

王裕韬,周根贵,梁薇薇,等.前置仓合作情况下的生鲜农产品双渠道供应链协调研究[J].江苏农业科学,2020,48(7):310-316.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2020.07.059

# 前置仓合作情况下的生鲜农产品双渠道供应链协调研究

王裕韬,周根贵,梁薇薇,陈佳佳

(浙江工业大学经贸管理学院,浙江杭州 310023)

**摘要:**在前置仓合作情况下,构建由1个供应商与1个零售商组成的生鲜农产品双渠道供应链模型,验证采取前置仓合作的必要性,分析双渠道供应链在集中决策与分散决策2种模式下供应商与零售商各自的利润以及总的利润变化。从供应商与零售商进行前置仓合作的角度出发,提出一种双渠道供应链协调的数量折扣契约,论证此契约能够实现生鲜农产品双渠道供应链的协调,且在一定范围内保证双渠道供应链的双赢。最后通过算例分析,进一步检验了此数量折扣契约能够实现有效协调。

**关键词:**前置仓合作;生鲜农产品;双渠道;供应链协调;数量折扣契约

**中图分类号:** F252      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1002-1302(2020)07-0310-07

随着网络技术与电子商务的快速发展,网络销售已不仅仅局限于衣物、电子产品以及各类工具等日常用品,生鲜农产品领域的网络销售也越发常见。越来越多的生鲜农产品供应商也开始尝试着在线上销售,以开拓更多的市场收获更多的收益。与此同时,越来越多的互联网零售巨头也纷纷布局线下生鲜领域,如阿里巴巴网络技术有限公司推出盒马鲜生,亚马逊公司血本收购全食超市。传统零售渠道与线上直销渠道相结合的双渠道供应链模式在生鲜农产品领域的应用上已越来越常见。然而,由于生鲜农产品有着容易腐蚀变质的特点,其运输与保存一直是一个难题。近几年,随着前置仓模式的提出,以及盒马鲜生在前置仓模式下的成功应用,前置仓模式无疑是一个很有前景的生鲜农产品仓配模式。因此,研究前置仓合作情况下的生鲜农产品双渠道供应链的协调问题对于生鲜农产品采取双渠道销售具有重要意义。

目前,关于生鲜农产品主要集中在生鲜农产品供应链的各环节保鲜研究及各种情况下的供应链协调研究2个方面。Lee等考虑了需求受库存水平影响下,零售商能够通过保鲜技术投入以降低生鲜农产品变质率,并在此基础上研究了零售商应如何

进行补货以及保鲜技术投入<sup>[1]</sup>。Dye等则考虑了变质率会随时间进行变化以及部分短缺量会拖后库存,对企业如何补货以及保鲜技术投入进行了研究<sup>[2]</sup>。这些研究主要针对的是生鲜农产品供应链各环节中的保鲜问题,而较少涉及供应链整体的协调。

对于生鲜农产品供应链的整体协调,但斌等针对农产品产出易受不利天气影响的特点,设计了基于风险补偿的协调策略以保障农产品的稳定供应<sup>[3]</sup>;王磊等针对消费者对生鲜农产品新鲜度要求高但零售商单独保鲜能力有限的情况下,设计了保鲜成本分担和收益共享契约以同时实现供应链协调和提高消费者整体效用<sup>[4]</sup>;杨亚等考虑了生鲜农产品供应链中新鲜度信息不对称的情况下,设计了回购契约以保证新鲜度信息共享并协调供应链<sup>[5]</sup>。为了对供应链整体进行协调,设计一个合适的契约是一个比较实际的选择。

另外,随着越来越多的企业选择线上加线下的双渠道来销售产品,对于双渠道供应链的协调研究也逐渐成为学者们关注的热点。陈树桢等针对电子商务环境下的双渠道模式,设计了2部定价合同与促销水平补偿合同的组合来使供应链达到协调并获得双赢<sup>[6]</sup>;刘灿等在考虑存在展厅效应的双渠道供应链中,提出了一个基于线下需求引导的协调策略来对供应链进行协调<sup>[7]</sup>;王虹等探讨了在零售商的风险规避度为完全信息和私有信息这2种情况下的双渠道供应链定价决策<sup>[8]</sup>。在结合生鲜农产品的双渠道供应链协调研究中,曹武军等针对生鲜农产品需求受新鲜度的影响,对收益共享契约进行

收稿日期:2019-03-07

基金项目:国家自然科学基金(编号:71371169)。

作者简介:王裕韬(1993—),男,浙江台州人,硕士研究生,主要从事物流与供应链管理研究。E-mail:2111504075@zjut.edu.cn。

通信作者:周根贵,博士,教授,博士生导师,主要从事物流与供应链管理研究。E-mail:ggzhou@zjut.edu.cn。

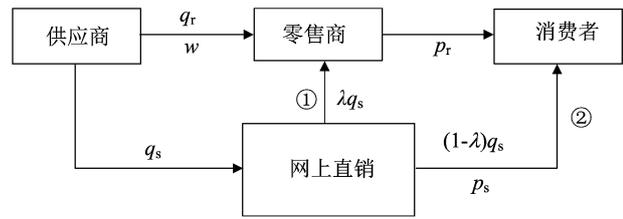
了改进,使得生鲜农产品双渠道供应链达到协调<sup>[9]</sup>;唐润等考虑了时间和温度 2 种因素对生鲜食品质量的影响,设计了收益共享契约、成本共担契约和批发价格折扣契约来进行协调<sup>[10]</sup>。

