系统, 本文通过将轨迹交叉理论模型与生鲜农产品冷链物流中的管理、设备、环境和人员因素进行比较分析, 构建如图 2 所示轨迹交叉模型, 选取的基于先行区建设的湖北省生鲜农产品冷链韧性的影响因素如表 1 所示。

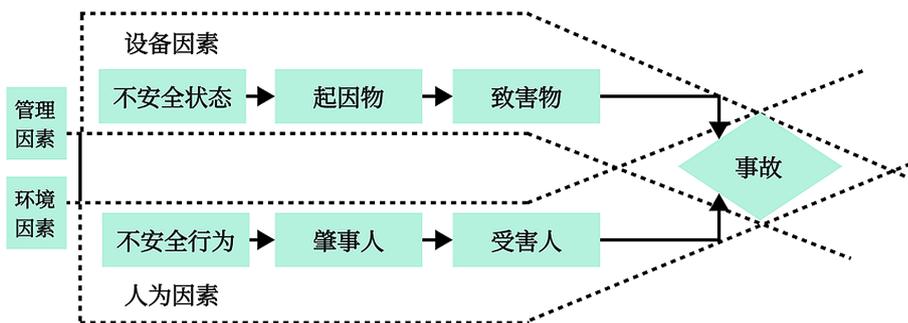


Figure 2. A cross model of causal trajectories for cold chain accidents
图 2. 冷链事故致因轨迹交叉模型

Table 1. Influencing factor indicators

表 1. 影响因素指标

维度	影响因素(评价指标)	编号	参考文献
管理	风险意识	Z ₁	Xia 等[23], Qorri 等[24]
	敏捷性	Z ₂	Mohammed [25]
	协同合作能力	Z ₃	Soosay 等[26], FAWCETT 等[27]
设备	信息化水平	Z ₄	Sarkis [28]
	数字基础设施建设	Z ₅	Acharya 等[29]
环境	政策支持	Z ₆	Luo 等[30]
人员	高层领导的可持续信念	Z ₇	Li 等[31], Dubey 等[32]

3. 基于 DEMATEL-ISM 的湖北省生鲜农产品冷链韧性影响因素多层递阶结构模型建立

DEMATEL 的主要原理是通过分析系统中各个因素之间的因果关系构建出直接影响矩阵和综合影响矩阵, 判断各因素之间影响关系的强弱, 求出各因素的影响度和被影响度, 确定其中心度与原因度, 将错综复杂的关系简单化[20]。ISM 是一种研究复杂系统内部各因素间的影响与被影响的关系, 清晰反映系统内部结构的结构模型化算法, 利用有向图和矩阵发现主要因素及其内在联系[33]。结合 DEMATEL 与 ISM, 避免了 DEMATEL 不能表达因素间的相互联系和逻辑关系与 ISM 不能准确地分析各影响因素对复杂系统的影响程度的不足[34]。

3.1. 建立直接影响矩阵

将基于先行区建设的湖北省生鲜农产品冷链韧性影响因素记为 $Z = \{Z_1, Z_2, \dots, Z_7\}$, 以 r_{ij} 指代 $Z_i (i=1, 2, \dots, 7)$ 与 $Z_j (j=1, 2, \dots, 7)$ 之间的关系, 使用 0、1、2、3、4 分别指代因素 Z_i 对因素 Z_j 的影响强度或因素 Z_j 对因素 Z_i 的影响强度, 其语义量表如表 2 所示:

Table 2. Semantic scale
表 2. 语义量表

语义变量	r_{ij} 评分值
无影响	0
影响力较弱	1
影响力一般	2
影响力较高	3
影响力超高	4

得到直接影响矩阵 R :

$$R = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1j} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2j} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{i1} & r_{i2} & \cdots & r_{ij} \end{pmatrix} \quad (1)$$

利益相关者理论认为一个组织的决策和目标受到多个利益相关者认知的高度影响[35], 而利益相关者指影响或受组织目标实现影响的任何团体或个人[1]。因此本研究邀请湖北省物流与冷链领域的专家组成专家小组对本次识别出的影响因素进行评分, 共计 6 人, 分别代表不同的利益相关者, 在建设湖北省先行区的情境下, 对增强生鲜农产品冷链韧性的各个因素之间的关系进行讨论并形成一致意见, 最终根据专家意见建立直接影响矩阵 R , 即 $R = (r_{ij})_{7 \times 7}$, 见表 3。

