

考虑销售努力和运输时间的农产品供应链弹性契约

夏文汇, 王涓

(重庆理工大学 管理学院, 重庆 400054)

摘要: **目的** 进一步实现农产品供应链数量弹性契约利润最大化。**方法** 在市场需求随机的条件下, 考虑销售努力和运输时间为影响需求的关键变量, 建立起由供应商和零售商组成的农产品供应链数量弹性契约模型。基于该模型引入奖励与惩罚策略, 以实现农产品供应链弹性契约的一致性和有效性。**结果** 结合农产品特征, 通过具体的模型优化方法和算例分析得出最优值以及各变量与最优销售努力水平、最优运输时间、最优订货量和整体农产品供应链利润之间的相关关系。**结论** 农产品供应链弹性契约能实现协调下的利润最大化, 对农业经营主体企业开展农产品供应链弹性研究具有重要的理论和实践价值。

关键词: 销售努力; 运输时间; 农产品供应链弹性; 奖励与惩罚策略

中图分类号: F224; F274; F326.6 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2023)15-0168-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.15.022

Quantity Flexibility Contract for Agricultural Product Supply Chain Considering Sales Effort and Transportation Time

XIA Wen-hui, WANG Juan

(School of Management, Chongqing University of Technology, Chongqing 400054, China)

ABSTRACT: The work aims to further maximize the profit of the quantity flexibility contract for agricultural product supply chain. Under the condition of random market demand, a quantity flexibility contract model for agricultural product supply chain composed of suppliers and retailers was established by considering the sales effort and transportation time as the key variables affecting the demand. Based on this model, reward and punishment strategy was introduced to realize the consistency and effectiveness of agricultural product supply chain flexibility contract. Combined with the characteristics of agricultural products, through the specific model optimization method and example analysis, the optimal value and the correlation between each variable and the optimal sales effort level, the optimal transportation time, the optimal order volume and the overall agricultural product supply chain profit were obtained. The flexibility contract of agricultural product supply chain can realize the profit maximization under the coordination, which has an important theoretical and practical value for the agricultural business subject enterprises to carry out the flexible research on agricultural product supply chain.

KEY WORDS: sales effort; transportation time; agricultural product supply chain flexibility; reward and punishment strategy

供应链契约指通过向零售商提供恰当条款, 使得零售商的订货数量满足供应链总利润最大化的要求,

以解决供应链协调问题。数量弹性契约指零售商在观察实际市场需求后有权对初始订货量在确定的订货

收稿日期: 2022-11-02

基金项目: 重庆市社会科学规划研究项目(2020YBGL72); 重庆市社会科学规划重点研究项目(2017ZDYY17)

作者简介: 夏文汇(1967—), 男, 教授, 主要研究方向为物流与供应链管理。

量区间内进行一定调整。通常在销售周期到来前零售商会向供应商提供产品订货量;然后供应商按照高于该订货量的比例来进行生产,零售商也保证其实际订货量不得低于一定的比例,这就是零售商的订货量区间;最后零售商根据实际需求对订货量进行调整。数量弹性契约不仅可以保证供应商的产品供应,也可以避免由于零售商对产品需求的高估从而导致整体供应链库存过剩。Lariviere^[1]最早建立了单周期数量弹性契约模型。近年学者对数量弹性契约模型的研究主要集中在影响模型的因素上。覃艳华^[2]考虑了努力程度和退货价格对数量弹性契约的作用。王淑云等^[3]在该模型的研究上考虑的是产品价格与产品新鲜度。罗伟伟等^[4]研究的契约影响因素为零售商损失厌恶偏好,并发现建立回购契约与数量弹性契约模型可以保证供应链的绩效。刘崇光等^[5]研究了回收价格和期望销量对闭环供应链中数量弹性契约的影响。

农产品作为现代农业发展的关键,其供应链运作好坏会对各方利润产生影响。农产品因其生产的周期性、运输的易腐性、购买的时效性以及运营模式的多样性,可归类为易逝品供应链^[6]。关于易逝品供应链的研究,田立平等^[7]通过建立批发价格+利润共享契约模型,解决了退货价格下的易逝品供应链的协调问题。李绩才等^[8]构建了双向期权契约机制下的供应链博弈模型,对季节性短寿命周期产品供应链进行了研究,并得出了零售商的最佳采购策略与供应商的最优生产计划。李健等^[9]考虑在紧急订购的基础上,通过改进收益共享契约来达到易逝品供应链中双方利益最大化。袁微等^[10]则从实行价格承诺的定价策略角度进行考虑。具体到农产品供应链上,许强等^[11]考虑的是供货量损耗对农产品供应链的影响。董振宁等^[12]为改善供应商和销售商的利润,设计了保鲜成本分担契约,并且该契约能实现保鲜努力下的农产品供应链协调。贾鑫等^[13]则是通过设计收益共享契约来保证农产品供应链上产品的新鲜度。梁薇薇等^[14]发现零售商和供应商的努力水平对农产品供应链的影响更大。邹筱等^[15]研究发现增值服务与新鲜度会影响农产品供应链上供销双方在数量弹性契约上的制定。唐润等^[16]以时间和温度为切入点研究生鲜供应链的产品品质。谢如鹤等^[17]建立冷链供应链品质预测模型,合理应用安全可靠度优化供应链,达到节约成本提高品质的目的。徐蓁^[18]从动态博弈视角出发,探究搭便车行为对演化博弈模型的影响,并以此提高农产品供应链保鲜能力。

