

朱金凤, 裴道方, 林丹萍. 基于成本约束的冷链物流配送网络规划 [J]. 江苏农业科学, 2015, 43(11): 572–575.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.11.174

基于成本约束的冷链物流配送网络规划

朱金凤^{1,2}, 裴道方^{1,2}, 林丹萍²

(1. 上海海事大学物流研究中心, 上海 201306; 2. 上海海事大学集装箱供应链技术教育部工程研究中心, 上海 201306)

摘要:对冷链物流配送网络进行规划, 以总操作成本最低为目标建立目标函数, 考虑冷链产品的特性, 在建立目标函数时主要考虑网络节点的建设成本、运输成本、货损成本。由于冷链产品对服务时间有要求, 提出了“服务半径”概念, 物流节点间的配送时间就转化为物流节点间的服务半径, 并通过一系列约束条件表示各决策变量间的关系。通过案例验证了模型的有效性。

关键词:冷链物流; 配送; 网络规划; 服务半径

中图分类号: F252.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2015)11-0572-04

近年来随着人们生活水平不断提高, 对新鲜食品和新鲜农产品的需求逐渐加大, 食品安全问题引起了人们的极大关注, 冷链物流在农产品流通中扮演着越来越重要的角色。与此同时, 冷链物流的发展降低了农产品流通过程中食品腐败的比例, 进而减少了流通成本, 并有效抑制了农产品价格上涨。然而, 与西方发达国家相比, 中国的冷链物流还没有形成完整体系, 冷链物流效率低下, 各环节间缺乏有效衔接。

目前, 国内外学者对冷链物流网络的研究主要集中在 3 个方面。一是对冷链物流网络宏观现状的分析, 例如何静等

在分析我国连锁超市生鲜食品流通现状的基础上, 提出我国冷链物流网络主要有 3 种模式, 即单个经济体的冷链物流网络、区域内的冷链物流网络、跨区域的冷链物流网络^[1]。龚树生等分别对冷链物流网络的 3 种模式进行了分析, 认为目前我国冷链物流各环节还没有很好衔接起来, 区域内农产品综合物流配送体系尚未成型^[2]。二是冷链物流配送中心的选址问题, 如李延晖等^[3]、Wang 等^[4]分别建立了基于时间约束和成本约束的冷链物流配送模型; 张庆年等运用 AHP 和数学图论建立了冷链物流的配送模式^[5-6]; Bai 等运用灰色综合评价来定位冷链物流配送中心的位置^[7]; 潘青建立了基于风险和成本的双层规划模型的选址模型^[8]。三是冷链物流配送路径的优化问题, 如黄纯辉等分别对食品冷链的库存、物流运输、仓储、配送等问题进行了优化研究^[9-11]。Tang 等^[12]、Qi^[13]、Peng 等^[14]分别将节省法和蚁群算法、粒子群算法、PSO- DP 算法结合 Inver-over 操作对物流配送中的确定需求或随机需求的车辆路径线路进行优化。综上, 目前国内外对冷链物流的综合网络规划方面研究较少。本研究以总的操作成

收稿日期: 2014-12-01

基金项目: 国家自然科学基金(编号: 71101090); 教育部博士点科研基金(编号: 20133121110001); 上海市扬帆计划(编号: 14YF1411200); 上海市教委科研创新项目(编号: 12ZZ148、13YZ080、14YZ112)。

作者简介: 朱金凤(1990—), 女, 安徽舒城人, 硕士研究生, 研究方向为物流管理与工程。E-mail: zjfl520987@163.com。

参考文献:

