

汪汇源,邹华芬,汪 春,等. 基于物联网技术的海南热带水果动态定价研究[J]. 江苏农业科学,2021,49(2):223-228.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2021.02.039

# 基于物联网技术的海南热带水果动态定价研究

汪汇源<sup>1</sup>, 邹华芬<sup>2</sup>, 汪 春<sup>2</sup>, 李海亮<sup>2</sup>

(1. 中国热带农业科学院科技信息研究所, 海南海口 571101; 2. 中国热带农业科学院亚热带作物研究所, 广东湛江 524091)

**摘要:**近年来,物联网技术在热带水果生产与销售领域中用途广泛,热带水果物联网生产与销售技术具有很强的实用性和广泛的应用前景。基于物联网技术的热带水果动态定价模型可以促进海南热带水果产业良性发展,保证果农收益。基于物联网技术,得到海南热带水果品质等级。根据收益管理的动态定价策略,建立基于热带水果品质的动态定价模型和基于消费者细分的动态定价模型,研究热带水果销售商最大收益条件下的动态定价问题。研究结果表明,对于不同的水果品质和消费者群体,须要采用不同的定价模型进行定价,才能获得热带水果销售的最大收益。销售者须灵活采用不同动态定价模型对热带水果进行定价,增强热带水果产业竞争力。

**关键词:**物联网;海南;热带水果;动态定价;定价模型

**中图分类号:** F323.7    **文献标志码:** A    **文章编号:** 1002-1302(2021)02-0223-06

新中国成立以来我国经历了贫困、温饱、小康等社会发展阶段,进入 21 世纪以来,我国人民物质生活水平显著提高。我国居民食品消费结构不断升级并且呈现多元化结构发展特点,最初,居民的水果消费需求简单,品种单一,但随着生活水平的不断提高,我国居民对水果尤其是热带水果的需求量逐渐增加。2017 年,我国国内水果产量达到 29 502.2 万 t,海关数据统计,2017 年我国水果进口量为 456.27 万 t,出口量约为 361.19 万 t,国内消费量约为 29 597.28 万 t<sup>[1]</sup>。2009 年我国水果行业销售市场规模约为 0.98 亿元,2017 年我国国内水果行业销售市场规模达 2 万亿元<sup>[2]</sup>。

目前,物联网技术作为一种基于互联网时代诞生的新兴技术在各行各业有着广泛应用,对我国居民生活以及经济社会的影响逐渐增强。物联网用于农业精细化管理是其主要的应用特色,有利地促进了农业的健康与良性发展。物联网将二维码技术等应用在农业生产全过程,实现从农作物生产、加工、运输以及销售环节的全过程追溯及监控,显著提高了农产品质量与农户收益<sup>[3]</sup>。近年来,物联网技术应用于水果贸易领域的趋势愈发明显。随着物联网技术的发展,水果的生产、运输以及销售

环节的信息都可以通过物联网技术获得。物联网技术为水果定价及销售策略的参考和决策提供了手段。海南省作为我国独特的热带地区,其热带水果生产与销售有着鲜明的特点,对我国水果市场动态有着重要的影响。本研究旨在探讨物联网技术在海南热带水果销售领域的应用与创新,并基于物联网的信息化技术实现水果零售的定价研究,阐述物联网技术在我国的发展情况,分析物联网技术对热带水果在运输和销售过程中的影响机制,实现物联网时代水果销售动态定价的理论探索。以期指出物联网与热带水果动态定价研究之间的关系,为海南热带水果定价提供理论借鉴。

## 1 研究现状

物联网是将信息传感设备与互联网结合起来而形成的一个信息网络。1998 年,麻省理工学院的 Kevin Ashton 首次提出 Internet of things 的概念。2008 年,欧盟委员会称物联网将物理和数字世界相融合,每一个物理实体都由数字代表;物体可以感知外部世界,并且相互之间可以交流。物联网可以立即对物理事件做出反应,并且传送即时信息<sup>[4]</sup>。

国内基于消费者行为的动态定价研究方面,蒋丹利用因子分析法和辅助结构方程模型研究安全农产品超市销售的动态定价策略与模型,构建了基于不同消费者特点的农产品动态定价模型,提供了超市农产品的最优价格路径<sup>[5]</sup>。李豪等建立了供大于求的情况下 2 家零售商动态定价模型,给出了

