

蔡浩原,潘郁. 基于人工蜂群算法的鲜活农产品冷链物流配送路径优化[J]. 江苏农业科学,2017,45(15):318-321.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.15.080

基于人工蜂群算法的鲜活农产品 冷链物流配送路径优化

蔡浩原,潘郁

(南京工业大学经济与管理学院,江苏南京 211816)

摘要:鲜活农产品易变质的特性决定了其配送过程的困难性,针对这一难题,拟构建鲜活农产品的变质函数和配送时间的惩罚函数,并依此建立带有时间窗的鲜活农产品冷链物流路径优化模型。通过人工蜂群算法(ABC)对模型进行求解,以自然数编码的方式生成食物源,并讨论食物源的更新公式和适应度函数,研究具体的求解步骤和判断标准。利用数值算例验证了所建模型的合理性,结果表明,人工蜂群算法对此类问题具有有效性和可行性。

关键词:鲜活农产品;冷链物流;路径优化;人工蜂群算法

中图分类号: F252 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)15-0318-04

随着科技的发展和收入的增加,人们对生活质量提出了更高的要求。鲜活农产品与人们的生活息息相关,人们对它的需求也随着生活水平的提高呈现多样化和个性化的发展趋势。鲜活农产品主要包括新鲜的蔬菜、水果、水产品、禽类和肉类等5类产品。虽然我国是一个农业大国,但是物流配送体系的发展却跟不上需求,且已经成为农产品市场发展的阻碍。目前,我国农产品物流体系不成熟、物流配送设施不完善以及物流人才缺乏等一系列的缺陷都是亟须加强和改善的地方,否则人们的需求便不能够得到满足。对于鲜活农产品这一类特殊的产品,因它们具有易腐变质的特性,需要冷链物流进行配送来保证其新鲜度。冷链物流指新鲜冷冻类食品从生产到被消费前每个流通环节都必须在一定低温环境下进行保存,从而保证食品新鲜度或降低食品变质和损耗程度。鲜活农产品的严格时间限制、高储藏成本和高服务质量等要求,给冷链物流商提出了很高的配送要求。因此,如何科学地规划配送路线、合理制定配送方案,以保证鲜活农产品的配送效

率、食品的新鲜程度和低损耗率,提高服务质量水平,对于冷链物流商非常重要,也是鲜活农产品发展道路上亟须解决的难题。

车辆路径问题(vehicle routing problem,简称VRP)是指物流配送中心向一定数量的对于货物需求不同的需求点供货,在满足需求点配送要求的基础上,进行合理的路线规划,最终达到运输路程最短、运输成本最低等目的。由于对该问题的研究具有很强的现实意义,因此一直是国内外学者研究的热点。VRP的概念最早由Dantzig等提出^[1];考虑到现实中对于车辆路径问题总是有一定配送时间要求,所以Solomon等首先将时间约束条件加入到车辆路径问题的研究中^[2]。启发式算法对于解决车辆路径问题具有很强的优越性,随着多种算法的产生,对启发式算法的研究也逐步丰富起来。Brito等将时间窗和模糊约束加入到近距离开放式的车辆路径问题中,并通过混合蚁群算法进行了求解^[3];de Armas等考虑了现实中动态丰富的多目标的车辆路径问题,使用了1种变领域搜索策略的启发式算法解决该问题^[4];Küçüköglu等利用了基于禁忌搜索和模拟退火算法的混合算法,解决带有回程和时间窗的车辆路径问题^[5];陈志新等使用混合粒子群算法来解决物流配送路径优化问题^[6];邹开俊等改进了差分进化算法,结合贪心算法来解决具有非确定性多项式(non-deterministic polynomial,简称NP)难的VRP^[7];随着科技环境

收稿日期:2016-04-05

基金项目:国家自然科学基金(编号:71301073);江苏省高校研究生科研创新计划(编号:KYLX_0785)。

作者简介:蔡浩原(1991—),男,江苏盐城人,硕士,主要从事决策科学与商务智能研究。E-mail:806068690@qq.com。

[6]郭舒. 基于产业链视角的旅游扶贫效应研究方法[J]. 旅游学刊,2015,30(11):31-39.

