

考虑消费者效用的生鲜农产品供应链保鲜激励机制研究

王 磊^{1,2}, 但 斌^{1,2}

(1. 重庆大学 经济与工商管理学院, 重庆 400044; 2. 重庆大学现代物流重庆市重点实验室, 重庆 400030)

摘要: 针对消费者对生鲜农产品新鲜度要求较高但供应商独自保鲜动力不足的问题, 在构建消费者时变效用函数的基础上建立了由零售商和供应商组成的两级生鲜农产品供应链利润模型, 设计了“基于生鲜农产品新鲜度的采购价”契约和“批发价+保鲜成本分担”契约两种促进供应商提高保鲜努力的激励机制。研究发现, 两种激励机制均能提高供应商保鲜努力水平, 并且在一定程度上实现供应链协调。当零售商具有强势地位时, 其在“基于生鲜农产品新鲜度的采购价”契约下比“批发价+保鲜成本分担”契约下能够获得更高的利润。最后通过数值算例分析了不同消费者偏好对供应链最优决策的影响。

关键词: 生鲜农产品; 激励机制; 消费者效用; 农产品保鲜

中图分类号: F253.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-6062(2015)01-0200-07

0 引言

生鲜农产品在流通过程中的保鲜一直是社会各方面关注的重要问题。为消费者提供更加新鲜的生鲜农产品已经成为生鲜经营企业及其供应链的一种竞争手段和社会责任。然而, 现阶段冷链运输或生鲜冷库的建设费用仍然较高, 生鲜农产品供应链上的各个节点企业均没有足够的动力单独对生鲜农产品进行保鲜^[1], 而加强供应链节点企业合作是解决该问题的关键因素。因此, 关注生鲜农产品流通过程中的保鲜以及供应链节点企业的合作, 探寻供应链节点企业提高生鲜农产品保鲜努力和实现供应链协调的运作策略, 对于提高生鲜经营业绩及人民生活质量均有重要意义。

生鲜农产品在流通和销售环节中的冷链保鲜技术与产品养护和管理是对生鲜农产品保鲜方面研究中较为常见的问题^{[2][3]}, 也有部分学者采用数学模型刻画保鲜技术对于生鲜农产品变质速率的影响, 从运营管理的角度来研究保鲜努力或保鲜投入对于企业的影响, 例如 Hsu 等人考虑零售商通过保鲜技术投入减缓生鲜农产品的变质率, 在此基础上研究了零售商的最优补货周期、订货数量和最优保鲜技术投入等最优决策^[4]; Dye 和 Hsieh 则建立了基于随时间变化的变质率和部分短缺量拖后的库存模型, 研究了企业的最优保鲜技术投入决策和最优补货计划^[5]; Lee 和 Dye 则假设需求受库存水平影响, 且零售商通过保鲜技术投入减缓生鲜农产品的变质率, 在此基础上研究了零售商的补货计划和最优保鲜技术投入^[6]; 文献[4~6]考虑的是单个企业的保鲜和优化决策, 没有涉及生鲜农产品供应链。对此, 一些学者针对基于保鲜的生鲜农产品供应链协调问题进行了研究, 例如 Cai 等人假设分销商在运输途中对生鲜农产品的保鲜努力会同时

影响生鲜农产品的质量(新鲜度)和数量, 设计激励机制促使分销商提高保鲜努力水平, 并使供应链实现协调^[7]; 陈军和但斌针对生鲜农产品在流通渠道中的实体损耗问题, 研究了基于生鲜农产品实体损耗和保鲜的生鲜农产品供应链协调问题^[8]。但由于现实中生鲜农产品新鲜度和价格是消费者最为关注的两个因素^[9], 且不同消费者对于新鲜度和价格的偏好不同, 因此, 关于生鲜农产品保鲜对企业决策和供应链协调策略影响的研究还应考虑消费者偏好和消费者效用等因素。

另一方面, 关于消费者偏好和消费者行为及其对企业和供应链影响方面的研究也逐渐成为了学者关注的热点问题, 例如 Akcay 等人针对消费者购买多种变质产品的效用和选择行为, 研究了同种产品不同质量等级和不同产品替代两种情形下零售商的动态定价策略^[10]; Lodree 等假设消费者会根据农产品的变质程度改变需求, 研究了在此情形下的农产品库存管理策略^[11]; 陈军和但斌以降价预期刻画顾客对当前价格的感知, 针对零售商在维持需求和利润最大化条件下降价两种策略, 研究了生鲜农产品的最优定价问题^[12]; 文献[10~12]的研究对象是同样单企业决策行为, 未涉及供应链。部分学者针对消费者偏好或消费者行为对于供应链协调的影响进行了研究, 例如 Su 和 Zhang 研究了战略顾客行为对于供应链绩效的影响, 并设计了多种契约来实现供应链协调^[13]; Xiao 等人假定消费者效用同时受到产品质量、服务质量和零售价格的影响, 在此基础上给出了零售商的最优服务质量和定价决策, 并设计了收益共享契约实现供应链帕累托改进和协调^[14]; 陈远高和刘南基于消费者对产品价格和渠道服务的敏感性建立了消费者在不同渠道购买产品的效

收稿日期: 2012-12-27 修回日期: 2013-03-29

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(70972056; 71272086)

作者简介: 王磊(1983—), 男, 重庆人, 重庆大学经济与工商管理学院博士研究生, 研究方向: 物流与供应链管理。

用函数 研究存在差异性产品条件下 网络直销渠道与传统零售渠道并存的双渠道供应链系统的协调问题^[15]; 但文献[13~15]的研究对象是工业产品供应链 研究结果无法直接应用于生鲜农产品供应链的协调问题。