收稿日期:2020-06-02

基金项目:中国热带农业科学院基本科研业务费专项(编号:1630062019003);海南省自然科学基金(编号:719QN282)。

作者简介:汪汇源(1991—),女,黑龙江大庆人,硕士,助理研究员,主要研究方向为热带农业经济。E-mail:1127597629@qq.com。

均衡价格满足的条件,并探讨了在一些特殊情况下均衡价格的特性。基于消费者行为策略,研究了竞争环境下 2 家销售商的竞争策略<sup>[6]</sup>。季伟伟研究了消费者行为,对易逝品定价和收益的影响;利用消费者函数对消费者行为进行建模,推导出需求函数,得出最优定价策略;同时,探讨市场竞争对易逝品定价和收益的影响,在消费者行为策略下构建产品动态定价模型<sup>[7]</sup>。陈紫薇等基于策略型和短视型消费者的不同特征,结合支付意愿、风险偏好、参考价格等 3 个因素构建消费者效用函数,研究在消费者行为异质作用下,易逝品零售商的动态定价<sup>[8]</sup>。杨慧等研究了在策略型消费者和短视型消费者共存的市场中,当策略型消费者不受参考价格影响时,对企业定价和利润的影响。并建立了 2 个阶段的动态定价模型,探讨不同因素对企业定价的影响<sup>[9]</sup>。

在利用物联网技术对农产品进行追溯研究方面,彭红星等以金柚为例,研究了农产品追溯信息模型和系统中可能用到的二维码和全球定位系统(GPS)技术,设计开发了水果追溯移动互联系统,他们认为,物联网技术可实现对水果栽培、加工生产、运输方面的追溯,可以提高水果质量安全追溯水平<sup>[10]</sup>。孟猛等采用危害分析的临界控制点(HACCP)和故障模式、影响和危害性分析(FMECA)等技术方法提出影响热带水果质量的关键因素,构建基于二维码技术的热带水果质量安全追溯系统,认为水果生产企业都应采用此类系统,以提高热带水果安全生产水平,保证热带水果产业化经营和标准化管理<sup>[11]</sup>。徐龙琴以产品生产批次作为亚热带水果的“身份证”,采用 UCC/EAN-128 编码方式结合流程编码、射频识别(RFID)和二维码等技术进行溯源编码,建立了一个多层次多用户权限动态管理的亚热带水果生产加工全过程的质量跟踪与追溯系统<sup>[12]</sup>。刘一健等认为,RFID 物联网核心技术可以提高农产品供应链的效率,实现农产品追溯,进而保障农产品质量安全;他对 RDID 技术应用情况、在生鲜农产品供应链中的推广必要性以及在农产品供应链中的应用问题进行了探讨<sup>[13]</sup>。赵向豪等采用全产业链的过程可追溯理念,构建了基于物联网的新疆特色农产品全产业链质量安全追溯系统。<sup>[14]</sup>

## 2 我国及海南省热带水果生产与价格概况

海南省陆地面积为 3.54 万 km<sup>2</sup>,主要种植香

蕉、菠萝、荔枝、龙眼、芒果、椰子等热带水果。海南建省 30 年来,热带水果产业发展迅猛,其种植面积和产量逐年增加。热带水果产业是海南省极具特色的热作产业之一,随着海南建设国际旅游岛上升为国家战略,国家明确要求海南省充分发挥地理资源优势,大力发展现代农业,使海南省成为全国重要的果篮子。