[7]黄梅芳,于春玉. 民族旅游扶贫绩效评价指标体系及其实证研究[J]. 桂林理工大学学报,2014,34(2):406-410.

[8]万剑敏. 基于利益相关者理论的县域经济旅游扶贫研究—以鄱阳县为例[J]. 江西农业大学学报(社会科学版),2012,11(4):111-116.

[9]李海金,罗忆源. 连片特困地区扶贫开发的战略创新—以武陵山区为例[J]. 中州学刊,2015(12):78-83.

[10]吴雄周,丁建军. 精准扶贫:单维瞄准向多维瞄准的嬗变—兼析湘西十八洞村扶贫调查[J]. 湖南社会科学,2015(6):

162-166.

[11]Hadi M Y A, Roddin R, Razaq A R A, et al. Poverty eradication through vocational education (tourism) among indigenous people communities in Malaysia: pro-poor tourism approach (PPT) [J]. Procedia, Social and Behavioral Sciences, 2013, 93(1):1840-1844.

[12]罗盛峰,黄燕玲. 滇桂黔石漠化生态旅游景区扶贫绩效评价[J]. 社会科学家,2015(9):97-101.

[13]桂拉旦,唐唯. 文旅融合型乡村旅游精准扶贫模式研究—以广东林寨古村落为例[J]. 西北人口,2016,37(2):64-68.

[14]贺东航,牛宗岭. 精准扶贫成效的区域比较研究[J]. 中共福建省委党校学报,2015(11):58-65.

的变化,对于车辆路径研究的背景也在随之转变,向敏等研究了在电子商务环境下鲜活农产品物流配送路径的优化问题^[8]。

虽然国内外学者对于车辆路径问题的研究很多,但是将车辆路径和冷链物流结合进行研究的却不多,将鲜活农产品作为配送物品的研究就更少。本研究考虑了鲜活农产品运输过程的损耗,加入时间窗的约束,并依此建立合理的鲜活农产品冷链物流配送模型,目的是使鲜活农产品冷链物流的配送成本最小化,力求使所建立的模型符合实际情形,从而为实际鲜活农产品的配送路线选择提供有力的参考。

1 鲜活农产品冷链物流配送路径优化数学模型

1.1 问题描述

鲜活农产品物流配送模型是由 1 个鲜活农产品配送中心向多个其覆盖范围内的配送点使用低温配送车进行货物配送的模型。假定配送中心的货量充足,每个需求点的需求量、位置以及时间窗约束都是已知的;配送中心配送车辆数量固定,型号相同,并且每个配送车辆的容量确定。为对建立的模型进行简化,需要考虑以下几个约束条件:配送车所载货物的质量或体积不得超过核定容量或载质量;货物在时间窗之外的时间送达,会受到对应时间惩罚函数的惩罚;配送车辆以固定的速度进行货物配送;每个需求点的货物需求只能由 1 辆车单次完成;路径优化的目标是使得配送成本最小化。

1.2 鲜活农产品变质函数

对于鲜活易腐食品变质的函数,学者们很早便做了研究,结果表明,其函数形式过于复杂,不适合在实际应用中使用。因此,一般采用形式相对简单的指数函数作为鲜活农产品的变质函数。变质往往与食品所在环境的温度以及所经历的时间长短有关,变质函数所要表现的就是两者与食品质量之间的关系。考虑到鲜活农产品是通过冷链物流运输的,其温度相对稳定,因此构建如下变质函数:

$$Q(t) = Q_0 \cdot K \cdot e^{-\beta t} \quad (1)$$

式中: Q_0 为鲜活农产品的初始质量; t 为鲜活农产品运输所需要的时间; K 为鲜活农产品随温度而变质的速度常数,本研究假定进行冷链物流配送是恒温环境,定为常数项 1; β 为鲜活农产品对于时间的敏感系数,若农产品对时间较为敏感, β 的取值相对较小,反之 β 的取值较大。