本研究在已有生鲜农产品双渠道供应链协调研究的基础上,加入前置仓合作,针对生鲜农产品易变质的特点和采取保鲜措施等降低新鲜度变化,分析和比较分散决策与集中决策下供应链的整体收益与各自的最优决策,并设计数量折扣契约来对供应链整体进行协调,以期采取前置仓合作的生鲜农产品双渠道供应链有效管理提供理论参考。

## 1 问题描述与模型假设

研究 1 个供应商( $s$ )和 1 个零售商( $r$ )销售单种农产品的情形。供应商与零售商双方都会对生鲜农产品进行保鲜投入以保证产品的新鲜度。假设传统渠道零售商单位农产品保鲜投入(主要为各类保鲜柜以及中途冷链运输投入)为  $n_r$ ,线上渠道供应商单位农产品保鲜投入为  $n_s$ (主要为农产品采摘后的冷冻保鲜投入与零散快递运输时的冷冻保鲜投入),消费者收到农产品时的新鲜度皆接近于  $\theta$ 。 $\theta(0 < \theta < 1)$  为消费者从线上或线下收到生鲜农产品时的新鲜度。此时, $n_r < n_s$ 。也就是说,在假设传统渠道销售与线上渠道销售中消费者拿到生鲜农产品的新鲜度相同的情况下,零售商传统渠道所需要提供的单位保鲜投入要低于供应商线上渠道所需要提供的单位保鲜投入。从而,供应商愿意与零售商达成前置仓合作,借用零售商的保鲜仓库作为前置仓,来对部分产品进行保鲜储存并进行线上销售,以减少供应链整体的保鲜投入。对于单位保鲜投入,采用文献[11]中对于产品质量投入和成本呈二次函数关系的假设方法,将本研究的单位保鲜成本函数设为  $n = \frac{1}{2}k_2\theta^2$ ,即单位保鲜成本与消费者收到生鲜农产品时的新鲜度呈二次函数关系。其中  $k_2 > 0$  表示收到产品时新鲜度对单位保鲜成本的影响系数,该式表明消费者收到生鲜农产品时的新鲜度  $\theta$  越高,供应商或零售商投入的单位保鲜成本  $n$  就越大,且单位保鲜成本的增加值呈递增趋势。因此得到  $n_r = \frac{1}{2}k_r\theta^2$ ,  $n_s = \frac{2}{2}k_s\theta^2$ ,  $0 < k_r < k_s$ ,由于单位保鲜投入只与新鲜度以及影响系数有关,笔者在模型计算过程中仍以  $n_r$ 、 $n_s$  表示。

在供应商与零售商进行前置仓合作时,供应商会选择将网上直销的订单中在零售商销售区域内(以盒马鲜生为例,门店附近 3 km 范围内)的部分,由零售商作为前置仓进行保存并配送(图 1)。



①表示在供应商线上订单中,与零售商销售区域重叠部分的订单,交由零售商作为前置仓保存并配送;②表示在供应商线上订单中,不与零售商销售区域重叠部分的订单,仍由供应商线上发货进行配送

图1 前置仓合作情况下的生鲜农产品双渠道供应链

笔者在此假设重叠部分订单占比为  $\lambda$ ,剩下供应商自行配送订单占比为  $1 - \lambda$ 。显然,当  $\lambda = 0$  时,即为非前置仓合作情况。

本研究用上标“c”代表集中决策,上标“d”代表分散决策,上标“b”代表数量折扣契约情况下决策,上标“\*”代表最优决策,下标“r”代表零售商,下标“s”代表供应商。供应商将产品以  $w$  的批发价将单位生产成本为  $c$  的生鲜农产品分销给零售商,同时在网上以  $p_s$  的价格直接销售给消费者,此时零售商根据批发价格和网上销售价格,在传统零售渠道以  $p_r$  的价格销售给消费者。本研究假设市场需求与价格以及产品新鲜度有关,建立需求关于价格以及产品新鲜度的函数。

传统渠道消费者需求量为

$$q_r = sa - \frac{\alpha}{\theta}p_r + \frac{\beta}{\theta}p_s; \quad (1)$$

线上渠道消费者需求量为

$$q_s = (1 - s)a - \frac{\alpha}{\theta}p_s + \frac{\beta}{\theta}p_r。 \quad (2)$$