鉴于此 本文针对生鲜农产品新鲜度随时间衰减的特点和消费者偏好的多样性 拟建立受新鲜度和价格影响的消费者时变效用函数 分析和比较分散式决策下和集中式决策下生鲜农产品供应链系统的利润水平和最优决策 并设计合理的契约激励供应商提高保鲜努力并进而实现生鲜农产品供应链协调 以期为生鲜经营企业进行科学管理提供理论参考。

1 问题描述与假设

本文研究一个供应商(s)和一个零售商(r)组成的供应链销售单品种生鲜农产品的情形。由于生鲜农产品具有新鲜度随时间衰变的特性 因此一般说来 生鲜农产品新鲜度随时间衰变的函数表达式应该具有以下性质: $\theta'(t) < 0$, 即在一个销售周期 T 内生鲜农产品的新鲜度随着时间的流逝而逐渐减小; $\theta''(t) > 0$, 即新鲜度值随时间流逝加速递减。另外 若供应商对生鲜农产品保鲜 则产品在运达零售商卖场时具有更高的初始新鲜度 但根据实际情况 无论供应商投入多大的保鲜努力或投入多少保鲜成本 生鲜农产品也不可能达到刚从田地里采摘时的新鲜度。基于以上假设 将考虑供应商保鲜努力的生鲜农产品新鲜度衰减函数设为 $\theta(t) = \bar{\theta}_0(e) - \eta_0 \left(\frac{t}{T}\right)^{1/2}$ $t \in [0, T]$ 其中 $\bar{\theta}_0(e) < 1$ 代表受供应商保鲜努力的生鲜农产品初始新鲜度值 η_0 代表生鲜农产品经过固定销售周期 T 后的新鲜度衰减值极值 其值越大 销售周期末期生鲜农产品的新鲜度越低。另一方面 生鲜农产品从田地采摘时最为新鲜 其新鲜度水平可设为 1 当供应商将其从产地运输到零售商卖场时 若未采取保鲜措施 则生鲜农产品新鲜度因为自然变质的影响会达到一个固定水平 而供应商投入保鲜努力 即可使生鲜农产品达到零售商卖场时的新鲜度相对更高 但即使供应商投入最大的保鲜努力也仍然无法使生鲜农产品新鲜度达到在田地采摘时的新鲜度水平; 因此 对于 $\bar{\theta}_0(e)$ 的具体形式 参照契约论 努力水平通常采用乘积形式 和目标变量之间呈线性关系^[16] 可将保鲜之后的初始新鲜度值受保鲜努力影响的函数设为 $\bar{\theta}_0(e) = \theta_0 + k_1 e$ 该式中 θ_0 是供应商未保鲜时生鲜农产品运到零售商卖场时的新鲜度 $e \in [0, 1]$ 表示零售商所付出的保鲜努力水平 $k_1 \in (0, 1 - \theta_0)$ 表示生鲜农产品保鲜技术对保鲜效果的影响。同时 供应商投入保鲜努力水平 必须付出相应的成本 因此设保鲜成本函数为: $c_f = \frac{1}{2} k_2 e^2$ 其中 $k_2 > 0$ 表示保鲜努力水平对保鲜成本的影响系数 该式表明供应商投入保鲜努力水平越高 其必须付出的保鲜成本越高 且保鲜成本的增加值呈递增趋势。

除此之外 本文还需要以下其他假设条件:

(1) 在一个销售周期 T 内 任意时刻内购买生鲜农产品的市场潜在需求规模为常数 λ ;

(2) 消费者对生鲜农产品的时变效用函数采用加法形式 将其设为 $U(t) = U_0 - \alpha p + \beta \theta(t)$ 其中 α, β 分别为消费者对生鲜农产品价格和新鲜度的敏感系数 U_0 为消费者对该种生鲜农产品的初始认知价值 服从 $[0, 1]$ 均匀分布。

其他符号的含义:

Q_c : 集中式决策下零售商的订货量; p_c : 集中式决策下生鲜农产品价格; π_c : 集中式决策下供应链的利润; p_d : 分散式决策下生鲜农产品价格; π_d : 分散式决策下协调前供应链节点企业的利润 $i = s, r$; π_{d2} : 分散式决策下协调后供应链节点企业的利润 $i = s, r$; Q_d : 分散式决策下供应商的订货量; w_1 : 分散式决策下协调前供应商的批发价格; w_2 : 分散式决策下协调前供应商的批发价格; c_s : 供应商向农户的收购价格。

2 生鲜农产品供应链基准决策模型

2.1 集中式决策模型

集中式决策下 将供应商和零售商看作整体。由于消费者只有在任意时刻购买生鲜农产品的效用 U_t 大于 0 消费者才会选择购买 否则放弃购买^[17] 亦即此时消费者购买生鲜农产品的概率为 $P(U_t > 0)$ 根据假设(1) 任意时刻购买生鲜农产品的市场潜在需求规模 λ 则任一时刻 t 供应链系统面临的市场购买量为 $D(t) = \lambda P(U_t > 0)$ 。将假设(2)中的消费者时变效用函数和生鲜农产品的新鲜度衰减函数代入可得到

$$D(t) = \lambda P\left(U_0 - \alpha p_c + \beta\left(\theta_0 - \eta_0 \left(\frac{t}{T}\right)^{1/2}\right) > 0\right) \\ = \lambda \left(1 - \alpha p_c + \beta\left(\theta_0 + k_1 e_c - \eta_0 \left(\frac{t}{T}\right)^{1/2}\right)\right) \quad (1)$$

