

张云川, 邹婷. 生鲜食品冷链物流配送路径优化[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(3): 315–319.

doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.03.074

# 生鲜食品冷链物流配送路径优化

张云川<sup>1,2</sup>, 邹婷<sup>1</sup>

(1. 武汉科技大学管理学院, 湖北武汉 430081; 2. 武汉科技大学服务科学与工程研究中心, 湖北武汉 430081)

**摘要:**随着人们生活水平的提高, 生鲜食品的新鲜度越来越受到重视, 这就对生鲜食品冷链物流的配送提出了更高要求。因此, 在现有第 3 方冷链物流配送路径优化研究的基础上, 建立新的成本和约束模型, 并给出采用模拟退火算法的优化方法。模型考虑了车辆行驶速度和载重量对运输能耗的影响, 区分了车辆在途和装卸阶段的制冷能耗, 用指数函数而不是常数来刻画食品的变质速率, 运用模拟退火算法对算例进行求解。结果表明, 更全面地考虑上述因素得到的配送路径与现有文献中给出的路径明显不同, 前者的总成本可以减少约 11%。

**关键词:**路径优化; 冷链; 生鲜食品; 模拟退火算法

**中图分类号:** F252 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)03-0315-04

食品冷链是指将易腐食品从产地收购或捕捞后, 经过产品加工、贮藏、运输、分销、零售环节, 最后到消费者手中, 其各个环节始终处于产品所必需的低温环境下, 以保证食品安全, 减少损耗, 防止污染的特殊供应链系统<sup>[1]</sup>。冷链物流中重要的一环就是配送, 在配送过程中为制冷会消耗大量的能源。因此, 研究冷链配送的优化对降低企业的经济成本和社会的碳排放成本都具有重要意义。

关于国内外对冷链物流配送优化的研究主要总结了以下 3 个方面。

## (1) 冷链物流配送成本构成研究

杨珍花等在分析冷链物流配送成本构成的基础上构建冷藏车多车型混合配送调度优化模型, 开发混合模拟算法, 并对比分析了不同车型组合下配送成本的差异, 但模型中对制冷成本的分析不够深入<sup>[1]</sup>。Kuo 重点研究了车速随时间变化的车辆路径问题, 将车速和载重作为能源消耗的影响因素<sup>[2]</sup>; 石兆等以运输、冷藏、货损和惩罚成本最小为目标, 建立数学模型, 在惩罚成本中考虑路况的实时变化, 并运用二阶段混合遗传算法求解算例<sup>[3]</sup>; 缪小红等研究了第 3 方冷链物流配送路径的优化问题, 以运输成本、货损成本、惩罚成本三者之和最小为目标构建冷链物流配送路径的基本模型, 但对能耗考虑得比较粗略<sup>[4]</sup>; 王海丽等建立了以包括制冷成本、车辆固定成本和运输成本在内的总成本最小为目标函数的易腐食品冷藏配送模型, 但模型中忽视了由于货物提前到达或延迟到达而付出的惩罚成本以及易腐食品的货损成本<sup>[5]</sup>; 吕俊杰等构建了基于冷藏车能耗成本分析的冷链物流配送路径优化模型, 但模型中对惩罚成本的分析不足<sup>[6]</sup>; 李娜等构建了不确定需求下易腐产品的生产配送优化模型, 解决了易腐产品的

生产配送联合决策问题, 但模型中将易腐产品的变质速度设为固定的常数, 与现实情况不太相符<sup>[7]</sup>。李进等提出了以能耗、碳排放和租车总成本最小为目标的低碳路径问题 (LCRP), 并考虑了速度和载重对总能耗的影响<sup>[8]</sup>。

