

文章编号:1005-0523(2019)04-0088-07

# 基于分级顾客满意度的水果电商物流配送网络选址-路径问题

陈 诚, 檀晓琳, 邓 颖

(福建农林大学交通与土木工程学院, 福建 福州 350002)

**摘要:**互联网高速发展下,具有巨大市场潜能的水果电商市场不断吸引着投资者与消费者。在激烈的市场竞争下,顾客满意度是影响企业市场竞争力的重要因素之一。文章基于水果特性,以水果新鲜度和配送时效性为标准对顾客满意度进行了分析,建立了基于分级顾客满意度的选址-路径优化模型,并设计了相应的求解算法。最后,通过实例应用验证了该模型的可行性与有效性。

**关键词:**水果电商;物流配送网络;顾客满意度;差异化

**中图分类号:**[U-9];F252.24

**文献标志码:**A

在互联网经济背景下,电子商务企业持续发展,其渗透领域也逐渐拓宽,尤其是市场广阔的水果电商。随着生活与消费水平的快速提高,对于优质新鲜水果的需求不断增长<sup>[1]</sup>,也吸引着越来越多的企业和投资者,然而在“互联网+”的创新性不断被颠覆的今天,真正能够盈利的水果电商寥寥无几<sup>[2]</sup>。其主要的原因是水果电商企业的顾客对产品配送及时性的要求会高于一般产品企业的顾客,而当前的水果电商物流体系仍然有所欠缺,相关企业在储存和运输过程中均承担着高损耗风险<sup>[3]</sup>。电商物流配送是指企业利用互联网技术与现代化设备,严格地对货物进行一系列的分类、编码、整理、配货等工作,最后定时、定点、定量地交给各类客户,满足其对商品的需求。电商物流配送具有高效率、适时控制、简单化、智能化等优势,但在当今货量大、货物质量要求高、配送路径复杂的背景下却频频出现配送效率低、顾客满意度低等问题。

随着水果电商的迅速发展,为了更好的满足顾客需求、提高顾客满意度,逐渐出现了一些有关水果电商物流配送的相关研究。陈靖和董明<sup>[4]</sup>研究了考虑客户对生鲜品保鲜度的要求下的生鲜品集配策略。范思远和许晓兵<sup>[5]</sup>基于电商高退货率的特点构建了水果电商正逆向物流网络优化模型,研究了网络中自提点和回收中心的选址问题。郭健全和王新月<sup>[6]</sup>构建了碳交易环境下两阶段水果电商企业跨区域闭环物流网络及配送车辆路径优化模型。王有鸿<sup>[7]</sup>以提高车辆满载率、降低配送成本为目标应用遗传算法聚类优化对生鲜农产品配送路线进行了设计。与一般商品相比,水果物流配送具有对物流配送时效性要求高、保鲜程度要求高、物流配送目的地分散等特点。合理的物流网络布局能有效提升客户服务水平、最小化系统总成本、增强需求反应能力<sup>[8]</sup>;因此,研究水果电商物流配送网络优化问题具有十分重要的实际意义。选址-路径优化问题(location-routing problem, LRP)是实现物流网络整体最优的有效途径<sup>[9]</sup>,而已有的生鲜农产品物流网络的相关研究只是大多分别解决节点布局和运输路径优化问题,或建立两阶段模型进行优化,很少从整体的角度进行综合考虑。此外,优化模型多以最小化总物流成本为目标,没有考虑到顾客满意度目标,未见考虑异质性顾客满意度的水果物流配送网络优化研究。

收稿日期:2019-01-07

基金项目:福建省自然科学基金面上项目(2017J01788);福建农林大学大学生创新训练项目(201810389229)

作者简介:陈诚(1982—),女,博士,副教授,研究方向为物流系统优化。

取得较高的顾客满意度是企业营销的最终目标,同时由于顾客异质性的影响,面向不同顾客提供不同的物流服务,即差异化物流服务是非常有必要的<sup>[10]</sup>。本文提出了基于分级顾客满意度的水果电商物流配送网络选址-路径优化模型,以系统总成本最小为目标函数,考虑不同等级客户的顾客满意度不同,实现物流网络中配送中心选址和车辆路径选择决策。该模型有机地结合了顾客满意度、物流配送网络中的战略和战术决策,能有效指导物流网络规划设计决策。