Table 3. Direct impact matrix R
表 3. 直接影响矩阵 R

Factors	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5	Z_6	Z_7
Z_1	0	2	2	3	3	1	2
Z_2	1	0	3	0	0	0	0
Z_3	0	3	0	0	0	0	0
Z_4	0	4	4	0	3	0	0
Z_5	0	2	3	0	0	0	0
Z_6	3	1	2	2	1	0	4
Z_7	0	1	2	3	3	0	0

3.2. 建立综合影响矩阵

为求得影响因素的综合影响矩阵, 需要由直接影响矩阵 R 按下式经过运算求得规范化矩阵 A :

$$A = \frac{1}{\max_{1 \leq i \leq 7} \sum_{j=1}^7 R_{ij}} R \quad (2)$$

在得到规范化矩阵 A 的基础上, 利用下式可求得综合影响矩阵 B , 即 $B = (b_{ij})_{7 \times 7}$ (见表 4):

$$B = A(I - A)^{-1} \quad (3)$$

其中, I 为单位矩阵。

Table 4. Comprehensive impact matrix *B*
表 4. 综合影响矩阵 *B*

Factors	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₄	Z ₅	Z ₆	Z ₇
Z ₁	0.053	0.442	0.481	0.299	0.362	0.081	0.187
Z ₂	0.086	0.092	0.283	0.024	0.029	0.007	0.015
Z ₃	0.020	0.252	0.064	0.006	0.007	0.002	0.004
Z ₄	0.037	0.466	0.482	0.010	0.244	0.003	0.006
Z ₅	0.018	0.226	0.290	0.005	0.006	0.001	0.003
Z ₆	0.267	0.401	0.506	0.301	0.292	0.021	0.355
Z ₇	0.022	0.283	0.364	0.237	0.292	0.002	0.004

3.3. 计算影响度、被影响度、原因度和中心度

影响度 f_i 是指各影响因素对系统中其他因素的影响情况；被影响度 m_j 是指各影响因素受系统中其他因素的影响情况；中心度 z_i 表示各影响因素在系统中的重要性程度；原因度 y_i 表示系统中各影响因素间相互作用的程度。将综合影响矩阵 *B* 中各行元素相加得到影响度 f_i ，各列元素相加得到被影响度 m_j ，影响度与被影响度之差为原因度 y_i ，两者之和为中心度 z_i ，具体计算公式如下：

$$\begin{aligned}
 f_i &= \sum_{j=1}^p b_{ij} \quad (i=1, 2, \dots, p) \\
 m_j &= \sum_{i=1}^p b_{ij} \quad (j=1, 2, \dots, p) \\
 y_i &= f_i - m_j \quad (i=1, 2, \dots, p, j=1, 2, \dots, p) \\
 z_i &= f_i + m_j \quad (i=1, 2, \dots, p, j=1, 2, \dots, p)
 \end{aligned} \tag{4}$$

根据上述公式对影响度、被影响度、原因度和中心度计算，结果如表 5。在笛卡尔坐标系中绘制出各个影响因素“原因度 - 中心度”散点图，具体如图 3。

Table 5. The centrality and causal degree of influencing factors
表 5. 影响因素的中心度和原因度

Factors	f_i	m_i	y_i	z_i
Z ₁	1.904	0.501	1.403	2.405
Z ₂	0.537	2.164	-1.627	2.700
Z ₃	0.355	2.472	-2.117	2.827
Z ₄	1.249	0.882	0.366	2.131
Z ₅	0.550	1.231	-0.682	1.781
Z ₆	2.142	0.116	2.027	2.258
Z ₇	1.204	0.575	0.630	1.779

