

基于货架寿命的乳制品配送车辆路径优化研究

杨玮, 赵晶, 张堃, 偶雅楠, 李沁

(陕西科技大学, 西安 710021)

摘要: **目的** 基于货架寿命对库存和配送进行优化研究, 降低冷链过程中的乳制品损耗, 保证乳制品的质量, 降低企业成本, 提高消费者的满意度。**方法** 考虑到货架寿命对配送的影响, 在研究货架寿命的基础上, 建立乳制品货损率与货架寿命的关系式。在时间窗约束下, 以总成本最小为目标, 分别构建未考虑货架寿命的配送车辆路径优化模型和考虑货架寿命的配送车辆路径优化模型, 并通过改进遗传算法对2种模型进行求解分析。**结果** 对比2种模型的最优结果, 发现在1个配送周期内, 基于货架寿命配送的总成本比不考虑货架寿命的运输总成本低3.71%。**结论** 该研究在一定程度上可以为物流企业减少配送成本, 提高企业的经济效益。

关键词: 乳制品; 货架寿命; 路径优化; 改进; 遗传算法

中图分类号: F252; TS252.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2019)11-0072-08

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.11.010

Path Optimization of Dairy Distribution Vehicle Based on Shelf Life

YANG Wei, ZHAO Jing, ZHANG Kun, OU Ya-nan, LI Qin

(Shaanxi University of Science and Technology, Xi'an 710021, China)

ABSTRACT: The paper aims to optimize inventory and distribution based on shelf life, reduce loss of dairy product during cold chain, ensure quality of dairy product, reduce cost of enterprise, and increase consumer satisfaction. Considering the impact of shelf life on distribution, based on research of shelf life, the relationship between loss rate and shelf life of dairy product was established. Under the constraint of time window, with the minimum total cost as the goal, a distribution vehicle path optimization model without considering shelf life and a distribution vehicle path optimization model considering shelf life were constructed respectively, and the two models were solved by improved genetic algorithm. Comparing the optimal results of the two models, it was found that the total cost of distribution based on shelf life was reduced by 3.71% in a distribution cycle compared to the total cost of transportation without considering shelf life. To a certain extent, this research can reduce distribution costs and improve economic efficiency for logistics enterprises.

KEY WORDS: dairy products; shelf life; path optimization; improved; genetic algorithm

随着我国综合国力的飞速提升, 中国的冷链物流也在不断进步。在整个冷链过程中, 配送是最为重要的物流活动之一, 由于冷藏车的运输效率普遍偏低, 且配送路线也不够合理, 导致乳制品在配送过程中产生较高货损的同时配送运输成本也过高, 这是中国冷

链物流业存在的普遍问题。货架寿命 (Shelf Life) 是冷链过程中判断乳制品质量状况最直接、简便的依据。其表示乳制品作为合格品从工厂中生产出来之后, 能够维持原有质量的时间长度^[1], 因此在货架寿命的基础上研究采用合理配送策略是提高整个冷链

收稿日期: 2019-01-09

基金项目: 陕西省教育厅专项科研计划 (16JK1095); 西安市未央区项目 (201607)

作者简介: 杨玮 (1972—), 女, 博士, 陕西科技大学教授、硕导, 主要研究方向为智能立体仓库优化调度。

物流行业水平、降低配送成本的重要手段。

国内外学者对货架寿命进行了一定研究,他们大多依据冷链产品的特性选取合适的动力学方程来构建货架寿命模型,并在波动的时间-温度条件下对模型进行验证,确定其在真实冷链中的适用性^[2-3]。Gogou 等^[4]对已经真空包装的火腿做出了从供应链前端到消费者购买该产品过程中的温度评价图,并以此来建立货架寿命模型。蔡超^[5]采用多种预测模型来预测不同温度下酸奶的货架寿命,给酸奶的货架寿命提供参考依据。也有学者^[6-7]将微生物数量、产品氧化程度、感官品质和粘度作为检测指标,建立冷链产品货架寿命预测模型,并基于此构建冷链监控系统。

在冷链物流配送研究方面,主要是将成本最低作为目标函数,构建带有时间窗约束的配送车辆路径优化模型,在实际的运输过程中降低整车物流的配送成本^[8-9]。或是基于冷链产品品质构建顾客满意度模型,并在满意度约束的条件下进行冷链配送优化^[10-11]。也有学者为了降低可持续供应链下冷链配送对环境的影响,构建了满足顾客需求和环境影响最小情况下的多目标配送模型^[12]。在解决多配送车辆路径问题时,他们大多采用禁忌启发式算法、改进 C-K 节约算法、蚁群启发式算法、多重迭代的局部搜索启发式算法等智能算法^[13-16]进行求解分析。