## 1 顾客满意度与物流服务差异化

### 1.1 顾客满意度

顾客满意度是顾客对企业所提供的服务及产品预期的估计,只有当顾客对服务质量的感知超越或等同于对服务质量的期望时,才会感到满意。当服务结束之后,顾客会把接受服务的体验和感受与期望作比较,即使面对同样质量的服务,抱有不同期望的顾客满意度也会不一样<sup>[11]</sup>。例如,在水果电商行业中,不同的顾客对水果的质量与服务响应时间期望存在差异。电商企业所拥有的客户资源是其宝贵的资产,获得客户资源有赖于企业取得较高的客户的满意度,即提高顾客满意度能够有效的留住客户,因此电商企业可以依据顾客的历史消费数据与评价对顾客进行满意度水平等级划分<sup>[12]</sup>,为不同等级的顾客确定不同的顾客满意度区间(图1)。

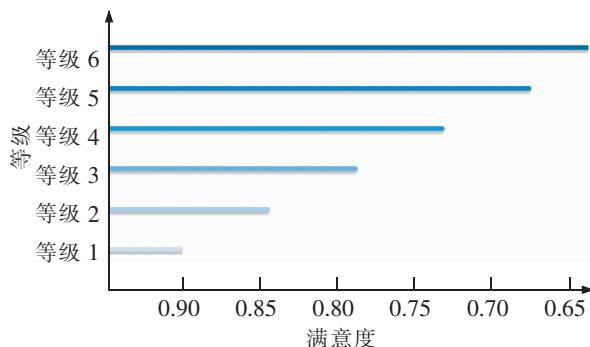


图1 差异性顾客的满意度区间图

Fig.1 Intervals of different customer satisfaction

### 1.2 物流服务差异化

物流服务差异化是指企业以提高顾客满意度为目标,结合自身实力并适应来自市场的需求,提供与其他企业具有差异性的物流服务<sup>[13]</sup>。可分为两种:① 着眼于外部竞争对手的差异化即外部差异化;② 着眼于已有客户群划分的差异化即内部差异化。其中内部差异化是基于现有的客户对其进行细分,提供不同的物流服务以在保证客户的满意度前提下降低成本<sup>[14]</sup>。水果电商企业基于差异化顾客满意度进行配送规划,保证各个等级的顾客满意度维持在其满意度区间内,是提高配送网络效率、保证客户满意度,降低配送网络成本的有效途径之一。

## 2 基于顾客满意度的水果电商选址-路径模型构建

### 2.1 水果电商顾客满意度函数

顾客满意度可以通过一定的定量指标来计算量化,然而不同行业的顾客所关注的指标并不完全一样。基于生鲜水果的特性,在电商模式下购买水果的顾客更看重配送的时效性及水果的新鲜度<sup>[12]</sup>。可以建立基于时间的顾客满意度 $\theta(t)$ 和基于水果新鲜度的顾客满意度 $f(t)$ 两个重要要素的组合满意度函数 $U(t)$

$$U(t)=\alpha \times f(t)+\beta \times \theta(t) \quad (1)$$

式中: $t$ 为顾客的等待时间; $f(t)$ 表示基于时间的顾客满意度函数; $\theta(t)$ 表示基于水果新鲜度的顾客满意度函数; $\alpha, \beta$ 分别为客户对配送而至的水果的等待时间与新鲜度的敏感系数即对应权重,且 $\alpha+\beta=1$ ,不同的顾客偏好不同其取值也不同。

时间满意度是指顾客对企业响应其需求所需时间的满意程度,而基于时间的顾客满意度函数则是指顾客对产品或服务的时间满意度与顾客等待时间的数学关系式<sup>[15]</sup>。对于水果电商的顾客而言,对配送时间的满意度与配送时间的关系为:在一定的时间(顾客期望)内,满意度变化较小,超过该时间则满意度