3.4. 建立可达矩阵

由于综合影响矩阵中缺乏因素对自身影响的考虑，因此需要通过下式求得系统整体影响矩阵 *C* 即 $C = (c_{ij})_{7 \times 7}$ ：

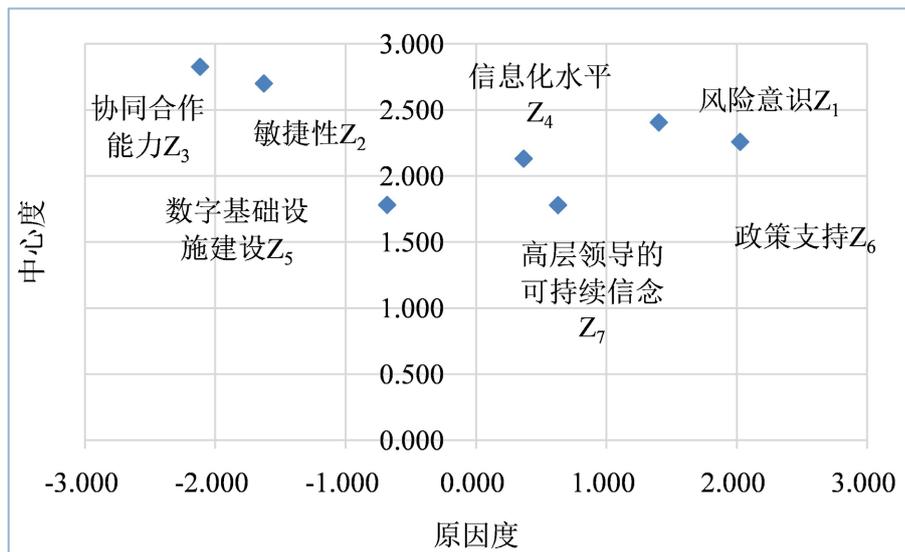


Figure 3. Causality-centrality scatter plot
图 3. 原因度 - 中心度散点图

$$C = I + B \tag{5}$$

式中, I 为 7×7 阶的单位矩阵。

根据系统整体影响矩阵 C 中设置阈值 λ , 通过设置阈值 λ , 可以将影响较小的因素舍去, 简化影响因素系统结构。然而阈值取值过大, 系统结构过于简化, 因素间的影响关系难以衡量; 取值过小, 系统结构过于复杂, 因素间的关系过于繁琐。故本文将阈值 λ 分别设置为 $\lambda = 0.10$ 、 $\lambda = 0.20$ 、 $\lambda = 0.30$ 和 $\lambda = 0.40$, 计算得到可达矩阵每个因素所在的行和所在列的数值之和, 即该因素的节点度, 见表 6, 对 4 个 λ 取值下的节点度降序排列得到节点度衰减折线图, 见图 4。分析结果表明, 当 λ 值为 0.30、0.40 时, 影响因素的节点程度变化较大。当 λ 为 0.10 时, 影响因素的节点程度的变化范围相对较小。经筛选后, 本文选择 λ 的值为 0.20。

Table 6. Node degree of influencing factors under different thresholds
表 6. 不同阈值下的影响因素节点度

Factors	$\lambda = 0.1$	$\lambda = 0.20$	$\lambda = 0.30$	$\lambda = 0.40$
Z_1	7	6	4	3
Z_2	8	8	4	4
Z_3	8	8	5	4
Z_4	7	7	4	3
Z_5	7	7	2	1
Z_6	7	7	5	3
Z_7	7	6	3	1

按照下式计算求得生鲜农产品影响因素的可达矩阵 D , 见表 7。

$$d_{ij} = \begin{cases} 0, & d_{ij} < 0.07 \\ 1, & d_{ij} \geq 0.07 \end{cases} \tag{6}$$

3.5. 多层递阶结构模型的建立

由可达矩阵 D , 按照下面公式可以求得生鲜农产品冷链韧性影响因素可达集 $G(Z_i)$ 、先行集 $F(Z_i)$ 和共

同集 $O(Z_i)$:

