

基于供应中断风险下生鲜农产品供应链网络节点重要性评价研究

马 丽, 台玉红, 王瑞鹏

上海理工大学管理学院, 上海

收稿日期: 2023年9月18日; 录用日期: 2023年11月1日; 发布日期: 2023年11月7日

摘 要

随着人民对于生活质量的更高追求以及现代物流供应链的不断完善, 生鲜农产品供应链网络得到了飞快的发展。但是由于生鲜农产品供应链上下游节点企业易受到外界各因素的干扰, 从而存在供应中断风险, 影响供应链网络整体的运行。因此, 本文首先根据生鲜农产品供应链的特点和业务流程, 结合复杂网络理论, 构建其网络拓扑结构图。接着采用三角模糊数的方法确定网络拓扑结构图各边的权重, 并引入节点重要度贡献矩阵和网络效率来表征各个节点在供应链网络局部和全局中的重要性。基于此, 对供应链中的重要节点采取必要的预防措施, 来增强供应链的抗风险能力。最后, 通过实证分析对生鲜农产品供应链中各个节点的重要性进行计算和排序, 验证了该评估方法的有效性和实用性。

关键词

供应链网络, 节点重要性, 生鲜农产品供应链

Evaluation of the Importance of Fresh Produce Supply Chain Network Nodes Based on the Risk of Supply Disruption

Li Ma, Yuhong Tai, Ruipeng Wang

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

Received: Sep. 18th, 2023; accepted: Nov. 1st, 2023; published: Nov. 7th, 2023

Abstract

With the people's higher pursuit of quality of life and the continuous improvement of the modern

logistics supply chain, the supply chain network of fresh agricultural products has developed rapidly. However, due to the fresh agricultural products supply chain upstream and downstream node enterprises are susceptible to the interference of external factors, thus there is a risk of supply interruption, affecting the overall operation of the supply chain network. Therefore, this paper firstly constructs the network topology diagram of fresh agricultural products supply chain according to its characteristics and business process, combined with complex network theory. Then the triangular fuzzy number method is used to determine the weights of each edge of the network topology graph, and the node importance contribution matrix and network efficiency are introduced to characterize the importance of each node in the supply chain network locally and globally. Based on this, necessary preventive measures are taken for the important nodes in the supply chain to enhance the risk resistance of the supply chain. Finally, the importance of each node in the supply chain of fresh agricultural products is calculated and ranked through empirical analysis, which verifies the effectiveness and practicality of the assessment method.

Keywords

Supply Chain Network, Node Importance, Fresh Produce Supply Chain

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

随着经济全球化进程的加快以及市场竞争的日益激烈，同行业甚至是不同行业上下游企业之间的关系愈发紧密，市场竞争也逐步由企业间的竞争转变为供应链与供应链之间的竞争。市场经济的波动以及局部政治的不稳定等因素，都可能会对整个供应链网络产生难以预估的后果。有研究表明，在由多个节点组成的供应链系统中，只要 5%~10% 的重要节点同时失效，将导致整个供应链网络进入瘫痪状态[1]。Mark 等人基于复杂网络理论研究了供应链网络效率和节点重要性的问题，发现对其中重要的节点进行识别有利于增加供应链的稳定性和抗攻击性[2]。国内学者张琨等人[3]的研究也证明了这一点。而生鲜农产品供应链网络由于所涉产品容易损耗的特性，在运输途中各个节点更容易受到自然环境变化、中转过程中的损耗等多种不可控因素的干扰，从而导致生鲜农产品供应链在运行时极易发生供应中断的风险。因此，对生鲜农产品供应链网络节点重要性的研究，对于保护和维持供应链网络的平稳运行具有重要的意义。