1.3 时间惩罚函数

为了更加贴合实际,在建立鲜活农产品冷链物流配送模型时,将时间窗加入到模型中进行考虑。时间窗分为软时间窗和硬时间窗,本模型中采用硬时间窗,即在需求点期望时间内送达,那么时间惩罚函数为 0;超过期望时间区间,通过惩罚函数来增加成本。时间惩罚函数如下:

$$G_j = \begin{cases} M(ET_j^d - t_j) & (0 < t_j \leq ET_j^d) \\ 0 & (ET_j^d < t_j \leq LT_j^d) \\ M(t_j - LT_j^d) & (LT_j^d < t_j) \end{cases} \quad (2)$$

式中: G_j 表示在需求点 j 的时间惩罚费用; M 表示时间惩罚的系数; $[ET_j^d, LT_j^d]$ 表示需求点 j 的期望送达时间区间; t_j 表示到达需求点 j 的实际时间。 t_j 的公式如下:

$$t_j = \sum_{i=0}^n \sum_{k=1}^m x_{ijk} (t_i + t_{ij} + s_i)$$

式中: k 表示配送中心车辆的号码; x_{ijk} 表示车辆号为 k 的配送车是否能够从需求点 i 到需求点 j ; t_{ij} 表示从需求点 i 到需求点 j 的时间; s_i 表示在需求点 i 卸货的时间。

1.4 模型建立

在鲜活农产品变质函数和时间惩罚函数的基础上,建立鲜活农产品冷链物流配送模型,设 $G = (V, E)$ 表示无向连通图,其中 $V = \{v_i | i = 1, \dots, N\}$ 表示图的顶点集, v_0 表示起点,每个顶点 v_i 表示 1 个需求点, $E = \{(v_i, v_j) | v_i, v_j \in V, \text{且 } v_i \neq v_j\}$ 为边集,每条边 (v_i, v_j) 代表 2 个顶点间有直通道路。对模型中涉及到的变量及含义作如下说明:

m 为配送中心所拥有型号相同的配送车辆的数量; n 为在城市中需求点的数量,配送中心的编号为 0,需求点的编号为 1, 2, 3, ..., n ; Z 为整个配送过程的总成本; d_{ij} 为需求点 i 和需求点 j 之间的距离, $i, j = 0, 1, 2, \dots, n$; C_0 为单位路程运输成本; G_i 为在需求点 i 的时间惩罚费用; g_i 为需求点 i 的需求数量; Q 为单位车辆的载货量; Q_i 为车辆 k 在时间 t_{ik} 上满足需求点 i 需要从配送中心装载的货量; p 为单位数量鲜活农产品的损失价值; y_{ik} 为车辆 k 是否到达需求点 i 。 $Q_i = g_i / (K \cdot e^{-\beta t_{ik}})$ 。

模型将鲜活农产品冷链物流配送的成本作为目标函数,成本主要由 3 个部分组成,分别是配送的运输成本、时间惩罚费用以及鲜活农产品的损失价值,具体如下:

$$\min Z = \sum_{i=0}^n \sum_{k=1}^m d_{ij} C_0 x_{ijk} + \sum_{j=1}^n G_j + \sum_{i=0}^n (Q_i - g_i) \cdot p \quad (3)$$

模型的约束条件:

$$x_{ijk} = 0 \text{ 或 } 1 (i, j = 1, 2, \dots, n; k = 1, 2, \dots, m); \quad (4)$$

$$y_{ik} = 0 \text{ 或 } 1 (i = 1, 2, \dots, n; k = 1, 2, \dots, m); \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^n g_i y_{ik} \leq Q; \quad (6)$$

$$\sum_{i=0}^n y_{ik} = \begin{cases} m & (i = 0) \\ 1 & (i = 1, 2, \dots, n) \end{cases}; \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ijk} = y_{ijk} (i, j = 1, 2, \dots, n; k = 1, 2, \dots, m); \quad (8)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ijk} = y_{ijk} (i, j = 1, 2, \dots, n; k = 1, 2, \dots, m) \quad (9)$$

