

食品流通与包装

基于外部效应的水果采后预冷节点布局优化研究

皮晓芳¹, 谢如鹤², 褚力其³, 胡子瑜¹, 付荣华¹, 赵文德¹

(1.广州番禺职业技术学院, 广州 510000; 2.广州大学, 广州 510006;

3.西北农林科技大学, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 目的 揭示预冷在前端冷链物流中的重要地位。方法 从预冷外部效应的视角出发, 通过冷链物流外部效应最大化和成本最小化的成本综合模型, 优化前端冷链物流节点; 同时运用市场价值法对水果采后预冷的外部效应价值量进行测算, 并通过从化荔枝的实例说明具体的优化和测算过程。结果 布局优化预冷节点后, 产生的外部效应总价值量是预冷节点布局成本的92倍, 占到整年荔枝销售总额的1/5。结论 预冷节点的推广, 不仅可以为自身创造经济价值, 也可产生巨大的外部效应, 且在调节果蔬产销矛盾, 延长供应期, 稳定和增加农民收益等方面发挥着积极作用。

关键词: 预冷节点; 外部效应; 冷链物流; 节点优化

中图分类号: TS255.3 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2019)19-0121-09

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2019.19.018

Layout Optimization of Pre-cooling Nodes after Fruit Harvest Based on External Effects

PI Xiao-fang¹, XIE Ru-he², CHU Li-qi³, HU Zi-yu¹, FU Rong-hua¹, ZHAO Wen-de¹

(1.Guangzhou Panyu Vocational and Technical College, Guangzhou 510000, China;

2.Guangzhou University, Guangzhou 510006, China;

3.Northwest A&F University, Yangling 712100, China)

ABSTRACT: The work aims to reveal the important position of pre-cooling in front-end cold chain logistics. From the perspective of pre-cooling external effects, the front-end cold chain logistics nodes were optimized through the cost synthesis model of maximizing the external effect and minimizing the costs of cold chain logistics. Meanwhile, the value of external effects of post-harvest pre-cooling of fruits was estimated by market value method, moreover, the specific process of optimization and calculation was explained by the example of litchi in Conghua. After the layout optimization of pre-cooling nodes, the total value of the external effects was 92 times that of the layout cost of the pre-cooling nodes, accounting for 1/5 of the total sales of litchi in the whole year. The extension of pre-cooling node can not only create economic value for itself, but also produce huge external effect. It plays an active role in regulating the contradiction of fruit and vegetable production and marketing, prolonging the supply period, stabilizing and increasing farmers' income, et al.

KEY WORDS: pre-cooling node; external effect; cold chain logistics; node optimization

收稿日期: 2018-12-09

基金项目: 国家社会科学基金 (17BJY102)

作者简介: 皮晓芳 (1991—), 女, 广州番禺职业技术学院管理学院助教, 主要研究方向为农产品冷链物流。

通信作者: 谢如鹤 (1963—), 男, 博士, 广州大学工商管理学院教授、博导, 主要研究方向为农产品冷链物流。

我国是果蔬生鲜类的供给大国,根据中国统计年鉴的数据显示,国内果蔬生鲜产品在配送过程中的损耗占比高达 20%~30%,而在发达国家这项数据仅为 1.7%~5%。截止到 2017 年底,国内果蔬、肉类和水产的冷链运输比例分别为 30%, 50%, 65%。此外,即使采用冷链运输,因前端缺少及时预冷处理,其损耗率依然高达 15%,根据近期年份的市价进行折算,损失在千亿元以上。这都是以实际货物损失进行的价值量测算,如果考虑冷链运输过程中所产生的外部效应,运用市场价值法对其进行进一步估算,其损失将远超千亿元以上。

国内外学者对于生鲜农产品的冷链预冷研究主要集中在不同的预冷方法对农产品产生预冷效果的影响,而对冷链物流的外部效应及其政府对策研究甚少。舒辉^[1]通过总结不同的绿色冷链配送模式,对企业的外部性进行了深入讨论,证明了政府应尽量减少监督成本,严惩负外部效应,奖励正外部效应。林晶^[2]在成本内部化的理论基础上,从环境问题、能源问题、人力资本问题等多角度进行测量,并针对市场机制、公共政策和社会福利等方面的物流外部性补偿对策进行了分析。刘丹^[3]构建计量模型得出,政策环境、技术创新等外部因素可以增强生产性服务业对制造业产生的外溢效应,其中信息化水平对物流业外溢效应的作用最为显著。朱立龙^[4]构建了政府和冷链食品企业间的博弈模型,探讨了不同情况下各自的最优策略选择,得出冷链企业提供食品质量好坏与政府的监管和惩罚力度高低有关。诸裕祥^[5]基于要素投入规模及其效率视角分析了区域物流发展非均衡的动态演进过程、形成机理及其外部效应,虽对物流行业发展中经济增长的外部效应进行了检验,但没有具体地测算价值量。