从以上文献可知,对影响契约模型设立的相关变量,学者们进行了全面的研究,可以发现大部分因素的波动都会对市场需求造成影响,然后在此基础上进行数量弹性契约设计以起到协调供应链的作用。现有涉及农产品供应链的研究未考虑到市场以及经济的复杂变动,大多是基于新鲜度来制定农产品供应链协调机制。此外包括农产品在内的易逝品供应链研究涉

及到数量弹性契约模型的分析少,并且鲜有学者研究销售努力对农产品供应链的市场需求和数量弹性契约设计的影响。已有关于销售努力的研究是围绕电子商务下的供应链定价^[19]。对于属于时间敏感型的农产品供应链,运输时间是影响交货时间的重要因素,一旦交货时间超出承诺就可能会对市场需求造成影响,但现有研究在讨论时很少考虑运输时间这一变量对市场的影响。从典型案例来看,深农集团之所以能位居大型农产品批发市场行业首位,靠的是营销多样化以及运输及时,在提高销量的同时又保证了产品质量和顾客满意度,实现市场均衡稳定供应;生鲜电商盒马鲜生为获得顾客信任,在销售上通过各平台经常性发放优惠券或商品折扣,在运输上严格遵守3公里内30分钟必达的理念,对运输时间的严格把控以及营销策略的应用是盒马鲜生成功的关键。以上成功案例证实了从销售努力及运输时间角度对农产品供应链进行研究具有合理性及实践价值。

因此,本文基于现有研究的不足,在市场需求随机的条件下,对农产品供应链的研究充分考虑销售努力水平以及运输时间两因素,通过销售努力吸引顾客、运输时间留住顾客。然后进行数量弹性契约的建模及相关分析,以得出在销售努力和运输时间的影响下,农产品供应链数量弹性契约能否对供应链起到协调作用。

1 模型假设及说明

本文所采用农产品供应链模型是二级供应链,即由一个供应商和一个零售商组成。假设市场上信息对称且供应商和零售商都是以利润最大化为决策原则,即二者为完全理性和风险中性。农产品为短生命周期产品。

符号说明如下: p 为产品的零售价格; w 为零售商从制造商处获得产品的批发价格; c 为制造商生产运输成本; z 为销售周期结束后未销售出去的产品的剩余残值,其小于单位成本; t 为实际运输时间,以小时为单位计量; m 为商品发生损坏后零售商给予顾客的赔偿额,此时 $m \leq p$; Q 为零售商的订购量或供应商的生产量; e 为零售商的销售努力程度; $g(e)$ 为销售努力成本,假设 $g'(e) > 0$ 、 $g''(e) > 0$ 且 $g(0) = 0$;设 $h(t)$ 为运输时间 t 下的农产品损坏率。农产品供应链的产品具有易逝和短周期的特点,对运输时间的要求高。由于农产品损坏率是运输时间的增函数,所以 $h'(t) > 0$ 。由于受到市场影响,所以零售商对产品的需求量是不确定的,并且产品的需求量也会受零售商的销售努力程度以及产品的运输时间影响。一般来说,销售努力程度和产品需求成正比,产品交货越及时,产品的需求量越多。因此设 x 为随机需求, $f(x|e, t)$ 和 $F(x|e, t)$ 分别为易逝短生命周期产品需求的概率密度

函数和累计分布函数。

假设 $S(Q, e, t)$ 为确定订货量、交货时间以及努力程度的期望销售量，也就是 $S(Q, e, t) = E\min(Q, x)$ ，因此有

$$S(Q, e, t) = \int_0^Q \min(Q, x) f(x|e, t) dx = Q - \int_0^Q F(x|e, t) dx。$$

则 $\frac{\partial S(Q, e, t)}{\partial e} > 0$ ， $\frac{\partial S(Q, e, t)}{\partial t} < 0$ 。 $I(Q, e, t)$ 为销售周期结束后未销售出去的剩余产品，即 $I(Q, e, t) = Q - S(Q, e, t)$ ； Π_r 为零售商的期望利润； Π_h 为供应链的整体期望利润。

2 模型分析

2.1 整体农产品供应链模型

数量弹性契约的最终目的是通过供应链上各方之间的协调来实现供应链整体利润最大化，因此，本文先讨论整体农产品供应链的利润模型，由前面的假设可得出该期望利润模型为：

$$\begin{aligned} \Pi_h(Q, e, t) &= pS(Q, e, t) + zI(Q, e, t) - \\ &mh(t)S(Q, e, t) - cQ - g(e) \end{aligned} \tag{1}$$

$$[p - z - mh(t)]S(Q, e, t) - (c - z)Q - g(e)$$

使 e^* 为在确定订购量和交货时间下的最佳销售努力程度，则 e^* 要满足以下条件：

$$\frac{\partial \Pi_h(Q, e^*, t)}{\partial e} = [p - z - mh(t)] \frac{\partial S(Q, e^*, t)}{\partial e} - g'(e) = 0 \tag{2}$$