式(4)表示需求点 i 是否可以到达需求点 j ;式(5)表示车辆 k 是否配送到需求点 i ;式(6)表示每辆车的配送量不能超过其最大装载量;式(7)表示每个需求点都有 1 辆车进行配送;式(8)和式(9)表示到达以及离开某个需求点的车辆有且只有 1 辆。

2 人工蜂群算法(ABC)

2.1 基本原理

人工蜂群算法是 Karaboga 在 2005 年提出的一种新型智能优化算法。在人工蜂群算法中,通过引领蜂、跟随蜂、侦查蜂 3 种角色的蜜蜂配合以及角色的转换来获得最优的食物源。而食物源的位置对应着优化问题的可能解,蜂群在食物源的收益度代表所优化问题的适应度。

算法开始,会随机产生有 N 个解的初始种群,并且每个解 $X_i (i = 1, 2, \dots, N)$ 都是 1 个 D 维的向量。随后,引领蜂记住最优解,在食物源的邻域进行搜索,初始化后,3 种蜜蜂循环搜索,搜索公式如下:

$$v_{ij} = x_{ij} + r_{ij} (x_{ij} - x_{kj}) \quad (10)$$

式中: v_{ij} 为候选食物源; $k \in \{1, 2, \dots, N\}$; $j \in \{1, 2, \dots, D\}$; k, j 两者随机产生, 且 $k \neq i$, r_{ij} 是 $[-1, 1]$ 上均匀分布的随机数。引领蜂采用贪婪的准则, 比较搜索解和之前最优解, 如果搜索解优于之前的最优解, 则替换; 反之保持不变。而跟随蜂选择食物源的概率为

$$p_i = f_i / \sum_{i=1}^N f_i \quad (11)$$

式中: f_i 为第 i 个解的适应度。如果一个食物源经过有限的 $limit$ 次循环, 依旧保持不变, 那么就放弃该食物源, 对应的引领蜂变为侦查蜂, 通过如下公式更新解:

$$x_i^j = x_{\min}^j + \text{rand}(0, 1) (x_{\max}^j - x_{\min}^j) \quad (12)$$

式中: x_i^j 为新食物源的第 j 维分量, x_{\max}^j 、 x_{\min}^j 分别为第 j 维分量的最大值、最小值。

2.2 求解路径优化的人工蜂群算法

2.2.1 构造食物源编码

经典的人工蜂群算法, 对于食物源的编码采用的是实数编码方式, 这在鲜活农产品配送路径优化问题中显然是不可行的, 配送中心进行配送的需求点是分散的, 因此需要对编码方式重新考虑。本研究对需求点采用自然数的编码方式, 则 1 条可行的食物源可以表示成 $(0, r_{11}, r_{12}, \dots, r_{1n}; 0, r_{21}, r_{22}, \dots, r_{2n}; 0, \dots, 0; r_{m1}, r_{m2}, \dots, r_{mn})$ 。此食物源表示第 1 辆车从配送中心出发, 到达需求点 $r_{11}, r_{12}, \dots, r_{1n}$ 后返回配送中心; 第 2 辆车从配送中心出发, 到达需求点 $r_{21}, r_{22}, \dots, r_{2n}$ 后返回配送中心; \dots ; 第 m 辆车从配送中心出发, 到达需求点 $r_{m1}, r_{m2}, \dots, r_{mn}$ 后返回配送中心。如有 3 辆车和 9 个需求点, 食物源 $x = 023601789045$, 表示第 1 辆车从配送中心出发到达需求点 2、3、6 后返回配送中心, 第 2 辆车从配送中心出发到达需求点 1、7、8、9 后返回配送中心, 第 3 辆车从配送中心出发到达需求点 4、5 后返回配送中心。