国外的冷链物流已经相当成熟,学者对于物流中的外部效应研究主要集中在交通轨道方面。Cravioto^[6]等通过搜集现有数据,对墨西哥道路运输的外部性进行了价值量估算。结果表明,道路交通外部性的价值每年至少达到 59.42 亿美元,占 GDP 的 6.24%。按组成部分计算,事故所占比例最大(28%),其次是拥堵(22%)、温室气体(21%)、空气污染(13%)、基础设施(7%)和噪音(9%)。Teng^[7]指出区域物流信息平台具有巨大的外部效益,能够整合物流资源,降低物流成本,促进节能减排。其中物流效应最为显著,环境效应、社会效应和经济效应平稳增长。Adler^[8]认为运输系统具有很强的外部性,且受人们主观意志影响难以测量。其可通过创建一个感知尺度,选择实验法来激发个体的偏好,并运用混合 Logit 模型来获得外部性的价值率。SERRANO-HERNÁNDEZ 等^[9]将车辆类型的外部性作为间接成本,与所有权的直接总成本相结合,将生命周期排放和时间损失转换成 3 种具有代表性的城市轻型车辆

成本,即内燃机、混合动力和电动车辆,该研究结果便于车辆比较和辅助交通决策。在冷链方面,目前国外学术界的研究多数在于冷链技术的应用和评价体系方面。Gogou 等^[10]认为冷链管理可以优化产品的新鲜度和安全性。基于冷链数据库的冷链预测软件,可根据现有或用户定义的动力学数据计算不同冷链阶段的产品货架期状态。Defraeye 等^[11]认为对冷链性能进行更全面的评估是开发更具资源效率、能源智能食品供应链的关键。

综上所述,在生鲜农产品冷链物流方面,国内外学者大多围绕冷链的意义和效率提升方面开展研究。在外部效应方面,缺乏对农产品冷链物流外部效应指标体系的研究及清晰、统一的核算方法。此外,对于生鲜农产品的前端冷链物流和前端预冷的研究更少。文中前端物流范围为水果采收到集货点,再从集货点到预冷节点为止。水果采收之后到集货点、集货点到预冷节点均为常温运输,预冷之后的配送均为冷链配送。文中从水果采后预冷的外部效应为出发点,构建基于外部效应前端预冷节点的布局优化模型;并运用市场价值法和数学建模等方法,测算水果采后预冷会产生外部效应的货币价值量,可为政府或者投资者提供投资、补偿的依据。

1 水果采后预冷的外部效应价值量测算模型

1.1 水果采后预冷的外部效应界定

外部效应又称为“外部性”、“溢出效应”和“外部影响”等。外部效应(Externality)通过对显示过程中不同生产者和消费者进行描述,表明在正常经济行为进行时,因不同经济体的行为导致了其他经济体在完成资源配置时受到不确定的影响,因而造成交易过程与预期的一致性。也就是说,市场价格并没有真正体现出外部效应导致的经济交易成本或者效应变化^[12]。水果采后预冷的基本功能就是将果蔬迅速降温到最佳温度,使果蔬保持在最佳品质。除了基本功能之外,水果预冷的过程中还会产生相对应的生态效应、社会效应和经济效应,具体可参考表 1。

根据公共物品的有关理论,水果采后预冷的生态效应和社会效应具有明显的非排他性和非竞争性,因此,水果采后预冷的生态效应和社会效应在总体上符合公共物品的 2 个基本特征,都具有明显的外部效应。文中主要测量生态效应的外部性,即耕地、垃圾处理和碳排放的价值量测算。

1.2 水果采后预冷的外部效应模型构建

1.2.1 节省耕地的价值量模型

节省耕地的外部效应主要是指基于耕地生态系

表 1 水果采后预冷的效应分类
Tab.1 Effect classification of fruit pre-cooling after harvest

种类	生态效应	社会效应	经济效应
效应	节省耕地	预冷的食品安全效应	降低农产品损耗
	垃圾处理效益	产品价格稳定	提高装载率
	二氧化碳的排放	社会保障效应	提高农民边际收入
		科技效应	延长货架期
			运输能力的提高

统的产品或者生命系统支持功能直接或间接产生的一种外部效应,对其价值量测算的实质是对该范围内耕地生态系统服务功能效应的一种测度^[13]。文中的耕地外部效应只考虑区域外部性,在该地区所产生的外部效应。假设该地区有*i*个生产基地,该地的外部效应不具有溢出性,且每个生产基地的土地质量一样,每亩水果产量相同,且产品的市场价格以当年的平均市场价格为基准。

单个生产基地的节省的耕地面积表示为:

$$L_i = \frac{M_i}{q_i} q_i \theta = K_i q_i \theta \tag{1}$$

该耕地面积的外部价值量和为:

$$PL_i = L_i N \sum E_l \tag{2}$$

该地区的耕地外部价值量综合为:

$$P = \sum_i \sum_l L_i N E_l \tag{3}$$

式中:*q_i*为*i*地区的农产品产量(t);*M_i*该*i*地区的耕地面积(公顷);*θ*为水果的净腐损率;*K_i*为生产单位农产品需要的耕地面积;*P*为荔枝耕地面积所产生的外部价值量总和;*L_i*为节省的耕地面积;*N*为该区域自然条件下单位面积所生产的农产品价值;*E_l*为生态系统中的单位生态服务的价值当量因子,*l*表示当量因子表中的项目。