(1)式表示任意时刻整个供应链系统所面临的需求 进一步 在一个销售周期 T 内 供应链系统实际销售的生鲜农产品总量为 $Q_c = \int_0^T \lambda \left(1 - \alpha p_c + \beta\left(\theta_0 + k_1 e_c - \eta_0 \left(\frac{t}{T}\right)^{1/2}\right)\right) dt$ 。

此时 集中式决策下供应链的利润函数为

$$\pi_c = (p_c - c_s) Q_c - c_f = (p_c - c_s) \int_0^T \lambda \left(1 - \alpha p_c + \beta\left(\theta_0 + k_1 e_c - \eta_0 \left(\frac{t}{T}\right)^{1/2}\right)\right) dt - \frac{1}{2} k_2 e_c^2 \quad (2)$$

根据一阶偏导数 $\frac{\partial \pi_c}{\partial p_c} = 0, \frac{\partial \pi_c}{\partial e_c} = 0$ 并联立求解即可得到集中决策下零售商的最优定价 $p_c^* = \frac{k_2(A + 3\alpha c_s) - 3Bc_s}{3(2\alpha k_2 - B)}$ 和最优保鲜努力水平 $e_c^* = \frac{\lambda \beta T k_1 (A - 3\alpha c_s)}{3(2\alpha k_2 - B)}$ 。其中 $A = (3(1 + \beta \theta_0) - 2\beta \eta_0)$ $B = \lambda T \beta^2 k_1^2$ 。由于 $\frac{\partial^2 \pi_c}{\partial e_c \partial p_c} = \beta T \lambda k_1 > 0$ 则二阶海塞矩阵为 $H_2 = \begin{bmatrix} -2\alpha \lambda T & \beta T \lambda k_1 \\ \beta T \lambda k_1 & -k_2 \end{bmatrix}$ 一阶主子式 $-2\alpha \lambda T < 0$ 因此当 $2\alpha \lambda T k_2 - (\beta T \lambda k_1)^2 > 0$ 时 二阶海塞矩阵为负定,

p_c^* 和 e_c^* 是集中式决策下的唯一最优解。将 p_c^* 和 e_c^* 代入到 (3) 式即可得到集中决策下供应链系统的最优利润为 $\pi_c^* = \frac{\lambda T k_2 (A - 3\alpha c_s)^2}{18(2\alpha k_2 - B)}$ 。

2.2 分散式决策模型

在分散式决策下, 供应商和零售商之间属于博弈过程, 零售商面对市场消费者会首先做出决策, 其面对需求函数和订货数量的函数表达式同集中是决策下的表达形式相同, 仅决策变量不同。因此, 对于供应商给定的批发价格 w_1 和保鲜努力水平 e_d , 零售商的利润函数为

$$\pi_{r1} = (p_d - w_1) Q_d = (p_d - w_1) \int_0^T \lambda \left(1 - \alpha p_d + \beta \left(\theta_0 + k_1 e_d - \eta_0 \left(\frac{t}{T} \right)^{1/2} \right) \right) dt \quad (3)$$

由于 $\frac{\partial^2 \pi_{r1}}{\partial p_d^2} = -2\alpha\lambda T < 0$, 即供应商利润函数 π_{r1} 是价格 p_d 的凹函数。根据 $\frac{\partial \pi_{r1}}{\partial p_d} = 0$ 即可求得零售商保鲜之后的最优定价

$$p_d^*(w_1, e_d) = \frac{3\beta\theta_0 + 3\alpha w_1 + 3 - 2\beta\eta_0 + 3\beta k_1 e_d}{6\alpha} \quad (4)$$

同时, 供应商利润函数为

$$\pi_{s1} = (w_1 - c_s) Q_d - \frac{1}{2} k_2 e_d^2 = (w_1 - c_s) \int_0^T \lambda \left(1 - \alpha p_d + \beta \left(\theta_0 + k_1 e_d - \eta_0 \left(\frac{t}{T} \right)^{1/2} \right) \right) dt - \frac{1}{2} k_2 e_d^2 \quad (5)$$

将(4)式代入(5)式, 根据一阶偏导数 $\frac{\partial \pi_{s1}}{\partial e_d} = 0$ 和 $\frac{\partial \pi_{s1}}{\partial w_1} = 0$ 并联立(4)式即可得到分散决策下零售商的最优定价 p_d^* 以及供应商的最优批发价格 w_1^* 和最优保鲜努力水平 e_d^* , 为 $p_d^* = \frac{k_2(A + \alpha c_s) - B c_s}{4\alpha k_2 - B}$, $e_d^* = \frac{\lambda \beta T k_1 (A - 3\alpha c_s)}{3(4\alpha k_2 - B)}$, $w_1^* = \frac{2k_2(A + 3\alpha c_s) + 3B c_s}{3(4\alpha k_2 - B)}$ 。由于 $\frac{\partial^2 \pi_{s1}}{\partial e_d \partial p_d} = \frac{\beta T \lambda k_1}{2} > 0$, 与前面的推导相同, 当 $\alpha \lambda T k_2 - \left(\frac{\beta T \lambda k_1}{2} \right)^2 > 0$ 时二阶海塞矩阵负定, 因此 p_d^* 、 e_d^* 和 w_1^* 是分散式决策下的唯一最优解。将 p_d^* 、 e_d^* 和 w_1^* 代入(3)式和(5)式即可得到分散决策下零售商和供应商的最优利润分别为 $\pi_{r1}^* = \frac{\lambda \alpha T k_2^2 (A - 3\alpha c_s)^2}{9(4\alpha k_2 - B)^2}$, $\pi_{s1}^* = \frac{\lambda T k_2 (A - 3\alpha c_s)^2}{18(4\alpha k_2 - B)}$ 。