### 2.1 我国热带水果生产及价格概况

2.1.1 我国热带水果生产概况 我国生产的热带水果主要包括香蕉、菠萝、龙眼、荔枝、番石榴、杨桃、莲雾等。

2017 年,我国热带水果种植面积为 189.13 万 hm<sup>2</sup>,总产量为 2 644.06 万 t,总产值为 949.03 亿元。我国香蕉种植面积为 38.24 万 hm<sup>2</sup>,总产量为 1 289.19 万 t,我国香蕉种植面积和产量分布位居世界第 6 和第 1,香蕉产量为 36 333.15 kg/hm<sup>2</sup>。我国荔枝种植面积为 55.97 万 hm<sup>2</sup>,总产量为 239.43 万 t,其种植面积和总产量均位居世界首位。荔枝产量为 4 284.45 kg/hm<sup>2</sup>。我国龙眼种植面积为 35.83 万 hm<sup>2</sup>,总产量为 201.88 万 t,其种植面积和总产量均位居世界首位,龙眼产量为 6 530.1 kg/hm<sup>2</sup>。我国芒果种植面积为 25.77 万 hm<sup>2</sup>,总产量为 205.35 万 t,其种植面积和产量均位居世界第 7,芒果产量为 12 664.35 kg/hm<sup>2</sup>。

2018 年,全国荔枝、芒果、菠萝的主产区广东省、广西壮族自治区、福建省、云南省等也是丰产大年,广东省、广西壮族自治区、云南省、福建省等主产区荔枝种植面积分别为 272 666、203 333、22 666、3 133 hm<sup>2</sup>,总产量预计分别为 124.6 万、66.7 万、18.2 万、2.8 万 t,芒果种植面积分别为 18 333、43 466、800、30 000 hm<sup>2</sup>,总产量预计分别为 22.4 万、58.4 万、1.1 万、40.9 万 t,菠萝种植面积分别为 31 466、2 333、2 266、2 800 hm<sup>2</sup>,总产量分别为 103.4 万、3.4 万、4.3 万、7.3 万 t。广东省的荔枝在 5 月底已陆续上市,广西壮族自治区的芒果将于 6 月 2 日开始采摘并大量上市,预计将对海南省后期的芒果销售产生较大的冲击。广东省湛江地区的菠萝在 3 月已上市,销售已近尾声,另外,东南亚的芒果和菠萝也陆续进入我国销售,也将对海南省的芒果、菠萝销售造成一定的影响。

2.1.2 我国热带水果价格概况 在热带水果价格方面,从香蕉年均价格来看,2008—2017 年我国香蕉批发价格表现为波动上升,香蕉批发价格依次为

2.88、3.35、3.56、4.21、3.57、3.80、5.45、3.75、3.94、4.21 元/kg。价格最高值出现在 5 月、6 月和 9 月,最低值出现在 1 月和 7 月,由此可判断香蕉批发价格存在季节性波动特征。总体来看,香蕉批发价格在每年 1—2 月持续走高,主要因为我国当季水果未上市,随着元旦春节临近,市场需求量增多,香蕉价格升高。每年 3—4 月香蕉批发价格降低,受日常水果陆续上市挤占市场的影响,市场供应量增加导致香蕉价格下跌<sup>[42]</sup>。5 月是全国菠萝上市高峰期,菠萝全国平均批发价为 2.42 元/kg,环比下降 28.11%,同比下降 46.24%。目前市场主销菠萝多来自广东省及海南省,以巴厘种为主。产地菠萝多出现滞销现象,市场价格下降剧烈。预计 6 月初价格将继续下降,但 6 月中下旬将有所上涨。6 月是全国荔枝集中上市期,受全国丰产及上市期集中影响,后期销售难度较大,预计后期荔枝价格小幅下跌。“两广”荔枝于 5 月下旬逐渐上市。广西多地妃子笑上市,地头价为 8.0~9.0 元/kg。5 月全国各主销市场荔枝销量逐渐增加,5 月上旬至中旬,销地市场妃子笑批发价为 20~50 元/kg,白糖罂批发价为 24~56 元/kg,行情基本保持稳定,5 月下旬,销地市场妃子笑批发价跌至 8~18 元/kg,白糖罂批

发价跌至 8~14 元/kg。2018 年 5 月台农芒果收购价平均为 4.32 元/kg,环比下跌 1.30 元/kg,贵妃收购价平均为 64.98 元/kg,环比下跌 1.68 元/kg,金煌收购价平均为 6.52 元/kg,环比下跌 1.58 元/kg,海南的芒果进入采摘的尾期,次果较多,广西和广东地区的芒果开始大量上市,市场供应充足,荔枝 2018 年丰收大量上市,导致芒果价格大幅下跌。5 月鲜龙眼的价格为 15.84 元/kg,环比增 1.54%,同比减 5.38%。我国鲜龙眼的价格连续 2 个月小幅上涨,国内龙眼主产区的鲜龙眼还没有进入上市期,鲜龙眼的消费主要依赖于进口,由于五一假期消费需求的拉动导致鲜龙眼的价格持续上涨。预计后期鲜龙眼价格将会降低。