- [1] 杨涛, 朱博文. 城市化进程中关于发展现代农业园的思考[J]. 商场现代化, 2006(24): 229–230.
- [2] 许越先, 陈建华, 杨文志. 中国农业科技园区建设与发展[M]. 北京: 中国农业出版社, 2001: 165–208.
- [3] 张天柱, 廖海. 现代农业园区的内涵及我国农业园区的发展[C]//中国农学会. 休闲农业与现代农业发展——2007 中国农学会学术年会暨全国休闲农业论坛文集. 北京: 中国农学会, 2007: 345–347.
- [4] 张长海. 现代农业科技园区创新发展模式探索研究[J]. 广东农业科学, 2012, 39(11): 224–226.
- [5] 魏德功. 现代农业园区成长期的功能特征与风险防范[J]. 广西大学学报: 哲学社会科学版, 2005, 27(5): 15–18.
- [6] 黄修杰, 储霞玲, 黄丽芸, 等. 不同经济背景下现代农业园区运行机制研究[J]. 广东农业科学, 2010, 37(7): 294–297.
- [7] 王丽娟, 王树进. 现代农业产业园区运行模式与绩效关系的分析[J]. 科学管理研究, 2012, 30(1): 117–120.

- [8] Dyer J H. Effective interfirm collaboration: how firms minimize transaction costs and maximize transaction value [J]. Strategic Management Journal, 1997, 18(7): 535–556.
- [9] 黄修杰, 何淑群, 黄丽芸, 等. 国内外现代农业园区发展现状及其研究综述[J]. 广东农业科学, 2010, 37(7): 289–293.
- [10] 吴永兴, 李卫江. 现代农业园区综合评价指标体系的构建及评价方法研究[J]. 经济地理, 2002, 22(5): 530–533.
- [11] 翟虎渠, 曾希柏, 沈贵银, 等. 现代农业科技园区评价指标体系研究[J]. 农业现代化研究, 2003, 24(1): 40–44.
- [12] 肖光明. 大中型休闲农业园区质量等级评价体系——以广东省为例[J]. 经济地理, 2007(4): 643–648.
- [13] Maskey R K. Sustainable agricultural development in less developed countries[J]. Outlook on Agriculture, 1997, 26(1): 39–45.
- [14] 王丽娟, 王树进. 现代农业示范区运行模式对绩效影响机理研究[J]. 农村经济, 2012(6): 48–52.
- [15] 熊瑞权, 黄修杰, 黄丽芸, 等. 不同经营主体现代农业园区运营绩效比较——基于广东省现代农业园区的实证分析[J]. 广东农业科学, 2011, 38(7): 190–192.

本最低为目标函数建立数学模型,对整个冷链物流配送网络进行规划研究,并提出了“服务半径”概念,将物流节点间的配送时间转化为物流节点间的服务半径,通过一系列约束条件表示各决策变量间的关系,最后通过案例分析验证模型的有效性,以期为企业从事冷链物流工作提供借鉴。

1 问题描述

有 1 个农产品供应点 O ,有 N 个消费者(C),为了保证该产品的鲜度,确保消费者餐桌上的产品质量,需要对该生鲜产品的冷链物流网络进行规划,从 J 个可选的配送中心(DC)中选择 j 个建立配送中心,从 K 个可选的冷库(RS)中选择 k 个建立冷库点,进行货物中转(图 1)。

冷链物流的效率取决于各物流节点间的相互衔接,每个节点只能被唯一的上一层节点服务,而每个节点可以为多个下一层节点提供配送服务。冷链物流网络规划的最终目的是在总的操作成本最低的基础上,通过建立各物流节点,使农产品安全快速地送达消费者的餐桌上。

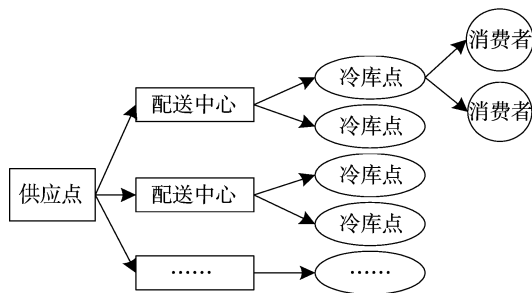


图1 冷链物流配送网络

2 数学模型

主要对物流节点的建设和节点间的运输 2 个方面进行优化,即考虑建立物流节点的成本和运输成本。由于生鲜产品的特性,还考虑了产品运输中的货损成本,即产品运输途中因运输时间过长导致的货损,以及装卸货过程中外界热空气进入冷藏车内使车内温度上升造成的货损。同时为了保证生鲜产品的质量,也需要对冷链物流网络的服务时间进行限制。服务时间与物流节点间的距离有很大关系,这里可记为“服务半径”。因此,物流节点间的服务时间就转化为物流节点间的“服务半径”,分别记为供应点到配送中心的服务半径(R_D)、配送中心到冷库的服务半径(R_S)、冷库到消费者的服务半径(R_C)。