在评估供应链网络中节点的重要性时，国外学者主要采用社会网络分析方法和系统科学分析方法。前者主要的基本思想是：在网络中，不同节点之间的重要性差异可以通过分析网络中某种有用的信息得到[4]，常运用统计学思维来进行建模和数据分析，比如，网络中节点的度值[5]、节点、最短路径长度或节点之间边上的权值等等，处理后得到的结果能够在一定程度上反映出该节点在网络中的重要性。而后者基于系统某种功能的完整性可由网络的连通性来反映的思路，通过度量节点删除对网络连通的破坏程度来反映网络节点的重要性，即“对网络的破坏性等价于重要性”[6]。例如，Corley 和 Sha [7]提出了一种与网络节点间最短路径相关的度量指标，他们认为如果删除某个节点从而导致最短路径的距离增量最大，那么该节点就是该网络的重要节点。

在国内，评估供应链网络中节点重要性的方法主要包括以节点度分析法、介数法、节点收缩法、熵权法、节点移除法、加权节点收缩法为代表的模型分析方法。谭跃进等人[8]首先对网络凝聚程度进行定

义,并在此基础上提出了一种评估复杂网络节点重要度的节点收缩方法,他们认为网络中最重要的节点就是将该节点收缩后使得网络的凝聚度最大的节点。唐亮等人[9]基于节点移除后对供应链网络造成的破坏程度反应节点重要性的思想,对复杂关联的供应链网络在面临突发事件时的网络鲁棒性的变化进行分析。但是,上述文献在某种程度上都存在一定的缺陷,供应链网络是由相互联系的节点通过复杂的业务往来所构成的复杂系统,如果不考虑相邻节点的影响,将使得最终的评估结果缺失准确性。

在生鲜农产品供应链网络中,这种来自相邻节点企业的影响力将会随着供应链层层叠加,当某一企业的供应功能发生变化时,与其相连的企业亦会受到不同程度的干扰。周漩等人[10]在研究中提出了一种利用重要度评价矩阵来确定复杂网络关键节点的方法,并将这种节点间的重要性联系称作节点重要度贡献值。该方法在一定程度上避免了节点移除法和节点收缩法的不足,使得评估的结果更加客观具有说服力。因此,引入节点重要度贡献值作为本文的供应链网络节点重要度评估准则。同时,还要注意到供应链网络中每一个节点企业之间的经营理念、资金流转、涉及的业务都各不相同,故而在整个网络体系中发挥的作用也有所区别;基于此,在评估供应链网络中的节点重要性时,不能将节点企业简单的抽象成一个点来进行分析,而要对其赋予更多的属性意义。

基于以上考虑,本文为了对供应中断风险下的生鲜农产品供应链网络中的节点重要性进行评估,首先利用复杂网络的相关理论建立生鲜农产品供应链网络;其次,使用三角模糊数方法对影响各边权重的因子进行整合赋值并统一;最后,从局部和全局两个角度出发,考虑节点企业的重要度贡献和网络效率,建立供应链网络节点重要性定量评估模型,并通过实证分析来验证该评估模型的有效性和可行性。

2. 生鲜农产品供应链网络模型构建

2.1. 模型构建分析

现实中的供应链网络是由供应链中相互联系的上下游成员以及它们之间复杂的业务往来关系交汇而成的复杂网络系统。复杂网络是由节点和边构成的,在供应链网络中,一个节点代表各成员企业;边代表各成员企业之间的联系,当节点企业间有边连接时,就表明连接线段两边的节点企业之间存在着业务往来,由此建立了二者之间的联系。除此之外,上文指出,在对供应链网络中节点重要性进行评估时,需要对节点赋予更多的属性意义,因此对网络中各边进行权重的输出计算,用客观的数据来反应节点的重要性。

2.2. 生鲜农产品供应链网络模型的建立

生鲜农产品主要包括蔬菜、水果、花卉、肉、蛋、奶以及水产品等我们日常生活中必不可少的生活必需品。与其他产品类型不同,生鲜农产品生命周期短,运输不当或储存条件未达到标准极易造成产品的腐烂和损坏,且消费者对于最终收到产品的鲜活程度、损坏率等有较高的要求,因此,如何将最新鲜的农产品通过高效率的运转快速提供到消费者的手中成为不同供应链网络之间的竞争优势。