式中: $a$  为市场总需求量; $s$  是双渠道下传统渠道消费者需求的市场份额; $\alpha(\alpha > 0)$  代表市场需求对价格的弹性指数; $\beta(\alpha > \beta > 0)$  代表渠道间的交叉价格弹性指数; $\theta$  为消费者收到产品时的新鲜度。 $q_r > 0$  且  $q_s > 0$ ,这意味着双渠道都存在各自的忠实顾客。

为了便于模型计算,笔者还作如下假设:

(1) 供应商为零售商的唯一供货商,在生鲜农产品双渠道供应链中供应商为主导方,零售商为从方;(2) 供应商与零售商均为风险中性且完全理性,供应链各成员都根据期望自身利润最大化的原则

进行决策;(3)零售商的订购量为其需求量,不考虑库存及物流过程中的损耗。

## 2 前置仓合作情况下的生鲜农产品双渠道供应链模型

### 2.1 集中决策模式

在集中决策模式下,供应链的总利润函数( $\pi$ )为

$$\pi^c = (p_r - c - n_r)q_r + [p_s - (1 - \lambda)(c + n_s) - \lambda(c + n_r)]q_s \quad (3)$$

$$p_s^{c*} = \frac{sa\beta\theta + (1-s)a\alpha\theta + (\alpha^2 - \beta^2)[c + \lambda n_r + (1-\lambda)n_s]}{2(\alpha^2 - \beta^2)} \quad (5)$$

由此得到此时传统渠道消费者需求量:

$$q_r^{c*} = \frac{sa\theta + \beta[c + \lambda n_r + (1-\lambda)n_s] - \alpha(c + n_r)}{2\theta} \quad (6)$$

此时线上渠道消费者需求量:

$$\pi^{c*} = \frac{[sa\theta + (1-s)a\beta\theta - (\alpha^2 - \beta^2)(c + n_r)][sa\theta + \beta[c + \lambda n_r + (1-\lambda)n_s] - \alpha(c + n_r)] + [sa\beta\theta + (1-s)a\alpha\theta - (\alpha^2 - \beta^2)[c + \lambda n_r + (1-\lambda)n_s]][(1-s)a\theta + \beta(c + n_r) - \alpha[c + \lambda n_r + (1-\lambda)n_s]]}{4(\alpha^2 - \beta^2)\theta} \quad (8)$$

同时也能得到在未开展前置仓合作时供应链总利润为

$$\pi_{\lambda=0}^{c*} = \frac{[sa\theta + (1-s)a\beta\theta - (\alpha^2 - \beta^2)(c + n_r)][sa\theta + \beta(c + n_s) - \alpha(c + n_r)] + [sa\beta\theta + (1-s)a\alpha\theta - (\alpha^2 - \beta^2)(c + n_s)][(1-s)a\theta + \beta(c + n_r) - \alpha(c + n_s)]}{4(\alpha^2 - \beta^2)\theta} \quad (9)$$

总利润差为

$$\Delta\pi^{c*} = \frac{\lambda(n_s - n_r) \{ [(1-s)a\theta + \beta(c + n_r) - \alpha(c + n_s)] + [(1-s)a\theta + \beta(c + n_r) - \alpha[c + \lambda n_r + (1-\lambda)n_s]] \}}{4\theta} \quad (10)$$

由于线上渠道消费者需求量必定 $>0$ ,由公式(7),显然可以得到

$$[(1-s)a\theta + \beta(c + n_r) - \alpha(c + n_s)] > 0; [(1-s)a\theta + \beta(c + n_r) - \alpha[c + \lambda n_r + (1-\lambda)n_s]] > 0.$$

因此公式(10)必定 $>0$ ,即开展前置仓合作必定能够增加供应链总利润,且所增加的总利润随 $\lambda$ 的增大而增大。进行前置仓合作对供应链系统来说是非常必要的。

### 2.2 分散决策模式

在前置仓合作情况下,重叠部分订单是由供应商线上接受但是由零售商线下进行配送,此部分农产品的保鲜措施由零售商提供但由供应商投入(供应商补偿零售商此部分保鲜投入)。由此得到在前置仓合作情况下,分散决策模式下,零售商利润为

$$\pi_r^d = (p_r - w - n_r)q_r; \quad (11)$$

可以得出供应链的总利润函数是关于传统零售价格与电子直销价格的二元函数,将公式(1)与公式(2)代入公式(3)中并通过一阶条件求解,令

$$\frac{\partial\pi^c}{\partial p_r} = 0; \frac{\partial\pi^c}{\partial p_s} = 0.$$

解得集中决策下的最优传统零售价格 $p_r^*$ 与最优电子直销价格 $p_s^*$ ,分别为

$$p_r^{c*} = \frac{sa\alpha\theta + (1-s)a\beta\theta + (\alpha^2 - \beta^2)(c + n_r)}{2(\alpha^2 - \beta^2)}; \quad (4)$$

$$q_s^{c*} = \frac{(1-s)a\theta + \beta(c + n_r) - \alpha[c + \lambda n_r + (1-\lambda)n_s]}{2\theta} \quad (7)$$