1.2.2 垃圾处理的价值量测算

水果腐损率的降低,减少了水果的腐烂量,扩大了水果的可销售量,从而减少了整个社会处理垃圾的成本。通过对垃圾的分类,计算出当地处理单位垃圾的社会成本,从而测算出垃圾处理的总价值量。腐烂的果蔬垃圾一般当做农村的生活垃圾来处理。目前,国内对于生活垃圾的成本核算方面缺少统一标准,不同地区的核算价格不同,因此,文中将从生活垃圾的收集、转运、填埋的整个垃圾处理环节来进行水果预冷所节省垃圾的价值量测算。

具体计算见式(4)。

$$G = \sum_i (\theta_1 - \theta_2) \times q_i \times P_L \tag{4}$$

式中:*G*为区域节省的垃圾处理的价值总量;*θ₁*为无预冷常温运输的腐损率;*θ₂*为有预冷低温配送的腐损率;*q_i*为*i*生产基地的水果产量;*P_L*为处理单位果蔬垃圾的当地市场价格。

1.2.3 碳排放的价值量测算

测算碳排放的方法分为2种,一种是投入产出的道路运输碳排放模型,另一种是过程分析的道路运输碳排放测算模型。文中采用后者来计算采取水果采后预冷后荔枝冷链路径的碳排放量。

过程分析法是基于“生产活动—运输方式—油耗”理论的一种测算方法。在道路运输碳排放测算模型中,不同能耗类型的车辆所产生的碳排放量不同,根据现有车型、车辆、行驶里程数、单位行驶的能源消耗来测算。

具体公式见式(5)。

$$T = \sum_v \sum_u N_{vu} M_{vu} F_{vu} P_v R_v \tag{5}$$

式中:*T*为基于过程分析法的道路运输过程中碳排放的是市场价值量;*v*为道路运输能源类型;*u*为道路运输车辆类型;*N_{vu}*为使用*v*能源、*u*类型车辆的数量;*M_{vu}*为使用*v*能源、*u*类型车辆的行驶里程,*F_{vu}*为使用*v*能源、*u*类型车辆的单位行驶里程燃料消耗量;*P_v*为*v*类型能源的CO₂排放系数;*R_v*为碳税率。

外部效应总的价值量为上述3部分之和,节省耕地和垃圾处理节省产生的效应为正外部效应,碳排放为负外部效应,因此用*U*来表示外部效用的总函数,则*U* = *P* + *G* - *T*。

2 水果采后预冷的前端成本模型

2.1 前端冷链物流总成本目标

文中前端物流节点有产地(批量种植养殖户、散户、生产基地)、集货点和预冷节点。由于集货点一般都建立在产地附近,考虑到建立预冷中心后,冷链运输配送成本增加,因此构建集货点到预冷节点再到经营主体的二级前端冷链物流网络。文章重点讨论了多个备选预冷节点的选址问题,以使前端冷链物流网络的总成本最小。

$$c_{\min} = \sum_{j=1}^i F_j Z_j + \sum_{j=1}^i w_j W_j + \sum_{i=1}^i \sum_{j=1}^j X_{ij} C_{ij} Q_{ij} S_{ij} + \sum_{j=1}^j \sum_{k=1}^k X_{jk} C_{jk} Q_{jk} S_{jk} +$$

$$P_f \left(\sum_{i=1}^i \sum_{j=1}^j \theta_1 X_{ij} Q_{ij} + \sum_{j=1}^j \sum_{k=1}^k \theta_2 X_{jk} Q_{jk} \right) \quad (6)$$

式中: $\sum_{j=1}^j F_j Z_j$ 为建造预冷节点所需要支付的固定成本; $\sum_{j=1}^j w_j W_j$ 为建造预冷节点所需要支付的变动成本; $\sum_{i=1}^i \sum_{j=1}^j X_{ij} C_{ij} Q_{ij} S_{ij}$ 为从集货点到预冷节点的运输费用; $\sum_{j=1}^j \sum_{k=1}^k X_{jk} C_{jk} Q_{jk} S_{jk}$ 为从预冷节点到经营者主体的运输费用; $P_f \left(\sum_{i=1}^i \sum_{j=1}^j \theta_1 X_{ij} Q_{ij} + \sum_{j=1}^j \sum_{k=1}^k \theta_2 X_{jk} Q_{jk} \right)$ 为易腐食品因腐烂而导致的货损成本。

2.2 前端水果采后预冷外部效应的价值量目标模型

水果采后预冷的外部效应以生态效应中耕地的节省、垃圾处理的减少、碳排放的增加等 3 部分来进行衡量。前端冷链物流网络的外部效应最大价值量函数见式(7)。

$$U_{\max} = \sum_i \sum_l L_i \times N \times E_l + \sum_i (\theta_1 - \theta_2) \times q_i \times P_L - \left(\sum_{i=1}^i \sum_{j=1}^j X_{ij} S_{ij} N_{ij} F_{vu} P_v R_v + \sum_{j=1}^j \sum_{k=1}^k X_{jk} S_{jk} N_{jk} F_{vu} P_v R_v \right) \quad (7)$$