2.2 海南省热带水果生产与价格概况

2.2.1 海南省热带水果生产概况 海南省位于我国最南端,其独特的气候条件和地理位置使得海南省成为我国热带水果之乡。海南热带水果是海南省具有竞争优势的农产品,也是海南省农产品出口业的重要组成部分。海南热带水果可分为 29 科,53 个属。海南主要热带水果有香蕉、芒果、荔枝、菠萝、龙眼等。通过查阅海南省年鉴数据可以得到海南热带水果生产概况(表 1)。

表 1 2010—2018 年海南省主要热带水果生产情况

年份	菠萝		荔枝		芒果		龙眼	
	收获面积 (hm <sup>2</sup> )	产量 (t)	收获面积 (hm <sup>2</sup> )	产量 (t)	收获面积 (hm <sup>2</sup> )	产量 (t)	收获面积 (hm <sup>2</sup> )	产量 (t)
2010	9 869	297 352	18 328	134 969	39 442	370 172	6 611	35 155
2013	11 956	383 258	18 865	170 569	40 399	446 596	6 946	44 330
2014	11 647	373 075	18 261	182 340	40 129	452 518	7 213	48 060
2015	11 657	374 680	17 500	156 831	40 715	508 943	7 509	53 970
2016	12 426	398 031	17 923	153 533	41 833	532 810	7 515	54 222
2017	12 819	409 891	17 276	157 980	44 292	567 304	7 517	55 985
2018	13 540	439 997	18 376	189 435	52 119	682 889	7 178	55 548

注:资料来源于海南省统计局(stats.hainan.gov.cn/tjj/index.html)。

2.2.2 海南省热带水果价格概况 2018 年,海南省热带水果销售面临价格偏低的问题,分析其主要原因是新品种种植面积较少,老品种供过于求;且由于天气原因导致水果上市延后 10~45 d,与广东省、云南省、福建省等地水果撞市销售。较低的收购价格导致劳动力短缺和运输力不足。由于信息不畅通导致的水果收购能力的不足以及缺乏组织化错位生产,不仅国内水果撞市,东南亚进口水果的冲击带来了更严重的后果。

5 月海南芒果上市,价格也明显下跌,贵妃芒套袋果收购价只有 8 元/kg 左右,不套袋芒果价格仅为 4 元/kg 左右。海南荔枝今年是丰收大年,糯米滋荔枝售价约为 20 元/kg。5 月荔枝上市量逐渐增加,海南妃子笑、白糖罂收购价呈下降趋势。至 5 月底,白糖罂收购价跌至 3.30 元/kg,妃子笑收购价跌至 3.90 元/kg,比去年同期低 6.0~7.0 元/kg。受天气影响,海南香蕉出货受到一定影响,香蕉价格上升,极端天气对香蕉的品质和肥度也造成了一定

影响,价格多在 6.6~8.0 元/kg。菠萝价格方面,海南市场价格最高为 8.0 元/kg,预计后期菠萝价格将波动上涨。5 月海南荔枝大量上市冲击市场,导致芒果批发价格大幅下跌,个别地区出现滞销现象。