使 t^* 为在确定销售努力水平和订货量下的最佳运输时间，则 t^* 要满足以下条件：

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Pi_h(Q, e, t^*)}{\partial t} &= -mh'(t)S(Q, e, t) + \\ &[p - z - mh(t)] \frac{\partial S(Q, e, t^*)}{\partial t} = 0 \end{aligned} \tag{3}$$

使 Q^* 为在确定销售努力水平和交货时间下的最佳订货量，则 Q^* 需要满足以下条件：

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Pi_h(Q^*, e, t)}{\partial Q} &= [p - z - mh(t)] \cdot \\ \frac{\partial S(Q^*, e, t)}{\partial Q} - (c - z) &= 0 \end{aligned} \tag{4}$$

因为 $S(Q, e, t) = Q - \int_0^Q F(x|e, t) dx$ ，所以 $\frac{S(Q, e, t)}{\partial Q} = 1 - F(Q|e, t)$ 。由式(4)可以得出最优 Q^* 满足的条件如下：

$$F(Q^*|e, t) = \frac{p - c - mh(t)}{p - z - mh(t)} \tag{5}$$

由于农产品供应链之间要实现相互协调，所以式(2) — (4) 为实现农产品供应链协调的必要条件。

2.2 数量弹性契约

数量弹性契约的主要实施步骤：零售商在得知市场需求分布函数 $F(Q|e, t)$ 后，提交给供应商经过预测的农产品订货量 q ；然后供应商据此来备货农产品，

产品数量为 $Q = (1 + \alpha)q$ ($\alpha \geq 0$)，零售商承诺产品订购量不低于 $(1 - \beta)q$ ($0 \leq \beta \leq 1$)；最后在进行销售时，零售商根据市场反映的真实需求，在限定范围内精确农产品的购买量，使其尽量与实际相贴合。

此时农产品的订购范围为 $[(1 - \beta)q, (1 + \alpha)q]$ ， η 为数量弹性契约的弹性度，即 $\eta = \frac{1 + \alpha}{1 - \beta}$ ，此时零售商的期望利润见式(6)。

$$\begin{aligned} \Pi_r(Q, e, t, w, \eta) &= pS(Q, e, t) + zI(Q, e, t) - mh(t) \cdot S(Q, e, t) - \\ &wQ - g(e) + (w - z) \int_{\frac{Q}{\eta}}^Q F(x|e, t) dx = [p - z - mh(t)] \cdot S(Q, e, t) - \\ &(w - z)Q + (w - z) \int_{\frac{Q}{\eta}}^Q F(x|e, t) dx - g(e) \end{aligned} \tag{6}$$

若要实现农产品供应链协调，那么销售努力水平和运输时间在分散决策下的农产品供应链表示应该与二者在整体农产品供应链中表示相同。因此最佳销售努力水平 e^* 和最佳运输时间 t^* 应满足以下条件：

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Pi_r(Q, e^*, t, w, \eta)}{\partial e} &= [p - z - mh(t)] \frac{\partial S(Q, e^*, t)}{\partial e} + \\ &(w - z) \int_{\frac{Q}{\eta}}^Q \frac{\partial F(x|e^*, t)}{\partial e} dx - g'(e^*) = 0 \end{aligned} \tag{7}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Pi_r(Q, e, t^*, w, \eta)}{\partial t} &= -mh'(t)S(Q, e, t^*) + \\ &[p - z - mh(t)] \frac{\partial S(Q, e, t^*)}{\partial t} + (w - z) \int_{\frac{Q}{\eta}}^Q \frac{\partial F(x|e, t^*)}{\partial t} dx = 0 \end{aligned} \tag{8}$$

通过比较式(2)与式(7)以及式(3)与式(8)可以发现仅当 $w = z$ 时，式(2)与式(8)相等以及式(3)与式(7)相等。但只有在 $w > z$ 时农产品供应商才有可能获利，在 $w = z$ 时农产品供应商的利润为负。因此，当运输时间和销售努力程度会对需求产生影响时，简单的数量弹性契约是无法实现农产品供应链各方之间的相互协调。

2.3 基于奖励与惩罚策略的数量弹性契约模型

为了达到农产品供应链中供应商与零售商之间的协调，本文在原有的简单数量弹性契约模型上引入了奖励与惩罚策略，即农产品供应商给定零售商销售目标，若超额完成则对超额完成的部分给予奖励，若未完成则以未完成的部分为基础实施一定的惩罚。假设农产品供应商给定的销售目标为 M ，在销售周期结束后，若销售量未达到 M ，农产品供应商则对未完成部分对销售商进行惩罚， λ 为对每件商品的惩罚额；若销售量超过了 M ，农产品供应商则针对超过销售目标的部分对零售商进行奖励，每件产品的奖励额也是 λ 。因此，在制定了一定的奖惩策略的数量弹性契约模型中，零售商的期望利润为：

$$\begin{aligned} \Pi_r(Q, e, t, w, \eta, \lambda) &= [p - z - mh(t)]S(Q, e, t) - \\ & (w - z)Q + (w - z) \int_{\frac{Q}{\eta}}^Q F(x|e, t) dx + \\ & \lambda[S(Q, e, t) - M] - g(e) = [p - z - mh(t) + \lambda]S(Q, e, t) - \\ & (w - z)[Q - \int_{\frac{Q}{\eta}}^Q F(x|e, t) dx] - \lambda M - g(e) \end{aligned} \quad (9)$$