此时供应链总利润:

供应商利润为

$$\pi_s^d = [p_s - (1 - \lambda)(c + n_s) - \lambda(c + n_r)]q_s + (w - c)q_r \quad (12)$$

在分散决策下,供应商决定网上直销价格和传统零售批发价。通过主从对策原理,对公式(11)与公式(12)求其斯塔克伯格(Stackelberg)解,得到分散决策下最优电子直销价 $p_s^{d*}$ ,最优批发价 $w^{d*}$ 、最优传统零售价 $p_r^{d*}$ 分别为

$$p_s^{d*} = \frac{(\alpha^2 - \beta^2)[c + \lambda n_r + (1-\lambda)n_s](1-s)a\alpha\theta + sa\beta\theta}{2(\alpha^2 - \beta^2)}; \quad (13)$$

$$w^{d*} = \frac{(\alpha^2 - \beta^2)(c - n_r) + (1-s)a\beta\theta + sa\alpha\theta}{2(\alpha^2 - \beta^2)}; \quad (14)$$

$$p_r^{d*} = \frac{sa\theta + \beta p_s^* + \alpha(w^* + n_r)}{2\alpha} = \frac{(\alpha^2 - \beta^2) \{ \alpha(c + n_r) + \beta[c + \lambda n_r + (1 - \lambda)n_s] \} + (3\alpha^2 - \beta^2)sa\theta + 2(1 - s)\alpha\alpha\beta\theta}{4\alpha(\alpha^2 - \beta^2)} \quad (15)$$

此时零售商利润  $\pi_r^{d*}$  为

$$\pi_r^{d*} = \frac{\{ \beta[c + \lambda n_r + (1 - \lambda)n_s] - \alpha(c + n_r) + sa\theta \}^2}{16\alpha\theta} \quad (16)$$

供应商利润  $\pi_s^{d*}$  为

$$\pi_s^{d*} = \frac{\alpha[(\beta^2 - \alpha^2)(c + n_r) + sa\theta + (1 - s)\alpha\beta\theta] \{ \beta[c + \lambda n_r + (1 - \lambda)n_s] - \alpha(c + n_r) + sa\theta \} + [(\beta^2 - \alpha^2)[c + \lambda n_r + (1 - \lambda)n_s] + (1 - s)\alpha\alpha\theta + sa\beta\theta] \{ (\beta^2 - 2\alpha^2)[c + \lambda n_r + (1 - \lambda)n_s] + \alpha\beta(c + n_r) + 2(1 - s)\alpha\alpha\theta + sa\beta\theta \}}{8\alpha\theta(\alpha^2 - \beta^2)} \quad (17)$$

由此得供应链总利润为

$$\pi^{d*} = \frac{\alpha[(\beta^2 - \alpha^2)(c + n_r) + sa\theta + (1 - s)\alpha\beta\theta] \{ \beta[c + \lambda n_r + (1 - \lambda)n_s] - \alpha(c + n_r) + sa\theta \} + [(\beta^2 - \alpha^2)[c + \lambda n_r + (1 - \lambda)n_s] + (1 - s)\alpha\alpha\theta + sa\beta\theta] \{ (\beta^2 - 2\alpha^2)[c + \lambda n_r + (1 - \lambda)n_s] + \alpha\beta(c + n_r) + 2(1 - s)\alpha\alpha\theta + sa\beta\theta \}}{8\alpha\theta(\alpha^2 - \beta^2)} + \frac{\{ \beta[c + \lambda n_r + (1 - \lambda)n_s] - \alpha(c + n_r) + sa\theta \}^2}{16\alpha\theta} \quad (18)$$

### 2.3 集中决策与分散决策对比

由公式(4)与公式(15)对比,公式(5)与公式(13)对比可知,在双渠道供应链集中决策和分散决策 2 种不同情况下,传统零售商的最优零售定价不

同,而供应商的最优电子直销价格相同。

由公式(8)与公式(18)对比可知,集中决策模式下供应链总利润明显高于分散决策模式下供应链的总利润,经计算,供应链总利润变化为

$$\Delta\pi = \pi^{c*} - \pi^{d*} = \frac{\{ \beta[c + \lambda n_r + (1 - \lambda)n_s] - \alpha(c + n_r) + sa\theta \}^2}{16\alpha\theta} \quad (19)$$

利润差恰好与分散决策模式下传统零售商的利润相同,供应链系统存在双重边际效应。因此,须要设计相关契约机制,以缓解或消除双重边际效应,实现供应链的协调,实现帕累托(Pareto)最优。

### 3 生鲜农产品双渠道供应链协调契约

通过“2 节”中的分析发现,虽然前置仓合作情况下供应链能够获得更多的收益,但分散决策下供应商和零售商都以各自利益最大化进行决策,这导致系统利润小于集中决策下的最优利润,供应链不能达到最优运作状态。为了实现供应链系统最优,笔者须要设计一种针对前置仓合作情况的数量折扣契约。