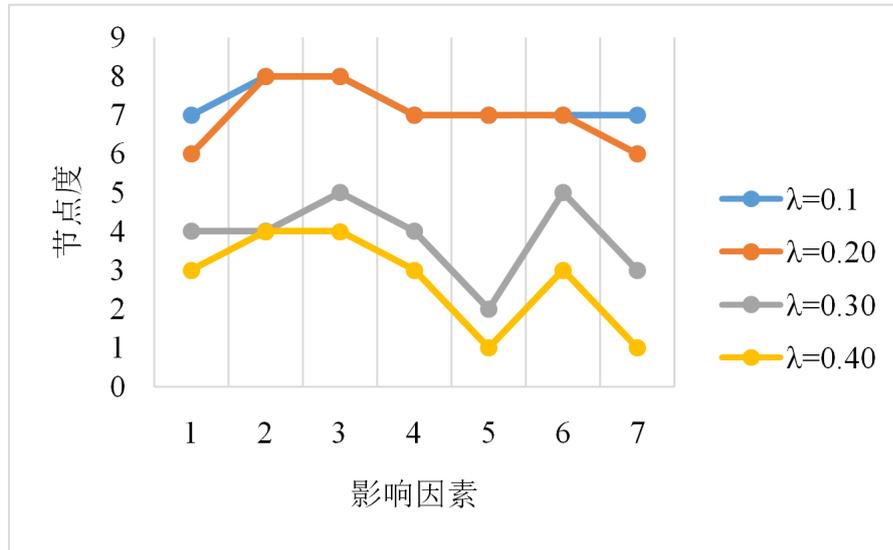


Figure 4. Line chart of node degree change of factors under different thresholds
图 4. 不同阈值下因素节点度的变化折线图

Table 7. Reachable matrix D
表 7. 可达矩阵 D

Factors	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5	Z_6	Z_7
Z_1	1	1	1	1	1	0	0
Z_2	0	1	1	0	0	0	0
Z_3	0	1	1	0	0	0	0
Z_4	0	1	1	1	1	0	0
Z_5	0	1	1	0	1	0	0
Z_6	1	1	1	1	1	1	1
Z_7	0	1	1	1	1	0	1

$$\begin{aligned}
 G(Z_i) &= \{Z_j \mid d_{ij} = 1\} \\
 F(Z_i) &= \{Z_j \mid d_{ij} = 1\} \\
 O(Z_i) &= M(Z_i) \cap N(Z_i)
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

其中, 可达集是在可达矩阵 D 中影响因素 Z_i 可以到达的所有影响因素构成的集合; 先行集是在可达矩阵 D 中可以到达 Z_i 的所有影响因素构成的集合; 共同集是可达集和先行集的交集。以 L_i 指代第 i 层的影响因素, 利用下式可以对可达矩阵 D 中各个影响因素进行层次划分, 具体划分流程如表 8。

$$L_i = \{Z_j \mid Z_j \in Z - L_0 - L_1 - \dots - L_{i-1}, G(Z_i) = O(Z_i)\}
 \tag{8}$$

Table 8. Hierarchy of influencing factors
表 8. 影响因素层次划分

循环	指标	$G(Z_i)$	$F(Z_i)$	$O(Z_i)$	层级
1	Z_1	1, 2, 3, 4, 5	1, 6	1	
	Z_2	2, 3	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7	2, 3	I
	Z_3	2, 3	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7	2, 3	I

Continued

1	Z_4	2, 3, 4, 5	1, 4, 6, 7	4	
	Z_5	2, 3, 5	1, 4, 5, 6, 7	5	
	Z_6	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7	6	6	
	Z_7	2, 3, 4, 5, 7	6, 7	7	
2	Z_1	1, 4, 5	1, 6	1	II
	Z_4	4, 5	1, 4, 6, 7	4	
	Z_5	5	1, 4, 5, 6, 7	5	
	Z_6	1, 4, 5, 6, 7	6	6	
3	Z_1	1, 4	1, 6	1	III
	Z_4	4	1, 4, 6, 7	4	
	Z_6	1, 4, 6, 7	6	6	
	Z_7	4, 7	6, 7	7	
4	Z_1	1	1, 6	1	IV
	Z_6	1, 6, 7	6	6	
	Z_7	7	6, 7	7	
5	Z_6	6	6	6	V