为了达到农产品供应链之间的协调, 整体农产品供应链中的最优销售努力水平 e^* 和最佳运输时间 t^* 应该满足以下条件:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Pi_r(Q, e^*, t, w, \eta, \lambda)}{\partial e} &= [p - z - mh(t) + \lambda] \frac{\partial S(Q, e^*, t)}{\partial e} + \\ & (w - z) \int_{\frac{Q}{\eta}}^Q \frac{\partial F(x|e^*, t)}{\partial e} dx - g'(e^*) = 0 \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Pi_r(Q, e, t^*, w, \eta, \lambda)}{\partial t} &= -mh'(t)S(Q, e, t^*) + \\ & [p - z - mh(t) + \lambda] \frac{\partial S(Q, e, t^*)}{\partial t} + \\ & (w - z) \int_{\frac{Q}{\eta}}^Q \frac{\partial F(x|e, t^*)}{\partial t} dx = 0 \end{aligned} \quad (11)$$

式 (2) 与式 (10) 以及式 (3) 与式 (11) 相比较, 可知若要使式 (2) 和式 (3) 成立, 则有:

$$\lambda = \frac{(w - z) \int_{\frac{Q}{\eta}}^Q \frac{\partial F(x|e, t)}{\partial e} dx}{\int_0^Q \frac{\partial F(x|e, t)}{\partial e} dx} = \frac{(w - z) \int_{\frac{Q}{\eta}}^Q \frac{\partial F(x|e, t)}{\partial t} dx}{\int_0^Q \frac{\partial F(x|e, t)}{\partial t} dx} \quad (12)$$

式 (12) 表示了最优决策变量 λ 、 w 、 e 、 t 之间的关系。由式 (9) 可得到当农产品供应链达到协调时, 数量弹性契约下最优生产量 Q^* 应满足以下条件:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Pi_r(Q^*, e, t, w, \eta, \lambda)}{\partial Q} &= [p - z - mh(t) + \lambda] \cdot [1 - F(Q^*|e, t)] - \\ & (w - z)[1 - F(Q^*|e, t) + \frac{1}{\eta} F(\frac{Q^*}{\eta}|e, t)] = 0 \end{aligned} \quad (13)$$

由式 (13) 可解得 w 的值为:

$$w = z + \frac{[p - z - mh(t) + \lambda][1 - F(Q^*|e, t)]}{1 - F(Q^*|e, t) + \frac{1}{\eta} F(\frac{Q^*}{\eta}|e, t)} \quad (14)$$

其中 Q^* 满足式 (5), 即:

$$F(Q^*|e, t) = \frac{p - c - mh(t)}{p - z - mh(t)}$$

此时农产品供应商要保证获利可以通过调整 η 的大小, 也就是调整 β 和 α 的大小来使得 $w \geq c$ 。

通过联立式 (12) 和式 (14) 可以求出最优 λ 和最优批发价格 w^* 。因此, 将运输时间和销售努力程度同时作为奖惩标准的数量弹性契约可以实现农产品供应链协调, 并且相关参数符合式 (12) 与式 (14) 的要求。

3 模型优化方法

通过以上的模型分析证明了在考虑奖励与惩罚策略的数量弹性契约中农产品供应链是可以实现协作, 并且在该契约模型中能够保证零售商的销售努力水平、运输时间和订货量与在整体农产品供应链中的对应的数值相一致。因此模型的问题进一步深化为寻找最优 e^* 、 t^* 和 Q^* 以使得式 (1) 的期望利润最大。

模型要进行优化, 假设市场需求 $x = y(e, t) + \delta$, 该等式中的 $y(e, t)$ 指同时受销售努力与运输时间影响下的农产品期望市场需求量。依照现实情况可知, 零售商销售越努力, 市场需求量越高, 但努力程度超过一定的限度后, 需求量反而会出现下降, 即 $y(e, t)$ 为 e 的增函数且为凹函数, 因此 $\frac{\partial y(e, t)}{\partial e} > 0$, $\frac{\partial^2 y(e, t)}{\partial e^2} \leq 0$ 。

运输时间 t 越短, 市场需求量越大, 因此 $y(e, t)$ 为 t 的减函数, 即 $\frac{\partial y(e, t)}{\partial t} < 0$ 。 δ 为独立于 e 和 t 的随机变量, δ

的概率密度函数为 $f(\delta)$, 分布函数为 $F(\delta)$ 。这时, 农产品需求概率密度函数与累积分布函数分别为 $f(x|e, t) = f(x - y(e, t))$, $F(x|e, t) = F(x - y(e, t))$ 。因此, 期望农产品销售量 $S(Q, e, t) = Q - \int_{y(e, t)}^Q F(x - y(e, t)) dx$, 将其带入式 (1) 中得到的期望利润为:

$$\begin{aligned} \Pi_h(Q, e, t) &= [p - c - mh(t)]Q - \\ & [p - z - mh(t)] \int_{y(e, t)}^Q F(x - y(e, t)) dx - g(e) \end{aligned} \quad (15)$$