2.2.2 生成候选食物源

由于在人工蜂群中采用了新的食物源编码方式, 因此对候选食物源位置的更新也不能采用式 (10) 的方式。本研究通过交换邻域点的方法, 随机地将食物源中的 2 个邻域点交换位置来得到候选食物源。以 9 个需求点和 3 辆车进行说明, 图 1 表示交换前和交换后的食物源, 可见通过交换第 3 位和第 6 位的点, 可以得到候选食物源。交换前后食物源的变动不大, 因此可以保持变换前食物源的众多优良特性; 与此同时, 随机的位置交换增加了食物源选择的多样性, 避免陷入局部最优而得不到全局最优解。



图1 交换邻域点生成候选食物源

2.2.3 适应度函数

适应度函数是通过所建立的鲜活农产品冷链物流模型的目标函数进行转化得到的, 由于目标函数追求的是成本最小化, 故取其倒数, 转化为人工蜂群算法的适应度函数:

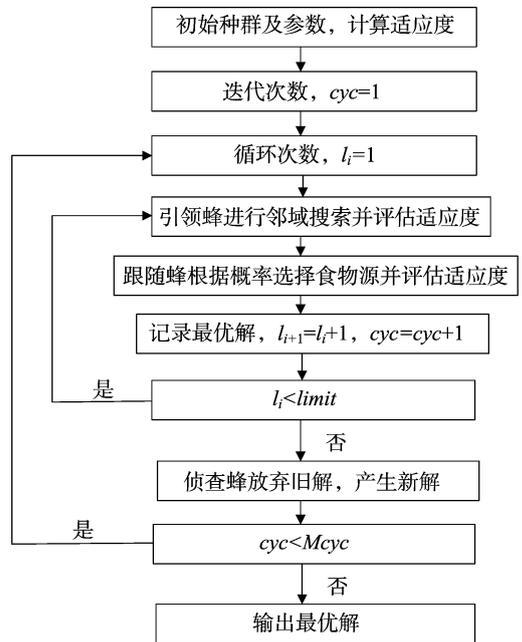
$$f = 1 / \min Z = 1 / \left[\sum_{i=0}^n \sum_{k=0}^n \sum_{j=0}^n d_{ijk} C_0 X_{ijk} + \sum_{j=1}^n G_j + \sum_{i=0}^n (Q_i - g_i) \cdot p \right] \quad (13)$$

2.2.4 算法步骤

采用人工蜂群算法求解鲜活农产品冷链物流配送路径优化的具体步骤: (1) 生成一定数量的食物源, 即初始解, 并且分配给每个引领蜂, 计算每个食物源的适应度

值 f_{xi} 。(2) 设置最大的迭代次数 $Mcycle$, 循环次数 $limit$, 每个解循环次数 $l_i = 0$ 。(3) 引领蜂对邻域进行搜索, 生成同等规模的新解 \tilde{x}_i , 比较新旧解的适应度, 若 $f(\tilde{x}_i) > f(x_i)$, 则新解 \tilde{x}_i 代替旧解 x_i ; 否则旧解保持不变, 并且 $l_{i+1} = l_i + 1$ 。(4) 跟随蜂以概率 p_i 选择食物源, 并且进行邻域搜索, 产生新解 \tilde{x}_i , 并计算适应度值 $f(\tilde{x}_i)$ 。选择最大的新解适应度值与旧解的适应度值比较, 若 $f(\tilde{x}_i) > f(x_i)$, 则新解 \tilde{x}_i 代替旧解 x_i ; 否则旧解保持不变, 并且 $l_{i+1} = l_i + 1$ 。(5) 进行解放弃的判断。如果存在 $l_i = limit$, 则放弃该解, 并由侦查蜂根据此解进行邻域搜索产生新解 \tilde{x}_i 。(6) 判断迭代次数是否达到最大值, 即是否到达初始设置的 $Mcycle$ 的值。若达到, 则输出最优解; 未达到, 则转至步骤 (3) 继续进行迭代。