## (2) 食品质量损失研究

Rong 等在计算货损成本时充分考虑了产品的质量水平, 构建混合整数线性规划模型并进行求解<sup>[9]</sup>; Zanoni 等分析了生鲜产品质量下降率和制冷所需要的能量与产品温度的关系, 研究发现产品质量、货损成本和供应链连续性与温度和库存时间密切相关<sup>[10]</sup>; Yu 等利用指数函数计算食品衰减量<sup>[11]</sup>; Kuo 等提出通过提高车辆利用率来保证产品质量和运输安全<sup>[12]</sup>。本研究将在已有研究的基础上对配送过程中的货损成本进行刻画。

## (3) 车辆路径优化模型求解方法研究

Brito 等运用模糊方法和混合 GRASP-VNS 启发式算法进行配送优化<sup>[13]</sup>; Zhang 等通过实时动态地收集冷链配送过程中产品的信息, 利用三阶段调度控制决策模型, 做出更合理的决策<sup>[14]</sup>; Zhang 等将径向基函数神经网络、模糊控制和数据分析方法进行结合<sup>[15]</sup>; Choi 等研究了线路优化模型的求解算法, 将不同的算法进行比较, 得出较优算法<sup>[16-18]</sup>。

综上所述, 现有文献已从不同的角度研究了冷链物流的优化问题, 并取得了较多的成果。关于第 1 个方面的研究, 现有文献提出的模型未能充分考虑不同阶段的能耗成本以及各阶段对其产生影响的因素, 将车厢剩余货量和车厢面积等因素单独考虑, 在实际配送过程中, 影响配送路径选择的因素十分复杂, 须要更加全面综合地考虑各因素。

本研究基于冷链配送的特性, 考虑的成本因素包括运输能耗成本、货损成本、制冷能耗成本、惩罚成本, 以这 4 项成本总和最小作为目标函数, 与约束条件一起建立数学模型, 求解目标最小值。其中, 运输能耗成本主要考虑车辆在行驶过程中的油耗成本, 利用指数函数来表示食品随时间变化的货损成本, 在计算制冷能耗成本时, 充分考虑不同阶段的影响因素。

收稿日期: 2017-11-28

基金项目: 湖北省教育厅人文社会科学重点项目 (编号: 17D008)。

作者简介: 张云川 (1972—), 男, 四川广安人, 博士, 教授, 研究方向为 IT 服务与物流服务。E-mail: zhang\_ye@live.com。

通信作者: 邹婷, 硕士研究生, 研究方向为物流系统优化与决策。E-mail: 1947390196@qq.com。

## 1 模型建立

### 1.1 问题描述

问题的实质是第3方冷链配送企业的一个配送中心对多个食品零售商的配送问题。已知客户数量、地理位置、需求量和时间窗,在满足所有客户需求量和时间窗的前提下,合理优化配送路径,达到考虑冷链特征的物流配送系统总成本最小的目标。车辆配送过程可分为车辆在途阶段和装卸阶段(图1)。

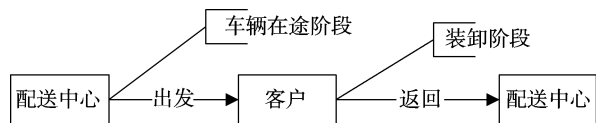


图1 车辆配送流程

### 1.2 模型假设

建立的数学模型基于以下假设条件。

(1)单一配送中心,配送中心的总货量大于所有零售商的需求量;(2)车辆从配送中心出发,完成任务后返回配送中心;(3)已知零售商数量、需求量、地理位置及时间窗;(4)配送中心对零售商的服务都采取整车配送的策略,每个零售商仅由1辆车服务1次,所有零售商都能得到服务;(5)车辆只负责送货,即单向物品流向;(6)所有零售商所需商品都由配送中心供给,零售商之间不存在相互调剂的情况;(7)配送车辆的车型相同,即单一车型配送,且每条线路上的送货任务只由一辆车承担;(8)运输路线上客户的总需求量小于单车的容量;(9)各零售商的需求量确定,并在一定时期内相对稳定。