下降较快,当等待时间过长时,满意度下降到很低的水平,之后的变化也较小。本文采用余弦分布时间满意度函数(图2)。余弦分布时间满意度函数曲线在阈值  $L$  和  $U$  附近的时间满意度变化较小( $L$  为顾客感到非常愉快时所能接受的最长等待时间, $U$  为顾客感到非常不愉快时的最短等待时间,其中  $L < U$ ),曲线中间部分的斜率则较大。

余弦分布时间满意度函数的公式如式(2)所示

$$f(t) = \begin{cases} 1 & t \leq L \\ \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cos\left(\frac{\pi}{U-L} \left(t - \frac{U+L}{2} + \frac{\pi}{2}\right)\right) & L \leq t \leq U \\ 0 & t > U \end{cases} \quad (2)$$

基于新鲜度的顾客满意度可以用经济学中的效用理论来刻画<sup>[16]</sup>,如式(3)所示

$$\theta(t) = \theta_0 e^{-\eta t} \quad (3)$$

式中: $\theta_0 \in (0, 1)$ 为从配送中心配送时生鲜水果的新鲜度; $\eta \in (0, 1)$ 为水果新鲜度衰减指数,表示随着时间流逝新鲜度也随之下降。

## 2.2 基于顾客满意度的选址-路径优化模型的建立

本文构建的模型基于以下假设:每个顾客都能被配送中心服务,且配送中心的生鲜水果存量能够完全满足顾客需求;每条水果配送路线上的顾客需求量之和不能超过车辆的装载能力。每辆车可同时为一个或者多个顾客提供水果配送服务,配送车辆均从配送中心出发沿某条路线将水果配送给指定顾客,最后返回原配送中心。不考虑水果在配送中心储存与配送之前已经发生的损耗成本;配送车辆的配置成本、容量等事先已知。

### 2.2.1 参数与决策变量

1) 参数设定: $R$  为备选配送中心集合; $K$  为需求点集合; $A$  为配送网络中的节点集合; $M$  为车辆集合; $B_r$  为配送中心  $r$  的建设成本; $d_{ij}$  为节点  $i$  到点  $j$  的距离; $t_{ak}$  为节点  $a$  的服务时间与从节点  $a$  行驶至节点  $k$  的时间; $T_{am}$  为车辆  $m$  行驶至  $a$  点的时刻; $q_k$  为顾客  $k$  购买的水果重量; $Q_m$  为车辆  $m$  的装载量限制; $V_r$  为配送中心  $r$  的容量; $N$  为配送网络中所有点的数量; $c$  为单位距离的运输成本; $W_{km}$  为辅助变量, $W_{km} \geq 0$ ,该变量的引入是为消除路线  $m$  中的子回路; $U_k$  为顾客  $k$  的目标满意度。

### 2) 决策变量

$$H_r = \begin{cases} 1 & \text{配送中心 } r \text{ 被选择} \\ 0 & \text{否则} \end{cases}$$

$$Y_{rk} = \begin{cases} 1 & \text{客户 } k \text{ 由配送中心 } r \text{ 负责配送} \\ 0 & \text{否则} \end{cases}$$

$$X_{ijm} = \begin{cases} 1 & \text{车辆 } m \text{ 从节点 } i \text{ 行驶至节点 } j \\ 0 & \text{否则} \end{cases}$$

### 2.2.3 数学模型

建立如下的基于分级顾客满意度的水果电商物流配送网络选址-路径模型

$$Z = \min \sum_{r \in R} H_r B_r + \sum_{i \in A} \sum_{j \in A} \sum_{m \in M} c d_{ij} X_{ijm} + \sum_{r \in R} \sum_{k \in K} \sum_{m \in M} F_m X_{rkm} \quad (4)$$