2.3 集中式决策和分散式决策比较

前面分别得到了集中式决策和分散式决策下生鲜农产品供应链节点企业的最优保鲜努力水平、最优价格和最优利润表达式, 相应的, 集中式决策下供应链系统和分散式决策下供应商对于生鲜农产品保鲜的最优决策如命题1所示。

命题1: 1) 集中式决策下供应链系统的保鲜决策为: 当 $A - 3\alpha c_s \leq 0$ 时, 供应链系统不会对生鲜农产品保鲜; 当 $0 < A$

$- 3\alpha c_s < \frac{3(2\alpha k_2 - B)}{\lambda \beta T k_1}$ 时, 供应链系统的最优保鲜努力水平为 $e_c^* = \frac{\lambda \beta T k_1 (A - 3\alpha c_s)}{3(2\alpha k_2 - B)}$; 而当 $A - 3\alpha c_s \geq \frac{3(2\alpha k_2 - B)}{\lambda \beta T k_1}$ 时, 供应链系统的最优保鲜努力水平为 1。

2) 分散式决策下供应商对生鲜农产品的保鲜决策为: 当 $A - 3\alpha c_s \leq 0$ 时, 供应商不会对生鲜农产品保鲜; 当 $0 < A - 3\alpha c_s < \frac{3(4\alpha k_2 - B)}{\lambda \beta T k_1}$ 时, 供应商的最优保鲜努力水平为 $e_d^* = \frac{\lambda \beta T k_1 (A - 3\alpha c_s)}{3(4\alpha k_2 - B)}$; 而当 $A - 3\alpha c_s \geq \frac{3(4\alpha k_2 - B)}{\lambda \beta T k_1}$ 时, 供应商的最优保鲜努力水平均为 1。

证明: 1) 当 $A - 3\alpha c_s \leq 0$ 时 $e_c^* < 0$, 即供应链系统不会对生鲜农产品保鲜; 当 $A - 3\alpha c_s \geq \frac{3(2\alpha k_2 - B)}{\lambda \beta T k_1}$ 时 $e_c^* \geq 1$, 考虑到企业的保鲜努力 $e \in [0, 1]$, 因此集中式决策下供应链系统的最优保鲜水平为 1。

2) 证明方法同 1)。证毕。

由于 A 和 B 的表达式中含有消费者偏好 α 和 β , 则命题 1 实际上是确定了最优保鲜努力水平参数的范围, 也是当消费者偏好达到一定程度时供应链节点企业相应所作出的最优决策, 由于保鲜努力水平小于 0 或者恒大于 1 均是较为极端的情况, 所以本文接下来只考虑保鲜努力水平在 $[0, 1]$ 区间的情况, 并在后面的数值算例分析中做相应的限制。

在此基础上, 通过对比集中式决策和分散式决策下的最优保鲜努力水平、生鲜农产品最优定价以及供应链整体最优利润, 可以得到命题 2。

命题 2: 1) $e_d^* < e_c^*$; 2) 当 $\alpha k_2 < B$ 时 $p_d^* < p_c^*$; 当 $\alpha k_2 > B$ 时 $p_d^* > p_c^*$; 3) $\pi_{r1}^* + \pi_{s1}^* < \pi_c^*$ 。

证明: 1) $e_d^* - e_c^* = \frac{\lambda \beta T k_1 (A - 3\alpha c_s)}{3(4\alpha k_2 - B)} - \frac{\lambda \beta T k_1 (A - 3\alpha c_s)}{3(2\alpha k_2 - B)}$, 由于 $\alpha k_2 > 0$, 因此 $4\alpha k_2 - B > 2\alpha k_2 - B$ 则有 $e_d^* - e_c^* < 0$, 即 $e_d^* < e_c^*$ 。

2) 同 1) 的内容, 当 $2\alpha \lambda T k_2 - (\beta T \lambda k_1)^2 > 0$ 时, 集中式决策下的最优定价和最优保鲜努力水平存在, 则有 $4\alpha k_2 - B > 0$, $2\alpha k_2 - B > 0$, 因此有

$$p_d^* - p_c^* = \frac{k_2(A + \alpha c_s) - B c_s}{4\alpha k_2 - B} - \frac{k_2(A + 3\alpha c_s) - 3B c_s}{3(2\alpha k_2 - B)} = \frac{2k_2(\alpha k_2 - B)(A - 3\alpha c_s)}{3(4\alpha k_2 - B)(2\alpha k_2 - B)}$$

由于保鲜努力水平必须为正数, 则有 $A - 3\alpha c_s > 0$, 此时 $p_d^* - p_c^*$ 的大小取决于 $\alpha k_2 - B$ 的值。因此当 $\alpha k_2 - B < 0$ 时, $p_d^* < p_c^*$; 而当 $\alpha k_2 - B > 0$ 时 $p_d^* > p_c^*$ 。

3) 将(3)式的零售商利润函数和(4)式的供应商利润函数相加即可供应链系统整体利润函数, 而集中式决策下供应链系统最优利润为 $\pi_c^*(p_c^*, e_c^*)$, 因此必然有 $\pi_{r1}^*(p_d^*, e_d^*) + \pi_{s1}^*(p_d^*, e_d^*) < \pi_c^*(p_c^*, e_c^*)$ 。证毕。