由式 (15) 可知, 在给定了 e 和 t 的情况下 $\Pi_h(Q, e, t)$ 相对于 Q 为凹函数, 因此有最优解, 则:

$$\frac{\partial \Pi_h(Q^*, e, t)}{\partial Q} = p - c - mh(t) - [p - z - mh(t)]F(Q^* - y(e, t)) = 0 \quad (16)$$

$$[p - z - mh(t)]F(Q^* - y(e, t)) = 0$$

因此, 最优解 Q^* 为:

$$Q^* = F^{-1}\left(\frac{p - c - mh(t)}{p - z - mh(t)}\right) + y(e, t) = Q(e, t) \quad (17)$$

把式 (17) 以及 $\delta = x - y(e, t)$ 代入式 (15) 中, 可得整体农产品供应链的期望利润为:

$$\begin{aligned} \Pi_h(Q(e, t), e, t) &= [p - c - mh(t)]Q - \\ & [p - z - mh(t)] \int_0^{F^{-1}\left(\frac{p - c - mh(t)}{p - z - mh(t)}\right)} \delta f(\delta) d\delta - g(e) \end{aligned} \quad (18)$$

此时的目标则变为找寻最优销售努力水平 e^* 以及最佳运输时间 t^* , 以使得 $\Pi_h(Q(e, t), e, t)$ 的值最大。现假设 $y(e, t) = a + b_1 e - b_2 h(t)$, 这里的 b_1 指销售努力所能作用到需求上的程度, b_2 指运输时间对需求的影响程度; $g(e) = \frac{1}{2} \omega e^2$, $h(t) = \ln(1 + \rho t^2)$, ρ 代表对运

运输时间的敏感系数, $h(t)$ 为因运输时间所造成的农产品损耗。作为市场需求中的随机变量, δ 在需求区间

$[A, R]$ 上服从均匀分布, 因此 $f(\delta) = \frac{1}{R-A}$ 、 $F(\delta) = \frac{\delta-A}{R-A}$ 、 $F^{-1}(\delta) = A+(R-A)\delta$, 再将以上式子带入式(18)中进行整合, 可得到:

$$\begin{aligned} \Pi_h(Q(e, t), e, t) = & [p-c-m\ln(1+\rho t^2)] \cdot \{a+b_1e-b_2\ln(1+\rho t^2)+ \\ & A+\frac{(R-A)[p-c-m\ln(1+\rho t^2)]}{p-z-m\ln(1+\rho t^2)} - \frac{A(c-z)+R[p-c-m\ln(1+\rho t^2)]}{2(R-A)[p-z-m\ln(1+\rho t^2)]} \\ & \frac{A(c-z)+R[p-c-m\ln(1+\rho t^2)]}{p-z-m\ln(1+\rho t^2)}\} - \frac{1}{2}\omega e^2 \end{aligned} \quad (19)$$

通过对式(19)求关于 e 的二阶偏导可知 $\frac{\partial^2 \Pi_h}{\partial e^2} = -\omega < 0$, $\Pi_h(Q(e, t), e, t)$ 是关于 e 的凹函数, 所以存在最优的 e^* 使得整体供应链的期望利润最大, 因此 $\frac{\partial \Pi_h(Q(e^*, t), e^*, t)}{\partial e} = 0$, 则有:

$$e^* = \frac{b_1 [p-c-m\ln(1+\rho t^2)]}{\omega} \quad (20)$$

将式(20)带入到式(19)中可以得到:

$$\begin{aligned} \Pi_h(Q(e^*, t), e^*, t) = & [p-c-m\ln(1+\rho t^2)] \cdot \{a-b_2\ln(1+\rho t^2)+A+ \\ & \frac{(R-A)[p-c-m\ln(1+\rho t^2)]}{p-z-m\ln(1+\rho t^2)} - \frac{A(c-z)+R[p-c-m\ln(1+\rho t^2)]}{2(R-A)[p-z-m\ln(1+\rho t^2)]} \\ & \frac{A(c-z)+R[p-c-m\ln(1+\rho t^2)]}{p-z-m\ln(1+\rho t^2)}\} + b_1 \cdot \frac{b_1 [p-c-m\ln(1+\rho t^2)]^2}{\omega} \end{aligned} \quad (21)$$

此时只需求出最优解 t^* 即可解决该优化问题, 然后将 e^* 和 t^* 代入式(17)中即可求出最佳订货量 Q^* 。

4 案例应用分析

根据模型分析思路, 在大量的样本案例中选取代表性的农产品供应链, 既要考虑与之相关的产品具有短周期和易逝的特点, 又要基于短周期产品市场的现有状况以及实现供应链协作应具备的条件。依据对中国某专业化农产品流通公司的调研数据, 获悉香梨在某区域市场需求量的售价 p 为 20 元/kg, 生产加运输成本 c 为 5 元/kg, 未销售出去的香梨剩余残值 z 为 2 元/kg, 数量损耗的赔偿额 m 为 6 元/kg。市场需求密度函数符合均匀分布 $F(x) = \frac{x-A}{R-A}$, 其中 $R=100$ 、 $A=50$ 。此外, 针对所调研企业所处市场的顾客表现以及产品售卖情况给定时间敏感系数 $\rho=0.02$, 该市场销售努力以及运输时间对顾客需求的影响程度分别为 $b_1=10$ 、 $b_2=10$, 顾