### 3 热带水果动态定价模型

#### 3.1 基于热带水果品质差异的动态定价模型

若要实现基于品质等级划分的热带水果销售收益最大化,须要写出销售收益函数的具体表达式,并且给出严格的约束条件。

$$\begin{aligned} \max Lu = & \left(1 - \frac{u - q_1}{u - q_0}\right) (1 - p_1/p_{1\max}) \cdot \\ & \sin\left[\frac{\pi}{2}\left(1 - \frac{k_1 p_1}{k_2 p_2}\right)\right] m_1 p_1 - \left\{1 - \left(1 - \frac{u - q_1}{u - q_0}\right) (1 - p_1/p_{1\max}) \cdot \right. \\ & \left. \sin\left[\frac{\pi}{2}\left(1 - \frac{k_1 p_1}{k_2 p_2}\right)\right]\right\} m_1 C + \left(1 - \frac{1 - q_2}{1 - u}\right) (1 - p_2/p_{2\max}) \cdot \\ & \cos\left[\frac{\pi}{2}\left(1 - \frac{k_1 p_1}{k_2 p_2}\right)\right] m_2 p_2 + \left\{1 - \left(1 - \frac{1 - q_2}{1 - u}\right) (1 - p_2/p_{2\max}) \cdot \right. \\ & \left. \cos\left[\frac{\pi}{2}\left(1 - \frac{k_1 p_1}{k_2 p_2}\right)\right]\right\} m_2 p_1 \end{aligned}$$

其中, $Lu$  为收益; $p_1$ 、 $p_2$  为价格; $q_1$ 、 $q_2$  为品质; $u$  为品质差异阈值; $C$  为水果单位成本; $k_1$ 、 $k_2$  意在表明两种质量的水果互相影响的程度是有区别的,通过二者取值的不同表征这种区别的大小。对于热带水果来说,其质量的好坏不是阶跃函数,它的质量是一种渐变形式的腐败过程。在这里如果认为未卖出的水果残值为 0,则  $q_0 = 0$ ,且有  $p_1 \leq p_2$ 。

如前所述,2 种不同品质的水果  $q_1$ 、 $q_2$  以及各自对应的价格  $p_1$ 、 $p_2$  组成本非线性规划的决策变量,根据物联网获得的准确水果品质等级及对定价策略的描述,得到决策变量对目标函数的限制条件如下:

$$s. t. \begin{cases} 0 \leq p_1 \leq p_{1\max}; \\ p_1 \leq p_2 \leq p_{2\max}; \\ q_0 \leq q_1 \leq u; \\ u \leq q_2 \leq 1. \end{cases}$$

根据非线性规划 MATLAB 求解方法,限制条件的第 2 式可以拆分为 1 个不等式约束,其他限制条件均为变量约束。

假设热带水果经过产地溯源、物流配送监测运到达零售商后,经过运算得到 2 种品质  $q_1$ 、 $q_2$  的同种水果,它们的品质存在品质差异阈值  $u$ ,根据品质差异阈值可将运达水果的质量进行划分,不失一般

性,假定二者质量  $m_1 = 500$  kg、 $m_2 = 800$  kg,最高价限定  $p_{1\max} = 4.0$  元、 $p_{2\max} = 6.0$  元,  $C = 4.6$  元,  $K_1 = 2$ ,  $K_2 = 0.6$ ,  $u = 0.6$ ,  $q_0 = 0$ ,去除参数中量纲代入模型进行计算。根据非线性规划计算方法,即可得到 2 种品质的热带水果的最优价格,  $p_1 = 2.66$  元,  $p_2 = 4.66$  元,对应的 2 种质量的水果品质为  $q_1 = 0.6$ ,  $q_2 = 1.0$ 。

首先分析品质对收益的影响。品质在最初设定的时候是影响水果销售概率函数的,所以品质越好,在相同的顾客到达率的条件下获得的收益应该是最高的。这里选定最优价格不变,将 2 种品质的热带水果的品质作为参数做出品质差异性对销售收益影响的三维曲面(图 1)。

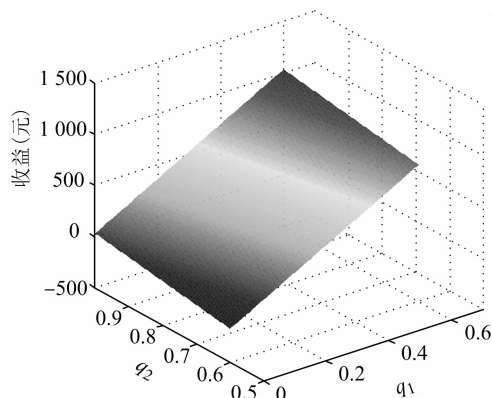


图1 品质差异性对销售收益的三维曲面

从图 1 可以看到,2 种品质等级的水果收益与品质差异之间是一种线性递增的关系,即 2 种水果品质变化与最终收益构成三维空间中的一个平面。收益最大值对应于品质最优值,对应于该平面上的一个角上,该点即为  $q_1 = 0.6$ 、 $q_2 = 1.0$  点。