根据条件上述划分结果, 得到影响因素多级递阶结构模型图, 如图 5。

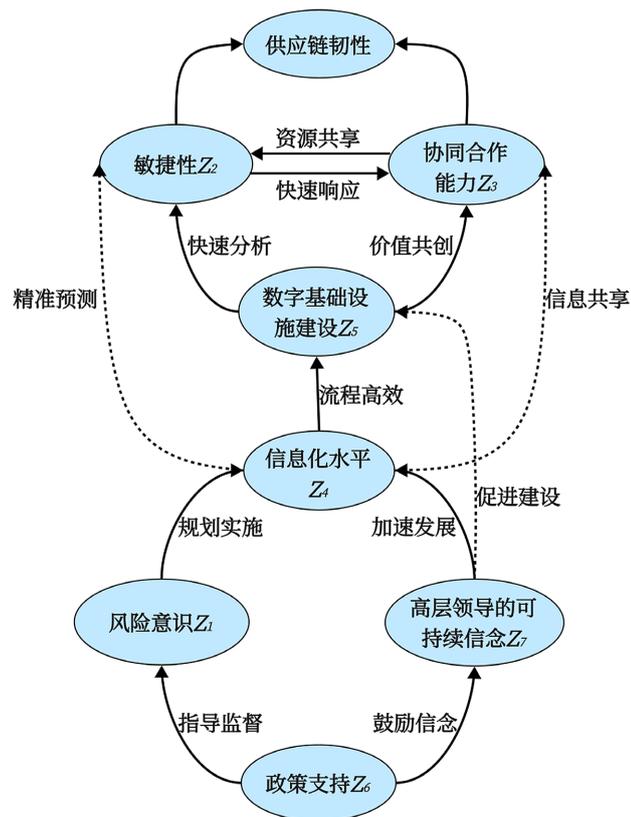


Figure 5. Multilayer hierarchical structure model diagram of influencing factors

图 5. 影响因素的多层递阶结构模型图

4. 结果分析

4.1. 因素分析

1) 原因因素分析

若原因度大于 0, 则表明该因素对其他因素影响大, 称之为原因因素。由图 3 可见, 风险意识 Z_1 、信息化水平 Z_4 、政策支持 Z_6 、高层领导的可持续信念 Z_7 为基于先行区建设的湖北省冷链韧性影响因素系统中的原因指标, 它们从大到小的排序为 $Z_6 > Z_1 > Z_7 > Z_4$ 。我们可以发现政策支持和风险意识具有较高的原因度, 即这两项因素会对其他因素产生较大影响, 是主要的原因因素。

从原因因素来看, 若政府出台一系列的政策支持, 则会提高企业的风险意识以及加强高层领导的可持续信念, 增强企业对冷链可持续发展的重视度。与此同时, 冷链信息化水平的提高会促进冷链数字化基础设施的建设, 促进湖北省打造全国数字经济发展高地。

2) 结果因素分析

若原因度小于 0, 表明其他因素对该因素影响大, 称为结果因素。由图 3 可见, 敏捷性 Z_2 、协同合作能力 Z_3 、数字基础设施建设 Z_5 为基于先行区建设的湖北省冷链韧性影响因素系统中的结果指标, 它们的绝对值从大到小的排序为 $Z_3 > Z_2 > Z_5$ 。其中敏捷性和协同合作能力最容易受到其他因素影响, 是影响湖北省冷链韧性的主要结果因素。

从结果因素来看, 冷链的高敏捷性会提高其适应不断变化的需求和供应市场条件的能力, 因此会直接增强韧性。并且, 产品从生产地到消费者的整个流程中, 涉及到太多的不确定因素和人员的参差性, 所以加强冷链各个主体之间的协同合作能力对增强湖北省冷链韧性起到关键性的作用。

3) 因素重要性分析

中心度表示该因素在湖北省冷链韧性影响因素体系中的位置及所起作用的大小, 中心度数值越大, 说明该因素对决策的制约作用越大。各因素中心度从大到小的排序为 $Z_3 > Z_2 > Z_1 > Z_6 > Z_4 > Z_5 > Z_7$ 。其中协同合作能力 Z_3 、敏捷性 Z_2 、风险意识 Z_1 是影响基于先行区建设的湖北省冷链韧性的最重要的 3 个因素。

在冷链管理过程中, 出现不可预知的供应、需求或运输风险后做出迅速反应的能力即称为敏捷性, 其可以最大程度缩短反应时间和降低损失。冷链上各利益相关主体的风险意识越高, 冷链上的各个主体面对危机事件反应的速度越快, 进而协同合作的能力越强、敏捷性越高, 因此能够更好地应对风险, 韧性越强。