在前置仓合作情况中,供应商占用了零售商的前置仓来对前置仓覆盖区域的线上订单进行保鲜,虽然对零售商无明显损失,但存在如仓库保鲜设备寿命降低等看不见的损耗。为此,供应商向零售商提供单位批发价  $[v(Q)]$  的定价形式为

$$v(Q) = V - \varphi Q \quad (20)$$

式中:  $V$  为最大固定批发价;  $\varphi$  ( $0 < \varphi < 1$ ) 为数量优惠比例;  $Q$  为零售商订购量。此外,零售商向供应商额外支付一笔固定费用  $f$  ( $f > 0$ ) 以享用数量折扣优惠。由假设可知,零售商订购量即为零售渠道的需求量,由此可得零售商利润为

$$\pi_r^b = [p_r - (V - \varphi q_r) - n_r] q_r - f = (p_r - V - n_r) q_r + \varphi q_r^2 - f \quad (21)$$

假定生鲜农产品供应商收取零售商的固定费用  $f > F$  ( $F \geq 0$ ),对零售商的最优零售价无影响,即

$$f^* = (p_r - V - n_r) q_r + \varphi q_r^2 - F \quad (22)$$

因此,供应商利润为

$$\pi_s^b = [p_s - (1 - \lambda)(c + n_s) - \lambda(c + n_r)] q_s + (V - \varphi q_r - c) q_r + f = [p_s - (1 - \lambda)(c + n_s) - \lambda(c + n_r)] q_s + (p_r - c - n_r) q_r - F \quad (23)$$

在分散决策下,供应商决定网上直销价格和传统零售批发价。由主从对策可得其 Stackelberg 解,其最优电子直销价  $p_s^{b*}$ 、最优最大批发价  $V^*$ 、最优传统零售价  $p_r^{b*}$  分别为

$$p_s^{b*} = \frac{sa\beta\theta + (1 - s)\alpha\alpha\theta + (\alpha^2 - \beta^2)[c + \lambda n_r + (1 - \lambda)n_s]}{2(\alpha^2 - \beta^2)} \quad (24)$$

$$V^* = \frac{[(1-s)\alpha\beta\theta + s(\beta^2\theta + 2D\alpha\varphi)]a\theta + \{2\alpha c\theta - \beta C\theta + 2\alpha\varphi[\beta C - \alpha(c+n_r)]\}}{2\alpha\theta D}; \quad (25)$$

$$p_r^{b*} = \frac{sa\alpha\theta + (1-s)a\beta\theta + (\alpha^2 - \beta^2)(c+n_r)}{2(\alpha^2 - \beta^2)}. \quad (26)$$

此时线上渠道消费者需求量为

$$q_s^{b*} = \frac{(1-s)a\theta + \beta(c+n_r) - \alpha[c + \lambda n_r + (1-\lambda)n_s]}{2\theta}; \quad (28)$$

式中,  $C = c + \lambda n_r + (1-\lambda)n_s$ ;  $D = (\alpha^2 - \beta^2)$ 。

因此在数量折扣协调下,传统渠道消费者需求量为

由此得到零售商利润  $\pi_r^{b*}$  为

$$q_r^{b*} = \frac{sa\theta + \beta[c + \lambda n_r + (1-\lambda)n_s] - \alpha(c+n_r)}{2\theta}; \quad (27)$$

$$\pi_r^{b*} = \frac{(\theta - \alpha\varphi)\{sa\theta + \beta[c + \lambda n_r + (1-\lambda)n_s] - \alpha(c+n_r)\}^2}{4\alpha\theta^2} - f^*; \quad (29)$$

供应商利润  $\pi_s^{b*}$  为

$$\pi_s^{b*} = \frac{\{(\alpha^2 - \beta^2)[c + \lambda n_r + (1-\lambda)n_s] - (1-s)\alpha\theta - sa\beta\theta\}^2}{4\alpha(\alpha^2 - \beta^2)\theta} + \frac{\varphi\{sa\theta + \beta[c + \lambda n_r + (1-\lambda)n_s] - \alpha(c+n_r)\}^2}{4\theta^2} + f^*; \quad (30)$$

数量折扣契约下供应链总利润  $\pi^{b*}$  为

$$\pi^{b*} = \frac{[sa\theta + (1-s)a\beta\theta - (\alpha^2 - \beta^2)(c+n_r)]\{sa\theta + \beta[c + \lambda n_r + (1-\lambda)n_s] - \alpha(c+n_r)\} + [sa\theta + (1-s)a\alpha\theta - (\alpha^2 - \beta^2)[c + \lambda n_r + (1-\lambda)n_s]\{(1-s)a\theta + \beta(c+n_r) - \alpha[c + \lambda n_r + (1-\lambda)n_s]\}}{4(\alpha^2 - \beta^2)\theta}. \quad (31)$$