生鲜农产品供应链网络涵盖农产品生产、成熟、产品加工、包装、储藏、物流运输到最终将产品售卖给消费者的全过程。一般网络包含以下6类节点:生鲜供应地(包含农业生产基地、个体农户等)、生鲜产地批发商、生鲜销地批发商、生鲜零售商(包括生鲜超市、生鲜电商平台、农贸市场等)、消费市场(一般包含各类营业餐馆和消费者)以及为农产品的周转提供运输储藏业务的物流企业。

根据复杂网络的拓扑结构、生鲜农产品在供应链网络中的流经路线和所涉的节点企业,绘制生鲜农产品供应链网络的简易拓扑结构图,见图1。该供应链网络拓扑结构图由三个生鲜农产品产地(1、2、3)、九个陆运企业(4、5、6、7、8、9、10、11、12)、两个生鲜产地批发商(13、14)、两个航站楼(15、16)、两个航运企业(17、18)、三个生鲜销地批发商(19、20、21)、三个零售商(22、23、24)组成。

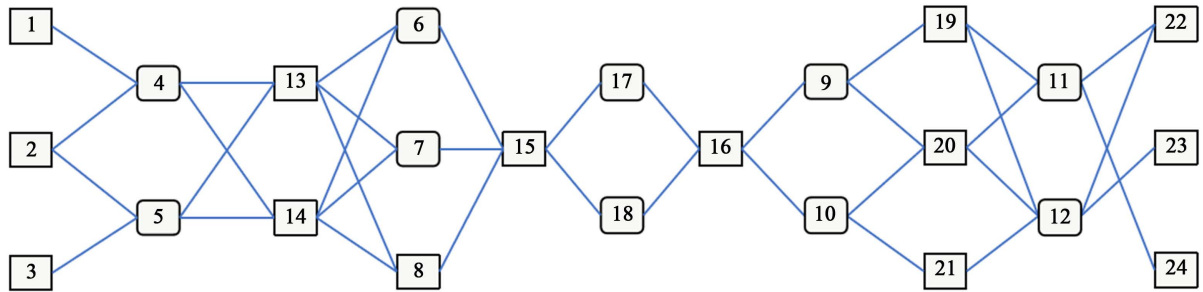


Figure 1. Fresh produce supply chain network topology diagram
图 1. 生鲜农产品供应链网络拓扑结构图

3. 供应链网络节点重要性评价模型构建

3.1. 基于三角模糊数的赋值统一

供应链网络各个节点企业间通过业务的往来和信息的传递使得彼此的关系紧密地联系在一起, 从而形成一种复杂的社会网络。当我们对其中节点企业之间的联系进行重要性评估时, 需要考虑多种因素和指标来对其进行权重的赋值, 但是由于人们主观意识和看待问题重要性的角度不同, 使得最终的赋值和评估有失偏颇, 缺乏说服力。三角模糊数的应用可以解决对指标进行评价时的不确定性问题, 它将评价性的语言以模糊数的方式呈现, 使得最终的评价结果更加具有科学性和准确性[11]。本文对供应中断风险下生鲜农产品供应链的节点重要性进行评估时, 采用三角模糊数的方法对供应链网络中存在业务往来的边进行权重赋值。

三角模糊数 M 可以通过其隶属函数 $\mu_M : R \rightarrow [0,1]$, 定义如下:

$$\mu_M = \begin{cases} x-l/m-l & x \in [l, m] \\ x-u/m-u & x \in [m, u] \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

式中 $l \leq m \leq u$, l 和 u 分别表示 M 所支撑的上界和下界, m 为 M 的中值。一般地, 三角模糊数 M 可记为 (l, m, u) , 其中, l 和 u 表示模糊的程度, $u-l$ 越大, 模糊程度越强。

