文章编号:1003－207(2016)09－0147－09
DOI:10.16381/j.cnki.issn1003－207x.2016.09.018

新鲜度信息不对称下生鲜农产品供应链协调

杨 亚[1,2],范体军[1],张 磊[1]

(1.华东理工大学商学院,上海 200237;2.青海大学财经学院,青海 西宁 810016)

摘 要:生鲜农产品供应链上下游存在新鲜度信息的不对称性,加剧了耗损。为此,迫切需要研究生产商隐瞒新鲜度信息的生鲜农产品供应链协调。基于 Stackelberg 博弈,使用单周期报童模型分别构建生产商和零售商的利润函数,分析供应链性质;并提出具体的回购契约形式进行供应链协调。研究认为:一般的批发价格契约下,即使生产商隐瞒农产品新鲜度信息,也不一定损害供应链总收益;回购契约可以保证新鲜度信息共享并协调供应链。最后,通过数值算例验证分析结论的有效性。

关键词:新鲜度;不对称信息;生鲜农产品;协调
中图分类号:F406 文献标识码:A

1 引言

我国是世界生鲜农产品生产大国。尽管蔬菜、水果、水产品、肉类等生鲜农产品的产量均居世界第一位,但它们在供应链流通环节损耗非常严重。我国生鲜农产品损耗率高达 30%,远远高于发达国家 5%的损耗率水平[1]。以果蔬为例,我国每年腐烂坏损就分别达到 0.12 和 1.3 亿吨,造成的经济损失约 1000 亿元[2]。为此,生鲜农产品供应链的运作越来越受到人们关注。

我国政府也高度重视生鲜农产品行业的发展,相继出台与生鲜农产品供应链发展相关的多项政策法规:中共中央一号文件连续多年锁定三农问题;国家发改委发布《农产品冷链物流发展规划》;商务部、农业部也纷纷制定各类生鲜农产品的标准和规范等等。

尽管政府高度重视,然而由于生鲜农产品具有很强的时鲜性和季节性,生产的周期性和地域性等特性,加上生鲜农产品供应链上下游主体之间的信息不对称,特别是上游隐瞒生鲜农产品新鲜度信息等会造成上下游企业之间的协调困难,加剧其耗损。因此,迫切需要研究新鲜度信息不对称下的生鲜农产品供应链协调问题。

目前,关于生鲜农产品供应链的研究主要集中在两方面:生鲜农产品供应链的特性、定价和补货等管理策略,以及生鲜农产品供应链的协调。前者已有较多学者进行了研究。Clements 等[3]研究了农产品供应链的特点,并分析其对供应链采购和质量等方面的影响。Blackburn 等[4]研究了生鲜农产品的供应链管理策略。李琳等[5－6]考虑 RFID 技术应用对生鲜农产品供应链的影响,研究生鲜农产品定价及供应链技术投资策略。但斌等[7]考虑不同的顾客偏好,通过分析需求挤兑效应对零售商的影响来研究生鲜农产品的二次补货策略。这些研究较少考虑供应链各主体利益性的协调,但为生鲜农产品供应链协调的研究提供了有益思路。

对于生鲜农产品供应链的协调,较多学者针对生鲜农产品供应链的生鲜特性进行了相关研究。熊峰等[8]从关系契约对农产品生鲜度和供应链利润的影响角度,对生鲜农产品供应链关系契约的稳定性进行研究。但斌等[9－11]研究对生鲜产品损耗水平有所约束的生鲜农产品供应链协调问题。林略等[12－13]考虑收益共享合同下的生鲜农产品供应链协调。Cai Xiaoqiang 等[14－15]对一类需要进行远距离运输的时鲜产品供应链进行优化,考虑生产商通过第三方物流供应生鲜产品的供应链协调。上述的这些研究较少考虑生鲜农产品上下游新鲜度信息非

收稿日期:2015－05－29;修订日期:2015－10－27
基金项目:国家自然科学基金重点项目(71431004);国家自然科学基金面上项目(71170182)
通讯作者简介:范体军(1967－),男(汉族),湖北洪湖人,华东理工大学商学院,教授,博导,研究方向:运作管理、物流供应链优化决策,,E-mail:tjfan@ecust.edn.cn.