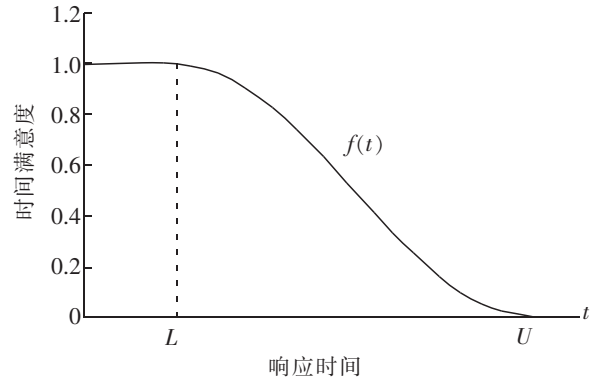


图2 余弦分布时间满意度函数  
Fig.2 Time satisfaction function with cosine distribution

s.t. :

$$\alpha f(T_{km}-T_{0m})+\beta\theta(T_{km}-T_{0m})\geq U_k, \forall k \in K, \forall m \in M \tag{5}$$

$$\sum_{a \in A} \sum_{m \in M} K_{akm}=1, \forall k \in K \tag{6}$$

$$\sum_{a \in A} \sum_{k \in K} q_k X_{akm} \leq Q_m, \forall m \in M \tag{7}$$

$$\sum_{i \in A} X_{ijm} - \sum_{i \in A} X_{jim} = 0, \forall m \in M, \forall j \in A \tag{8}$$

$$\sum_{r \in R} \sum_{k \in K} X_{rkm} \leq 1, \forall m \in M \tag{9}$$

$$\sum_{k \in K} q_k Y_{rk} - V_r H_r \leq 0, \forall r \in R \tag{10}$$

$$W_{am} - W_{km} + N^* X_{akm} \leq N - 1, \forall a \in A, k \in K, m \in M, k \neq a \tag{11}$$

$$\sum_{r \in R} Y_{rk} H_r = 1, \forall k \in K \tag{12}$$

$$T_{im} + t_{ij} - E(1 - X_{ijm}) \leq T_{jm}, \forall i, j \in A, m \in M \tag{13}$$

其中:式(4)为目标函数,表示由配送中心建设成本、运输配送成本、和车辆配置成本组成的总成本最小化;式(5)为顾客满意度约束,即将水果配送至顾客  $k$  时的顾客满意度应大于其目标满意度;式(6)保证每个顾客  $k$  被且仅被一辆车进行服务;式(7)为车辆容量约束,确保路线上行驶的車輛不超过其最大载重量;式(8)为网络中的流平衡约束;式(9)确保每一辆车只能从配送中心出发一次;式(10)为配送中心容量约束;式(11)保证车辆路径中均包含一个配送中心;式(12)保证所有的顾客都被分配给选中的配送中心;式(13)为车辆的行驶时间约束,保证两点间的时间顺序不会相互矛盾, $E$  为一个较大的正数。

### 3 模型求解与分析

#### 3.1 模型求解

LRP 属于 NP-Hard 问题,采用精确算法进行求解时容易受到问题规模的影响而导致求解时间无法接受,因此设计求解上述模型的遗传算法。遗传算法模拟生物进化的过程是一种全局优化搜索算法,简单通用、鲁棒性强、适于并行处理且应用范围广泛,具体步骤主要如图 3 所示。

1) 染色体编码。自然数编码是车辆路径问题(vehicle routing problem,VRP)常用的编码方式,而 LRP 问题需要在 VRP 问题编码的基础上加入区分不同配送中心的特性。因此本文采用  $1-N$  的自然数编码方式,其中  $1 \sim r$  表示备选配送中心, $r+1 \sim N$  表示顾客点,每个染色体的长度为  $N$ ,限制第一个基因位上的基因为备选配送中心,每个顾客分配给位于其前面的最近的配送中心,未被选中的配送中心则位于染色体的末尾。例如有 3 个候选配送中心(在染色体中表示为 1,2,3)和 6 个顾客(在染色体中表示为 4,5, ..., 9)的问题,染色