步骤一: 选取领域内的 5 位专家组成评价小组, 首先让他们对本文所设置的生鲜农产品供应链网络结构图进行充分的了解; 其次, 根据节点企业间业务来往的密切程度(包括资金流转、物资流动、交易频率等)、企业规模、资源整合能力等指标确定调查问卷, 发放给各位专家, 根据表 1 中的语言变量和三角模糊数之间的转换值, 对具体的每一项指标进行评价; 最后, 对回收问卷中指标的重要程度转化为对应的三角模糊数。其中, $G_k^z = (l_k^z, m_k^z, u_k^z)$ 表示第 z 个专家给出的关于第 k 个评分指标的意见。

对应的, 5 位专家对每项指标打分的平均值:

$$\bar{g}_k = \sum_{z=1}^5 \frac{G_k^z}{Z}$$

其中, l 、 m 、 u 分别表示三角模糊数的最小可能值(最悲观值)、最可能值和最大可能值(最乐观值)。

步骤二: 为了以精确的数值来计算各边的权重, 利用求期望的方式对三角模糊数进行去模糊化处理。三角模糊数 M 的期望值:

$$E(M) = [(1-\gamma)l + m + \gamma u] / 2$$

γ 的选择取决于决策者对于每项指标决策所持的乐观或悲观态度。为了方便和简化后续的计算, 本文取 $\gamma = 0.5$, 此时期望为:

$$E(M) = l + 2m + u/4$$

其中, $E(M)$ 为经由转化后的各边权重。

Table 1. Relationship between linguistic variables and triangular fuzzy numbers

表 1. 语言变量与三角模糊数的关系

语言变量	三角模糊数		
	l	m	u
非常弱 VL	0	0	0.1
弱 L	0	0.1	0.3
较弱 ML	0.1	0.3	0.5
一般 M	0.3	0.5	0.7
较高 MH	0.5	0.7	0.9
高 H	0.7	0.9	1
非常高 VH	0.9	1	1

3.2. 节点重要度评估算法模型

为了能够综合评价节点在供应链网络中的重要性, 从供应链网络局部和全局两个方面进行考虑, 利用网络效率来表征节点在供应链网络信息中的流通作用, 并以此评价节点在网络全局中所起的重要性作用; 运用重要度贡献矩阵表示节点对于相邻节点的影响, 从局部角度评价节点的重要性。

3.2.1. 理论基础

设图 $G=(V,L)$ 是一个无自环的无向网络, 其中 $V=\{V_1, V_2, \dots, V_n\}$ 是网络中所有节点的集合; $L=\{L_1, L_2, \dots, L_m\}$ 且 $L \subseteq V * V$ 是连接各个节点间所有边的集合。

(1) 度和节点度。度作为网络节点的重要属性, 描述某节点与其他节点的连接情况。在供应链网络中, 对于一个节点, 如果与其相连的边数越多, 那么通过这些边与另外节点之间的影响就会越大, 该节点的重要性就越强。节点的度数 D_i 是指与该节点相连的边数, 它的定义如下:

$$D_i = \sum_{j \in N} \delta_j^i, \delta_j^i = \begin{cases} 1, & i \text{ 和 } j \text{ 之间有边直接相连} \\ 0, & i \text{ 和 } j \text{ 之间无边直接相连} \end{cases}$$

在加权网络中, 节点度表示与该节点相连节点间的边权之和:

$$D_i = \sum_{j \in N} e_{ij}$$

其中, e_{ij} 表示连接节点 i 和节点 j 之间边的权重。

对应的, 平均度 $\langle D \rangle$ 表示所有节点度和的平均值, 平均度越高, 供应链网络整体连接性和抗风险性越高。

$$\langle D \rangle = \frac{1}{N} \sum_{i \in N} D_i$$

(2) 节点最短距离是指两节点之间最短路径上的边数, 用 d 表示。但是在具有权重的供应链网络中, 由于一般情况下, 权重越大, 二者之间的距离越短, 联系越紧密。因此, 定义边的长度为: $d_{ij} = 1/e_{ij}$, e_{ij} 表示连接节点 i 和节点 j 之间边的权重。