对比公式(31)与公式(8),  $\pi^{b*} = \pi^{c*}$ , 供应链达到协调。

行数量折扣契约,因此得到

$$v(q_r^{b*}) = V^* - \varphi q_r^{b*} > c. \quad (32)$$

然而,只有当供应商提供的单位批发价大于生产成本  $v(Q) > c$  时,供应商才有内在激励提供并执

由公式(23)与公式(25)得到

$$V^* - \varphi q_r^{b*} - c = \frac{[(1-s)\alpha\beta\theta + (\beta^2\theta + \alpha\varphi D)s]\alpha\theta + [\beta C\theta + \alpha^2\varphi(c+n_r) - \alpha\beta\varphi C]D}{2\alpha\theta D}. \quad (33)$$

由于  $0 < s < 1, 0 < \beta < \alpha < 1$ , 因此,只有当

要使供应链中零售商愿意向供应商通过批发价格而非通过供应商的网上直销渠道购买产品,还必须满足  $p_s^{b*} > v(Q)$ , 即

$[(1-s)\alpha\beta\theta + (\beta^2\theta + \alpha\varphi D)s]a\theta + [\beta C\theta + \alpha^2\varphi(c+n_r) - \alpha\beta\varphi C]D > 0$ 。时,  $v(q_r^{b*}) = V^* - \varphi q_r^{b*} > c$  才成立, 供应商才有内在激励提供并执行数量折扣契约。

$$p_s^{b*} - v(Q) = p_s^{b*} - (V^* - \varphi q_r^{b*}) > 0. \quad (34)$$

代入公式(24)与公式(27)得到

$$\frac{[(1-s)\alpha + s\beta]\alpha\theta^2 + (\alpha C + \beta C - 2\alpha c)(\alpha + \beta)\theta}{2\alpha(\alpha + \beta)\theta} - \frac{\varphi[sa\theta + \beta C - \alpha(c+n_r)]}{2\theta} > 0. \quad (35)$$

因此,仅当公式(35)成立,即

得零售商愿意向供应商通过批发价格而非通过供应商的网上直销渠道购买产品, 契约对双方都形成内在激励, 供应链达到协调。

$$0 < \varphi < \frac{[(1-s)\alpha + s\beta]a\theta^2 + (\alpha C + \beta C - 2\alpha c)(\alpha + \beta)\theta}{\alpha(\alpha + \beta)[sa\theta + \beta C - \alpha(c+n_r)]}. \quad (36)$$

且  $0 < \varphi < 1$  时,此契约机制才形成内在激励使

命题 1: 当  $\varphi \leq \frac{\theta}{2\alpha}$  且

$$\frac{(\theta - 2\alpha\varphi)\{sa\theta + \beta[c + \lambda n_r + (1-\lambda)n_s] - \alpha(c+n_r)\}^2}{2\alpha\theta^2} \leq f^* \leq \frac{(3\theta - 4\alpha\varphi)\{sa\theta + \beta[c + \lambda n_r + (1-\lambda)n_s] - \alpha(c+n_r)\}^2}{16\alpha\theta^2}$$

时, 供应商与零售商都愿意接受数量折扣契约协调。

$$\pi_s^{b*} - \pi_s^{d*} \geq 0. \quad (37)$$

证明: 在生鲜农产品双渠道供应链中供应商接受数量折扣契约的条件为

由公式(17)与公式(30)可得

$$f^* \geq \frac{(\theta - 2\alpha\varphi) \{sa\theta + \beta[c + \lambda n_r + (1 - \lambda)n_s] - \alpha(c + n_r)\}^2}{8\alpha\theta^2} = f_1 \quad (38)$$

在生鲜农产品双渠道供应链中零售商接受数量折扣契约的条件为  $\pi_r^{b*} - \pi_r^{d*} \geq 0$ 。由公式(16)与公式(29)可得

$$f^* \leq \frac{(3\theta - 4\alpha\varphi) \{sa\theta + \beta[c + \lambda n_r + (1 - \lambda)n_s] - \alpha(c + n_r)\}^2}{16\alpha\theta^2} = f_2 \quad (40)$$

因为

$$f_2 - f_1 = \frac{\{sa\theta + \beta[c + \lambda n_r + (1 - \lambda)n_s] - \alpha(c + n_r)\}^2}{16\alpha\theta} \geq 0 \quad (41)$$

所以得到

$$\frac{(\theta - 2\alpha\varphi) \{sa\theta + \beta[c + \lambda n_r + (1 - \lambda)n_s] - \alpha(c + n_r)\}^2}{8\alpha\theta^2} \leq f^* \leq \frac{(3\theta - 4\alpha\varphi) \{sa\theta + \beta[c + \lambda n_r + (1 - \lambda)n_s] - \alpha(c + n_r)\}^2}{16\alpha\theta^2} \quad (42)$$