### 1.3 符号说明

#### 1.3.1 参数

$G$  表示配送网络,  $G = (V, E)$ ;  $V$  表示节点集,  $V = \{0, 1, 2, \dots, n\}$ , 0 表示配送中心, 其余节点表示客户;  $E$  表示弧集,  $E = \{(i, j) | i, j \in V, i \neq j\}$ ;  $R_r^k$  表示第  $r$  条路径上第  $k$  个客户的编号,例如第2条路径为  $0-1-3-7-0$ , 则  $R_2^1 = 1$ ;  $m$  表示配送中心拥有的冷藏车数量,  $\{1, 2, \dots, u, \dots, m\}$  为冷藏车的集合;  $\lambda$  表示单位油耗的费用, 元/L;  $D_u$  表示冷藏车辆  $u$  的载重量, t;  $v_{ij}$  表示车辆从客户  $i$  到客户  $j$  的行驶速度, km/h;  $d_{ij}$  表示任意2个客户  $i, j$  之间的距离, km;  $P$  表示食品的平均单价, 元/t;  $q_i$  表示客户  $i$  的需求量, t;  $L_i$  表示客户  $i$  的卸货效率;  $t_{ij}$  表示车辆从客户  $i$  到客户  $j$  的行驶时间, h;  $s_i$  表示车辆在客户  $i$  处的卸货时间, h;  $a$  表示冷藏车早于客户要求的时间窗上限(但不早于可接受的时间窗上限)到达时,单位时间的惩罚系数;  $b$  表示冷藏车晚于客户要求的时间窗下限(但不晚于可接受的时间窗下限)到达时,单位时间的惩罚系数。

#### 1.3.2 状态变量

$t_u$  表示  $u$  到达客户  $i$  的时刻;  $t_{ju}$  表示车辆  $u$  到达客户  $j$  的时刻;  $t_0$  表示车辆  $u$  从配送中心出发的时刻。

#### 1.3.3 决策变量

$$x_{iju} = \begin{cases} 1, & \text{客户 } i \text{ 的紧后客户为客户 } j; \\ 0, & \text{否则} \end{cases};$$

$$y_{iu} = \begin{cases} 1, & \text{车辆 } u \text{ 服务客户 } i; \\ 0, & \text{否则} \end{cases};$$

$$x_{ijh} = \begin{cases} 0, & i \neq 0, j = 0 \\ 1, & \text{其他} \end{cases}。$$

### 1.4 冷链配送成本构成分析

本研究考虑的成本因素除了常规的运输能耗成本,还包括食品配送过程中因其变质而造成的货损成本,因车辆到达时间超出客户要求的时间窗而付出的惩罚成本,以及冷藏车制冷机组运转而产生的制冷能耗成本。

**1.4.1 运输能耗成本** 运输能耗成本主要考虑配送车辆油耗成本,暂不考虑其他成本因素。目前大多数研究中将运输能耗成本描述成与车辆行驶里程数成正比的函数,考虑的因素不够全面。其实行驶速度和车辆载重也对能源消耗有着很大的影响,本研究参考文献[2,8],将行驶里程、车辆行驶速度和载重量都纳入考虑的范围。

若额外载重量  $W$  带来油耗的增加率为  $p_1$ , 那么当该车辆从节点  $i$  到节点  $j$  的载重为  $H_{ij}$  时,行驶该路段的实际油耗  $FC_{ij}$  为

$$FC_{ij} = LPH_{ij} \times \frac{d_{ij}}{v_{ij}} \times \left(1 + p_1 \times \frac{H_{ij}}{W}\right)。$$