式中: $\sum_i \sum_l L_i \times N \times E_l$ 为由于节省耕地而产生的外部效应价值量; $\sum_i (\theta_1 - \theta_2) \times q_i \times P_L$ 为因果蔬垃圾量减少而带来的外部效应价值量; $\sum_{i=1}^i \sum_{j=1}^j X_{ij} S_{ij} N_{ij} F_{vu} P_v R_v$ 为由集货点到预冷节点所产生的碳排放价值量; $\sum_{j=1}^j \sum_{k=1}^k X_{jk} S_{jk} N_{jk} F_{vu} P_v R_v$ 为由预冷节点到经营主体所产生的碳排放价值量。

2.3 目标函数的确定

在对前端冷链网络求解时,外部效应经常被人忽略不计,因此要充分考虑成本最小化和外部效用最大化的目标,主体不同对两者的偏好会产生不同。对于多目标问题的求解,首要是将多目标进行转换,将外部效应最大化函数进行同等转化成最小化函数,再与成本最小化函数进行加总得到函数 $f(x)$ 。

$$f(x)_{\min} = \sum_{j=1}^j F_j Z_j + \sum_{j=1}^j w_j W_j + \sum_{i=1}^i \sum_{j=1}^j X_{ij} C_{ij} Q_{ij} S_{ij} + \sum_{j=1}^j \sum_{k=1}^k X_{jk} C_{jk} Q_{jk} S_{jk} +$$

$$P_f \left(\sum_{i=1}^i \sum_{j=1}^j \theta_1 X_{ij} Q_{ij} + \sum_{j=1}^j \sum_{k=1}^k \theta_2 X_{jk} Q_{jk} \right) - \sum_i \sum_l L_i \times N \times E_l - \sum_i (\theta_1 - \theta_2) \times q_i \times P_L + \left(\sum_{i=1}^i \sum_{j=1}^j X_{ij} S_{ij} N_{ij} F_{vu} P_v R_v + \sum_{j=1}^j \sum_{k=1}^k X_{jk} S_{jk} N_{jk} F_{vu} P_v R_v \right) \quad (8)$$

将多目标模型转换成了单目标模型,即外部效应在内化,将外部效应所产生的成本也考虑在预冷中心布局的总成本规划之中。

3 实证分析

从化因盛产荔枝为名,经调研,目前从化市共有 14 个荔枝生产基地,温泉镇 4 个,太平镇 2 个,城郊街 2 个,鳌头镇 2 个,良口镇、街口街、江埔街各 1 个,还有国道上的 1 个果场。文中以这 14 个荔枝生产基地的耕地数和荔枝生产量为测算依据,根据前文所建立的模型,先对其采后预冷的外部效应进行分析,再基于外部效应进行预冷节点的布局优化。

3.1 外部效应的计算

3.1.1 节省耕地的相关参数

1) 节省耕地的面积。根据对从化市农产品相关企业的实地调研,目前从化市有 14 家以荔枝为主要农产品的生产基地。根据实验结果显示,荔枝贮藏 15 d (在 4℃下)后,在不预冷常温(25℃)运输、不预冷低温(4℃)运输、预冷常温(25℃)运输、预冷低温(4℃)运输等 4 种物流条件下妃子笑果实的腐烂率分别 15.19%, 11.11%, 4.35% 和 3.75%^[14]。由此可见,预冷低温运输比不预冷常温运输的腐损率降低了 11.44%,由于文中计算了净外部效应,所以根据式(1),荔枝的腐损率 θ 为 11.44%,可得出由于水果采后预冷而节约的荔枝耕地面积,14 家荔枝生产基地的荔枝节约面积具体参见表 2。

2) 单位生态服务价值量。单位耕地面积生态服务价值量的测算一般是通过谢高地等^[15]制定的当量因子表中的因子,对不同生态系统进行相对应的测算。谢高地等在定义 6 个生态系统 9 种项目的单位面积生态服务价值时,是根据全国的平均水平值来进行测算的,因此不同地区的生态价值表还应根据该地区的经济环境水平进行相应调整。文中将荔枝的耕地面积与农田相对应,并进行修正。

从化地区 2016 年开始推广新技术,对试点进行区域划分,有条理地进行品种改良。通过高接换种等技术,将淮枝替换为井岗红糯等品种。2017 年的收购价更是超过了 40 元/kg,最高卖到 52 元/kg,糯米糍、桂味等荔枝品种价格则稳定在 20 元/kg 左右。根据从

表 2 从化各荔枝生产基地的水果采后预冷节省耕地面积
Tab.2 Area of cultivated land saved by pre-cooling after harvest of fruit in various litchi production bases of Conghua