由以上文献可以看出,前人的研究主要是采用动力学方程、微生物生长模型等对冷链产品品质进行了单一预测,同时在对冷链配送进行优化时,仅以总成本或产品新鲜度为目标函数,很少将冷链产品新鲜度和企业配送成本结合起来进行考虑。根据以上分析,文中拟通过分析影响乳制品品质的因素,以配送过程总成本最小为目标,分别建立未考虑货架寿命和考虑货架寿命的配送车辆路径优化模型。随后设计改进遗传算法对模型进行求解,并将 2 种模型的优化结果进行对比分析,验证考虑货架寿命的配送车辆路径优化模型的优越性,同时得到最优的冷链配送方案。

1 问题描述

文中需要解决的乳制品配送问题: 现有 1 个配送中心、 m 台配送车辆、 n 个需求点组成的乳制品配送中心体系,配送中心及各需求点的位置、需求量已知,且运输过程中乳制品的品质按照一定的速率降低,如何对车辆的配送路线进行合理规划,使配送运输公司在满足顾客要求的前提下,配送总成本最小。要得出有效的乳制品配送方案,首先必须构建准确、合理的配送车辆路径优化模型。

2 乳制品配送车辆路径优化模型

2.1 乳制品冷链配送中货架寿命

冷链配送过程中,由于配送时间和温度的差异,

冷链产品会产生货损。学者们经常用线性分布、指数分布、威布尔分布等函数关系式表示冷链产品的品质变化情况。文中采用指数分布来描述乳制品的品质变化情况,虚线展示了因时间变化而导致乳制品以指数速度变质的品质变化见图 1,函数式(1)代表了其生命周期函数。

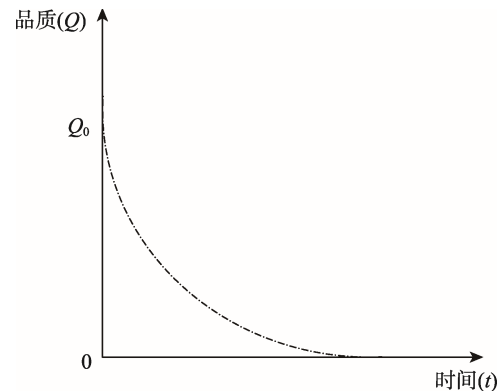


图 1 乳制品品质随时间的变化
Fig.1 Quality change of dairy products with time

$$Q(t) = Q_0 e^{-\theta t} \quad (1)$$

式中: $Q(t)$ 为 t 时刻乳制品的品质; Q_0 为乳制品初始的品质; e 为自然对数底数 ($e=2.718$); θ 为低温产品对时间的敏感系数, θ 值随着低温产品对时间的敏感程度而变化,呈反比关系。

假设: 整个配送过程中温度是恒定的,为客户装卸过程中开关车门依旧对产品质量没有影响,同时假设车辆从配送中心出发时,乳制品均为合格品,且货架寿命均相同;配送过程中乳制品的品质以图 1 的曲线发生损耗,并产生货损成本;配送中心的冷链配送车辆均配有制冷设备,且型号均相同;配送过程中车辆均以固定速度 v 匀速行驶;需求点的需求量确定;配送中心及需求点的位置确定;车辆配送运输和装卸过程中均产生一定的制冷成本;要求配送车辆在规定时间内完成配送任务,如果提前到达,则会等待并产生机会成本,假如过晚抵达,则支付一定的惩罚成本;该路径优化问题是封闭式路径优化问题,即配送车辆的起止点均在配送中心;一台配送车辆可以为多个需求点提供服务,但一个需求点只能接受一次服务,不存在重复服务。

基于货架寿命的相关研究,我们应该对乳制品配送过程中的各项成本进行分析,得到最终的配送路径优化模型。

2.2 乳制品冷链配送中的成本

通过对实际的冷链配送过程分析,文中在构建配送路径优化模型时,将配送过程中最小总成本作为目标函数。其中总成本包括固定成本、运输成本、冷链产品货损成本、时间惩罚成本和能耗成本,各项成本

的具体描述以及构建如下所示。

决策变量为:

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{配送车辆 } k \text{ 服务于 } i, j \text{ 点} \\ 0 & \text{配送车辆 } k \text{ 并没有服务于 } i, j \text{ 点} \end{cases} \quad (2)$$

式中: i, j 均为需求点; k 为配送车辆。 $x_{ijk}=1$ 表示配送车辆 k 服务于 i, j 点, $x_{ijk}=0$ 表示配送车辆 k 没有服务于 i, j 点。