式中:单位时间的油耗  $LPH_{ij} = \frac{v_{ij}}{KPL_{ij}}$ ,  $KPL_{ij}$  为一辆空载车辆从节点  $i$  到节点  $j$  的单位燃油行驶里程,  $H_{ij}$  为车辆从节点  $i$  到节点  $j$  的载重量。因此,总的运输能耗成本  $C_1$  为

$$C_1 = \sum_{r=1}^N \sum_{k=1}^{V-1} \lambda \cdot FC_{(R_r^k)(R_r^{k+1})}。$$

**1.4.2 货损成本** 冷链食品腐败的主要原因是微生物的繁殖,随着腐败量的积累,腐败部分与正常部分的接触面积会越来越大,其腐败速度也随之加快,将其腐败速率设为常数不够准确<sup>[1]</sup>。文献[1]利用指数函数来刻画冷链食品腐败量随时间的变化,本研究采用相同的原理,将货损成本  $B(i)$  表示为

$$B(i) = Pq_i y_{iu} \int_{t_0}^{t_u + \frac{q_i}{L_i}} \alpha e^{\theta t} dt。$$

式中:  $\alpha, \theta$  是根据实际经验得到的食品腐败系数。

**1.4.3 惩罚成本** 本研究假设冷藏车到达客户处即开始卸货,不存在等待卸货时间。存在2个时间窗,即客户可接受的时间窗  $[t_{i1}, t_{i2}]$  和客户要求的时间窗  $[t_{i3}, t_{i4}]$ ,冷藏车在  $t_{i1}$  之前到达或者  $t_{i2}$  之后到达,将付出较高的惩罚成本  $M$  ( $M$  为足够大的正数);到达时间在  $[t_{i3}, t_{i4}]$  内,惩罚成本为0;到达时间在  $[t_{i1}, t_{i3}]$  内,单位时间的惩罚系数为  $a$ ;到达时间在  $[t_{i4}, t_{i2}]$  内,单位时间的惩罚系数为  $b$ ,则车辆  $u$  在  $t_{iu}$  时刻到达客户  $i$  所付出的惩罚成本  $F(t_{iu})$  的函数图像见图2。

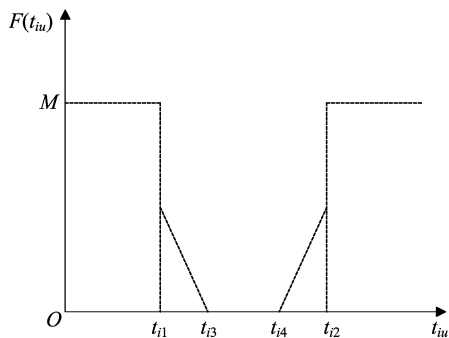


图2 冷藏车到达时刻与惩罚成本的关系

函数解析式如下:

$$F(t_{iu}) = \begin{cases} M, t_{iu} < t_{i1} \\ a(t_{i3} - t_{iu}), t_{i1} \leq t_{iu} < t_{i3} \\ 0, t_{i3} \leq t_{iu} \leq t_{i4} \\ b(t_{iu} - t_{i4}), t_{i4} < t_{iu} < t_{i2} \\ M, t_{iu} > t_{i2} \end{cases}。$$

1.4.4 制冷能耗成本 杨珍花等令制冷能耗成本与车厢内剩余货量成正相关进行求解,但未对装卸过程中产生的制冷能耗成本的影响因素进行细致深入的分析<sup>[1]</sup>,王海丽等分析了车辆行驶途中和打开车门时消耗的制冷成本,未考虑车厢内剩余货量这一因素<sup>[5]</sup>。本研究整合文献<sup>[1]</sup>和<sup>[5]</sup>提出的模型,考虑 2 个阶段的制冷能耗成本,即车辆在途阶段和装卸阶段。

(1) 车辆在途阶段

$$H_u = \sum_{j \in N} y_{uj}, \forall u; \quad (1)$$

$$Q_r = \sum_{k=1}^H q_{R^k}; \quad (2)$$

$$A_{k'} = Q_r - \sum_{k=1}^{k'-1} q_{R^k}, 1 \leq k' \leq H_u, \forall u。 \quad (3)$$