客对销售努力的敏感系数 $\omega=100$, 此案例符合基本假设条件。

由式(2) — (4)可知, e^* 、 t^* 、 Q^* 需分别满足以下条件:

$$100e = [20-2-6h(t)][-500-2e+2h(t)+0.2Q] \quad (22)$$

$$\begin{aligned} \frac{0.24t}{1+0.02t^2} [Q - \int_{200+10e-10h(t)}^Q \frac{x-250-10e+10h(t)}{50} dx] = \\ -2t \cdot [18-6\ln(1+0.02t^2)] \cdot \frac{0.04h(t)+0.004Q-0.04e-1}{1+0.02t^2} \end{aligned} \quad (23)$$

$$3 = [18-6h(t)][-0.02Q+5+0.2e-0.2h(t)] \quad (24)$$

在未考虑数量弹性契约的情况下, 农产品流通公司要想和经销商之间达成协调, 式(22) — (24)是必要条件。此时求得最佳时间周期 t^* 为 5.5 d, 最佳销售努力 e^* 为 1.22, 需求量 Q^* 为 236.2 t, 此时的整体供应链利润 Π_h 最优为 2 631 万元。

为避免库存过剩导致不必要的成本花销, 流通公司与经销商签订了未考虑奖惩策略的数量弹性契约合同, 以此建立稳定的契约关系。弹性契约的进货浮动比例 $\alpha=\beta=0.2$, 此时的农产品订购范围为 $[0.8q, 1.2q]$, 弹性度 $\eta=1.5$ 。此时农产品流通公司若想和经销商在分散决策时所获利润与整体决策下的相同, 则式(7)和式(8)应分别与式(22)和式(23)相等, 经计算, 只有当 $w=2$ 时, 式(7)与式(22)相等, 式(8)与式(23)相等, 但农产品供应商获利条件为 $w > z$, 因此签订简单的数量弹性契约合同不能起协调作用, 与本文所得结论相同。

农产品流通公司与经销商为分别实现各自利润最大化, 在已签订的契约合同中加入奖励与惩罚条款, 即经销商须达到销售目标 200 kg, 若未达到目标, 经销商将会受到惩罚, 反之会得到来自流通公司的奖励。惩罚(奖励)额 λ 则是由式(12)决定, 即:

$$\lambda = \frac{(w-2) \int_{\frac{Q}{1.5}}^Q -\frac{1}{5} dx}{\int_0^Q -\frac{1}{5} dx} = \frac{(w-2) \int_{\frac{Q}{1.5}}^Q \frac{0.08t}{1+0.02t^2} dx}{\int_0^Q \frac{0.08t}{1+0.02t^2} dx} \quad (25)$$

其中 w 的值为:

$$w = 2 + \frac{(18-6h(t)+\lambda)(1-\frac{15-6h(t)}{18-6h(t)})}{1-\frac{15-6h(t)}{18-6h(t)} + \frac{13.5-6h(t)}{27-9h(t)}} \quad (26)$$

联立式(25)和式(26)可得 $\lambda^* = \frac{w-2}{3}$,

$$w^* = \frac{\frac{9h(t)}{2h(t)-6} + 28}{1-\frac{1}{12-4h(t)}}。要想求得最优批发价格以及奖惩$$

额, 则需知道最佳运输时间。通过式(21)计算可得到最佳时间周期 $t^*=5$ d, 由此可得出 $w^*=7$, $\lambda^*=1.67$, 结论与所做模型相符。

此时,因为求出了最佳运输时间 t^* ,所以由式(20)可求出最佳销售努力 $e^*=1.26$ 。由式(17)可求出最佳需求量 $Q^*=237.57$ t。最后将 e^* 、 t^* 、 Q^* 带入式(19)中,通过计算可得整体供应链利润 Π_h 最优为 2 729.85 万元。

表 1 模型结果比较
Tab.1 Comparison of model results

模型	e^*	t^*	Q^*	Π_h
未考虑数量弹性契约	1.22	5.5	236.2	2 631
基于奖惩的数量弹性契约	1.26	5	237.57	2 729.85

通过表 1 可知,引入奖励与惩罚策略的数量弹性契约是能够提高市场需求,使得整体供应链的利润提高。若不考虑数量弹性契约模型,则会使经销商一方销售努力能力减弱,运输上也会有所怠慢,从而影响到销量以及整体供应链利润最大化的实现。因此,该农产品流通公司与经销商之间应签订有奖惩条款的数量弹性契约模型,在保证充足货源的同时,减少存储成本,通过对销售努力和运输时间的控制,获得最优利润。