对称性对供应链的影响。特别是，新鲜度信息的非对称性加剧了生鲜农产品协调的难度。

另外，许多学者研究了信息不对称下的供应链协调问题。Yue Xiaohang 和 Lau 等[16-17]拓展了确定对称的需求信息下的模型，研究了需求信息随机不对称下的供应链合同设计。Guo Liang[18]等人研究了需求信息不对称下竞争型供应链零售商信息共享的策略。Li Jianli 等[19-22]在成本结构信息不对称下研究供应链协调，如 Ha[21]针对单个供应商单个买方的短生命周期产品供应链，研究了买方边际成本信息不对称下的供应链性质。吴忠和等[22]则从面对突发事件角度，研究了零售商成本信息不对称时的生鲜农产品供应链协调决策。但这些研究较少考虑生鲜农产品特点，特别是较少考虑上游生产商隐瞒产品新鲜度信息下的协调问题。

事实上，生鲜农产品的新鲜程度将随时间不断下降，并直接影响市场需求及供应链各方决策，上游生产商对新鲜度信息的隐瞒必将加大生鲜农产品供应链的协调难度。为此，本文考虑生鲜农产品特点，针对上游生产商隐瞒新鲜度的生鲜农产品两级供应链，基于 Stackelberg 博弈，构建单周期报童模型，揭示生鲜农产品供应链新鲜度信息不对称性下的协调规律及机理。

2 模型假设和参数说明

2.1 模型假设

(1)采用单周期报童模型，可将市场上生产某一类生鲜农产品的生产商作为整体，考虑一个生产商和一个零售商组成的生鲜农产品二级供应链。

(2)在这个二级供应链中，生产商和零售商就批发价及订货量展开 Stackelberg 博弈。因为生产商决定产量，将其作为 Stackelberg 博弈的领导者，零售商则为跟随者。生产商供应一种单位成本为 c 的生鲜农产品，根据产量和零售商可能的反应公布批发价格 w 及新鲜度 θ；零售商根据生产商的信息决定向生产商订购 q 数量的农产品，并以固定价格 p 向消费者出售，如图 1 所示。简化起见，不考虑缺货信誉损失，且生鲜农产品的残值为 0。

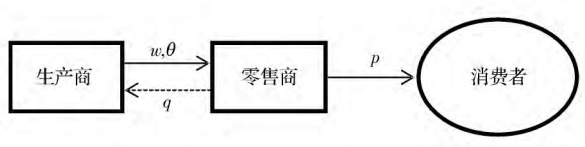

图 1 生鲜农产品二级供应链系统结构图

(3)生鲜农产品的新鲜程度影响消费者需求，其外观表征是消费者衡量新鲜程度、决定购买行为的重要决策依据[23]。仿照 Wang[24]等文献的普遍做法，在不确定需求背景下定义扩展乘积形式需求函数：$D=\theta(t)\cdot d, 0\leqslant\theta(t)\leqslant 1$。

其中，D 为实际的顾客需求，$\theta(t)$ 为生鲜农产品的新鲜度，d 为新鲜度为 1 时的顾客随机需求。设 $f(x)$ 为随机需求 d 的密度函数，$F(x)$ 为随机需求 d 的分布函数。

(4)对于市场中消费者感观而言，生鲜农产品新鲜度随时间加速递减，其产品价值在超出保质期后为 0。因此本文假设生鲜农产品新鲜度函数为：

$$\theta(t)=1-\frac{t^2}{T^2}, 0\leqslant t\leqslant T$$

其中，t 为出产时间(采摘或捕捞后到达零售商的时间)，T 为生鲜农产品的生命周期。

(5)生产商是生鲜农产品的供应者，可以准确掌握农产品出产时间等新鲜度信息，而零售商订货时只能从生产商处获知产品出产时间的准确信息。新鲜度信息在生产商和零售商之间具有不对称性。

2.2 参数说明

表 1 模型参数设定

参数	参数定义
c	生产商供应生鲜农产品的单位成本
θ	生鲜农产品新鲜度
T	生鲜农产品的生命周期
t	生鲜农产品出产时间
q	分散决策下零售商的订购量
Q	集中决策下零售商的订购量
p	生鲜农产品的零售价格
π_1	生产商利润
π_2	零售商利润
π	供应链总利润
d	在 p 价格并且新鲜度为 1 时的顾客随机需求变量
D	顾客需求
$F(x)$	新鲜度为 1 时，顾客需求的分布函数
$f(x)$	新鲜度为 1 时，顾客需求的概率密度函数
P	概率
λ	隐瞒系数(生产商诚实度)。生产商隐瞒实际新鲜度信息，公布出产时间为 λt。$0<\lambda\leqslant 1$，λ 越小，隐瞒程度越大，其中 $\lambda=1$ 时生产商如实公布出产时间。
上标 $*$	表示最优
上标 λ	表示隐瞒新鲜度信息的情况
$c<w<p$	保证生产商和零售商都有利可图
$0\leqslant t\leqslant T$	保证生鲜农产品存在价值，在市场上可售