序号	荔枝生产基地	荔枝面积/公顷	荔枝产量/t	腐损率	节约耕地/公顷
1 [#]	从化市温泉镇云星村云台山荔枝基地	87.23	223.38	0.1144	9.98
2 [#]	从化市温泉镇平岗村金鸡社荔枝基地	1528.23	3913.38	0.1144	174.83
3 [#]	从化市温泉镇天湖村黄竹田荔枝基地	2989.04	7654.10	0.1144	454.03
4 [#]	从化市温泉镇新南村石古塘荔枝基地	449.48	1150.99	0.1144	68.28
5 [#]	从化市太平镇荔枝无公害标准化生产基地	113.90	291.67	0.1144	17.30
6 [#]	从化市神岗镇荔枝无公害标准化生产基地	234.50	600.49	0.1144	35.62
7 [#]	从化市良口镇荔枝无公害标准化生产基地	921.43	2359.54	0.1144	139.97
8 [#]	从化市街口镇荔枝无公害标准化生产基地	134.00	343.14	0.1144	20.35
9 [#]	从化市江埔镇荔枝无公害标准化生产基地	674.22	1726.49	0.1144	102.41
10 [#]	从化市九里步国营果场（荔枝）	0.54	1.39	0.1144	0.08
11 [#]	从化市鳌头镇横江青龙果场荔枝基地	2696.88	6905.96	0.1144	409.66
12 [#]	从化市城郊镇荔枝无公害标准化生产基地	916.94	2348.03	0.1144	139.28
13 [#]	从化市民乐镇荔枝无公害标准化生产基地	898.96	2301.99	0.1144	136.55
14 [#]	从化市棋杆镇荔枝无公害标准化生产基地	2022.66	5179.47	0.1144	307.24
合计		13 668	35 000		2015.59

注：数据来源于从化区政府门户和统计年鉴数据

化区农业部门统计, 2016 年从化荔枝总产量为 3.5 万 t, 产值约为 3.8 亿元, 因此不论品种, 荔枝的平均价格为 10 857.14 元/t (10.85 元/kg)。根据从化市 2006—2016 年由统计局统计的荔枝年产量数据, 可以计算得出平均年产量为 3.15 万 t, 以 2016 年的荔枝市场价格 10.85 元/kg 为准, 种植荔枝的面积为 13 668 hm², 并考虑到没有人力投入的自然生态系统提供的经济价值为市场经济价值的 1/7^[16], 可得出从化荔枝耕地自然生产荔枝的经济价值为 3 574.56 元/hm²。(31 500×10 857.14/13 668=25 021.94 元/hm²/7=3574.56 元/hm²)

再根据式 (2), 由当量因子表可得出从化地区节约荔枝耕地面积的单位生态价值量, 计算得出生态服务价值量为 24 700.21 元/hm²。

3.1.2 垃圾处理的相关参数

据调查数据显示, 目前广东省农村 57.76% 的垃圾为生活垃圾, 其主要的处理方式卫生填埋^[17]。从化荔枝大多生产于从化的农村地区, 因此, 文中在计算荔枝垃圾的外部效应时以卫生填埋的成本来进行价值量测算。

目前生活垃圾的处理成本没有统一的核算标准, 不同地区处理垃圾的社会成本也不同。由于缺乏广州市处理垃圾的相关数据, 文中将在刘松毅^[18]确定的北京全社会卫生填埋成本的基础上进行修正得出广州的全社会卫生填埋成本。

首先为了准确且有可比性, 有必要把 2012 年的

北京市价格调整到同年广东省的相对可比价, 其具体方法是根据中国统计年鉴中的区域居民消费指数为基准, 进行相应调整^[19]。由于贴现率的选择在跨期成本 (或收益) 分析中影响显著, 对未来的价格进行预测时, 将利率考虑在内。根据中国人民银行最近一次公布的利率调整, 2015 年 5 月 11 日起下调金融机构人民币贷款基准利率至 5.1%, 存款基准利率为 2.25%, 因此文中选择 5% 作为基准贴现率。此外, 还考虑了通货膨胀, 采用 2016 的居民消费指数进行修正, 得出单位垃圾填埋处置社会成本为 4584.6 元/t。

3.1.3 碳排放的相关参数

1) 碳排放系数的确定。不同能源的碳排放系数不同, 部分能源的碳排放系数见表 3。由于从化目前进行集货运输的大多数车辆都是常温汽油车, 因此文中选择汽油的碳排放系数作为计算碳排放的价值量参数。

2) 其他相关系数。假设集货点到预冷中心、预冷

表 3 各种能源的碳排放系数
Tab.3 Carbon emission factor of energies

名称	数值	来源
天然气的碳排放系数/(kg·m ⁻³)	2.699	IPCC
标准煤的碳排放系数/(kg·t ⁻¹)	2.4567	国家发改委能源研究所
车用汽油碳排放系数/(kg·L ⁻¹)	2.263	IPCC
电能的碳排放系数/(kg·kW ⁻¹ ·h ⁻¹)	0.853	南方电网

中心到经营主体的车型均为每辆 5 t, 车速为 55 km/h, 集货点到预冷节点的常温车辆耗油量为 15 L/100 km; 预冷节点到经营主体的冷藏车耗油量为 18.6 L/100 km。根据《中国碳税制度框架设计报告》预计到 2020 年, 碳税税率为 40 元/t, 即碳排放成本为 0.04 元/kg。