利用人工蜂群算法解决鲜活农产品冷链物流配送模型的流程如图 2 所示。



cyc 为迭代次数; $Mcyc$ 为最大迭代次数

图2 鲜活农产品冷链物流路径优化问题 ABC 算法流程

3 数值算例

某城市鲜活农产品物流配送中心, 需要向其范围内的 15 个需求点进行配送。配送中心的配送车辆载质量不超过 8 t, 即 $Q = 8$ t, 车辆行驶速度为 50 km/h, $p = 0.1$ 元/kg, $C_0 = 0.5$ 元/km, 鲜活农产品对时间的敏感系数 $\beta = 1/200$ 。各需求点的需求量、处理时间以及时间窗如表 1 所示, 配送中心及各需求点之间的距离如表 2 所示。本研究利用 Matlab 语言编写人工蜂群算法程序, 并结合问题进行求解, 对于 ABC 算法参数设置为 $N = 15$, $Mcycle = 1000$, $limit = 100$ 。经过仿真试验 20 次, 得到稳定配送路线: R1 (0→4→1→11→0)、R2 (0→8→2→0)、R3 (0→13→3→7→0)、R4 (0→5→14→10→0)、R5 (0→9→6→0)、R6 (0→12→15→0), 所以配送中心需要安排 6 辆车进行鲜活农产品的配送。

仿真结果表明, 人工蜂群算法有较好的优化能力, 能够很

表1 各需求点需求量及时间窗约束

| 需求点 | 需求量(t) | 处理时间(h) | 时间窗 |
|-----|--------|---------|-------|
| 1 | 2.0 | 0.4 | [1,4] |
| 2 | 4.0 | 0.8 | [2,5] |
| 3 | 1.5 | 0.3 | [4,7] |
| 4 | 3.0 | 0.6 | [2,4] |
| 5 | 2.5 | 0.5 | [1,3] |
| 6 | 1.5 | 0.5 | [1,5] |
| 7 | 3.5 | 0.8 | [4,8] |
| 8 | 2.0 | 0.5 | [1,5] |
| 9 | 4.5 | 1.0 | [2,5] |
| 10 | 3.5 | 0.5 | [3,5] |
| 11 | 2.5 | 0.8 | [4,6] |
| 12 | 4.0 | 1.0 | [1,2] |
| 13 | 1.5 | 0.2 | [2,4] |
| 14 | 2.0 | 0.4 | [2,7] |
| 15 | 2.5 | 0.6 | [3,5] |

注:数据来源于《基于蚁群算法鲜活农产品配送路径优化研究》。下表同。

表2 配送中心及各需求点之间的距离

| 需求点 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 0 | 0 | 80 | 100 | 60 | 75 | 90 | 200 | 50 | 75 | 90 | 160 | 80 | 50 | 40 | 90 | 110 |
| 1 | 80 | 0 | 90 | 110 | 40 | 60 | 100 | 75 | 60 | 100 | 120 | 50 | 75 | 50 | 100 | 50 |
| 2 | 100 | 90 | 0 | 50 | 100 | 60 | 75 | 100 | 90 | 50 | 65 | 75 | 75 | 100 | 110 | 60 |
| 3 | 60 | 110 | 50 | 0 | 100 | 70 | 90 | 60 | 50 | 40 | 110 | 90 | 65 | 90 | 70 | 150 |
| 4 | 75 | 40 | 100 | 100 | 0 | 60 | 75 | 75 | 100 | 110 | 90 | 80 | 50 | 120 | 100 | 75 |
| 5 | 90 | 60 | 60 | 70 | 60 | 0 | 80 | 40 | 60 | 80 | 100 | 75 | 90 | 70 | 50 | 40 |
| 6 | 200 | 100 | 75 | 90 | 75 | 80 | 0 | 150 | 100 | 75 | 50 | 50 | 100 | 75 | 90 | 80 |
| 7 | 50 | 75 | 100 | 60 | 75 | 40 | 150 | 0 | 75 | 40 | 75 | 120 | 100 | 50 | 110 | 150 |
| 8 | 75 | 60 | 90 | 50 | 100 | 60 | 100 | 75 | 0 | 60 | 90 | 150 | 70 | 75 | 90 | 100 |
| 9 | 90 | 100 | 50 | 40 | 110 | 80 | 75 | 40 | 60 | 0 | 120 | 80 | 150 | 90 | 200 | 75 |
| 10 | 160 | 120 | 65 | 110 | 90 | 100 | 50 | 75 | 90 | 120 | 0 | 40 | 100 | 75 | 50 | 90 |
| 11 | 80 | 50 | 75 | 90 | 80 | 75 | 50 | 120 | 150 | 80 | 40 | 0 | 90 | 75 | 160 | 100 |
| 12 | 50 | 75 | 75 | 65 | 50 | 90 | 100 | 100 | 70 | 150 | 100 | 90 | 0 | 120 | 90 | 80 |
| 13 | 40 | 50 | 100 | 90 | 120 | 70 | 75 | 50 | 75 | 90 | 75 | 75 | 120 | 0 | 120 | 75 |
| 14 | 90 | 100 | 110 | 70 | 100 | 50 | 90 | 110 | 90 | 200 | 50 | 160 | 90 | 120 | 0 | 50 |
| 15 | 110 | 50 | 60 | 150 | 75 | 40 | 80 | 150 | 100 | 75 | 90 | 100 | 80 | 75 | 50 | 0 |