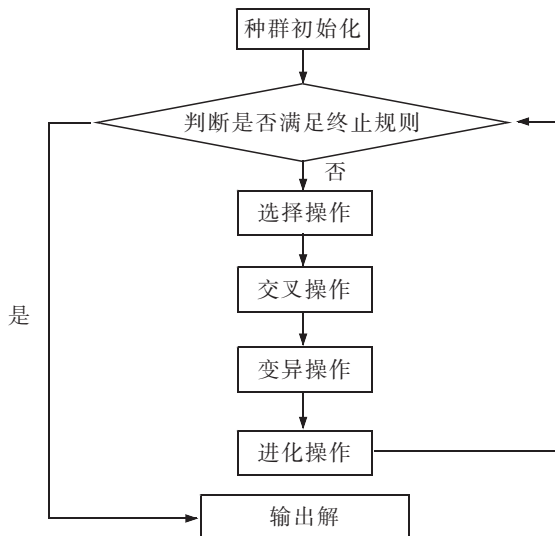


图 3 遗传算法流程图  
Fig.3 Procedure of genetic algorithm

体 1-2-4-9-3-6-5-8-7 表示配送中心 1 未被选中,顾客 4 和顾客 9 由配送中心 2 服务,顾客 6、5、8、7 由配送中心 3 服务;路线的分配则由车辆容量约束决定,对于由配送中心 2 服务的顾客 4 和顾客 9 而言,首先从配送中心 2 派出一辆车服务顾客 4 作为当前车辆路线,之后计算将顾客 9 加入该路线后是否会超出车辆容量约束,若是,则结束当前路线,再从配送中心 2 派出一辆车服务顾客 9,形成路线 2-4-2 和路线 2-9-2;若否,则将顾客 9 加入该路线,形成路线 2-4-9-2。

2) 种群初始化和适应度函数。设种群规模为  $num$ ,随机产生  $num$  个染色体。采用目标函数值与罚值之和的倒数计算个体的适应度值,如式(14)所示

$$F(s)=(f(s)+P(\max(0, \sum_{k \in K} (U_k-g_k))))^{-1} \quad (14)$$

其中: $F(s)$ 为适应度函数值; $f(s)$ 为原优化问题的目标函数; $P$ 为惩罚系数; $g_k$ 为顾客的实际满意度; $U_k$ 为顾客的目标满意度。

3) 选择操作。采用锦标赛选择机制从当前群体中选择个体进行交叉操作。随机选择种群中的两个染色体,比较其适应度值,其中适应度值大的染色体将作为父代之一进行交叉操作。

4) 交叉操作。基于自然数编码特点,采用部分映射交叉方式对选择操作算子选择出来的染色体进行交叉操作产生子代群体。部分映射交叉能保证交叉后表示节点各个自然数在交叉后得到的子代中仍然仅出现一次,即保证新解的可行性,具体步骤如下:

① 在父代上随机选择两个分割点,在父代  $F1$ 、 $F2$  上分别产生了一个基因片段: $sublist1$  和  $sublist2$ ;

② 交换  $sublist1$  和  $sublist2$ ,形成两个原型子代  $O1$  和  $O2$ ;

③ 将  $O1$  中除  $sublist2$  外的其他基因片段中与  $sublist2$  中重复的基因位标记出来,将  $O2$  中除  $sublist1$  外的其他基因片段中与  $sublist1$  中重复的基因位标记出来;

④ 按基因在  $sublist1$  中出现的顺序将  $O1$  中缺少的基因补齐,按基因在  $sublist2$  中出现的顺序将  $O2$  中缺少的基因补齐。

5) 变异操作。在交叉操作得到的群体中以一定的变异概率选取个体进行变异操作,对需要变异的个体,交换随机选取的两个基因位上的基因实现变异操作。

6) 进化操作。按照轮盘赌的选择方法,从由父代种群和子代群体组成的新群体中选择个体进入下一代。将群体中的全部个体按照适应度值从大到小排列,并计算各个适应度值占群体中全部适应度值总和的比例,该比例即为各个个体被选取进行下一代的概率,即适应度值越大的染色体具有更大的被选择概率,同时采用最优个体保存策略,保证最优个体以概率 1 进入下一代。