命题 2 表明, 在集中式决策下供应链系统的利润大于分散式决策下供应商和零售商的利润之和, 且集中式决策下的

供应链系统的最优保鲜努力水平比分散式决策下供应商的最优保鲜努力水平要高。这意味着在分散式决策下,由于双重边际效应的存在,供应链系统的整体利润并非最优,因此需要设计合理的协调契约,不但能够使供应商投入更高的保鲜努力水平,还尽可能实现供应链协调,以下对此将进行详细的讨论。

3 供应链协调契约

为了使得供应商的保鲜努力水平和最优定价同时达到集中式决策下的最优值,最简单的方式是零售商分担部分供应商的保鲜成本,不妨设分担保鲜成本的比例为 $\varphi \in (0, 1)$, 此时双方的利润函数分别变为

$$\pi_{r2} = p_d Q_d - w_2 Q_d - \varphi c_f = (p_d - w_2) \int_0^T \lambda \left(1 - \alpha p_d + \beta \left(\theta_0 + k_1 e_d - \eta_0 \left(\frac{t}{T} \right)^{1/2} \right) \right) dt - \frac{1}{2} \varphi k_2 e_d^2 \quad (6)$$

$$\pi_{s2} = (w_2 - c_s) Q_d - (1 - \varphi) c_f = (w_2 - c_s) \int_0^T \lambda \left(1 - \alpha p_d + \beta \left(\theta_0 + k_1 e_d - \eta_0 \left(\frac{t}{T} \right)^{1/2} \right) \right) dt - \frac{1}{2} (1 - \varphi) k_2 e_d^2 \quad (7)$$

供应链协调的目的是为了使分散式决策下供应商和零售商的最优利润之和为集中式决策下供应链系统的最优利润,由此可得到定理 1。

定理 1 若契约 (φ, w_2) 满足 $w_2 = \varphi p_c + (1 - \varphi) c_s$, 且 $\varphi \in \left[\frac{4\alpha^2 k_2^2}{(2\alpha k_2 + B)(4\alpha k_2 - B)}, \frac{8\alpha^2 k_2^2 (3\alpha k_2 - B)}{(2\alpha k_2 + B)(4\alpha k_2 - B)^2} \right]$ 时, 生鲜农产品供应链实现协调。

证明: 若 $w_2 = \varphi p_c + (1 - \varphi) c_s$, 则 $\pi_{r2} = p_d Q_d - w_2 Q_d - \varphi c_f = (p_d - \varphi p_c - (1 - \varphi) c_s) Q_d - \varphi c_f = (1 - \varphi) \pi_c + (1 - 2\varphi) c_f$, $\pi_{s2} = (w_2 - c_s) Q_d - (1 - \varphi) c_f = (\varphi p_c + (1 - \varphi) c_s - c_s) Q_d - (1 - \varphi) c_f = \varphi \pi_c - (1 - 2\varphi) c_f$, 即 π_{r2} 和 π_{s2} 为 π_c 的仿射函数, 此时供应商和零售商的最优决策等于集中式决策下供应链系统的最优决策。此外, 由 $\pi_{s2}^* \geq \pi_{s1}^*$ 可得 $\varphi \geq \frac{4\alpha^2 k_2^2}{(2\alpha k_2 + B)(4\alpha k_2 - B)}$, 且由 $\pi_{r2}^* \geq \pi_{r1}^*$ 可得 $\varphi \leq \frac{8\alpha^2 k_2^2 (3\alpha k_2 - B)}{(2\alpha k_2 + B)(4\alpha k_2 - B)^2}$ 。证毕。

定理 1 表明, “保鲜成本分担 + 批发价” 契约能够有效地实现供应链协调并使得零售商和供应商双方达到完美共赢, 而 φ 是在一定区间内的任意值, 其具体数值将取决于供应商和零售商的讨价还价能力。值得注意的是, 表面上看来 w_2 是调节变量, 但仍然是由供应商决定的, 而零售商是无法决定供应商批发价的, 因此若供应商不制定相应的批发价, 那么生鲜供应链就无法实现协调。因此有必要考虑更合理的协调契约。

现实中, 由于很多生鲜农产品零售商如大型超市在供应链中确实具有较为强势的地位, 因此针对这部分零售商可以考虑设计不同的协调契约。一般来说, 由于生鲜农产品到达

零售商卖场时, 零售商可以根据生鲜农产品的新鲜度来判断供应商的保鲜努力, 或者通过观察生鲜农产品运到时所采取的保鲜措施, 例如简单包装、精包装、精加工等形式, 因此零售商可以根据生鲜农产品的具体新鲜程度, 来同供应商谈判采购价。将根据新鲜度的采购价函数设为 $w_3 = (1 - \phi) p_c + \phi c_s + \frac{\phi k_2}{2Q_c} e^2$, 其中 $a > 0$ 表示零售商给出的基本采购价, $b > 0$ 表示零售商根据生鲜农产品新鲜度给出的额外增加值敏感系数, 此时只需求出能够实现供应链协调的采购价函数的具体形式即可, 由此得到定理 2 的内容。

定理 2 若零售商处于强势地位, 则基于生鲜农产品新鲜度的采购价契约形式为 $w_3 = (1 - \phi) p_c + \phi c_s + \frac{\phi k_2}{2Q_c} e^2$ 时, 生鲜农产品供应链实现协调, 其中 $\phi \in \left[\frac{2\alpha k_2 (2\alpha k_2 - B)}{(4\alpha k_2 - B)^2}, \frac{2\alpha k_2}{4\alpha k_2 - B} \right]$ 。