式中: $H_u$  表示第  $r$  条路径中客户的总数; $Q_r$  表示第  $r$  条路径中所有客户需求总量; $A_{k'}$  表示该路径中前往第  $k'$  客户时,车上剩余载货量。因此,这一阶段的制冷能耗成本  $C_{21}$  可以表示为

$$G_{21} = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n p_2 \times G \times t_{ij} \times A_{k'} \times x_{ijh} \times x_{ijh};$$

$$G = c_1 \times R \times S \times \Delta T。$$

式中: $G$  表示制冷剂消耗量; $c_1$  为常数; $R$  为热传导系数,  $W/(m \cdot K)$ ;  $S$  为车厢平均表面积,  $m^2$ ;  $\Delta T = T_w - T_0$  为外界温度  $T_w$  与车厢内温度  $T_0$  之差,  $K$ ; 决策变量  $x_{ijh}$  描述当车辆完成配送任务返回配送中心的路途中不需要开启制冷设备的情景; $p_2$  表示车辆在单位时间,载有单位质量时消耗的制冷成本。

(2) 装卸阶段

在这一阶段,主要考虑车门开启时车厢内外热交换带来的制冷能耗成本,可将这一阶段的制冷能耗成本  $C_{22}$  表示为

$$C_{22} = \sum_{i=1}^n \sum_{u=1}^m p_2 \times c_1 \times S \times \Delta T \times s_i \times y_{iu}。$$

因此,总的制冷能耗成本可以表示为  $C_2 = C_{21} + C_{22}$ 。

## 1.5 数学模型构建

用  $C$  表示配送总成本,目标函数如下:

$$\min C = C_1 + \sum_{i=1}^n B(i) + \sum_{i=1}^n \sum_{u=1}^m F(t_{iu}) + C_2。$$

约束条件如下:

$$\sum_{u=1}^m y_{iu} = 1, i \in N; \quad (4)$$

$$x_{iju} = 0, i = j \in N, \forall u; \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^n q_i y_{iu} \leq D_u, \forall u; \quad (6)$$

$$t_{ju} = t_{iu} + \frac{q_i}{L_i} + \frac{d_{ij}}{v_{ij}}, i, j \in N, \forall u; \quad (7)$$

$$t_{i1} \leq t_{iu} \leq t_{i2}, i \in N, \forall u; \quad (8)$$

$$R_r^1 = R_r^V = 0, \forall r = 1, 2, \dots, N。 \quad (9)$$

式(4)表示同一个客户只能由同一辆冷藏车服务;式(5)表示不能重复服务同一客户;式(6)表示冷藏车所载货物的质量

不超过其载重量;式(7)表示到达连续服务的 2 个客户时刻的递推关系;式(8)保证冷藏车到达客户  $u$  的时刻满足客户可接受的时间窗;式(9)表示每条路径的出发点和终点均为配送中心。

## 2 算法设计

根据模型特点,本研究采用模拟退火算法进行求解。设置算法的初始温度  $T_0$  为 1 000,终止温度为 0.001,降温速率  $\delta$  为 0.9,各温度下的迭代次数为 500,算法步骤如下。

第 1 步:初始化各项算法参数,随机产生一个初始解;第 2 步:计算迭代次数,初始化目标值矩阵及每代的最优路线矩阵;第 3 步:更新迭代次数,产生新解;第 4 步:根据梅特罗波利斯(Metropolis)法则判断是否接受新解,若目标函数增量  $\Delta t' < 0$ ,则接受当前新解,反之以概率  $\exp(-\Delta t'/T)$  接受新的当前解;第 5 步:记录每次迭代过程的最优路线,找出当前温度下最优路线,如果当前温度下最优路线所得成本小于上一路线的成本则记录当前路线,反之则记录上一路线;第 6 步:降温,  $T_0$  逐渐减少,返回第 3 步;第 7 步:如果满足终止条件,则输出当前解作为最优解,算法结束。一般取连续若干个新解都没有被接受时终止算法。