#### 3.2 基于消费者细分的动态定价模型

动态定价越来越引起生产厂商和零售商的重视,与此同时消费者在购买水果的过程中也越来越理性。相对于我国大部分地域来说,热带水果都是外地运输过来的,所以其新鲜程度已经不能和本地水果相比,部分消费者会考虑在水果零售商执行降价操作后再购买,这里体现了消费者面向产品时的理性,在经济学中一般将他们称为策略型消费者。而另外一些无策略进行商品购买的消费者称为短视消费者。

3.2.1 条件假设 热带水果的一个显著特性特征就是易腐性,随着货架摆放时间的推移,水果品质逐渐降低直至完全腐坏而没有销售价值。在进行模型构建之前做如下假设:(1) 水果货架期分为 2

段,销售价格分别是  $p_1$ 、 $p_2$  且  $p_1 > p_2$ ; (2) 消费者中策略消费者占总人数的一定比例,设消费者总人数为  $N$ ,策略消费者占比为  $\alpha$ ; (3) 水果单位成本为  $C$ ,消费者的保留价格在某个价格段内均匀分布; (4) 策略消费者的消费策略体现在不同价格段的购买意愿的大小与短视消费者具有明显差异,采用贴现因子的方式进行处理,表示在第 1 价格段的购买比例。

**3.2.2 模型构建** 短视型消费者的保留价格为  $F$ , 则其在第 1 价格段内选择购买的人数表示为  $(1 - \alpha)N \cdot (F - p_1)/F$ 。对于策略型消费者,虽然自己的保留价格高于  $p_1$  时未必进行购买,所以相当于策略消费者在看待商品价格时,主观提高了商品的心理价格,至少认为比  $p_1$  要高;由于分析至此还没有一个完全描述表达提高后的心理价格,但是可以设它为  $F_1$ ,其取值区间为  $[p_1, F]$ 。因此策略型消费者执行购买行为的人数为  $\alpha N \cdot (F - F_1)/F$ 。若设水果库存量为  $W$ ,损耗率为  $\eta_1$ ,则零售商在第一阶段的利润  $Lu_1$  表示为

$$Lu_1 = \frac{[F - (1 - \alpha)p_1 - \alpha F_1]}{F} N \cdot (p_1 - C) - \eta_1 WC。$$

第 2 价格段的消费者中,短视消费者心理价位最高为  $p_1$ ,但是由于水果品质变差,将会导致购买者实际购买行为发生的概率小于心理价位减第 2 阶段定价。这个概率变小采用比例系数与最高保留价格的乘积形式表示,称其为品质递减因子  $\delta$ 。则短视型消费者人数为  $(1 - \alpha)N \cdot (\delta p_1 - p_2)/F$ ;策略型消费者的目标即放弃第 1 价格段的购买转移到第 2 价格段进行购买,所以不能使用  $p_1$  作为最高保留价格,但是同样会有因为水果品质下降带来的购买意愿按比例下降,所以第 2 价格段选择购买水果的策略消费者人数为  $\alpha N \cdot (\delta F_1 - p_2)/F$ ,根据第 2 价格段的购买人数,得到第 2 价格段的利润是

$$Lu_2 = \frac{[\delta(1 - \alpha)p_1 + \delta\alpha F_1 - p_2]}{F} N \cdot (p_2 - C) - \eta_2 WC。$$

水果零售商最优价格的动态定价决策的利润表达式为

$$Lu = Lu_1 + Lu_2 = \frac{[F - (1 - \alpha)p_1 - \alpha F_1]}{F} N \cdot (p_1 - C) + \frac{[\delta(1 - \alpha)p_1 + \delta\alpha F_1 - p_2]}{F} N \cdot (p_2 - C) - (\eta_1 + \eta_2) WC。$$