4.2. 影响层次分析

如图 5 所示, 湖北省生鲜农产品冷链韧性的影响因素共分为 5 个层级: 第一层作为递阶层次模型的顶层, 顶层指标包括敏捷性 Z_2 和协同合作能力 Z_3 , 是增强湖北省生鲜农产品冷链韧性的直接层; 第二层、第三层和第四层作为递阶层次模型的中间层, 是增强湖北省生鲜农产品冷链韧性的过渡层, 在整个系统中起到承上启下的作用, 中间层指标通过顶层指标对整个系统产生影响, 并受到下层指标的直接影响, 其中第二层指标包括数字基础设施建设 Z_5 ; 第三层指标包括信息化水平 Z_4 ; 第四层指标包括风险意识 Z_1 和高层领导的可持续信念 Z_7 ; 第五层位于模型的最底层, 是形成冷链韧性的基础层, 底层指标是政策支持 Z_6 , 在整个系统中起到影响冷链韧性的基础性作用, 并以各种方式影响中间层和顶层指标, 进而对整个系统产生影响。关键因素和影响机制是影响冷链韧性的重要原因。

首先, 在本研究中, 湖北省建设先行区的重要战略方针对选取影响因素具有重要参考价值, 因此, 从打造全国数字经济发展高地、全国现代农业基地和加快布局“双碳”发展新赛道分析了数字基础设施建设、信息化水平、政策支持等因素在增强湖北省冷链韧性中的重要作用, 并将其整合到基于先行区建

设的湖北省冷链韧性影响因素的指标体系中, 验证和构建了七个重要影响因素的关系, 这些因素直接或间接地与高层管理人员和政府联系在一起, 且与现有文献相比, 本研究的结果更为全面。

其次, 可以看出政策支持是湖北省生鲜农产品冷链韧性的重要驱动力, 具有层次结构的框架说明了动态系统中元素之间的逻辑。风险意识 Z_1 和高层领导的可持续信念 Z_7 在框架内处于同一水平, 这表明这两个因素通过影响冷链信息化水平, 在进一步影响韧性的过程中可能具有相同的作用。结果还显示数字基础设施建设 Z_5 直接且显著地影响 Z_2 和 Z_3 , 信息化水平 Z_4 间接影响 Z_2 和 Z_3 , 最终影响冷链韧性。同时, 数字基础设施建设 Z_5 是唯一一个将之前的原因因素过渡到结果因素的节点, 这提醒我们, 加强数字基础设施建设可能是信息化水平增强冷链韧性的前提。

最后, 用直接和间接的联系说明了这些层次因素之间的关系, 包括双边和单边关系在内的直接联系(影响)在七个影响因素中发挥着重要作用。从图 5 可以看出, 双边关系表现为敏捷性 Z_2 和协同合作能力 Z_3 之间的联系, 表明它们在扩散过程中相互促进和影响, 且敏捷性和协同合作能力直接影响冷链韧性, 在加强湖北省生鲜农产品冷链韧性方面发挥着直接和决定性的作用。虽然大多数关系是单边的, 但它们构成了明确的影响机制, 且影响因素之间有明确的递进关系。与直接联系一样, 间接联系(虚线箭头所示)也显示在图 5 中, 展现了他们在影响机制中的次要作用。

5. 结束语

本研究基于利益相关理论和事故致因理论, 以“管理、设备、环境和人员”为视角, 通过文献研究法识别了基于先行区建设下, 影响湖北省生鲜农产品冷链韧性的 7 个关键因素, 通过 DEMATEL-ISM 方法, 建立了影响因素的多层递阶结构模型, 探讨了因素在影响机制中的相互关系, 发现敏捷性和协同合作能力是直接影响韧性的关键因素, 政策支持是重要驱动力。该影响机制可为增强湖北省生鲜农产品冷链韧性, 降低冷链“断链”风险提供理论依据。笔者主要进行了生鲜农产品冷链韧性关键影响因素和影响机制的分析, 未来可在不同场景下进行更深入的研究。