又因为  $f > 0$ , 所以得到

$$\begin{cases} f_1 = \frac{(\theta - 2\alpha\varphi) \{sa\theta + \beta[c + \lambda n_r + (1 - \lambda)n_s] - \alpha(c + n_r)\}^2}{8\alpha\theta^2} \geq 0 \\ f_2 = \frac{(3\theta - 4\alpha\varphi) \{sa\theta + \beta[c + \lambda n_r + (1 - \lambda)n_s] - \alpha(c + n_r)\}^2}{16\alpha\theta^2} \geq 0 \end{cases} \quad (43)$$

因此有  $\varphi \leq \frac{\theta}{2\alpha}$ 。

命题 1 说明数量折扣契约能够有效激励供应链双方进行合作,使得双渠道供应链的总利润最大化,并保证在该补偿策略下供应链成员达到双赢。从而证明了该数量折扣契约能有效地协调生鲜农产品双渠道供应链。

在命题 1 成立的条件下,如果令  $f^*$  为

$$f^* = (1 - \mu)f_{\min}(\varphi) + \mu f_{\max}(\varphi) \quad (44)$$

其中,  $f_{\min}(\varphi) = f_1$ ;  $f_{\max}(\varphi) = f_2$ ;  $\mu (0 < \mu < 1)$  表示供应商收取零售商享受契约固定费用的相对比例。由此得到命题 2。

命题 2: 在本数量折扣契约下,供应链中供应商与零售商可以任意分配协调前后双渠道供应链所增加的利润。

证明: 将公式(44)代入公式(29)与公式(30)得到

$$\pi_r^{b*} = \pi_r^{d*} + (1 - \mu)\Delta\pi^* \quad (45)$$

$$\pi_s^{b*} = \pi_s^{d*} + \mu\Delta\pi^* \quad (46)$$

由于

$$\pi^{b*} = \pi_r^{b*} + \pi_s^{b*} = \pi_r^{d*} + (1 - \mu)\Delta\pi^* + \pi_s^{d*} + \mu\Delta\pi^* = \pi^{d*} + \Delta\pi^*$$

所以  $\Delta\pi^*$  为协调前后双渠道供应链系统所增加的利润。又因为  $0 < \mu < 1$ , 所以供应链各成员可以任意分配协调前后双渠道供应链所增加的利润。

命题 2 表明通过对收取享受契约固定费用的相对比例的调整,可以使得双方任意分配协调前后双渠道供应链所增加的利润。随着  $\mu$  的增大,供应商的利润将增大,零售商的利润将减少。对于  $\mu$  的取值由双方的讨价还价能力所决定。

为了进一步说明数量折扣契约的有效性,将进行对应的算例分析。

#### 4 算例分析

通过运用数据来实证模型及理论探讨得到的相关结论。相关参数的赋值见表 1。

表 1 相关参数的赋值

项目	$a$	$s$	$\alpha$	$\beta$	$c$	$k_r$	$k_s$	$\lambda$
赋值	100	0.6	0.7	0.3	10	15	20	0.3

根据实际经验,假设  $\theta < 0.5$  时,消费者效用低于期望水平,消费者无法接受,基本不再购买生鲜农产品,因此  $0.5 \leq \theta < 1$ 。

由图 2 可知,随着生鲜农产品新鲜度的升高,供应商、零售商以及供应链总利润都会增大。并且,集中决策下双渠道供应链总利润要大于分散决策下的总利润。因此,提出一个合理的契约以解决供应链的协调问题是必须的。当新鲜度  $\theta$  取 0.7 时,通过计算,要使公式(36)成立,则  $0 < \varphi < 0.8898$ ; 而由命题 1 又能得到  $\varphi \leq 0.5$ 。因此,在  $\theta = 0.7$  时,在  $\varphi$  的不同取值下,  $f^*$  的取值范围见表 2。

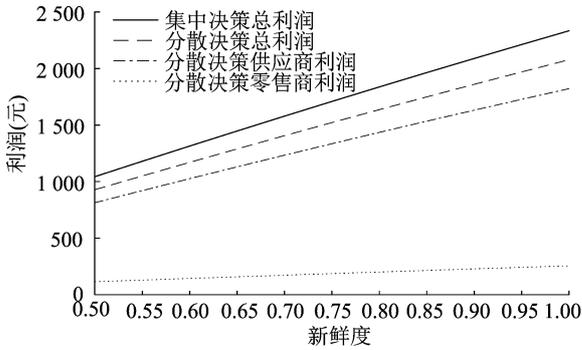


图2 新鲜度对集中决策总利润、分散决策总利润以及供应链双方利润的影响

表 2  $\varphi$  的不同取值下  $f^*$  的取值范围

$\varphi$	$f^*$ (元)
0.1	[276.1, 448.7]
0.2	[207.1, 379.7]
0.3	[138.0, 310.7]
0.4	[69.0, 241.6]
0.5	[0, 172.6]