2.1 模型假设

模型假设如下:(1)供应点、配送中心、冷库、需求点分散在城市不同地区;(2)配送网络所需配送中心的数量已知;(3)建立和经营配送中心的固定费用已知;(4)所有配送中心的商品由供应点供给,配送中心之间不存在相互调剂的情况;(5)所有冷库所需产品都由配送中心供给,各冷库间不存在相互调剂的情况;(6)配送中心所需商品总数量小于供应点生产的产品数量;(7)各配送中心和冷库的需求量是确定的,并在一定时期内保持相对稳定。

2.2 模型建立

参数设置如下。

J :备选配送中心数量; K :冷库数量; q_n :每个消费区的需求数量; $0-1$ 决策变量:

$$Z_j = \begin{cases} 1, & \text{第 } j \text{ 个备选配送中心被选中建立配送中心;} \\ 0, & \text{否则} \end{cases};$$

$$Z_k = \begin{cases} 1, & \text{第 } k \text{ 个备选冷库点被选中建冷库;} \\ 0, & \text{否则} \end{cases};$$

$$X_{jk} = \begin{cases} 1, & \text{第 } k \text{ 个冷库由第 } j \text{ 个配送中心直接供应;} \\ 0, & \text{否则} \end{cases};$$

$$X_{kn} = \begin{cases} 1, & \text{第 } n \text{ 个消费区由第 } k \text{ 个冷库直接供应;} \\ 0, & \text{否则} \end{cases}。$$

目标函数计算方法如下:

$$\min f = \sum_{j=1}^J F_j Z_j + \sum_{j=1}^J \omega_j (W_j)^\theta + \sum_{k=1}^K F_k Z_k + \sum_{k=1}^K \omega_k (W_k)^\theta + \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K Z_j C_j Q_j S_j + \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K X_{jk} C_{jk} Q_{jk} S_{jk} + \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N X_{kn} C_{kn} Q_{kn} + P \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K [\theta_1 (R_D + R_S + R_C) + \theta_2 (Q_j + Q_{jk} + Q_{kn})]。 \quad (1)$$

参数含义见表 1。相应公式为:

表 1 参数含义

参数	含义
F_j	建立配送中心的固定成本
F_k	建立冷库的固定成本
ω_j	建立配送中心的单位可变成本系数
ω_k	建立冷库的单位可变成本系数
W_j	第 j 个配送中心的吞吐量
W_k	第 k 个冷库的吞吐量
C_j	供应点到第 j 个配送中心的单位运输成本
C_{jk}	第 j 个配送中心到第 k 个冷库的单位运输成本
C_{kn}	第 k 个冷库到第 n 个消费区的单位运输成本
Q_j	第 j 个配送中心的运输量
Q_{jk}	第 j 个配送中心到第 k 个冷库的运输数量
Q_{kn}	第 k 个冷库到第 n 个消费区的运输量
S_j	供应点到第 j 个配送中心的距离
S_{jk}	第 j 个配送中心到第 k 个冷库的距离
P	产品单价
θ_1	运输过程中的货损比例
θ_2	装卸操作过程中的货损比例
R_D	供应点到配送中心的服务半径
R_S	配送中心到冷库的服务半径
R_C	冷库到消费者的服务半径

$$W_j = \sum_{k=1}^K X_{jk} \times W_k; \quad (2)$$

$$W_k = \sum_{n=1}^N X_{kn} \times q_n; \quad (3)$$

$$Q_j = W_j; \quad (4)$$

$$Q_{jk} = X_{jk} \times W_k; \quad (5)$$

$$Q_{kn} = X_{kn} \times q_n; \quad (6)$$

$$\sum_{k=1}^K X_{jk} \leq Z_j \cdot k; \quad (7)$$

$$\sum_{n=1}^N X_{kn} \leq Z_k \cdot n; \quad (8)$$

$$Z_j \cdot S_j \leq R_D; \quad (9)$$

$$X_{jk} \cdot S_{jk} \leq R_S; \quad (10)$$

$$X_{kn} \cdot S_{kn} \leq R_C。 \quad (11)$$

目标函数(1)表示总操作成本最小,即网络节点的建设成本、运输成本、货损成本之和最小。其中,网络节点的建设成本包括固定成本和可变成本。网络节点的固定成本主要由租赁机会成本、个人成本和其他成本管理决定,网络节点的可