此外,由图 1 可知,销售努力与运输时间之间是成反比关系。当运输超时的时候就会对销售人员心理造成影响,他们认为一旦超过了承诺期限,农产品损坏率将提升,此时顾客对企业信任度以及忠诚度将会减少,市场需求下降。这时销售努力不能带动市场需求,因此运输时间越长,销售会出现怠慢,销售努力水平越低。通过分析可以发现各变量与各最优解之间存在一定的关系,如销售价格 p 与最优值 e^* 、 t^* 、 Q^* 和 Π_h^* 之间成正比,单位生产成本 c 与各最优值之间成反比; b_1 与最优解 e^* 、 t^* 、 Q^* 成正比,但与 Π_h^* 成反比等。因此在考虑最佳销售努力水平时也要考虑到以上变量的影响,从而占领市场,得到更多需求以进一步提升整体农产品供应链利润。

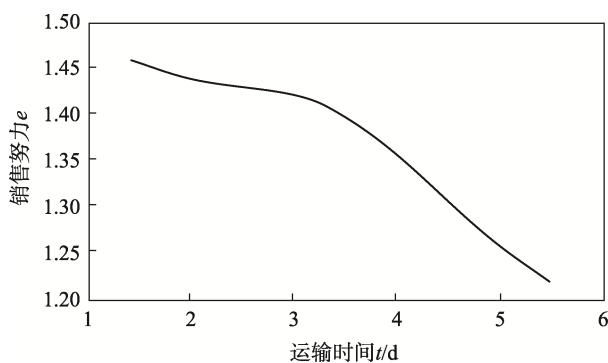


图 1 运输时间与销售努力关系
Fig.1 Relationship between transportation time and sales effort

5 结语

本文所讨论的易逝品供应链为农产品供应链,产品类型短周期产品。通过模型分析以及案例研究可

得到以下结论:

1) 在需求不确定的条件下,将销售商的销售努力水平以及运输时间考虑到影响农产品供应链利润因素中具有研究意义以及实践性。通过案例分析得出,不考虑数量弹性契约下的农产品供应链所获的利润、销量均小于包含奖惩条款的数量弹性契约农产品供应链的利润与销量。

2) 通过模型分析得出,简单的数量弹性契约协调农产品供应链的实际价值有限,并不能协调供应链各方。因此引入奖励与惩罚策略,并证实在该策略下,数量弹性契约是可以实现整体农产品供应链的协调。

3) 为求得销售努力水平、运输时间和订货量的最优解,本文针对农产品所具有的市场特性,进一步对契约模型进行优化,并通过案例应用得到证实。在优化模型分析的基础上还得到了农产品供应链中的销售价格、残值、赔偿额、需求弹性等变量与销售努力、运输时间和订货量的最优值之间的关系,为进一步实现农产品供应链协调提供了新思路。

将数量弹性契约引入农产品供应链中,丰富了数量弹性契约的理论研究以及应用范围。同时还针对销售努力和运输时间的影响进行探讨,研究更加全面。但本文仅对单一品种的农产品进行研究,未考虑不同品种农产品对运输时间以及新鲜敏感度的要求不同。此外,本文也未讨论多个供应商与经销商之间的农产品供应链协调问题,仅讨论了一个供应商与一个经销商形成的二级供应链。这些都可作为未来研究方向进行深入探讨。

参考文献:

- [1] LARIVIERE M A. Supply Chain Contracting and Coordination with Stochastic Demand. Quantitative Models for Supply Chain Management[M]. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1999: 233-268.
- [2] 覃艳华. 考虑努力及退货价格因素的易逝品供应链弹性数量契约模型[J]. 华中师范大学学报(自然科学版), 2012, 46(4): 477-482.
QIN Yan-hua. Quantity Flexibility Contract with Effect and Return Price in Perishable Product's Supply Chain[J]. Journal of Central China Normal University (Natural Sciences), 2012, 46(4): 477-482.
- [3] 王淑云, 姜樱梅, 牟进进. 基于新鲜度的冷链一体化库存与定价联合决策[J]. 中国管理科学, 2018, 26(7): 132-141.
WANG Shu-yun, JIANG Ying-mei, MOU Jin-jin. Inventory and Pricing Decision of an Integrated Cold Chain Based on Freshness[J]. Chinese Journal of Management Science, 2018, 26(7): 132-141.
- [4] 罗伟伟, 刘伟, 邵东国. 不确定环境下具有损失厌恶偏好零售商的供应链协调[J]. 计算机集成制造系统, 2016, 22(12): 2867-2874.
LUO Wei-wei, LIU Wei, SHAO Dong-guo. Supply Chain