1) 固定成本。假定一次配送运输由 m 台车辆完成, 会产生 m 条配送路径, 每条运输路径会有一定的固定成本 b , 因此整个运输过程中产生的固定成本见式 (3)。

$$Z_{\text{固}} = mb \quad (3)$$

2) 运输成本。配送车辆在行驶过程中产生的运输成本和时间成正比, 在研究过程中引入单位时间运输成本 a 。由于配送车辆在行驶过程中为匀速行驶, 因此配送车辆 k 从需求点 i 到需求点 j 的行驶时间为 d_{ijk}/v 。一次冷链运输过程由 m 台车辆共同完成, 因此产生的总运输成本见式 (4)。

$$Z_{\text{运}} = \sum_{i=1}^{n_k} \sum_{j=1}^{n_k} \sum_{k=1}^m x_{ijk} a \frac{d_{ijk}}{v} \quad (4)$$

式中: n_k 表示配送车辆 k 需要服务需求点的数量; d_{ijk} 表示配送车辆 k 配送的需求点 i, j 之间的距离; v 为配送车辆的行驶速度。

3) 货损成本。货损成本产生的原因是随着温度和时间的累加, 导致配送中的低温乳制品腐败增多的过程, 因此文中引入瑞典科学家阿伦尼乌斯提出的经验公式^[17]。其主要体现了反应速率与温度、时间的关系, 即反应速率常数, 见式 (5)。

$$\bar{k} = A \exp\left(-\frac{E_a}{RT_i}\right) \quad (5)$$

式中: T 为热力学温度; R 为摩尔气体常量; E_a 为反应的活化能, A 为频率因子 (也称指前因子)。其中 A 与 E_a 是可以通过实验得到的经验常数, 二者可以作为速度常量。

根据前文假设, 在整个配送过程中温度 T 是恒定的, 因此文中货损成本模型中可以将 E_a 和 A 看作是恒定不变的常量。因为是恒温条件, 文中同时假设乳制品在配送过程中的变质率是一定的, 且呈指数变化。那么可以推导出腐败函数, 见式 (6)。

$$Q(t) = Q_0 K_1 e^{-\theta t} \quad (6)$$

式中: t 为乳制品经历的物流时间; θ 为乳制品对时间的敏感系数; K_1 为乳制品常数值, 与温度有关。由于文中将整个过程中的温度视为恒定值, 故 $K_1=1$ 。

运输车辆 k 需要给 n_k 个需求点配送, 则该配送路线中各个需求点总的需求量可以表示为 $\sum q_i^k$ 。引入乳制品的单位货损成本 δ , 结合式 (6), 则总的损失成本见式 (7)。

$$Z_{\text{变}} = \delta \sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^{n_k} \sum_{j=1}^{n_k} x_{ijk} [1 - e^{-\theta t_{ij}}] q_i^k \quad (7)$$

式中: t_{ij} 为车辆从需求点 i 到需求点 j 所用的时间; q_i^k 为车辆 k 配送需求点 i 的需求量。

4) 惩罚成本。文中配送车辆过晚到达时产生延误成本, 此外提前到达时不仅需要等待还需支付因等待产生的机会成本。综上所述, 惩罚函数见式 (8)。

$$F_i(t_i) = \begin{cases} R(t_{li} - t_i) & t_{li} \geq t_i \\ 0 & t_{li} \leq t_i \leq t_{hi} \\ r(t_i - t_{hi}) & t_i \geq t_{hi} \end{cases} \quad (8)$$

式中: R 为单位惩罚成本; r 为单位等待成本; t_{li} 为需求点 i 能够接受货物的最早到达时间; t_{hi} 为需求点 i 能够接受货物的最晚到达时间; t_i 为配送车辆到达需求点的时间。

文中运输车辆 k 需要给 n_k 个需求点进行配送。其惩罚成本主要由提前到达的等待时间成本和延迟到达的延迟成本构成, 如果配送车辆在时间窗内到达, 则不会产生惩罚成本, 因此惩罚成本见式 (9)。

$$Z_{\text{惩罚}} = R \sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^{n_k} \max(t_{li} - t_i, 0) + r \sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^{n_k} \max(t_i - t_{hi}, 0) \quad (9)$$

5) 制冷成本。文中主要从配送运输过程和装卸过程来对制冷成本组成进行分析建模。在配送运输过程中, 车厢处于封闭状态, 制冷机的工作时长为 d/v 。在装卸过程中, 车厢门处于打开状态, 由于车厢外热气体的进入, 制冷机需要维持车厢内的温度, 必须要消耗更多的制冷剂。综上所述, 单位制冷剂的消耗成本会高于运输过程中的制冷剂消耗成本, 设定装卸过程中单位制冷剂的消耗成本为 g , 则制冷成本见式 (10)。

$$Z_{\text{能}} = \sum_{i=1}^{n_k} \sum_{j=1}^{n_k} \sum_{k=1}^m x_{kij} \left[\left(\frac{d_{ijk}}{v} \right) \eta + t_{ik}^h g \right] \quad (10)$$