## 3 算例分析

### 3.1 算例验证

为验证算法的有效性,本研究给出 10 个客户数的算例进行分析,模型中的相关参数及取值见表 1,配送中的速度类型比见表 2,各速度类型的速度值见表 3,各零售商之间的距离及需求量见表 4,时间窗约束和服务时间见表 5。优化的目标是在满足客户需求和时间窗以及车辆载重量约束的前提下,合理安排配送路线,达到配送系统总成本最小。

表 1 模型中的相关参数及取值

参数	值	参数	值
$P$	4 000 元/t	$L_i$	1
$\lambda$	5.8 元/L	$R$	0.2
$p_2$	4.5	$S$	16 m <sup>2</sup>
$c_1$	0.91	$p_1$	0.02
$\alpha$	0.002	$\Delta t$	22 K
$a$	50	$D_u$	2 t
$\theta$	0.014	$W$	50 t
$b$	90		

表 2 配送交通中的速度类型比(区间中的速度根据此表随机产生)  
%

速度	交通类型			
	1	2	3	4
高速级别	35	25	30	40
中速级别	30	25	40	30
低速级别	35	50	30	30

表 3 各速度类型的单位燃油行驶距离

速度类型	车速(km/h)	KPL(km)
高速	[90,110]	5.56
中速	[50,70]	8.33
低速	[25,45]	6.25

表 4 配送距离及各配送点的需求量

配送点	至各配送点距离(km)											需求量 (t)
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
0	0	15	12	13	11	10	15	19	13	9	14	—
1	15	0	14	7	10	13	12	11	18	6	15	0.50
2	12	14	0	13	8	14	15	9	11	12	10	0.63
3	13	7	13	0	9	13	12	10	15	11	14	0.30
4	11	10	8	9	0	18	12	15	11	19	10	0.23
5	10	13	14	13	18	0	7	14	13	10	8	0.50
6	15	12	15	12	12	7	0	8	11	9	19	0.55
7	19	11	9	10	15	14	8	0	15	13	8	0.42
8	13	18	11	15	11	13	11	15	0	9	12	0.51
9	9	6	12	11	19	10	9	13	9	0	18	0.40
10	14	15	10	14	10	8	19	8	12	18	0	0.35

表 5 各配送点的时间窗及卸货时间

配送点	要求的时间窗	可接受的时间窗	卸货时间(h)
1	[07:00—09:00]	[06:50—09:10]	0.25
2	[07:00—09:00]	[06:50—09:10]	0.33
3	[07:00—08:40]	[06:50—08:50]	0.25
4	[07:20—08:00]	[07:10—07:50]	0.42
5	[08:00—09:00]	[07:50—08:50]	0.50
6	[07:10—09:10]	[07:00—09:00]	0.50
7	[07:00—08:30]	[06:50—08:20]	0.58
8	[07:00—08:00]	[06:50—07:50]	0.42
9	[07:00—09:00]	[06:50—08:50]	0.25
10	[08:00—09:10]	[07:50—09:00]	0.25

3.2 结果分析

通过计算,得到的较优配送方案为安排 3 辆车进行配送,3 辆车访问客户的顺序分别是 0-4-6-5-0;0-2-7-10-8-0;0-9-1-3-0。缪小红等给出的较优配送方案为安排 2 辆车进行配送,客户的访问顺序分别为 0-9-1-3-4-2-0,0-8-6-7-10-5-0,其给出的总配送成本仅为 2 762 元,主要原因是将货损系数设为固定常数,并且没有充分考虑制冷带来的能耗成本,导致其对总成本的估计与现实相差甚远<sup>[4]</sup>。按照本研究模型计算的 2 种配送方案下的相应成本见表 6。从 2 种配送方案的总成本进行分析,前者比后者的总成本降低约 11%。

表 6 2 种配送方案对应的成本

方案	车辆编号	客户数	客户访问顺序	运输能耗成本 (元)	货损成本 (元)	惩罚成本 (元)	制冷能耗成本 (元)	总成本 (元)
本研究给出的 较优配送方案	1	3	0-4-6-5-0	2 088	869	100	2 046	5 103
	2	4	0-2-7-10-8-0					
	3	3	0-9-1-3-0					
文献[4]给出的 较优配送方案	1	5	0-9-1-3-4-2-0	1 339	1 340	150	2 910	5 739
	2	5	0-8-6-7-10-5-0					