(3) 网络效率 E 是指网络中所有节点对之间距离倒数之和的平均值。它表示信息在供应链网络中的传递效率，是衡量复杂网络中节点间信息交换和传播的必要指标。网络效率越高，说明网络信息经由某一节点的流通越容易，那么表明该节点的重要性越高。

$$E = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{i \neq j} \frac{1}{d_{ij}}$$

其中， n 为网络中节点的数目。

3.2.2. 构建重要度贡献矩阵

根据文献[11]中对节点重要度的贡献矩阵的概念，对其下定义：在节点数目为 n ，平均度值为 $\langle D \rangle$ 的无自环无向网络中，由于供应链网络的互相影响，某一节点将自身重要度的 $D_i / \langle D \rangle^2$ 贡献给与其相连的每一个节点。如此，计算出网络中每个节点对与其相连的所有节点的重要度贡献比例值，并用矩阵的形式表达出来，就形成了节点重要度贡献矩阵，记作 H ：

$$H = \begin{bmatrix} 1 & \delta_{12}e_{12}D_2 / \langle D \rangle^2 & \cdots & \delta_{1n}e_{1n}D_n / \langle D \rangle^2 \\ \delta_{21}e_{21}D_1 / \langle D \rangle^2 & 1 & \cdots & \delta_{2n}e_{2n}D_n / \langle D \rangle^2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \delta_{n1}e_{n1}D_1 / \langle D \rangle^2 & \delta_{n2}e_{n2}D_2 / \langle D \rangle^2 & \cdots & 1 \end{bmatrix}$$

其中， δ_{ij} 称为贡献分配参数，当节点 i 和节点 j 直接连通时取值为 1，否则为 0。

通过节点的重要度贡献矩阵可以从局部来反应节点的重要性，既反应了节点间联系程度对彼此的重要性，又体现了供应链网络中节点间连接的复杂关系。

为了体现每个节点在供应链网络信息传递过程中起到的作用，根据网络效率的定义，本文定义节点 Q 的效率 E_Q 为：

$$E_Q = \frac{1}{n} \sum_{i \neq j} \frac{1}{d_{ij}}$$

其中， n 为供应链网络中节点的数目， d_{ij} 为节点 i 和 j 之间的最短距离。从前文对网络效率的定义中可以看出，一个节点的网络效率表征着该节点将信息传递至其他与之相连节点的难易程度，反应出该节点在整个供应链网络中所起到的作用。故而节点的网络效率越大，该节点在信息传递的过程中起到的作用越为重要，即从供应链网络全局的角度考虑，该节点的重要性越强。因此，将每一节点的网络效率值引入节点的局部重要度评价矩阵，得到节点的全局重要性评价矩阵 H_Q ：

$$H_Q = \begin{bmatrix} E_1 & \delta_{12}e_{12}D_2E_2 / \langle D \rangle^2 & \cdots & \delta_{1n}e_{1n}D_nE_n / \langle D \rangle^2 \\ \delta_{21}e_{21}D_1E_1 / \langle D \rangle^2 & E_2 & \cdots & \delta_{2n}e_{2n}D_nE_n / \langle D \rangle^2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \delta_{n1}e_{n1}D_1E_1 / \langle D \rangle^2 & \delta_{n2}e_{n2}D_2E_2 / \langle D \rangle^2 & \cdots & E_n \end{bmatrix}$$

综上所述，考虑节点的局部重要度贡献矩阵和网络效率这两个表征节点重要性的评价指标，建立起供应链网络中节点 i 的重要性定量评价算法模型 W_i ：

$$W_i = E_i * \sum_{i \neq j, j=1}^n \delta_{ij}e_{ij}D_i / \langle D \rangle^2$$