由表 2 可以发现,当供应商的数量优惠比例  $\varphi$  确定后,供应商向零售商收取的固定费用  $f^*$  也将被确定在一定范围内。同时,由命题 2 可知,在数量优惠比例  $\varphi$  确定下固定费用  $f^*$  的具体值将由  $\mu$  来决定。因此,取  $\varphi=0.3$  来进一步分析。由公式(46)、公式(47)求得不同  $\mu$  下生鲜农产品双渠道供应链协调后各成员利润。

由表 3 可知,在供应商给出的数量优惠比例  $\varphi$  确定时,供应商分享协调后所多出的利润将随着收取固定费用的相对比例  $\mu$  的增大而增大,而且可以任意分配协调后多出的利润,从而检验了命题 2 的结论。当然,假如供应商收取的相对比例过大,零售商很可能会拒绝接受数量折扣契约。

表 3 不同  $\mu$  下生鲜农产品双渠道供应链协调后各成员利润 ( $\varphi=0.3$ ) 元

$\mu$	$f^*$	$\pi_r^{b*}$	$\pi_r^{b*}$
0.1	155.353 5	483.322 05	1 267.857 3
0.2	172.615 0	448.799 05	1 302.380 3
0.3	189.876 5	414.276 05	1 336.903 3
0.4	207.138 0	379.753 05	1 371.426 3
0.5	224.399 5	345.230 05	1 405.949 3
0.6	241.661 0	310.707 05	1 440.472 3
0.7	258.922 5	276.184 05	1 474.995 3
0.8	276.184 0	241.661 05	1 509.518 3
0.9	293.445 5	207.138 05	1 544.041 3
1.0	310.707 0	172.615 05	1 578.564 3

## 5 结束语

本研究针对前置仓合作情况下的生鲜农产品

双渠道供应链,先验证了进行前置仓合作的必要性,然后通过比较分析集中决策模式与分散决策模式下供应链中利润的变化,发现供应链系统存在双重边际效应。为了消除双重边际效应,使得供应链达到协调状态,实现供应链系统最优,设计了针对前置仓合作情况的数量折扣契约,考虑了供应商按照零售商的订购数量给予一定折扣的批发价提供给零售商作为补偿以激励零售商乐于为其提供前置仓合作,同时供应商为了保证自身利润不受到损害,还向零售商收取一定的享受优惠固定费用来作为其享受数量折扣契约的门槛。通过此数量折扣契约的研究,表明在前置仓合作情况下,供应商通过对于数量折扣契约的设计能够有效激励零售商与其合作,协调双渠道供应链,实现生鲜农产品双渠道供应链成员的双赢。然而,本研究假设的前置仓合作情况是在消费者收到生鲜农产品新鲜度相同的条件下所设计的,对于更贴近实际的线上线下消费者收到生鲜农产品新鲜度随供应链双方保鲜投入不同而变化的情形将是进一步研究的方向。

## 参考文献:

[1] Lee Y P, Dye C Y. An inventory model for deteriorating items under stock - dependent demand and controllable deterioration rate [J]. Computers & Industrial Engineering, 2012, 63 (2) : 474 - 482.

[2] Dye C Y, Hsieh T P. An optimal replenishment policy for deteriorating items with effective investment in preservation technology [J]. European Journal of Operational Research, 2012, 218 (1) : 106 - 112.

[3] 但 斌, 伏红勇, 徐广业, 等. 风险厌恶下天气影响产生的农产品供应链协调 [J]. 系统工程学报, 2014, 29 (3) : 362 - 370.

[4] 王 磊, 但 斌. 考虑零售商保鲜和消费者效用的生鲜农产品供应链协调 [J]. 运筹与管理, 2015, 24 (5) : 44 - 51.

[5] 杨 亚, 范体军, 张 磊. 新鲜度信息不对称下生鲜农产品供应链协调 [J]. 中国管理科学, 2016, 24 (9) : 147 - 155.

[6] 陈树桢, 熊中楷, 梁 喜. 补偿激励下双渠道供应链协调的合同设计 [J]. 中国管理科学, 2009, 17 (1) : 64 - 75.

[7] 刘 灿, 但 斌, 张旭梅, 等. 存在展厅效应的双渠道供应链协调策略研究 [J]. 计算机集成制造系统, 2018, 24 (4) : 1017 - 1023.

[8] 王 虹, 倪卫涛, 周 晶. 非对称信息下双渠道供应链的定价决策 [J]. 管理学报, 2010, 7 (2) : 238 - 242.

[9] 曹武军, 李新艳. 收益共享契约对生鲜农产品双渠道供应链协调研究 [J]. 江苏农业科学, 2014, 42 (11) : 469 - 472.

[10] 唐 润, 彭洋洋. 考虑时间和温度因素的生鲜食品双渠道供应链协调 [J]. 中国管理科学, 2017, 25 (10) : 62 - 71.

[11] Chambers C, Kouvelis P, Semple J. Quality - based competition profitability and variable costs [J]. Management Science, 2006, 52 (12) : 1884 - 1895.