### 3.2 数值分析

以福州市某区域的水果电商物流配送为案例背景,经评估分析确定 2 个备选配送中心在该区域内随机产生 30 个需求点,需求量在区间  $[10,30]$  内的随机产生,需求点的顾客目标满意度服从  $U[0.7,0.9]$  的均匀分布。车辆最大容量限制为 80,车速为 30 km/h,每辆车的车辆使用成本为 150 元/d,每单位距离车辆配送成本为 1 元/km,配送中心建设成本为 1 000 元/d,最大容量为 1 000。水果的初始新鲜度  $\theta_0=0.95$ ,腐烂系数  $\eta=0.005$ ,需求点的顾客收货感受非常愉快时所能够接受的最长等待时间  $L=20$  min,需求点的顾客感到非常不愉快时的最短等待时间  $U=60$  min。根据本文算法求得的结果如图 4 所示,总成本为 7 462.53 元。

通过对基于分级顾客满意度的选址-路径优化模型进行求解,可以保证顾客的满意度不小于其目标满意度。一般而言,随着满意度的提高,成本增加,但将顾客分级处理后,则能以较低的成本保证较高的综合顾客满意度。表 1 给出了不区分不同等级顾客的 LRP 模型的求解结果,即为所有顾客分配相同的目标满意度,以及不考虑顾客满意度的 LRP 模型的求解结果。可以看出虽然考虑顾客的目标满意度后,总成本有所增加,但是对顾客满意度进行分级后,能以较低的成本增加获得较高的平均顾客满意度。

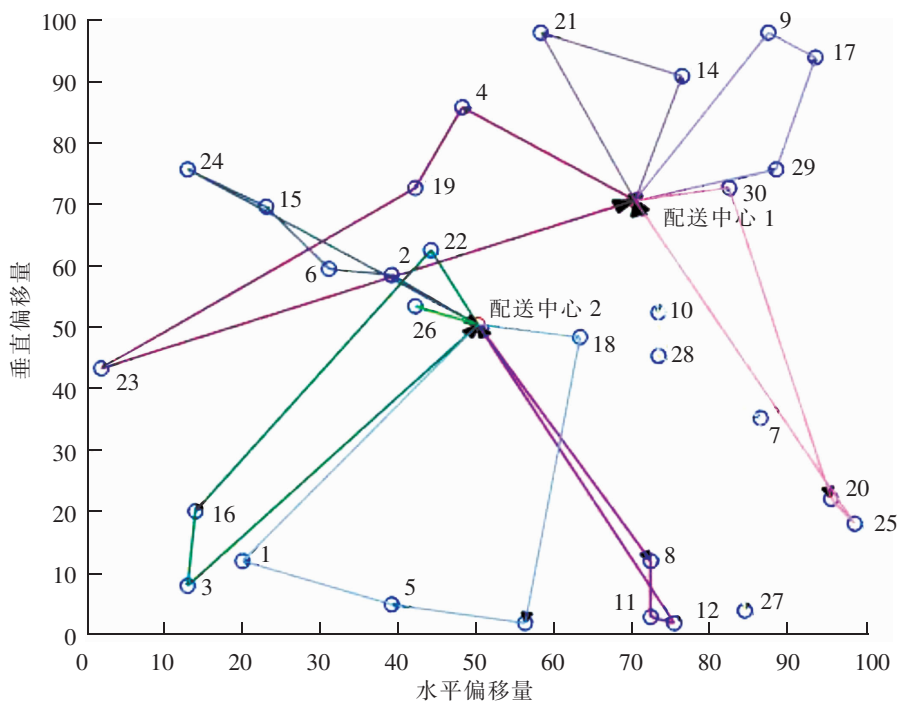


图 4 算例结果

Fig.4 Illustration of the results

表 1 不同顾客满意度 LRP 求解结果

Tab.1 Results of LRP with different customer satisfaction constraints

LRP 模型	目标顾客满意度	总成本/元
顾客目标满意度分级	平均顾客满意度 0.80	7 462.53
	0.75	7 471.08
	0.80	8 063.36
不考虑顾客满意度	-	7 359.3