3.2 采后预冷节点的参数确定

3.2.1 备选地址的位置

考虑到集货中心是产地市场的基础环节, 主要目的是为了把小而分散的产量迅速集中到一起, 再进行整体配送以达到节约成本、有效配置资源的效果, 因此一般设立在生产地附近。目前, 从化目前总共有 14 个荔枝生产基地, 5 个经营主体 (即农贸市场)。根据产量和地理位置, 我们将产地 1 和 10 合并成集货点 P1 (编号), 产地 4 和 5 合并成集货点 P4, 其他生产基地的集货点就在生产基地里, 则一共有 12 个地理位置已知的集货点。综合考虑从化区自然环境、经济区域、地理位置、交通便利程度等多方面因素, 文中确定了 5 个备选预冷节点。给每个集货点、预冷节点和经营主体都相应的编上编号, 集货点用 P 来表示, 预冷节点用 W 来表示, 经营主体用 A, B, C, D, E 来表示。其中, 集货点的集货量根据预测的从化荔枝产量为基准。

3.2.2 其他相关参数

1) 备选预冷节点的投资成本。依据广东省农业机械研究所的调查结果, 农村建设 60~500 m³ 的小型冷库, 投资金额在 6~25 万元范围内。由于从化地区各预冷中心、集货点和经营主体的距离相近, 荔枝的配送费用占比较小, 为避免投资成本的影响, 以致不能合理规划出最小的成本配送路径, 因此文中假设 5 个备选预冷节点的投资运营成本都为 20 万元。备选预冷节点的投资成本、单位管理成本、年周转量见表 4。

表 4 备选预冷节点的投资成本、
单位管理成本、年周转量

Tab.4 Investment cost, unit management cost, annual turnover of alternative pre-cooling nodes

预冷节点	投资运营成本/万元	单位管理成本/元	仓库年周转量/万t
W1	20	3	3
W2	20	4	2.5
W3	20	5	2.4
W4	20	2	1.7
W5	20	4	2

2) 腐损率。根据实验结果显示, 荔枝贮藏 15 d (4℃) 后, 在不预冷常温 (25℃) 运输、预冷低温 (4℃) 运输等 2 种物流条件下的妃子笑果实腐烂率

分别为 15.19% 和 3.75%, 可分别计算出 15 d 内每小时的腐损系数为 0.0422% 和 0.0100%。由于从化地区内运输距离较短, 都在 1 h 内, 冷链与常温的腐损率都按 1 h 的腐损率计算, 因此 θ_1 为 0.0422%, θ_2 为 0.0100%。

3) 单位运输成本。从集货点 i 到预冷中心 j 的单位运输成本 C_{ij} 为 0.03 元/(t·km), 从预冷中心到经营主体 k 的单位运输成本 C_{jk} 为 0.08 元/(t·km)。

3.3 模型求解

通过 Lingo 软件, 将上述参数带入模型求解, 可以得到预冷中心的选择结果, 为 1 和 4 建立预冷中心将会使成本最小化, 其结果显示的最优解为负数, 可见由于外部效应函数的转变, 其价值量的大小超过成本函数, 从而整体值为负。具体集货点和预冷中心的配送路径和运输量结果见表 5。

表 5 最优配送路径和配送量

Tab.5 Optimal distribution path and distribution volume

集货点	运输量/t	预冷中心	运输量/t	经营主体
P4	342.64	W1	13 000	A
P5	600.49			
P7	343.14			
P8	1726.490			
P9	6057.75			
P10	2348.03	W4	5900	B
P11	2301.99			
P12	5179.47			
P1	224.77			
P2	3913.38	W4	4700	C
P3	7654.10			
P6	2359.54			

根据表 5 的显示结果, 可以求出前端构建预冷中心后的前端总成本。耕地、垃圾处理和碳排放的总价值量, 详见表 6。为了进一步考察外部效应的价值量大小, 各个荔枝生产基地产生的耕地、垃圾处理的外部效应价值量见表 7。

表 6 总成本与外部效应价值量

Tab.6 Value scale of total cost and external effect

名称	价值量/元
总成本	736 794
耕地的外部效应	49 785 479
垃圾处理的外部效应	18 356 738
碳排放	-3119

3.4 结果分析

综合以上计算结果可知, 备选地址 W1 和 W4 为

表 7 从化各荔枝生产基地的耕地外部价值量
Tab.7 External value scale of cultivated land in various litchi production bases in Conghua

荔枝生产基地	节省耕地的价值量/元	垃圾减少价值量/元
从化市温泉镇云星村云台山荔枝基地	246 497.46	117 159.18
从化市温泉镇平岗村金鸡社荔枝基地	4318 323.36	2 052 480.53
从化市温泉镇天湖村黄竹田荔枝基地	11 214 751.05	4 014 410.44
从化市温泉镇新南村石古塘荔枝基地	1 686 428.73	603 670.74
从化市太平镇荔枝无公害标准化生产基地	427 348.45	152 972.82
从化市神岗镇荔枝无公害标准化生产基地	879 835.05	314 944.04
从化市良口镇荔枝无公害标准化生产基地	3 457 178.90	1 237 525.02
从化市街口镇荔枝无公害标准化生产基地	502 762.89	179 968.02
从化市江埔镇荔枝无公害标准化生产基地	2 529 643.09	905 506.12
从化市九里步国营果场（荔枝）	2036.19	728.87
从化市鳌头镇横江青龙果场荔枝基地	10 118 572.38	3 622 024.46
从化市城郊镇荔枝无公害标准化生产基地	3 440 314.61	1 231 488.32
从化市民乐镇荔枝无公害标准化生产基地	3 372 857.46	1 207 341.49
从化市棋杆镇荔枝无公害标准化生产基地	7 588 929.28	2 716 518.35
合计	49 785 478.91	18 356 738.40