变成成本取决于吞吐量;运输成本包括供应点到配送中心、配送中心到冷库以及冷库到消费区的运输成本。其中,约束条件[式(2)至式(6)]表示各节点的吞吐量与各节点需求量间的线性关系;约束条件[式(7)至式(8)]表示各节点之间的决策变量关系;约束条件[式(9)至式(11)]分别表示各节点间的服务半径限制。

3 实例分析

以上海市原行政区划图为例进行规划,以上海市浦东新区 1 个蔬菜生产基地为例对冷链物流配送网络进行优化研究。如图 2 所示,这个蔬菜生产基地计划向上海市其他地区供应蔬菜,现计划从南汇区、上海市区、嘉定区、松江区中选择建立配送中心,冷库位置从 9 个冷库点中选择,则需要对这一冷链物流网络进行优化,使总操作成本最低。

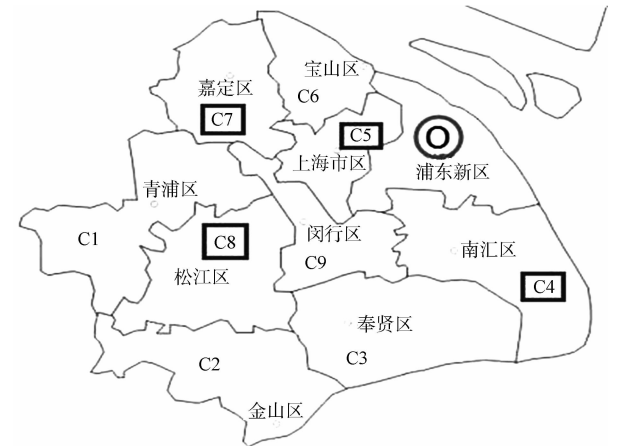


图2 网络结点位置

该物流网络有 1 个供应点(浦东新区)和 9 个需求地(C1~C9),通过调研分析,每个地区的需求数量及其到供应点的距离如表 2 所示,备选配送中心到供应点的距离如表 3 所示,备选配送中心到需求点的距离如表 4 所示,服务半径和操作成本系数在分析当前物流系统的操作数据和资金成本的基础上获得(表 5)。

表 2 各地区的需求量 及其离供应点的距离		
需求点	需求量(万 t/年)	与供应点的距离(km)
C1	43	66
C2	29	68
C3	43	48
C4	80	40
C5	110	35
C6	76	36
C7	59	60
C8	63	62
C9	97	42

表 3 预选配送中心与供应点的距离	
预选配送中心	与供应点的距离(km)
DC1	32
DC2	34
DC3	60
DC4	66

表 4 预选配送中心与冷库的距离				
RS/C	与冷库的距离(km)			
	DC1	DC2	DC3	DC4
RS1/C1	86	38	28	15
RS2/C2	72	48	53	14
RS3/C3	48	38	54	25
RS4/C4	0	56	84	72
RS5/C5	58	0	28	35
RS6/C6	67	20	26	48
RS7/C7	84	28	0	40
RS8/C8	73	35	38	0
RS9/C9	58	15	33	20

表 5 服务半径和操作成本系数		
符号	含义	数值
R_D	供应点到配送中心的服务半径	70 km
R_S	配送中心到冷库的服务半径	35 km
R_C	冷库到需求点的服务半径	8 km
C_j	供应点到第 j 个配送中心的单位运输成本	0.03 元/(t·km)
C_{jk}	第 j 个配送中心到第 k 个冷库的单位运输成本	0.08 元/(t·km)
F_j	建立配送中心的固定成本	207 000 元
F_k	建立冷库的固定成本	38 000 元
ω_j	建立配送中心的单位可变成本系数	810 元/t
ω_k	建立冷库的单位可变成本系数	0.4 元/t
P	产品单价	2 000 元/t
θ_1	运输过程中的货损比例	0.10%
θ_2	装卸操作过程中的货损比例	0.05%