式中: η 为配送运输过程中的单位制冷成本; g 为装卸过程中的单位制冷成本; t_{ik} 为配送车辆 k 在需求点 i 的装卸搬运时间。

2.3 未考虑货架寿命的配送路径优化模型

根据前面的描述, 在构建未考虑货架寿命的配送路径优化模型时不用考虑货损成本, 只需考虑固定成本、运输成本、惩罚成本、制冷成本。基于 2.2 中对配送运输过程中各项成本的分析, 最终未考虑货架寿命的配送路径优化模型见式 (11)。

$$Z_1 = \min \left[mb + \sum_{i=1}^{n_k} \sum_{j=1}^{n_k} \sum_{k=1}^m x_{ij} \left[\left(\frac{d_{ijk}}{v} \right) \eta + t_{ik}^h g \right] + R \sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^{n_k} \max(t_{li} - t_i, 0) + r \sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^{n_k} \max(t_i - t_{hi}, 0) + \sum_{i=1}^{n_k} \sum_{j=1}^{n_k} \sum_{k=1}^m x_{ijk} a \frac{d_{ijk}}{v} \right] \quad (11)$$

未考虑货架寿命的配送路径优化模型的约束条件如下所示。

$$\sum_{j=1}^{n_k} q_i^k \leq Q \quad (k=0,1 \dots k_m) \quad (12)$$

$$\sum_{i=0}^n x_{ijk} = 1 \quad (j=0,1 \dots k_n) \quad i \neq j \quad (13)$$

$$\sum_{i=0}^n x_{ijk} = 1 \quad (k=0,1 \dots k_m) \quad i \neq j \quad (14)$$

$$\sum_{k=1}^k n_k = n \quad (15)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ijk} = \sum_{j=1}^n x_{jik} \leq 1 \quad i=0 \quad (k=0,1 \dots k_m) \quad (16)$$

约束 (12) 表示车辆总载质量不能超过车辆的额定载质量 Q 。约束 (13) 是对每个点服务次数的限制，即每个需求点只能接受 1 辆车辆的 1 次服务，不存在重复服务的现象。约束 (14) 是对车辆的限制，即每个点只能被 1 辆车辆进行服务。约束 (15) 是对需求点的限制，各个车辆服务需求点的总和应该等于总的需求点，即每个需求点都要被服务到，不能存在漏服务或者过多服务的现象。约束 (16) 则表示配送车辆需要从配送中心出发然后再回到配送中心，即该问题是闭环的配送车辆路径优化问题。

2.4 考虑货架寿命的配送车辆路径优化模型

在构建考虑货架寿命的配送车辆路径优化模型时，涉及到的成本主要包括固定成本、运输成本、货损成本、时间成本和能耗成本。

基于 2.2 节中对配送运输过程中各项成本的分析，可以得到考虑货架寿命的配送车辆路径优化模型，见式 (17)。

$$\begin{aligned} Z_2 = \min & \left(mb + \sum_{i=1}^{n_k} \sum_{j=1}^{n_k} \sum_{k=1}^m x_{ij} \left[\left(\frac{d_{ijk}}{v} \right) \eta + t_{ik}^h g \right] + \right. \\ & \delta \sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^{n_k} \sum_{j=1}^{n_k} x_{ijk} [1 - e^{-\theta t_{ij}}] q_i^k + \\ & R \sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^{n_k} \max(t_i - t_i, 0) + \\ & r \sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^{n_k} \max(t_i - t_{hi}, 0) + \\ & \left. \sum_{i=1}^{n_k} \sum_{j=1}^{n_k} \sum_{k=1}^m x_{ijk} a \frac{d_{ijk}}{v} \right) \quad (17) \end{aligned}$$

根据前文假设和要求，配送车辆路径优化模型的约束条件可以表示为：

$$\sum_{j=1}^{n_k} q_i^k \leq Q \quad (k=0,1 \dots k_m) \quad (18)$$

$$\sum_{i=0}^n x_{ijk} = 1 \quad (j=0,1 \dots k_n) \quad i \neq j \quad (19)$$

$$\sum_{i=0}^n x_{ijk} = 1 \quad (k=0,1 \dots k_m) \quad i \neq j \quad (20)$$

$$\sum_{k=1}^k n_k = n \quad (21)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ijk} = \sum_{j=1}^n x_{jik} \leq 1 \quad i=0 \quad (k=0,1 \dots k_m) \quad (22)$$