好地对冷链物流配送路径进行优化,为现实中的决策提供有力的支持。

4 结论

鲜活农产品的易腐特性,使得通过冷链物流进行运输时的路径选择变得尤为重要^[9-10]。科学的路线规划,不仅能够保证农产品的新鲜度,也能够满足需求点时间要求的基础上降低运输成本。本研究对鲜活农产品冷链物流配送问题等众多条件进行了抽象定义,建立数学模型,并根据鲜活农产品易腐的特点,将变质函数加入模型;同时引入了时间窗,让所研究的模型更加贴合实际且更加具有研究意义;将人工蜂群算法具体到鲜活农产品冷链物流配送模型上来,对建立的模型进行求解,并通过仿真试验证明了人工蜂群算法对鲜活农产品冷链物流路径优化模型具有有效性和可行性,表明人工蜂群算法对于解决此类问题具有很强的现实意义。

参考文献:

[1] Dantzig G B, Ramser J H. The truck dispatching problem [J]. Management Science, 1959, 6(1): 80-91.

- [2] Solomon M, Desrosiers J. Time window constrained routing and scheduling problems [J]. Transportation Science, 1988, 22(1): 1-13.
- [3] Brito J, Martínez F J, Moreno J A, et al. An ACO hybrid metaheuristic for close-open vehicle routing problems with time windows and fuzzy constraints [J]. Applied Soft Computing, 2015, 32: 154-163.
- [4] de Armas J, Melián-Batista B. Variable neighborhood search for a dynamic rich vehicle routing problem with time windows [J]. Computers and Industrial Engineering, 2015, 85: 120-131.
- [5] Kütükoğlu I, Öztürk N. An advanced hybrid meta-heuristic algorithm for the vehicle routing problem with backhauls and time windows [J]. Computers and Industrial Engineering, 2015, 86:

60-68.

- [6] 陈志新, 陈方玉, 胡贵彦, 等. 基于混合粒子群算法的配送车辆复杂路径优化 [J]. 物流技术, 2014, 33(7): 176-178.
- [7] 邹开俊, 王铁君. 基于改进差分进化的车辆路径优化算法 [J]. 计算机工程与应用, 2013, 49(13): 17-20.
- [8] 向敏, 袁嘉彬, 于洁. 电子商务环境下鲜活农产品物流配送路径优化研究 [J]. 科技管理研究, 2015(18): 166-171.
- [9] 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.
- [10] 李康, 郑建国, 伍大清. 生鲜农产品冷链物流配送干扰管理研究的思考 [J]. 江苏农业科学, 2015, 43(11): 588-591.