最优的理想预冷节点。通过综合比较，W1 和 W4 地址有大量土地有待开发，同时交通便利、地理位置优越。其中，W1 与广州市冷链物流发展规划中从化物流园区鳌头冷链物流基地的位置相一致，符合实际的总体规划。

在具体价值量方面，建立 2 个预冷节点的总成本为 73.7 万元。外部效应方面：节省耕地、垃圾处理为正外部效应，节约的价值量分别为 4978.5 万元和 1835.7 万元；由于从化目前还是使用的汽油冷藏车，对环境会产生碳排放，因此碳排放量为负外部效应，其碳排的外部价值量为-3119 元，由此可得出净外部效应的价值量为 6813.9 万元。按每吨荔枝经预冷中心处理后增值 700 元计算^[20]，荔枝经过预冷后运销可为农户增值 2590 万元。

4 结语

文中从外部效应的视角出发，构建了外部效应最大化和成本最小化综合模型，通过实证研究对以上模型进行了检验，主要研究结论如下所述。

1) 预冷可产生巨大的外部效应。通过系统分析前端预冷会产生效应，从社会、生态、经济 3 方面进行了具体的分析，根据外部效应所具有的非竞争性和排他性来界定文中所研究的外部效应范围。再根据市场价值量法，得出了生态效应中的节省耕地、垃圾

减少和碳排放相应的价值量分别为 4978.5 万元、1835.7 万元和-3119 元。

2) 以从化荔枝为例，验证了基于外部效应的水果采后预冷节点模型的有效性。根据优化模型，对从化荔枝的前端冷链物流进行了系统分析，通过数据搜集和模型计算，求出了其最优的选址和配送路径。产生的外部总体效应为 6813.9 万元，是整个预冷中心运作成本的 92 倍，是整年荔枝销售总额的 1/5。农民、果蔬贮运户或专业合作组织投资预冷中心，政府进行补贴，不仅可以为自身创造经济价值，也可产生巨大的外部效应。此外，预冷节点的推广，在调节果蔬产销矛盾、延长供应期、稳定和增加农民收益等方面可发挥积极的作用，可作为我国产地果蔬冷库的重要组成部分。

3) 此研究虽为政府扶持冷链物流的发展，推广冷链物流技术提供了投资和补偿依据，但文中只考虑了生态方面的价值量测算，如要进行全面预冷节点外部效应的衡量测算，可将社会效应中的食品安全、产品价格稳定、推动科技进步等产生的效应考虑在内。

参考文献：

[1] 舒辉，李建军. 物流负外部性及其政府规制[J]. 中央财经大学学报, 2013(1): 58—64.