证明: 若 $w_3 = (1 - \phi) p_c + \phi c_s + \frac{\phi k_2}{2Q_c} e^2$, 则 $\pi_{r2} = p_d Q_d - w_2 Q_d = (p_d - (1 - \phi) p_c - \phi c_s - \frac{\phi k_2}{2Q_c} e^2) Q_d = \phi \pi_c$, 同理, $\pi_{s2} = (w_2 - c_s) Q_d - c_f = ((1 - \phi) p_c + \phi c_s + \frac{\phi k_2}{2Q_c} e^2 - c_s) Q_d - c_f = (1 - \phi) \pi_c$, 即 π_{r2} 和 π_{s2} 为 π_c 的仿射函数, 供应商和零售商的最优决策等于集中式决策下供应链系统的最优决策。此外, 由 $\pi_{s2}^* \geq \pi_{s1}^*$ 和 $\pi_{r2}^* \geq \pi_{r1}^*$ 可得 $\phi \in \left[\frac{2\alpha k_2 (2\alpha k_2 - B)}{(4\alpha k_2 - B)^2}, \frac{2\alpha k_2}{4\alpha k_2 - B} \right]$ 。证毕。

定理 2 表明若零售商给出的基于生鲜农产品新鲜度的采购价契约, 能够促使供应商提高保鲜努力, 从而使得生鲜农产品供应链实现协调。特别的, 当零售商具有绝对强势地位时, 其给出的采购价中 ϕ 值很可能为 $\phi = \frac{2\alpha k_2 (2\alpha k_2 - B)}{(4\alpha k_2 - B)^2}$, 此时供应商的利润没有发生变化, 供应链协调之后增加的利润全都归零售商所有。即使零售商不具有足够的强势地位, 但 ϕ 值的大小都是由自己决定的, 且会尽可能小, 只要在区间 $\left[\frac{2\alpha k_2 (2\alpha k_2 - B)}{(4\alpha k_2 - B)^2}, \frac{2\alpha k_2}{4\alpha k_2 - B} \right]$ 即可。相比之下, 即使定理 1 中契约能够成立, 但当零售商具有强势地位时, 可以直接采用“基于产品新鲜度的采购价” 契约, 形式较为简单且可以获得更高的利润。

4 数值算例

为了进一步说明所设计改进和协调契约的有效性, 本节将给出数值算例, 并进一步分析消费者的不同偏好对于协调契约的影响。相关参数的赋值如表 1。

表 1 参数表

k_1	k_2	c_s	λ	T	θ_0	η_0
0.3	300	0.50	100	10	0.60	0.5

将参数表 1 中的各参数值代入到相关表达式中, 由

maple 13 运算, 分析消费者不同偏好对于供应商和零售商最优值的影响, 可以得到图 1 ~ 图 4。

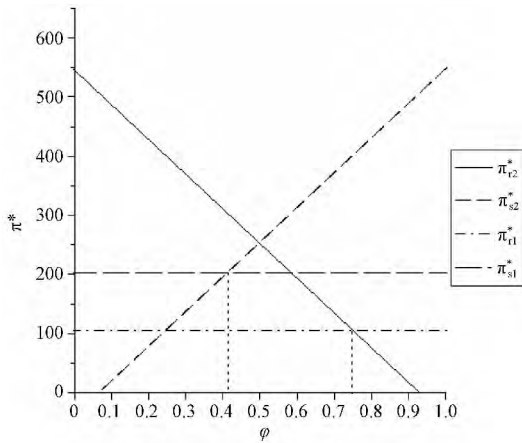


图 1 保鲜成本分担比例 ϕ 对利润的影响 ($\alpha=0.5 \beta=0.5$)

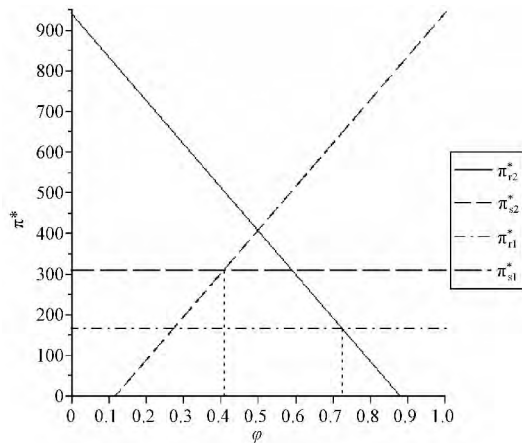


图 2 保鲜成本分担比例 ϕ 对利润的影响 ($\alpha=0.4 \beta=0.6$)

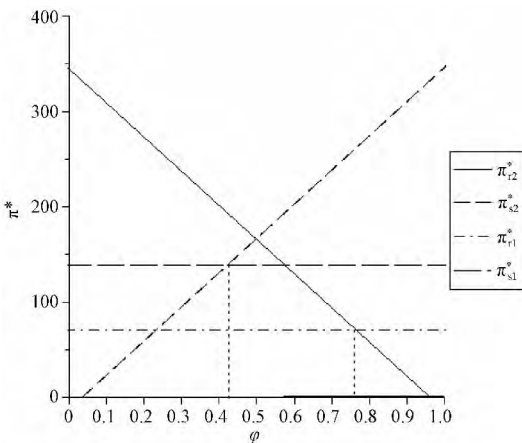


图 3 保鲜成本分担比例 ϕ 对利润的影响 ($\alpha=0.6 \beta=0.4$)