基金项目

本文受国家创新创业训练项目(S202210497105)资助。

参考文献

- [1] 刘明菲, 陈威. 基于集成 DEMATEL-ISM 的生鲜冷链前置仓物流服务质量风险影响因素研究[J]. 安全与环境工程, 2020, 27(1): 118-125.
- [2] 詹晨琳, 张艳馥. 绿色理念下个体商户农产品冷链物流优化研究[J]. 价值过程, 2022, 41(21): 56-59.
- [3] Christopher, M. (2012) Managing Supply Chain Complexity: Identifying the Requisite Skills. *Supply Chain Forum: An International Journal*, **13**, 4-9. <https://doi.org/10.1080/16258312.2012.11517288>
- [4] Cabral, I., Grilo, A. and Cruz-Machado, V. (2012) A Decision-Making Model for Lean, Agile, Resilient and Green Supply Chain Management. *International Journal of Production Research*, **50**, 4830-4845. <https://doi.org/10.1080/00207543.2012.657970>
- [5] Kochan, C.G. and Nowicki, D.R. (2018) Supply Chain Resilience: A Systematic Literature Review and Typological Framework. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, **48**, 842-865. <https://doi.org/10.1108/IJPDLM-02-2017-0099>
- [6] Zhao, G., Liu, S. and Lopez, C. (2017) A Literature Review on Risk Sources and Resilience Factors in Agri-Food Supply Chains. *18th IFIP WG 5.5 Working Conference on Virtual Enterprises, PRO-VE 2017*, Vicenza, 18-20 September 2017, 739-752. https://doi.org/10.1007/978-3-319-65151-4_66
- [7] Mancheri, N.A., Sprecher, B., Bailey, G., Ge, J. and Tukker, A. (2019) Effect of Chinese Policies on Rare Earth Supply Chain Resilience. *Resources, Conservation and Recycling*, **142**, 101-112. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.11.017>
- [8] Zhao, L. and Huchzermeier, A. (2018) Supply Chain Risk Management. In: Zhao, L. and Huchzermeier, A., Eds.,