3 算法设计

良好的自组织性、智能性、鲁棒性以及自适应性使得遗传算法虽成为学者们解决问题常用的一种智能算法，但搜索能力差、容易发生早熟等现象也是基本遗传算法不可避免的一个问题。文中针对遗传算法 GA (Genetic Algorithm) 的不足，提出了一种改进遗传算法 GGA (Group Genetic Algorithm)。由于遗传算法中交叉概率 p_c 和变异概率 p_m 的选择会直接影响到算法的收敛性，因此，文中提出了动态调整交叉概率 p_c 和变异概率 p_m 的方法，即自适应交叉变异，同时将黄金分割比的思想引入其中，然后再进行进化逆转以及种群更新操作，以此来优化基本遗传算法，使其产生更优解。

在用改进遗传算法求解所建乳制品冷链配送模型时，首先生成初始种群。根据前面的假设，配送车辆是将配送中心作为起点，完成配送后再返回起点。假定现在有 10 个需求点，在对其进行编码时用 0 来代表配送中心，因此可以生成一个随机序列为 [1,2,3,4,5,6,7,8,9,10]。由于配送路径优化问题对车辆的载质量进行了约束，因此需要根据配送点的需求量和车辆的载质量来生成断点矩阵，即从左至右累积计算各需求点的需求量，当累积总需求量大于车辆额定载质量时，停止累积计量，生成第一个断点矩阵，表示车辆 1 只需配送这几个需求点即可。然后将累积质量清零重新计量，直到所有的需求点全部计量完成，即确保所有的需求点都被服务到。

根据上述步骤，将随机序列 [1,2,3,4,5,6,7,8,9,10] 进行完全解码后得到的染色体编码为 [0,1,2,0,3,4,5,6,0,7,8,0,9,10,0]，该染色体由 4 个断点矩阵组成，表示有 4 辆运输车辆来完成此次配送任务，并且形成了 4 条路径。

1) 路径 1。配送中心—需求点 1—需求点 2—配送中心。

2) 路径 2。配送中心—需求点 3—需求点 4—需求点 5—需求点 6—配送中心。

3) 路径 3。配送中心—需求点 7—需求点 8—配送中心。

4) 路径 4。配送中心—需求点 9—需求点 10—配送中心。

按照上述步骤重复染色体的生成过程，直到染色体的数量达到种群规模，即为初始种群。

接着计算各染色体的适应度函数值,根据前文的假设,路径优化问题的目标函数是总成本最小,且为整数,因此将总成本的倒数作为运算时的适应度函数。可以表示为 $f=1/Z_{\min}$ 。

在进行交叉操作时,对于需要从配送中心出发然后回到配送中心的路径优化问题,采用自适应交叉操作,减少陷入局部最优的可能性。

例如在父代个体1中随机产生2个相邻的零点位置1和4,父代2中则随机产生位置5和位置9。将这段基因放在最前面,然后对交叉段外的基因执行自适应交叉操作,由于在配送运输时车辆载质量不能超过额定载质量,因此在进行交叉操作时先对非零基因进行交叉操作,然后在额定载质量这一约束条件下,将零基因插入个体中。该交叉操作过程见图2。

然后进行自适应变异操作,见图3。接着进行剩余的步骤。

4 实例分析

4.1 实例描述

文中以西安某一冷链物流公司为例进行算例分析研究,该公司主要负责西安市内华润万家超市乳制品的配送,且冷藏车辆自有。对该公司M品牌酸奶的配送业务进行调研,发现该品牌酸奶需要配送给西



图2 交叉操作

Fig.2 Crossover operation

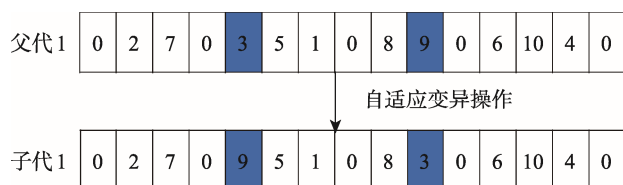


图3 变异操作

Fig.3 Mutation operation

安市的12个华润万家超市,并收集了包括配送中心在内的13个物流节点的相关信息。通过GPS技术,得到13个物流节点的坐标信息,见表1。12个超市的需求量、服务时间、需求量信息见表2。

表1 各需求点的坐标

Tab.1 Coordinate of demand point

序号	各节点名称	各节点坐标	序号	各节点名称	各节点坐标
1 [#]	渭滨路店	(914.8,417.7)	7 [#]	南二环店	(916.9,406.8)
2 [#]	高新店	(908.3,405.6)	8 [#]	未央路店	(912.7,412.6)
3 [#]	莲湖店	(908.2,409.6)	9 [#]	北关店	(912.9,410.9)
4 [#]	雁塔店	(914.7,407.7)	10 [#]	星火路店	(910.3,410.9)
5 [#]	咸宁店	(918.4,407.9)	11 [#]	西影路店	(915.9,405.4)
6 [#]	科技路店	(913.7,407.1)	12 [#]	丈八路店	(907.8,403.1)