每个配送中心、冷库固定成本和单位可变成本是相同的,每条路径的单位运输成本是一样的,每个冷库只服务当地。

这些特点使得模型得到了大大简化。

根据实例数据,可以进行模型构建: J 为配送中心 j 的集合; K 为冷库 k 的集合; N 为消费区 n 的集合。

0-1 决策变量:

$$Z_j = \begin{cases} 1, & \text{第 } j \text{ 个备选配送中心被选中建立配送中心;} \\ 0, & \text{否则} \end{cases}$$
$$Z_k = \begin{cases} 1, & \text{第 } k \text{ 个备选冷库点被选中建冷库;} \\ 0, & \text{否则} \end{cases}$$
$$X_{jk} = \begin{cases} 1, & \text{第 } k \text{ 个冷库由第 } j \text{ 个配送中心直接供应;} \\ 0, & \text{否则} \end{cases}$$

式中: $j=1,2,3,4;k=1,2,3,\cdots,9$ 。

根据表 4 的物流网络信息和式(1),这一物流网络的目标函数如下:

$$\min f = 20\,700 \sum_{j=1}^4 Z_j + 810 \sum_{j=1}^4 (W_j)^{1/2} + 38\,000 \sum_{k=1}^9 Z_k + 0.4 \sum_{k=1}^9 (W_k)^{1/2} + 0.03 \sum_{j=1}^4 Z_j Q_j S_j + 0.08 \sum_{j=1}^4 \sum_{k=1}^9 X_{jk} Q_{jk} S_{jk} + 4.068 \sum_{j=1}^4 \sum_{k=1}^9 (Q_j Q_{jk} Q_{kn})$$

式中: $\theta=1/2$ 。

约束条件如下:

$$W_j = \sum_{k=1}^9 X_{jk} \times W_k;$$
$$W_k = \sum_{n=1}^9 X_{kn} \times q_n;$$
$$Q_j = W_j;$$

$$\begin{aligned} Q_{jk} &= X_{jk} \times W_k; \\ Q_{kn} &= X_{kn} \times q_n; \\ \sum_{k=1}^9 X_{jk} &\leq Z_j \cdot 9; \\ \sum_{n=1}^9 X_{kn} &\leq Z_k \cdot 9; \\ Z_j \cdot S_j &\leq 70; \\ X_{jk} \cdot S_j &\leq 35; \\ X_{kn} \cdot S_n &\leq 8. \end{aligned}$$

通过 Lingo 软件进行求解,可以分别得到网络节点的选择结果、配送中心和冷库的服务范围以及网络节点的地理分布(图3)。结果显示,该蔬菜生产基地可在南汇区、嘉定区、松江区建立配送中心,分别负责对上海市其他地区供应新鲜蔬菜(表6、表7)。通过综合比较发现,南汇区、嘉定区、松江区离上海市中心较远,有大量土地有待开发,同时交通便利,具有优越的物流基础设施,正符合配送中心对土地的大量需要,符合上海市总体规划。虽然这些地区土地价格并不是最便宜的,但是其便捷的交通和合理的地理位置决定了最低的运输配送成本,因此可以考虑在这3个地区建立冷链配送中心。