- Coordination with Loss-Averse Retailer under Yield and Demand Uncertainties[J]. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 2016, 22(12): 2867-2874.
- [5] 刘崇光, 刘浪. 价格随机条件下的闭环供应链应急数量弹性契约[J]. *北京理工大学学报(社会科学版)*, 2020, 22(2): 50-59.
LIU Chong-guang, LIU Lang. Emergency Quantity Flexibility Contract of Closed-Loop Supply Chain under Stochastic Price[J]. *Journal of Beijing Institute of Technology (Social Sciences Edition)*, 2020, 22(2): 50-59.
- [6] 郑琪, 范体军. 考虑风险偏好的生鲜农产品供应链激励契约设计[J]. *管理工程学报*, 2018, 32(2): 171-178.
ZHENG Qi, FAN Ti-jun. Design of Incentive Contract for Fresh Agricultural Products Supply Chain Considering Risk Preference[J]. *Journal of Industrial Engineering and Engineering Management*, 2018, 32(2): 171-178.
- [7] 田立平, 贾鹏飞, 颜斌斌. 考虑退货价格的易逝品供应链联合契约模型[J]. *数学的实践与认识*, 2015, 45(21): 107-113.
TIAN Li-ping, JIA Peng-fei, YAN Bin-bin. The Combined Contract Model of Perishable Goods Supply Chain with Consideration of Return Price[J]. *Mathematics in Practice and Theory*, 2015, 45(21): 107-113.
- [8] 李绩才, 李昌文, 尚俊松. 基于双向期权契约的随机产出季节性产品供应链生产与订购策略[J]. *系统工程*, 2016, 34(10): 108-115.
LI Ji-cai, LI Chang-wen, SHANG Jun-song. Supply Chain Production and Ordering Strategy of Seasonal Products with Random Output Based on Two-Way Option Contract[J]. *Systems Engineering*, 2016, 34(10): 108-115.
- [9] 李健, 杨扬. 考虑紧急订购的两阶段易逝品供应链协调模型[J]. *统计与决策*, 2018, 34(1): 40-44.
LI Jian, YANG Yang. Supply Chain Coordination Model for Two-Stage Perishable Products of Permitted Emergency Ordering[J]. *Statistics and Decision*, 2018, 34(1): 40-44.
- [10] 袁微, 郑国华. 基于策略消费者的易逝品两阶段销售定价策略[J]. *铁道科学与工程学报*, 2021, 18(2): 533-542.
YUAN Wei, ZHENG Guo-hua. Two-Stage Sales Pricing Strategy for Perishable Products in Presence of Strategic Consumers[J]. *Journal of Railway Science and Engineering*, 2021, 18(2): 533-542.
- [11] 许强, 曾美花, 王应明. 基于供货量损耗比的鲜活农产品均衡问题研究[J]. *工业工程*, 2015, 18(2): 59-65.
XU Qiang, ZENG Mei-hua, WANG Ying-ming. A Study of the Equilibrium of Fresh Agricultural Product Supply Chain Network with Supply Loss Ratio[J]. *Industrial Engineering Journal*, 2015, 18(2): 59-65.
- [12] 董振宁, 周雪君, 林强. 考虑保鲜努力的生鲜农产品供应链协调[J]. *系统工程学报*, 2022, 37(3): 362-374.
DONG Zhen-ning, ZHOU Xue-jun, LIN Qiang. Coordination of Fresh Products Supply Chain with Freshness-Keeping Effort[J]. *Journal of Systems Engineering*, 2022, 37(3): 362-374.
- [13] 贾鑫, 陈化飞. 谎报行为下生鲜农产品供应链协调研究[J]. *包装工程*, 2020, 41(3): 70-76.
JIA Xin, CHEN Hua-fei. Supply Chain Coordination of Fresh Agricultural Products under the Behavior of Misreporting[J]. *Packaging Engineering*, 2020, 41(3): 70-76.
- [14] 梁薇薇, 周礼南, 周根贵, 等. 基于各方努力水平的生鲜农产品供应链网络模型研究[J]. *江苏农业科学*, 2019, 47(21): 337-343.
LIANG Wei-wei, ZHOU Li-nan, ZHOU Gen-gui, et al. Research on the Supply Chain Network Model of Fresh Agricultural Products Based on the Efforts of all Parties[J]. *Jiangsu Agricultural Sciences*, 2019, 47(21): 337-343.
- [15] 邹筱, 庞天赐, 周欢. 双向收益共享成本分担契约下生鲜农产品供应链优化研究[J]. *西南大学学报(自然科学版)*, 2021, 43(11): 122-130.
ZOU Xiao, PANG Tian-ci, ZHOU Huan. Study on Supply Chain Optimization of Fresh Agricultural Products under the Two-Way Benefit Sharing & Cost Sharing Contract[J]. *Journal of Southwest University (Natural Science)*, 2021, 43(11): 122-130.
- [16] 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.
TANG Run, PENG Yang-yang. Dual Channel Coordination of Fresh Food Supply Chain Considering Time and Temperature Factors[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2017, 25(10): 62-71.
- [17] 谢如鹤, 余伟. 冷鲜鸡供应链过程的品质预测与动态优化[J]. *包装工程*, 2018, 39(5): 63-70.
XIE Ru-he, YU Wei. Quality Prediction and Dynamic Optimization of Chilled Chicken Supply Chain Process[J]. *Packaging Engineering*, 2018, 39(5): 63-70.
- [18] 徐蓁. 生鲜农产品供应链保鲜投入的演化博弈分析与仿真研究[J]. *包装工程*, 2019, 40(11): 66-71.
XU Zhen. Evolutionary Game Analysis and Simulation Research on Fresh-Keeping Investment of Fresh Agricultural Product Supply Chain[J]. *Packaging Engineering*, 2019, 40(11): 66-71.
- [19] 张霖霖, 孙坤鹏. 考虑零售商销售努力的双渠道供应链定价策略研究[J]. *价格月刊*, 2020(1): 16-22.
ZHANG Lin-lin, SUN Kun-peng. Research on Pricing Strategy of Dual-Channel Supply Chain Considering Retailers' Sales Efforts[J]. *Prices Monthly*, 2020(1): 16-22.