- SHU Hui, LI Jian-jun. Negative Externality of Logistics and Its Government Regulation[J]. Journal of the Central University of Finance and Economics, 2013(1): 58—64.
- [2] 林晶. 多目标模型下商贸流通业物流外部性的补偿性研究[J]. 商业经济研究, 2015(17): 33—34.
- LIN Jing. A Compensatory Study on the Externality of Trade Circulation Logistics under Multi-objective Model[J]. Commercial Economics Research, 2015(17): 33—34.
- [3] 刘丹, 陈冰. 增强生产性服务业对制造业外溢效应的外部因素[J]. 技术经济, 2015, 34(11): 109—116.
- LIU Dan, CHEN Bing. External Factors to Enhance the Spillover Effect of Producer Services on Manufacturing Industry[J]. Technical Economy, 2015, 34 (11): 109—116.
- [4] 朱立龙, 郭鹏飞. 政府—冷链食品企业质量安全监管博弈分析[J]. 中国管理科学, 2016, 24(S1): 644—649.
- ZHU Li-long, GUO Peng-fei. Game Analysis on Quality and Safety Supervision of Government-cold Chain Food Enterprises[J]. Management Science of China, 2016, 24(S1): 644—649.
- [5] 诸裕祥, 陈恒. 我国区域物流业发展非均衡及其外部效应估计——基于要素投入及其效率的分析[J]. 商业研究, 2018(1): 112—121.
- ZHU Yu-xiang, CHEN Heng. Unbalanced Development of China's Regional Logistics Industry and Its External Effects: an Analysis Based on Factor Input and Its Efficiency[J]. Business Research, 2018(1): 112—121.
- [6] CRAVIOTO J, YAMMSUE E, OKUMURA H, et al. Road Transport Externalities in Mexico: Estimates and International Comparisons[J]. Transport Policy, 2013, 30(4): 63—76.
- [7] TENG H Y, LU H L, GAO Y H. The Performance Evaluation of the External Effect of Regional Logistics Information Platform[J]. Applied Mechanics & Materials, 2014, 599/600/601: 1887—1890.
- [8] ADLER M W, JOS N, OMMEREN V. Does Public Transit Reduce Car Travel Externalities? Quasi-naturalexperiments' Evidence From Transit Strikes[J]. Journal of Urban Economics, 2016, 92(14): 106—119.
- [9] SERRANO-HERNÁNDEZ A, ÁLVAREZ P, LERGA I, et al. Pricing and Internalizing Noise Externalities in Road Freight Transportation[J]. Transportation Research Procedia, 2017, 27: 325—332.
- [10] GOGOU E, KATSAROS G, DERENS E, et al. Cold Chain Database Development and Application as a Tool for the Cold Chain Management and Food Quality Evaluation[J]. International Journal of Refrigeration, 2015, 52: 109—121.
- [11] DEFRAEYE T, NICOLAI B, KIRKMAN W, et al. Integral Performance Evaluation of the Fresh-produce Cold Chain: a Case Study for Ambient Loading of Citrus in Refrigerated Containers[J]. Postharvest Biology and Technology, 2016, 112: 1—13.
- [12] 王传伦, 高培勇. 当代西方财政经济理论[M]. 北京: 商务印书馆, 1995: 25—30.
- WANG Chuan-lun, GAO Pei-yong. Contemporary Western Financial and Economic Theory[M]. Beijing: Commercial Press, 1995: 24—30.
- [13] 牛海鹏, 肖东洋, 郜智方. 多层次作用边界下粮食主产区耕地保护外部性量化及尺度效应[J]. 资源科学, 2016, 38(8): 1491—1502.
- NIU Hai-peng, XIAO Dong-yang, GAO Zhi-fang. Quantification and Scale Effect of Cultivated Land Protection Externality in Main Grain Producing Areas under Multi-level Action Boundary[J]. Resource Science, 2016, 38(8): 1491—1502.
- [14] 李秋月, 龙桂英, 巴良杰, 等. 不同物流条件对荔枝采后贮藏期间果实品质的影响[J]. 广东农业科学, 2014, 41(16): 96—99.
- LI Qiu-yue, LONG Gui-ying, BA Liang-jie, et al. Effects of Different Logistics Conditions on Fruit Quality of Litchi during Postharvest Storage[J]. Agricultural Science of Guangdong, 2014: 41(16): 96—99.
- [15] 谢高地, 鲁春霞, 冷允法, 等. 青藏高原生态资产的价值评估[J]. 自然资源学报, 2003(2): 189—196.
- XIE Gao-di, LU Chun-xia, LENG Yun-fa, et al. Valuation of Ecological Assets in Qinghai-tibet Plateau[J]. Journal of Natural Resources, 2003(2): 189—196.
- [16] 牛海鹏, 张安录. 耕地保护的外部性及其测算——以河南省焦作市为例[J]. 资源科学, 2009, 31(8): 1400—1408.
- NIU Hai-peng, ZHANG An-lu. Externality of Arable Land Protection and Its Calculation-taking Jiaozuo City, Henan Province as an Example[J]. Resource Science, 2009, 31(8): 1400—1408.
- [17] 高海硕, 陈桂葵, 黎华寿, 等. 广东省农村垃圾产生特征及处理方式的调查分析[J]. 农业环境科学学报, 2012, 31(7): 1445—1452.
- GAO Hai-shuo, CHEN Gui-kui, LI Hua-shou, et al. Investigation and Analysis of Rural Garbage Generation Characteristics and Treatment Methods in Guangdong Province[J]. Journal of Agricultural Environmental Sciences, 2012, 31(7): 1445—1452.
- [18] 刘松毅, 李伟, 李文进, 等. 厌氧发酵生物技术处理果蔬废弃物分析及展望——基于北京新发地农产品

- 批发市场的调查[J]. 农业展望, 2013, 9(10): 58—61.
- LIU Song-yi, LI Wei, LI Wen-jin, et al. Analysis and Prospect of Anaerobic Fermentation Biotechnology for the Treatment of Fruit and Vegetable Wastes: a Survey Based on Beijing New Agricultural Products Wholesale Market[J]. Agricultural Outlook, 2013, 9(10): 58—61.
- [19] 宋国君, 杜倩倩, 马本. 城市生活垃圾填埋处置社会成本核算方法与应用——以北京市为例[J]. 干旱区资源与环境, 2015, 29(8): 57—63.
- SONG Guo-jun, DU Qian-qian, MA Ben. Method and Application of Social Cost Accounting for Municipal Solid Waste Landfill Disposal: Taking Beijing as an Example[J]. Resources and Environment in Arid Region, 2015, 29(8): 57—63.
- [20] 季益清, 张进疆, 刘清化, 等. 产地型预冷保鲜库的推广[J]. 现代农业装备, 2010(Z1): 76—78.
- JI Yi-qing, ZHANG Jin-jiang, LIU Qing-hua, et al. The Extension of Pre-cooled Preservation Storehouse of Origin[J]. Modern Agricultural Equipment, 2010(Z1): 76—78.