若要得到整个销售周期的最优收益,则须要先

从第 2 价格段开始分析,即要满足

$$\frac{\partial Lu_2}{\partial p_2} = 0。$$

得最优收益条件:

$$p_2 = \frac{\delta(1 - \alpha)p_1 + \delta\alpha F_1 + C}{2}。$$

短视型消费者在第 1 价格段的购买只与价格  $p_1$  相关,而策略型消费者由于第 1 价格段购买量相对减少,进而会增加第 2 价格段的策略型消费者人数。反推之,即第 1 价格段的购买决策可以被认为与第 2 价格段的价格  $p_2$  相关,引入关联因子( $\rho$ )表达式:

$$F_1 - p_1 = \rho(F_1 - p_2)。$$

该关联因子的定义表达式可以认为,对于策略型消费者在等式成立条件下,在第 1 价格段和第 2 价格段购得水果,在心理上具有相同的消费者剩余,即该式表明的是对策略型消费者无影响的动态定价。可求得:

$$F_1 = \frac{[2 - \delta(1 - \alpha)\rho]p_1 - \rho C}{2 - 2\rho + \delta\alpha\rho}。$$

将第 2 价格段的收益也引入关联因子后,得到基于策略型消费者和热带水果腐败问题产生的最终利润:

$$Lu = Lu_1 + \rho Lu_2。$$

水果销售商若要获得最大利润,则须要把  $p_2$  的表达式代入总利润表达式,并令

$$\frac{\partial Lu}{\partial p_1} = 0。$$

即可解得水果零售商的最优价格策略如下:

$$p_{1op} = \frac{A \cdot F + B \cdot C}{D};$$

$$F_{1op} = \frac{[2 - \delta(1 - \alpha)\rho]p_{1op} - \rho C}{2 - 2\rho + \delta\alpha\rho};$$

$$p_{2op} = \frac{\delta(1 - \alpha)p_{1op} + \delta\alpha F_{1op} + C}{2}。$$

其中参数如下:

$$A = (2 - 2\rho + \delta\alpha\rho)^2;$$

$$B = B - 4\alpha - (10 - 22\alpha\rho + 4\alpha^2)\rho + (13 - 26\alpha\delta + 10\alpha^2 - \delta\alpha^3)\rho^2 - (5 - 7\alpha\delta + 3\alpha^2 - \delta\alpha^3)\rho^3;$$

$$D = 12 - 4\alpha - (21 - 16\alpha\delta + 4\alpha^2)\rho + (11 - 21\alpha\delta + 16\alpha^2 - \delta\alpha^3)\rho^2 - (3 - 8\alpha + 5\alpha^2\delta - \alpha^3)\rho^3。$$

**3.2.3 算例分析** 以 1—3 月上市的杨桃为例,假设运送到北方后的杨桃成本价格为 6 元/kg,消费者中最高保留价可达 20 元/kg,单周期内的库存量超过消费者购买量,即不须要考虑供应不足问题,这

种情况下的定价策略可使用消费者细分策略。可以认为,消费者人数为 1 000 人,杨桃库存量为 1 100 kg;由于杨桃货架期短,在销售周期内分 2 个价格段销售,且第 2 价格段库存有 10% 损耗,第 1 价格段认为没出现损耗;收于损耗造成消费者购买意愿降低 10%,针对于策略型消费者 2 段价格对第 1 段价格影响因子为 0.6;根据公式中参数可知  $F = 20$ ,  $C = 6.0$ ,  $\rho = 0.6$ ,  $\eta_1 = 0.1$ ,  $\delta = 0.90$ ,  $N = 1\ 000$ ,  $W = 1\ 100$ 。

假设在消费者中策略型消费者占比 40% ( $\alpha = 0.4$ ),通过使用 MATLAB 求解最优价格公式,得到:

$$p_{1op} = 12.42;$$

$$F_{1op} = 16.94;$$

$$p_{2op} = 9.40。$$

即冬季杨桃第 1 阶段的最优定价为 12.42 元/kg,而在策略消费者的心理上,认为第 1 阶段杨桃即将在第 2 价格段进行降价,他们购买意愿会比短视型消费者低,即策略消费者在 12.42 元/kg 时的购买意愿与短视型消费者在 16.94 元/kg 下的购买意愿等同。在第 2 价格段零售超市的最优价格为 9.40 元/kg。若要获得 2 阶段总收入,则需要将以上参数代入总利润公式中得到:

$$Lu = Lu_1 + \rho Lu_2 = 1\ 803.7 \text{ 元}。$$

则水果超市杨桃的利润为 1 803.7 元。

## 4 结论

在研究物联网的基础上,分析热带水果在其生产与流通环节的所有要素,采用电子产品代码(EPC)物联网编码结构以及 RFID 技术,提出影响热带水果质量安全关键要素,构建了基于物联网技术的热带水果质量安全追溯体系,保证了热带水果生产流通过程控制中的透明性,维护了消费者知情权,使得热带水果销售水平得到进一步提高,并且在品质等级划分的基础上采用基于收益管理的动态定价策略,分别对热带水果品质等级、策略型消费者占比等条件下的水果销售进行动态定价,并计算其收益。这对我国热带水果生产流通追溯以及销售模式提供了借鉴与技术支持。综上所述,本研究主要结论如下。

将基于物联网技术的热带水果品质追溯与动态定价模型和策略相结合。热带水果的腐败损耗一直是热带水果销售中存在且没有得到很好解决的难题。基于物联网技术的品质追溯在水果质量

控制方面非常关键,获得水果品质等级,可以促进热带水果贸易水平的不断提高,即提高本行业效率,增加水果销售利润。笔者正是基于这一关键点,提出将基于收益管理的动态定价策略与基于物联网技术的热带水果质量追溯相结合,实现应用创新。

针对热带水果易腐特性,建立与其品质相关的热带水果质量追溯系统。热带水果的易腐特性,须要从产地、物流配送、销售库存方面进行水果质量监测,具有与其他产品相比独特的性质,基于热带水果的质量追溯设计,具有一定的独特性。

基于品质等级划分和策略型消费者占比情况进行动态定价。通过描述品质等级划分后消费者购买的相关信息,针对零售商在分为不同品质等级的水果销售方面采用动态定价,以求获得最大收益;或者根据策略型消费者所占比例的不同,如何给 2 个阶段的销售进行定价,获得最大收益。

## 参考文献:

- [1] 窦晓博,邵娜. 2017 年国内水果市场形势分析与 2018 年展望[J]. 农业展望,2018(6):9-13,20.
- [2] 张峭,杨霞. 中国水果消费现状分析及其预测[J]. 农业展望,2006(8):30-33.
- [3] 齐虎春. 物联网在现代农业中的应用与发展[J]. 现代农业,2011(8):100-102.
- [4] 李立新. 关于全球物联网发展及中国物联网建设若干思考[J]. 现代工业经济和信息化,2017,7(10):88-90.
- [5] 蒋丹. 农产品消费行为分析及市场动态定价模型研究[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2014.
- [6] 李豪,熊中楷,彭志强. 竞争环境下基于顾客策略行为的易逝品动态定价研究[J]. 中国管理科学,2011,19(2):88-98.
- [7] 季伟伟. 基于消费者策略行为的易逝品动态定价研究[D]. 南京:南京理工大学,2015.
- [8] 陈紫薇,张茜,邓帅. 考虑消费者行为的易逝品动态定价研究[J]. 科技和产业,2018,18(5):92-99,108.
- [9] 杨慧,周晶,宋华明. 考虑消费者短视和策略行为的动态定价研究[J]. 管理工程学报,2010,24(4):133-137.
- [10] 彭红星,杨添坤,丁心,等. 基于 GPS 和二维码技术的水果溯源移动互联系统的研究与实现[J]. 物联网技术,2016,6(8):100-102,104.
- [11] 孟猛,孙继华,邓志华. 基于二维码技术的热带水果质量安全追溯系统设计与实现[J]. 包装工程,2014,35(5):13-20.
- [12] 徐龙琴. 基于 Web 的亚热带水果产品质量安全追溯系统关键技术研究[J]. 计算机工程与设计,2011,32(4):1174-1177.
- [13] 刘一健,陈业华. 基于 RFID 的生鲜农产品追溯系统探讨[J]. 食品工业,2019,40(7):175-179.
- [14] 赵向豪,陈彤,姚娟. 基于物联网的新疆特色农产品全产业链质量安全追溯系统研究[J]. 江苏农业科学,2019,47(16):335-339.