表2 需求点的需求量、时间窗及服务时间

Tab.2 Quantity demanded, service window and time of demand point

序号	名称	需求量/件	时间窗		服务时间/h
1 [#]	渭滨路店	130	8:00	10:00	0.15
2 [#]	高新店	135	9:00	11:00	0.15
3 [#]	莲湖店	125	8:00	10:00	0.15
4 [#]	雁塔店	160	8:00	11:00	0.15
5 [#]	咸宁店	120	9:00	12:00	0.15
6 [#]	科技路店	160	9:00	11:00	0.15
7 [#]	南二环店	200	10:00	12:00	0.15
8 [#]	未央路店	220	11:00	13:00	0.15
9 [#]	北关店	130	9:00	14:00	0.15
10 [#]	星火路店	145	10:00	13:00	0.15
11 [#]	西影路店	155	9:00	14:00	0.15
12 [#]	丈八路店	135	9:00	15:00	0.15

由于车辆满载量和运输距离的限制,在一个配送周期内,该公司通过 4 辆相同型号的冷藏车进行该品牌酸奶配送,且配送车辆的起止地点均为配送中心。配送开始时,酸奶均为合格品,且货架寿命均相同。该配送运输系统中涉及到的各参数数值见表 3。

表 3 模型中的参数
Tab.3 Parameters in the model

序号	参数名称	参数符号	数值
1 [#]	乳制品对时间的敏感系数	θ	0.5%
2 [#]	配送车辆的行驶速度/(km·h ⁻¹)	v	60
3 [#]	单位时间的运输成本/元	a	20
4 [#]	单位货损成本/元	δ	0.1
5 [#]	配送车辆的额定载质量/kg	Q	500
6 [#]	卸货时单位时间制冷成本/元	g	15
7 [#]	运输时单位时间制冷成本/元	η	10
8 [#]	过早到达的等待成本/元	r	10
9 [#]	过晚到达的惩罚成本/元	R	15
10 [#]	需求点的数量	n	12
11 [#]	配送中心运输车辆的数量	m	4
12 [#]	单位车辆固定成本/元	b	3

4.2 结果分析

将上述数据分别带入未考虑货架寿命和考虑货架寿命的模型中,通过数学求解软件 MATLAB 进行求解。为了验证前文所建模型以及设计的改进遗传算法有效性,采用 2 种算法进行求解分析,分别通过遗传算法和改进遗传算法进行模拟迭代 5000 次。

4.2.1 未考虑货架寿命的乳制品配送路径优化结果

对未考虑货架寿命的配送路径进行求解时,在时间窗的约束条件下,以最小运输成本为目标函数进行优化求解,优化结果见图 4。

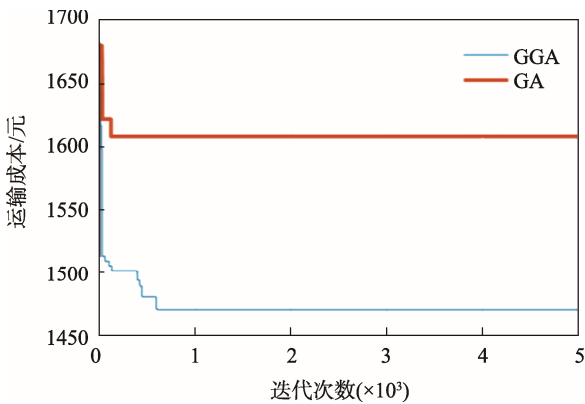


图 4 配送路径优化结果收敛
Fig.4 Convergence diagram of distribution path optimization results

由图 4 可以看出,未考虑货架寿命时,使用改进遗传算法求得运输成本的最优结果为 1455.2993 元,

基本遗传算法求得的最优结果为 1608.1781 元。同时,使用改进遗传算法求得车辆行驶总距离 117.0543 km。最优配送路线为 0—3—12—2—0—9—6—10—0—8—1—0—4—11—7—5—0,即 1 号配送车辆服务需求点 3,12,2,服务顺序为从配送中心出发,先服务需求点 3,再按顺序到需求点 12 和点 2,最后返回配送中心;2 号车辆则按照顺序服务需求点 9,6,10;3 号车辆服务需求点 8,1;4 号车辆服务需求点 4,11,7,5,最优配送路径见图 5。