图 1 是当 $\alpha = 0.5 \beta = 0.5$ 时供应链协调前后保鲜成本分担比例 ϕ 对供应商和零售商利润的影响, 可以看出当 $\phi \in [0.415, 0.751]$ 时, 供应商和零售商在协调后的利润均大于协调之前的利润, 因此定理 1 和定理 2 给出的协调契约均能够实现供应链协调; 相应的, 图 2 是 $\alpha = 0.4 \beta = 0.6$ 时供应链协调前后保鲜成本分担比例 ϕ 对供应商和零售商利润的影响, 此时保鲜成本分担比例 $\phi \in [0.409, 0.726]$, 而图 3 是

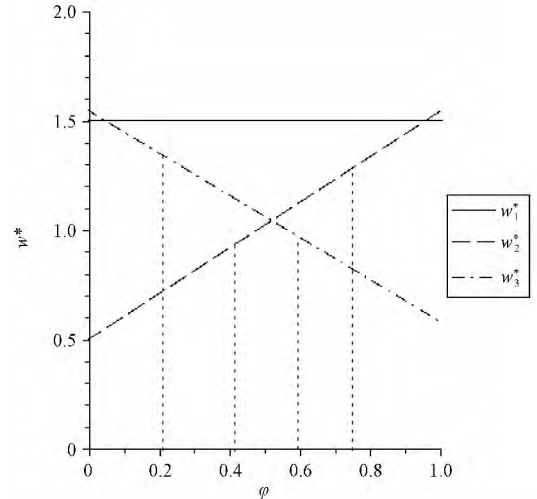


图 4 保鲜成本分担比例 ϕ 对批发价的影响 ($\alpha=0.5 \beta=0.5$)

$\alpha = 0.6 \beta = 0.4$ 时供应链协调前后保鲜成本分担比例 ϕ 对供应商和零售商利润的影响, 此时保鲜成本分担比例 $\phi \in [0.424, 0.765]$ 。这表明, 随着消费者对产品新鲜度 β 偏好的提高, ϕ 值所在区间的上确界和下确界都越小, 这是由于消费者对新鲜度偏好越高, 为了取得更高的利润, 供应商自然会考虑增加保鲜努力, 因此其要求零售商分担的比例也越低, 即 ϕ 越小; 同时零售商也就越不愿多分担保鲜成本, 即 ϕ 也随之减小。反之, 若消费者对价格的偏好 α 越高, ϕ 值所在区间的上确界和下确界都越大, 这是由于消费者对价格的偏好越高, 为了维持合理的价格水平, 供应商只能尽量降低批发价, 此时供应商就要求零售商通过增加保鲜成本分担比例的方式弥补损失, 则其要求零售商分担的比例也越高, 即 ϕ 越大; 同时, 消费者也愿意分担更多的保鲜成本, 从而换取供应商降低批发价, 从而能够将销售价格定在合理的水平, 以获得更高的销售利润。

另外, 图 4 是不同保鲜成本分担比例 ϕ 值对批发价的影响, 通过前面可知, 当采取“保鲜成本分担 + 批发价”契约时, 若 $\alpha = 0.5 \beta = 0.5$, 保鲜成本分担比例 $\phi \in [0.415, 0.751]$, 此时 $w_1^* > w_2^*$, 很明显, 虽然此时供应链能够实现协调, 但由于批发价小于分散式决策下的批发价, 若维持该保鲜成本分担比例, 则供应商很可能违背契约, 使得定理 1 所给出的契约可能具有不稳定性。同理, 当采取“基于产品新鲜度的采购价”契约时, 若 $\alpha = 0.5 \beta = 0.5$, 零售商和供应商之间对于利润的分配比例为 $\phi \in [0.208, 0.599]$, 此时批发价格同样小于分散式决策下的批发价格, 但该契约能够实施本身意味着零售商具有强势地位, 才可能给出采购价, 而不是由供应商给出批发价, 因此相比之下, 定理 2 所给出的契约在零售商具有强势地位时更简单有效, 且零售商强势地位越明显, 其在给出采购价时, ϕ 值很有可能取为 $\bar{\phi} = 0.599$, 此时契约使得供应链系统增加的利润全部归零售商所有, 而供应商只与协调之前利润相同。

5 结语

生鲜农产品具有新鲜度随时间推移而逐渐消逝的特性,因此在流通渠道中的保鲜能够使得生鲜农产品在超市等零售卖场上市时有更高的新鲜度,可以吸引消费者增加购买。由于分散式决策下双重边际效应的存在,供应商仅会投入较低的保鲜努力水平,对此零售商可以通过分担供应商的保鲜成本来激励供应商提高保鲜努力,而当零售商提出“保鲜成本分担+批发价”契约时能够实现供应链协调。当零售商具有强势地位时,可以提出“基于生鲜农产品新鲜度的采购价”契约,这不但能够促进供应商提高保鲜努力水平、实现供应链协调,相比“保鲜成本分担+批发价”契约还可以获得尽可能多的利润。