在上式中, W_i 表示所有与节点 i 相连接的节点重要度贡献值之和与节点网络效率值的乘积。由此可以看出, 在考虑权重的供应链网络中, 节点的重要性与节点的度值、相连两节点间的最短距离、该节点的网络效率有关, 度值反应了节点的局部性信息, 效率反应了节点在网络中的全局性信息和所处的位置信息, 将二者综合起来对节点的重要性进行评估, 考虑的更加客观、更加全面, 得到的结果也更具有准确性和说服力。

4. 实证分析

本文以一家生鲜农产品供应链网络为例, 基于前文所创建的生鲜农产品供应链网络拓扑结构图, 运用本文建立的节点重要度评价模型来对供应链网络中的各个节点进行计算并排序, 为提高供应链整体抗风险能力提供客观的数据支持。

(1) 利用三角模糊数方法将五位专家的评分结果转化为节点之间连接边的具体权重值。其中, 每位专家对于各个边的评分结果如表 2 所示。

Table 2. Expert scoring opinion sheet
表 2. 专家打分意见表

	专一	专二	专三	专四	专五		专一	专二	专三	专四	专五
1-4	MH	H	MH	M	M	15-18	H	VH	VH	H	VH
2-4	H	H	MH	MH	MH	17-16	ML	ML	ML	L	M
2-5	H	H	H	MH	H	18-16	VL	ML	ML	L	M
3-5	H	MH	H	VH	MH	16-9	M	M	M	ML	MH
4-13	VH	H	MH	VH	MH	16-10	M	ML	ML	M	M
4-14	VH	VH	VH	H	H	9-19	H	VH	VH	H	M
5-13	VH	VH	H	H	H	9-20	MH	MH	MH	H	MH
5-14	H	VH	H	VH	VH	10-20	VH	VH	H	MH	H
13-6	MH	M	ML	L	M	10-21	VH	VH	VH	H	H
13-7	M	M	M	M	M	19-11	VH	MH	MH	M	H
13-8	M	ML	M	M	M	19-12	H	H	H	MH	MH
14-6	M	M	L	ML	ML	20-11	MH	MH	H	MH	H
14-7	M	ML	ML	M	M	20-12	MH	H	MH	MH	MH
14-8	ML	ML	M	L	M	21-12	M	M	M	MH	MH
6-15	M	MH	MH	M	M	11-22	VH	H	MH	VH	H
7-15	H	H	H	H	MH	11-24	VH	VH	VH	H	H
8-15	MH	H	MH	H	MH	12-22	VH	H	H	MH	H
15-17	VH	VH	VH	VH	VH	12-23	VH	VH	H	VH	H

根据表 1 中各位专家对连接不同节点之间业务往来边的评分意见, 运用 3.1 中介绍的三角模糊数的方法, 赋予每条边以具体的数值权重, 结果如图 2 所示。

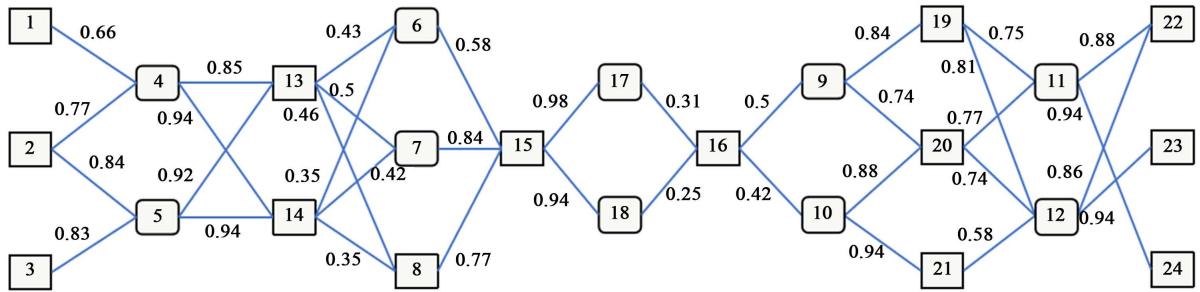


Figure 2. Fresh produce supply chain network edge weight assignment
图 2. 生鲜农产品供应链网络边权赋值