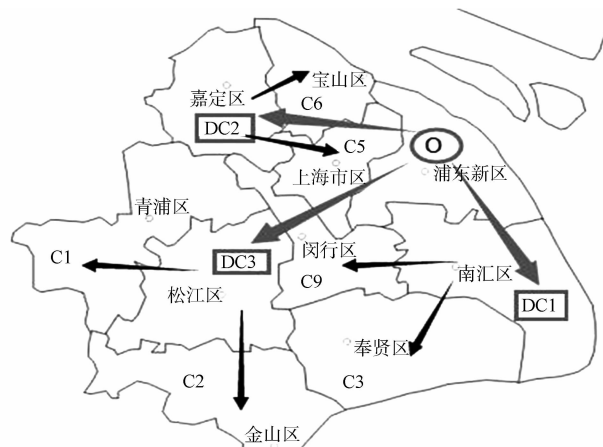


图3 配送网络

表6 网络节点的选择结果

类型	节点	地点	选择
O	O	浦东新区	
DC	DC1	南汇区	是
	DC2	市区	否
	DC3	嘉定区	是
	DC4	松江区	是
C	C1	青浦区	是
	C2	金山区	是
	C3	奉贤区	是
	C4	南汇区	否
	C5	市区	是
	C6	宝山区	是
	C7	嘉定区	否
	C8	松江区	否
	C9	闵行区	是

4 结论

降低成本是冷链物流研究的主要方向,降低成本能够提高效率、增加收益,并对整个冷藏供应链的响应周期产生重要

表7 网络节点的服务范围

O/DC	服务对象	服务地区
浦东新区(O)	DC1、DC2、DC3	南汇区、嘉定区、松江区
南汇区(DC1)	C3、C9	奉贤区、闵行区
嘉定区(DC2)	C5、C6	市区、宝山区
松江区(DC3)	C1、C2	青浦区、金山区

影响。本研究提出了以总成本最小为目标函数,并将配送时间以“服务半径”的形式作为约束条件的单目标数学模型,通过案例分析证明了模型的实用性与有效性。随着市场发展的多样性,农产品供应链中的供应商逐渐向分布式、多品种的生产方向发展,在某些情况下,人们可能要求成本与时间同时达到最优化,这属于多目标的配送网络规划问题。所以,今后将进一步研究分散式、多品种供应模式下,基于时间和生产能力限制的配送网络模型。

参考文献:

- [1]何静,张歆祺,宗传宏. 连锁超市生鲜食品冷链物流网络构建与优化研究[J]. 广东农业科学,2011(22):166-169.
- [2]龚树生,梁怀兰. 生鲜食品的冷链物流网络研究[J]. 中国流通经济,2006(2):7-9.
- [3]李延晖,马士华,刘黎明. 基于时间约束的配送系统模型及一种启发式算法[J]. 系统工程,2003,21(4):23-28.
- [4]Wang Z, Zhang Q, Yang B, et al. 4/R/I/T distribution logistics network 0-1 programming model and application[J]. Computers & Industrial Engineering,2008,55(2):365-378.
- [5]张庆年. 医药品冷链物流运输体系的构建[J]. 交通企业管理,2012,27(11):58-60.
- [6]Li D, Li H. Transport Hub-and-spoke network optimization model construction of pharmaceuticals cold-chain logistics[C]. Wuhan, China; International Conference on e-Business Engineering, 2012: 304-307.
- [7]Bai Y, Wang B. How to Locate the cold chain logistics distribution center based on the gray comprehensive evaluation[C]. Wuhan, China; International Conference on E-product E-service & E-entertainment, 2010:1-4.
- [8]潘青. 基于双层规划模型的冷链配送中心选址研究[D]. 武汉:武汉理工大学,2013.
- [9]黄纯辉. 食品冷链物流运输服务网络优化研究[D]. 武汉:武汉理工大学,2012.
- [10]刘永红. 食品冷链物流的仓储绩效评价研究[D]. 长沙:中南林业科技大学,2011.
- [11]石兆,符卓. 时变网络条件下带时间窗的食品冷链配送定位-运输路径优化问题[J]. 计算机应用研究,2013,30(1):183-188.
- [12]Tang J J, Liu K. Study on cold chain logistics of vehicle routing problem for agricultural products[C]. Wuhan, China; International Conference on Service Operations & Logistics, & Informatics, 2013: 317-322.
- [13]Qi C M. Application of improved discrete particle swarm optimization in logistics distribution routing problem[J]. Procedia Engineering, 2011, 15(1):3672-3677.
- [14]Peng Y, Zhu H Y. Research on vehicle routing problem with stochastic demand and PSO-DP algorithm with inverse operator[J]. Systems Engineering - Theory & Practice, 2008, 28(10):76-81.