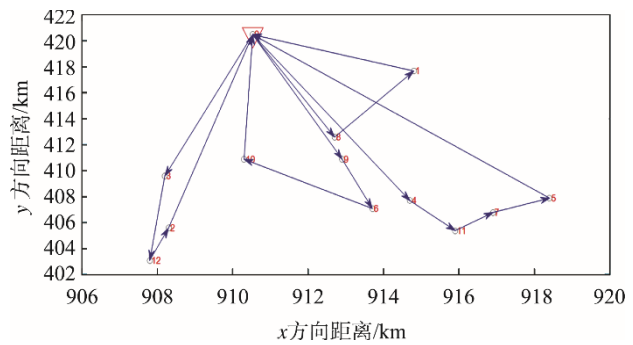


图 5 配送车辆路径
Fig.5 Route map of distribution vehicle

4.2.2 考虑货架寿命的乳制品配送路径优化结果

考虑货架寿命时,优化结果见图 6。改进遗传算法计算的最优结果为 1509.842 元,基本遗传算法的结果为 1603.0049 元,同时,改进遗传算法求得车辆行驶总距离为 117.1525 km。最优配送路径为 0—1—8—0—4—6—9—0—5—7—11—0—3—12—2—10—0,配送路径见图 7。

对比 2 种模型的最优结果,发现采用改进遗传算法进行求解时,在一个配送周期内,基于货架寿命配送的运输总成本比不考虑货架寿命的运输总成本减少了 3.71%,这是因为在考虑货架寿命时,会尽可能优先配送需求量较多的需求点,减少产品的货损成本,从而降低总的运输成本。同时我们发现,使用改进遗传算法的计算结果比基本遗传算法更优,而且改

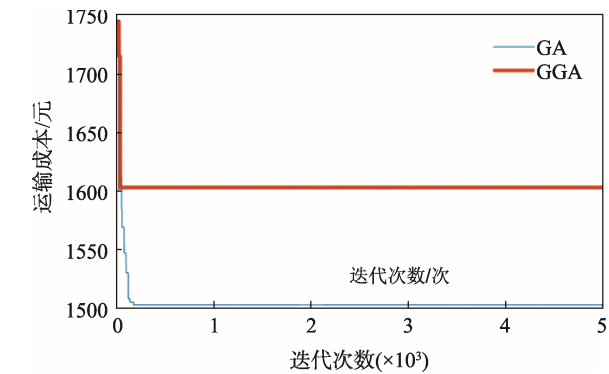


图 6 配送路径优化结果收敛
Fig.6 Convergence diagram of distribution path optimization result

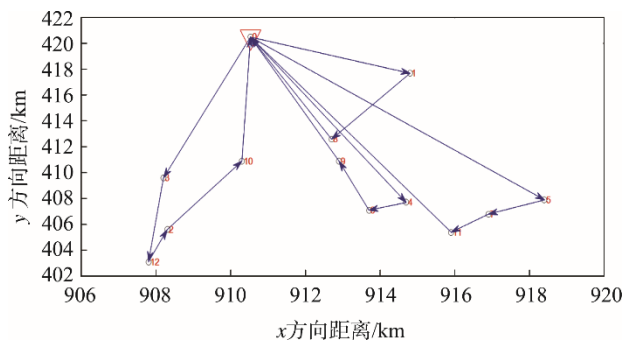


图7 配送车辆路径

Fig.7 Route map of distribution vehicle

进遗传算法可以避免基本遗传算法容易陷入局部最优的缺陷,表明改进的自适应交叉变异遗传算法具有较好的寻优能力。

5 结语

文中主要分析和研究了基于货架寿命的乳制品配送车辆路径优化问题。首先构建了配送运输过程中乳制品货架寿命和变质率的关系式,然后分析乳制品冷链配送中各项成本组成,分别构建了未考虑货架寿命和考虑货架寿命的配送车辆路径优化模型,并设计了自适应交叉变异的改进遗传算法进行求解。最后以西安某一冷链物流公司为例,进行实例分析,结果表明,在1个配送周期内,基于货架寿命进行配送车辆路径优化能够为冷链物流企业减少运输成本,而且能保证乳制品的质量,具有较好的实用性。在进行乳制品的配送路径优化时,尤其当配送规模十分巨大、配送周期很多时,将货架寿命考虑在内,在可以为企业节省大量配送成本的同时还可提高顾客满意度,从而实现企业经济效益的可持续发展,所以可以将此模型推广应用到我国的乳制品冷链行业。

参考文献:

- [1] 金国斌. 包装商品保质期(货架寿命)的概念、影响因素及确定方法[J]. 出口商品包装: 软包装, 2003(4): 49—51.
JIN Guo-bin. Concept, Influencing Factors and Determination Methods of Shelf Life (Shelf Life) of Packaged Goods[J]. Export Commodity Packaging: Flexible Packaging, 2003(4): 49—51.
- [2] TSIROMI T, DERMESONLOUGLOU E, GIANNAKOUREOU M, et al. Shelf Life Modelling of Frozen Shrimp at Variable Temperature Conditions[J]. LWT-food Science and Technology, 2009, 42(2): 664—671.
- [3] GIANNOGLOU M, TOULI A, PLATAKOU E, et al. Predictive Modeling and Selection of TTI Smart Labels for Monitoring the Quality and Shelf-life of Frozen Seafood[J]. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 2014, 26: 294—301.
- [4] GOGOU E, KATSAROS G. Cold Chain Database Development and Application as a Tool for the Cold Chain Management and Food Quality Evaluation[J]. Food Control, 2015, 52: 109—121.
- [5] 蔡超. 酸奶在贮存期间参数的变化和对货架寿命预测模型的研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2012.
CAI Chao. Study on the Change of Parameters of Yogurt During Storage and the Prediction Model of Shelf Life[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2012.
- [6] 宋星霖. 冷链猪肉环境信息检测及货架期预测研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2015.
SONG Xing-lin. Study on Cold Chain Pork Environmental Information Detection and Shelf Life Prediction[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2015.
- [7] 任龙梅. 储存环境对 UHT 奶脂氧化程度的影响及货架期模型预测[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2011.
REN Long-mei. Effect of Storage Environment on Oxidation Degree of UHT Milk Fat and Prediction of Shelf Life Model[D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2011.
- [8] AQUINO R D F, ARROYO J E C. A Hybrid Multi-objective Iterated Local Search Heuristic for Vehicle Routing Problem with Time Windows[C]// International Conference on Hybrid Intelligent Systems, IEEE, 2015: 117—122.
- [9] 侯玉梅, 贾震环, 田歆, 等. 带软时间窗整车物流配送路径优化研究[J]. 系统工程学报, 2015, 30(2), 240—250.
HOU Yu-mei, JIA Zhen-huan, TIAN Xin, et al. Research on Logistics Distribution Path Optimization of Vehicle with Soft Time Window[J]. Journal of Systems Engineering, 2015, 30(2): 240—250.
- [10] 杨晓芳, 姚宇, 付强. 基于新鲜度的冷链物流配送多目标优化模型[J]. 计算机应用研究, 2016, 33(4): 1050—1053.
YANG Xiao-fang, YAO Yu, FU Qiang. Multi-objective Optimization Model for Cold Chain Logistics Distribution Based on Freshness[J]. Computer Application Research, 2016, 33(4): 1050—1053.
- [11] 张亚明, 李娜. 基于精英单亲遗传算法的冷链物流 VRP 模型优化研究[J]. 数学的实践与认识, 2016, 46(4): 87—96.
ZHANG Ya-ming, LI NA. Optimization of Cold Chain Logistics VRP Model Based on Elite Single Parent Genetic Algorithm[J]. Practice and Understanding of Mathematics, 2016, 46(4): 87—96.
- [12] GOVINDAN K, JAFARIAN A, KHODAVERDI R, et al. Two-echelon Multiple-vehicle Location-routing Problem with Time Windows for Optimization of Sus-

- tainable Supply Chain Network of Perishable Food[J]. International Journal of Production Economics, 2014, 152(2): 9—28.
- [13] SILVESTRIN P V, RITT M. An Iterated Tabu Search for the Multi-compartment Vehicle Routing Problem[J]. Computers & Operations Research, 2017, 81: 192—202.
- [14] 任雪甜, 朱晓敏, 何中祥, 等. 基于改进 C-K 节约算法的第三方冷链物流企业车辆调度[J]. 北京交通大学学报, 2015, 39(4): 125—132.
- REN Xue-tian, ZHU Xiao-min, HE Zhong-xiang et al. Third-party Cold Chain Logistics Enterprise Vehicle Scheduling Based on Improved C-K Saving Algorithm[J]. Journal of Beijing Jiaotong University, 2015, 39(4): 125—132.
- [15] 潘茜茜, 干宏程. 考虑碳排放的冷链物流配送路径优化研究[J]. 数学的实践与认识, 2016, 46(2): 62—68.
- PAN Qian-qian, GAN Hong-cheng. Research on Optimization of Cold Chain Logistics Distribution Path Considering Carbon Emissions[J]. Practice and Understanding of Mathematics, 2016, 46(2): 62—68.
- [16] PENNA P H V, SUBRAMANIAN A, OCHI L S. An Iterated Local Search Heuristic for the Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem[J]. Journal of Heuristics, 2015, 53(2): 234—249.
- [17] 王敏, 毛超, 杨葱葱. 基于遗传算法的冷链物流节点选址研究[J]. 科技与管理, 2009, 11(6): 72—75.
- WANG Min, MAO Chao, YANG Cong-cong. Research on Location Selection of Cold Chain Logistics Node Based on Genetic Algorithm[J]. Science and Technology and Management, 2009, 11(6): 72—75.