(2) 利用本文建立的网络节点重要度评价模型对各个节点的重要度进行计算并排序。计算结果见表 3。

本文利用 MATLAB 软件对各节点之间的最短距离、节点度数、网络效率等进行计算，并利用节点重要度贡献矩阵计算出各个节点的重要度。

Table 3. Evaluation results of importance of network nodes in fresh agricultural supply chain
表 3. 生鲜农产品供应链网络节点重要度评价结果

节点	重要度	排序	节点	重要度	排序
1	0.1797	24	13	1.3211	2
2	0.4895	19	14	1.4334	1
3	0.2242	23	15	0.8461	7
4	0.8256	8	16	0.5266	17
5	0.8562	6	17	0.7078	15
6	0.7992	10	18	0.7175	13
7	0.9244	4	19	0.8034	9
8	0.8934	5	20	1.0806	3
9	0.7297	11	21	0.4439	20
10	0.7084	14	22	0.5000	18
11	0.7219	12	23	0.2276	21
12	0.6352	16	24	0.2264	22

结果显示：重要性强的节点依次为节点 14、节点 13、节点 20、节点 7、节点 8 和节点 5；重要性较强的节点依次为节点 15、节点 4、节点 19、节点 6、节点 9 和节点 11；重要性一般的节点依次为节点 18、节点 10、节点 17、节点 12、节点 16 和节点 22；重要性较弱的节点依次为节点 2、节点 21、节点 23、节点 24、节点 3 和节点 1。

(1) 生鲜农产品产地批发商重要度最高

从上表可以看出，节点 14 和 13 是重要性最高的两个节点，这是因为生鲜农产品在成熟以后，由物流运输企业运往各个产地批发商、销地批发商、零售商直至最终消费者手中的这一系列活动中，生鲜农产品产地批发商在其中起着承上启下的重要作用，他们不仅要与上游的生鲜农产品供应基地有着良好的合作关系作为基础，还要将种种所涉信息整合后反馈至供应链网络下一环节，因此，这两个节点在供应链网络整体中占据最高的重要度。

(2) 物流运输企业重要度较高

在整个生鲜农产品流动的过程中, 承担物流运输功能的物流企业, 无论是陆运企业或是航运企业, 贯穿供应链网络始终, 并与其中每个节点企业拥有着紧密的联系, 因此, 所涉及的节点重要度较高。节点 4、5、6、7、8 与生鲜农产品产地、产地批发商、航站楼之间存在着友好紧密的联系, 在供应链前半部分中承担着大量的运输任务, 因此, 他们对应的节点企业的重要性就相对靠前。节点 15 所对应的航站楼, 通过物流活动连接生鲜农产品产地批发商和销地批发商, 发挥着重要衔接且不可或缺的作用。

(3) 生鲜销地批发商重要度相对较高

节点 19、20 和 21 作为生鲜农产品销地批发商, 与零售商关系紧密, 间接掌握着大量的消费者信息, 在网络中的节点重要度相对较高, 但是节点 20 与其供应链网络所处环节的上下游物流企业均存在着业务往来, 占据着最高的市场影响力, 因此, 在三者中其重要度最高, 这也反映出供应链网络中节点的重要性是受到多个因素的影响。

(4) 生鲜农产品产地和零售商重要度偏低

最后, 值得注意的是, 在该模型下关于节点重要性的排序计算结果中, 生鲜农产品产地和零售商对应的节点重要性排名靠后, 这是因为在生鲜农产品供应链网络整体中, 他们位于供应链的开端和结尾, 通过一系列活动和业务往来自然而然地促进最终销售活动的完成, 因而相对中间各个环节来说, 重要性相对靠后。