#### 4 总结

物流配送网络规划问题对社会与企业均具有重要意义,论文基于新鲜度和时效性这两个电子商务模式下水果配送中重要的因素,建立了基于时间的顾客满意度度量模型,并建立了基于分级目标顾客满意度的水果电商物流配送选址-路径优化模型,以更贴近运作实际的关注企业和消费者的需求。运用遗传算法对模型进行求解,并进行了不同顾客目标满意度情形下的对比分析。数值分析结果表明,提出的分级目标顾客满意度 LRP 模型可行有效,能以较低的成本增加维持较高的综合顾客满意度。引入分级顾客满意度作为约束条件,在控制成本的情况下同时顾及水果电商企业的客户服务水平,得到的规划结果有助于企业资金有效的利用,从而为水果电商企业创造更大的市场竞争力。

#### 参考文献:

[1] 伍景琼,韩春阳,贺瑞. 生鲜食品冷链配送相关理论研究综述[J]. 华东交通大学学报,2016,33(1):45-54.  
 [2] 张娜. “互联网+”背景下福建农产品电商发展分析[J]. 农业展望,2018,14(8):101-105.

- [3] 张书乐. 水果营行:烧钱催不熟水果电商[J]. 销售与市场:管理版,2016(2):90-92.
- [4] 陈靖,董明. 考虑生鲜品新鲜度的集配策略研究[J]. 系统工程理论与实践,2018,38(8):2018-2031.
- [5] 范思远,许晓兵. 基于遗传算法的水果电商正逆向物流网络构建[J]. 物流工程与管理,2016,38(3):10-12+26.
- [6] 郭健全,王心月. 碳交易下水果电商跨区域闭环物流网络及路径[J]. 计算机集成制造系统,2017,23(4):874-882.
- [7] 王有鸿. 基于遗传算法的生鲜农产品物流配送路径聚类优化[J]. 江苏农业科学,2018,46(12):358-362.
- [8] KEIZER M,HAJEMA R,BLOEMHOF J M,et al.Hybrid optimization and simulation to design a logistics network for distributing perishable products [J].Computers & Industrial Engineering,2015,88(2):26-38.
- [9] 黄凯明,卢才武,连民杰. 三层级设施选址-路径规划问题建模及算法研究[J]. 系统工程理论与实践,2018,38(3):743-754.
- [10] 尹丽娟,袁丽娜,刘紫玉. 消费者个体特征及物流服务感知对网购平台选择的影响研究[J]. 工业工程,2018,21(3):49-58.
- [11] 宋玲. 电商物流深度配送顾客满意度研究[J]. 企业改革与管理,2016(23):59-61.
- [12] 朱建杰. 生鲜农产品网购物流支持策略及评价体系研究[D]. 北京:北京交通大学,2015.
- [13] 夏凡,闫丽丽,陈华婕. 差异化下 B2C 电子商务企业物流配送模式[J]. 物流技术,2014,33(19):127-128.
- [14] 弓宪文,邓正华. 第三方物流企业客户差异化服务策略探讨[J]. 重庆教育学院学报,2011(3):115-117.
- [15] 马云峰,张敏,杨培. 物流设施选址问题中时间满意度函数的定义及应用[J]. 物流技术,2005,24(9):26-29.
- [16] 王磊,但斌. 考虑保鲜影响消费者时变效用的生鲜农产品多品种订货模型[J]. 系统管理学报,2013,22(5):647-654.

## The Location-Routing Problem of Fruit E-commerce Enterprises Distribution Network Based on Classified Customer Satisfaction

Chen Cheng, Tan Xiaolin, Deng Ying

(College of Transportation and Civil Engineering, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China)

**Abstract:** With the rapid development of the Internet, the e-commerce markets of fresh fruits have attracted the attention of investors and consumers. In the fierce market competition, customer satisfaction is one of the important factors affecting the competitiveness of enterprises. Based on the characteristics of fresh fruits, the customer satisfaction was analyzed with freshness of fruits and timeliness of distribution as the indicators firstly. Then, the mathematic model of the location-routing problem based on classified customer satisfaction was developed. Meanwhile, the genetic algorithm for solving the model was designed. Finally, the model was validated through a case study and numerical analysis.

**Key words:** fruit e-commerce enterprises; logistics distribution network; customer satisfaction; differentiation