- Supply Chain Finance*, Springer, Berlin, 39-55. https://doi.org/10.1007/978-3-319-76663-8_3
- [9] Smith, K., Lawrence, G., MacMahon, A., Muller, J. and Brady, M. (2015) The Resilience of Long and Short Food Chains: A Case Study of Flooding in Queensland, Australia. *Agriculture and Human Values*, **33**, 45-60. <https://doi.org/10.1007/s10460-015-9603-1>
- [10] Zheng, Y., Liu, L., Shi, V., Huang, W. and Liao, J. (2022) A Resilience Analysis of a Medical Mask Supply Chain during the COVID-19 Pandemic: A Simulation Modeling Approach. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **19**, Article No. 8045. <https://doi.org/10.3390/ijerph19138045>
- [11] 吴成锋, 林帅成, 徐春风. 零售商公平关切下双渠道绿色供应链的定价及协调机制研究[J]. *经济与管理评论*, 2022, 38(5): 112-123.
- [12] 王一新, 任家璐, 缙文娟. 基于 ISM 的绿色建筑供应链韧性影响因素研究[J]. *施工技术(中英文)*, 2022, 51(14): 120-125.
- [13] 马娇豪, 樊云阁, 娄芳慧, 王育红. 我国农产品冷链物流存在的问题及发展建议[J]. *河南农业*, 2022(9): 63-64.
- [14] 舒阳, 胡嘉渝, 阮宇翔. 基于弹性城市理论的水敏性空间设计方法研究[J]. *城市建筑*, 2020, 17(34): 83-85+106.
- [15] Clapham, W.B. (1983) *Natural Ecosystems*. 2nd Edition, Biological, Geological, and Environmental Department Books.
- [16] 胡海文, 马士华. 市场感知、协调一致与创新对供应链高适应性影响的实证研究[J]. *管理学报*, 2020, 17(1): 131-138.
- [17] Leat, P. and Revoredo-Giha, C. (2013) Risk and Resilience in Agri-Food Supply Chains: The Case of the ASDA Pork Link Supply Chain in Scotland. *Supply Chain Management: An International Journal*, **18**, 219-231. <https://doi.org/10.1108/13598541311318845>
- [18] Ambulkar, S., Blackhurst, J. and Grawe, S. (2015) Firm's Resilience to Supply Chain Disruptions: Scale Development and Empirical Examination. *Journal of Operations Management*, **33-34**, 111-122. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2014.11.002>
- [19] 刘明菲, 李鑫. 农产品供应链中断情景下的响应策略对供应链弹性的影响[J]. *武汉理工大学学报(社会科学版)*, 2018, 31(5): 137-143.
- [20] Gani, A., Bhanot, N., Talib, F., et al. (2022) An Integrated DEMATEL-MMDE-ISM Approach for Analyzing Environmental Sustainability Indicators in MSMEs. *Environmental Science and Pollution Research*, **29**, 2035-2051. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15194-6>
- [21] 王永贵, 高佳. 新冠疫情冲击、经济韧性与中国高质量发展[J]. *经济管理*, 2020, 42(5): 5-17.
- [22] 刘明菲, 岳德洋, 张欢. 基于群体灰色层次模糊法的农产品冷链物流脆弱性评价研究[J]. *安全与环境工程*, 2017, 24(3): 114-119.
- [23] Xia, D., Xia, N., Zhang, Y., Xiong, J. and Zhu, R. (2022) Diffusion Path Identification of Public Opinion Involving Enterprise Green Technology Adoption: An Interpretive-Structural-Modeling Based Approach. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **19**, Article No. 2817. <https://doi.org/10.3390/ijerph19052817>
- [24] Qorri, A., Mujkić, Z. and Kraslawski, A. (2018) A Conceptual Framework for Measuring Sustainability Performance of Supply Chains. *Journal of Cleaner Production*, **189**, 570-584. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.04.073>
- [25] Mohammed, A. (2020) Towards “Gresilient” Supply Chain Management: A Quantitative Study. *Resources, Conservation and Recycling*, **155**, Article ID: 104641. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104641>
- [26] Soosay, C.A. and Hyland, P. (2015) A Decade of Supply Chain Collaboration and Directions for Future Research. *Supply Chain Management: An International Journal*, **20**, 613-630. <https://doi.org/10.1108/SCM-06-2015-0217>
- [27] Fawcett, S.E., Fawcett, A.M., Watson, B.J. and Magnan, G.M. (2012) Peeking inside the Black Box: Toward an Understanding of Supply Chain Collaboration Dynamics. *Journal of Supply Chain Management*, **48**, 44-72. <https://doi.org/10.1111/j.1745-493X.2011.03241.x>
- [28] Sarkis, J. (2003) A Strategic Decision Framework for Green Supply Chain Management. *Journal of Cleaner Production*, **11**, 397-409. [https://doi.org/10.1016/S0959-6526\(02\)00062-8](https://doi.org/10.1016/S0959-6526(02)00062-8)
- [29] Acharya, A., Singh, S.K., Pereira, V. and Singh, P. (2018) Big Data, Knowledge Co-Creation and Decision Making in Fashion Industry. *International Journal of Information Management*, **42**, 90-101. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2018.06.008>
- [30] Luo, C., Mallick, D.N. and Schroeder, R.G. (2010) Collaborative Product Development. *European Journal of Innovation Management*, **13**, 244-266. <https://doi.org/10.1108/14601061011040276>
- [31] Li, Y., Ye, F., Dai, J., Zhao, X. and Sheu, C. (2019) The Adoption of Green Practices by Chinese Firms. *International Journal of Operations & Production Management*, **39**, 550-572. <https://doi.org/10.1108/IJOPM-12-2017-0753>

-
- [32] Dubey, R., Gunasekaran, A., Childe, S.J., Papadopoulos, T., Wamba, S.F. and Song, M. (2016) Towards a Theory of Sustainable Consumption and Production: Constructs and Measurement. *Resources, Conservation and Recycling*, **106**, 78-89. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.11.008>
- [33] Peng, J., Peng, C., Wang, M., Hu, K. and Wu, D. (2022) Research on the Factors of Extremely Short Construction Period under the Sufficient Resources Based on Grey-DEMATEL-ISM. *PLOS ONE*, **17**, e0265087. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0265087>
- [34] 林彦, 郝萌萌, 王艳艳. 基于 DEMATEL-ISM 模型的钢结构装配式建筑成本控制研究[J]. *建筑经济*, 2022, 43(9): 54-60.
- [35] Kannan, D. (2018) Role of Multiple Stakeholders and the Critical Success Factor Theory for the Sustainable Supplier Selection Process. *International Journal of Production Economics*, **195**, 391-418. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2017.02.020>