通过上述对生鲜农产品供应链网络各个节点的重要性进行分析, 可以为提高其网络韧性提供理论基础和数据支持。

5. 结论

针对生鲜农产品供应链在运转过程中容易受到多种外界因素的干扰, 引发供应中断危机, 本文构建了一种生鲜农产品供应链节点重要性定量评价模型, 对节点企业的重要性进行客观地甄别和判断。结果显示: 生鲜农产品产地批发商对应的节点企业具有最高的重要性, 在供应链网络中起到承上启下的枢纽作用; 各类物流运输企业对应的节点企业重要性较高; 生鲜农产品销地批发商间接掌握大量与消费者相关的市场数据, 其重要性相对较高; 分别位于整条供应链网络的起点和终点的生鲜农产品产地与零售商相对于其它节点企业重要性偏低。这与现实中的情况相类似, 证明了该方法的客观性。

基于上述结论, 企业可以依此制定有效的预防措施, 提高供应链抗风险的韧性: 第一, 供应链企业间可逐步建立健康的监测机制系统, 及时进行策略的调整并快速输出相关信息, 为后续业务环节的开展节约更多的时间成本; 第二, 重视与生鲜农产品冷链运输相关的基础设施的建设和应用, 减少产品在途运输中的非必要损耗, 不断加强并完善物流供应链相关专业人才的培养和储备; 第三, 在资金和资源充足的情况下, 开辟新的物流运输路线以备不时之需。

参考文献

- [1] Lai, Y.C., Motter, A.E. and Nishikawa, T. (2004) Attacks and Cascades in Complex Networks. *Lecture Notes in Physics*, **650**, 299-310. https://doi.org/10.1007/978-3-540-44485-5_14
- [2] Mark, G., Joseph, Y.S. and Fanwen, M.A. (2007) Stochastic Model for Risk Management in Global Supply Chain Networks. *European Journal of Operational Research*, **182**, 164-173. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.08.028>
- [3] 张琨, 沈海波, 张宏, 等. 基于灰色关联分析的复杂网络节点重要性综合评价方法[J]. 南京理工大学学报, 2012, 36(4): 579-586.
- [4] 赫南, 李德毅, 淦文燕, 等. 复杂网络中重要性节点发掘综述[J]. 计算机科学, 2007, 34(12): 1-5+17.

- [5] Freeman, L.C. (1979) Centrality in Social Networks. *Conceptual Clarification. Social Networks*, **16**, 215-239. [https://doi.org/10.1016/0378-8733\(78\)90021-7](https://doi.org/10.1016/0378-8733(78)90021-7)
- [6] Brandes, U. (2001) A Faster Algorithm for Betweenness Centrality. *Journal of Mathematical Sociology*, **25**, 163-177. <https://doi.org/10.1080/0022250X.2001.9990249>
- [7] Corley, H.W. and Sha, D.Y. (1982) Most Vital Links and Nodes in Weighted Networks. *Operations Research Letters*, **1**, 157-160. [https://doi.org/10.1016/0167-6377\(82\)90020-7](https://doi.org/10.1016/0167-6377(82)90020-7)
- [8] 谭跃进, 吴俊, 邓宏钟. 复杂网络中节点重要度评估的节点收缩方法[J]. 系统工程理论与实践, 2006, 26(11): 79-83+102.
- [9] 唐亮, 何杰, 靖可. 关联供应链网络级联失效机理及鲁棒性研究[J]. 管理科学学报, 2016, 19(11): 33-44+62.
- [10] 周漩, 张凤鸣, 李克武, 等. 利用重要度评价矩阵确定复杂网络关键节点[J]. 物理学报, 2012, 61(5): 1-7.
- [11] 刘若阳, 申威, 史稳健, 等. 基于 TF-AHP-TOPSIS 的生鲜电商冷链物流服务商评价[J]. 现代商贸工业, 2020, 41(1): 43-47.