参 考 文 献

- [1] CCTV - 经济半小时. 聚焦农产品物流(四): 鲜活农产冷运难(20120210). <http://jingji.cntv.cn/20120210/124317.shtml>.
- [2] Joshi R, Banwet DK, Shankar R. A Delphi-AHP-TOPSIS based benchmarking framework for performance improvement of a cold chain[J]. *Expert Systems with Applications*, 2011, 38(8): 10170 ~ 10182.
- [3] Bogataj M, Bogataj L, Vodopivec R. Stability of perishable goods in cold logistic chains[J]. *International Journal of Production Economics*, 2005, 93-94: 345 ~ 356.
- [4] Hsu PH, Wee HM, Teng HM. Preservation technology investment for deteriorating inventory[J]. *International Journal of Production Economics*, 2010, 124(2): 388 ~ 394.
- [5] Dye CY, Hsieh TP. An optimal replenishment policy for deteriorating items with effective investment in preservation technology[J]. *European Journal of Operational Research*, 2012, 218(1): 106 ~ 112.
- [6] Lee YP, Dye CY. An inventory model for deteriorating items under stock-dependent demand and controllable deterioration rate [J]. *Computers & Industrial Engineering*, 2012, 63(2): 474 ~ 482.
- [7] Cai XQ, Chen J, Xiao YB, et al. Optimization and coordination of fresh product supply chains with freshness-keeping effort[J]. *Production and Operations Management*, 2010, 19(3): 261 ~ 278.
- [8] 陈军, 但斌. 基于实体损耗控制的生鲜农产品供应链协调[J]. *系统工程理论与实践*, 2009, 29(3): 54 ~ 62.
- [9] 胡定寰, 俞海峰, Reardon T. 中国超市生鲜农副产品经营与消费者购买行为[J]. *中国农村经济*, 2003, 19(8): 12 ~ 17.
- [10] Akcay Y, Natarajan HP, Xu SH. Joint Dynamic Pricing of Multiple Perishable Products Under Consumer Choice[J]. *Management Science*, 2010, 56(8): 1345 ~ 1361.
- [11] Lodree EJ, Uzochukwu BM. Production planning for a deteriorating item with stochastic demand and consumer choice[J]. *International Journal of Production Economics*, 2008, 116(2): 219 ~ 232.
- [12] 陈军, 但斌. 基于降价预期的生鲜农产品定价策略研究[J]. *管理工程学报*, 2011, 25(3): 43 ~ 47.
- [13] Su XM, Zhang FQ. Strategic Customer Behavior, Commitment, and Supply Chain Performance[J]. *Management Science*, 2008, 54(10): 1759 ~ 1773.
- [14] Xiao TJ, Yang DQ, Shen HC. Coordinating a supply chain with a quality assurance policy via a revenue-sharing contract[J]. *International Journal of Production Research*, 2011, 49(1): 99 ~ 120.
- [15] 陈远高, 刘南. 存在差异性产品的双渠道供应链协调研究[J]. *管理工程学报*, 2011, 25(2): 239 ~ 244.
- [16] 姬小利. 伴随销售商促销努力的供应链契约设计[J]. *中国管理科学*, 2006, 14(4): 46 ~ 49.
- [17] 肖勇波, 吴鹏, 王雅兰. 基于顾客选择行为的多质量等级时鲜产品定价策略研究[J]. *中国管理科学*, 2010, 18(1): 58 ~ 65.

The Incentive Mechanism for Preservation in Fresh Agricultural Supply Chain Considering Consumer Utility

WANG Lei^{1,2}, DAN Bin^{1,2}

- (1. School of Economics and Business Administration, Chongqing University, Chongqing, 400030, China;
2. Chongqing Key Laboratory of Logistics at Chongqing University, Chongqing, 400030, China)

Abstract: The preservation of fresh agricultural products in the distribution process has been drawing serious attention from society. It has become one kind of competition means and social responsibility for companies and the whole supply chain to provide consumers with fresher products. However, companies in the fresh agricultural products' supply chain do not have strong motives to cover the preservation costs alone because of the costly cold chain transportation or cold storage construction fees. Supply chain members' reluctance to cooperate can lead to a greater loss of fresh agricultural products in distribution channels and fail to provide high quality products for consumers. The key factor of solving this problem is to strengthen the cooperation among companies in the supply chain.

To improve the cooperation among supply chain members, this study proposes a two-echelon supply chain profit model, which consists of one retailer and one supplier, based on consumer time-varying utility function. By employing the Stackelberg game, the

supplier's optimal preservation efforts and the retailer's optimal pricing are analyzed under decentralized settings and centralized settings. We find that the supplier's preservation effort is lower in the decentralized setting. To encourage the supplier to improve preservation efforts, we designed two retailer-development incentive mechanisms, including a "wholesale price & preservation cost sharing" contract and a "purchase price based on product freshness" contract.

The results show that both the incentive mechanisms can encourage the supplier to improve preservation efforts and realize supply chain coordination to some extent. However, the application scope of the incentive mechanisms depends on whether the retailer has a relatively strong position. If so, both the incentive mechanisms are applicable. Under the "purchase price based on product freshness" contract, the retailer decides purchase price based on products' freshness level. As long as the supplier's profit after investing preservation effort is higher than that of not using preservation effort, the retailer can obtain higher profit than the "wholesale price + preservation cost sharing" contract. If not, only the "wholesale price + preservation cost sharing" contract can improve supply chain coordination. Under the circumstance, the retailer shares more proportion of preservation cost to obtain a lower wholesale price from the supplier and achieve the same optimal pricing as that in the centralized setting.

Finally, the numerical analyses reveal that if consumers have more preference for agricultural product's freshness the retailer's incentive mechanisms can effectively realize supply chain coordination. If consumers have more preference for agricultural product's price, it's more difficult to realize supply chain coordination via retailer's incentive mechanisms.

All in all, if the retailer takes the appropriate incentive mechanism, the supplier's preservation effort can be improved. However, different retailers have different incentive mechanisms. Besides, the retailers should consider consumer preferences when designing incentive mechanisms.

Key words: fresh agricultural product; incentive mechanism; consumer utility; freshness-keeping

中文编辑: 杜 健; 英文编辑: Charlie C. Chen