4 结束语

本研究分析了冷链配送成本的构成,并在此基础上建立了相关成本函数,包括运输能耗成本、货损成本、惩罚成本、制冷能耗成本,以这 4 项成本之和最小为目标建立了考虑制冷能耗成本的冷链物流配送路径优化模型,设计了模拟退火算法进行求解。通过一个算例验证了算法的可行性,将结果与此前文献提出的最优路径相对比,发现减少了实际配送成本。虽然算例只是一个特例,不能证明在一般情况下成本减少的幅度,但从原理上可以保证本研究提出的模型和算法找到的路径是较优的。

后续研究将关注不同变质速率食品混合、使用多种车型配送等更接近实际的情形;蓄冷式配送的成本构成和温度变化特征与制冷式配送不同,也值得研究。

参考文献:

[1]杨珍花,赖平仲,汤 洋,等. 冷藏车多车型混合配送调度优化

[J]. 系统工程,2015(10):28-36.

[2]Kuo Y. Using simulated annealing to minimize fuel consumption for the time - dependent vehicle routing problem [J]. Computers & Industrial Engineering,2010,59(1):157-165.

[3]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.

[4]缪小红,周新年,林 森,等. 第 3 方冷链物流配送路径优化研究 [J]. 运筹与管理,2011,20(4):32-38.

[5]王海丽,王 勇,曾永长. 带时间窗的易腐食品冷藏车辆配送问题[J]. 工业工程,2008,11(3):127-130.

[6]吕俊杰,孙双双. 基于鲜活农产品冷链物流配送的车辆路径优化研究[J]. 广东农业科学,2013,40(9):178-181.

[7]李 娜,王首彬. 不确定需求下易腐产品的生产配送优化模型 [J]. 计算机应用研究,2011,28(3):927-929.

[8]李 进,傅培华,李修琳,等. 低碳环境下的车辆路径问题及禁忌搜索算法研究[J]. 中国管理科学,2015,23(10):98-106.

[9]Rong A,Akkerman R,Grunow M. An optimization approach for

李佳欣,杨庆媛. 长江经济带 2005—2015 年土地利用效益及耦合协调发展[J]. 江苏农业科学,2019,47(3):319-326.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.03.075

# 长江经济带 2005—2015 年土地利用效益及耦合协调发展

李佳欣<sup>1</sup>, 杨庆媛<sup>2</sup>

(1. 西南大学地理科学学院, 重庆 400715; 2. 西南大学绿色低碳研究所, 重庆 400715)

**摘要:**土地利用效益是反映区域土地利用与社会经济发展状况的重要指标之一。以长江经济带 11 个省级行政单位为研究对象,基于“经济-社会-生态”三重视角构建土地利用效益综合评价指标体系,运用多因素综合评价法及耦合协调度模型对 2005—2015 年长江经济带土地利用效益的全面发展水平及其内部耦合协调性进行评价。结果表明,11 个省(市)土地利用的经济效益与社会效益具有较高的关联性,且经济发展与生态保护不具有明显冲突,土地利用经济效益和社会效益较高的区域分布在东部 3 省(市)(上海市、浙江省、江苏省),生态效益较高的区域以西部为主。从土地利用效益协调度来看,大致呈现东高西低的空间布局,时间上大部分省(市)以保持稳定和波动上升为主,且制约各省(市)协调发展的影响因素不同,应针对不同区域制定差异化土地政策,加强各省(市)土地管理与保护等方法提高土地利用效益。

**关键词:**土地利用;效益;熵值法;耦合协调;长江经济带

**中图分类号:** F299.27      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1002-1302(2019)03-0319-08

随着我国工业化、城镇化的快速深入推进,土地利用与社会经济发展的矛盾日益加剧,如何对有限的土地资源高效合理地利用,推进区域土地利用、社会经济、生态环境协调发展,是当前社会经济转型亟待解决的关键问题<sup>[1]</sup>。在这个过程中,合理配置土地资源、实现土地集约高效利用、不断提高土地利用效益是缓解土地供求矛盾的一个重要突破口<sup>[2]</sup>。土地利用效益是指土地数量、质量在时间和空间上的安排和优

化给区域带来的经济、社会和生态效益的总和<sup>[3]</sup>。土地利用效益作为衡量土地资源利用水平的指标之一,可以反映一个国家或者地区的经济管理水平和资源优化配置程度,土地利用效益越高则说明资源优化配置越合理,土地利用的集约水平越高。

土地利用效益评价一直是学术界研究的热点问题之一<sup>[4]</sup>,国内外学者开展了大量的理论与实践探索,主要包括土地利用效益评价指标体系研究、区域差异研究、耦合协调关系研究、评价方法研究等<sup>[2-9]</sup>;随着研究的逐渐深入,相关研究成果不断丰富,研究方向也从单一的土地经济效益<sup>[10]</sup>、土地社会效益<sup>[11]</sup>、土地生态效益<sup>[12]</sup>向土地综合效益<sup>[13]</sup>转变,同时,土地利用效益与新型城镇化建设的相互关系<sup>[14]</sup>等方面的研究成果也不断涌现;研究对象从之前的单体城市研究到现在的经济带、城市群研究转变,并突出其时空演变模式;研究

收稿日期:2017-11-29

基金项目:教育部人文社会科学研究规划基金项目(编号:14YJAZH097)。

作者简介:李佳欣(1994—),女,安徽合肥人,硕士研究生,主要研究方向为土地经济与政策。E-mail:ljx940212@163.com。

通信作者:杨庆媛,博士,教授,博士生导师,主要研究方向为土地经济与政策。E-mail:yizyang@swu.edu.cn。

managing fresh food quality throughout the supply chain [J]. International Journal of Production Economics, 2011, 131(1): 421-429.

[10] Zaroni S, Zavarella L. Chilled or frozen? Decision strategies for sustainable food supply chains [J]. International Journal of Production Economics, 2012, 140(2): 731-736.

[11] Yu M, Nagurney A. Competitive food supply chain networks with application to fresh produce [J]. European Journal of Operational Research, 2013, 224(2): 273-282.

[12] Kuo J C, Chen M C. Developing an advanced Multi-Temperature Joint Distribution System for the food cold chain [J]. Food Control, 2010, 21(4): 559-566.

[13] Brito J, Martinez F J, Moreno J A, et al. Fuzzy optimization for distribution of frozen food with imprecise times [J]. Fuzzy Optimization & Decision Making, 2012, 11(3): 337-349.

[14] Zhang J, Shi J, Lou E P, et al. Optimizing distribution strategy for

perishable foods using RFID and sensor technologies [J]. Journal of Business & Industrial Marketing, 2010, 25(8): 596-606.

[15] Zhang K, Chai Y, Yang S X, et al. Pre-warning analysis and application in traceability systems for food production supply chains [J]. Expert Systems with Applications, 2011, 38(3): 2500-2507.

[16] Choi E, Tcha D W. A column generation approach to the heterogeneous fleet vehicle routing problem [J]. Computers & Operations Research, 2007, 34(7): 2080-2095.

[17] Leung S C H, Zhang Z, Zhang D, et al. A meta-heuristic algorithm for heterogeneous fleet vehicle routing problems with two-dimensional loading constraints [J]. European Journal of Operational Research, 2013, 225(2): 199-210.

[18] Subramanian A, Penna P H V, Uchoa E, et al. A hybrid algorithm for the heterogeneous fleet vehicle routing problem [J]. European Journal of Operational Research, 2012, 221(2): 285-295.