3　不同新鲜度信息情况下的系统模型建立与讨论

3.1　新鲜度信息对称下的利润基本模型

如果生产商如实公布产品新鲜度信息,生产商和零售商之间不存在新鲜度信息的不对称,此时供应链中生产商的利润函数为:

$$\pi_1 = (w-c)q \tag{1}$$

零售商的利润函数为:

$$\pi_2 = p\min(q,D) - wq$$

对上式求期望并进行化简,得到零售商利润的表达式:

$$\pi_2 = p[q-\theta(t)\int_0^{\frac{q}{\theta(t)}}F(x)dx] - wq \tag{2}$$

因为 $\frac{d\pi_2}{dq} = p - w - pF(\frac{q}{\theta})$

$$\frac{d^2\pi_2}{dq^2} = -\frac{p}{\theta}f(\frac{q}{\theta}) < 0$$

易知 π_2 是关于 q 的凹函数,并且在

$$q^* = \theta(t)F^{-1}(\frac{p-w}{p}) \tag{3}$$

处零售商收益最大。

将(3)式带入(1)式,生产商的最优批发价 w^* 可由下式确定:

$$\pi_1^* = (w^*-c)\theta(t)F^{-1}(\frac{p-w^*}{p}) \tag{4}$$

3.2　新鲜度信息不对称下的利润模型及分析

生产商是生鲜农产品的供应者,可以准确掌握农产品出产时间,具有新鲜度信息优势。此时,生产商为了自身利益可能不会如实公布农产品出产时间、隐瞒真实新鲜度信息,这种隐瞒行为将对供应链绩效产生影响。

当农产品实际出产时间为 t 时,假设生产商将出产时间公布为 $\lambda t(0<\lambda\leqslant 1)$。则隐瞒实际新鲜度信息后的新鲜度函数为 $\theta(\lambda t) = 1-\frac{\lambda^2 t^2}{T^2}, 0\leqslant t\leqslant T$。

此时生产商利润函数为:

$$\pi_1^\lambda = (w^\lambda - c)q^\lambda \tag{5}$$

零售商决策时的利润函数为:

$$\pi_2^\lambda = p[q^\lambda - \theta(\lambda t)\int_0^{\frac{q^\lambda}{\theta(\lambda t)}}F(x)dx] - w^\lambda q^\lambda \tag{6}$$

实际利润函数为:

$$\bar{\pi}_2^\lambda = p[q^\lambda - \theta(t)\int_0^{\frac{q^\lambda}{\theta(t)}}F(x)dx] - w^\lambda q^\lambda \tag{7}$$

对于生产商给定的批发价和新鲜度信息,由(6)式的一阶最优条件可得,新鲜度信息不对称下零售商决策的最优订购量为:

$$q^{\lambda^*} = \theta(\lambda t)F^{-1}(\frac{p-w^\lambda}{p}) \tag{8}$$

新鲜度信息不对称下生产商的最优批发价 w^{λ^*} 由下式确定:

$$\pi_1^{\lambda^*} = (w^{\lambda^*}-c)\theta(\lambda t)F^{-1}(\frac{p-w^{\lambda^*}}{p}) \tag{9}$$

命题 1:无论新鲜度信息是否对称,分散模式下生产商存在唯一的最优批发价格 w_D^*,并且 $w_D^* = w^* = w^{\lambda^*}$。

证明:对新鲜度函数 $\theta(t) = 1-\frac{t^2}{T^2}$ 有:$\frac{d\theta}{dt} = -\frac{2t}{T^2}\leqslant 0, \frac{d^2\theta}{dt} = -\frac{2}{T^2}\leqslant 0$,新鲜度随时间加速递减。如图 2 所示,由于生产商交货给零售商时,处于递减过程前期($t<t_0$),零售商很难从生鲜农产品外观表征中知道其真实出产时间,零售商处于信息劣势。

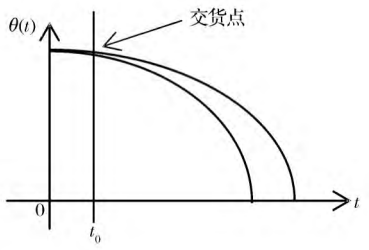

图 2　新鲜度随时间变化过程

因此,对零售商来说,在农产品到达其处时,很难判断生产商是否隐瞒新鲜度信息,所以有 $\theta(t) = \theta(\lambda t), t < t_0$。对比(9)式和(4)式可以发现,只要 $\theta(t) = \theta(\lambda t)$,分散模式下生产商的最优批发价格都是由形如 $\pi_1 = (w-c)\theta(t)F^{-1}(\frac{p-w}{p})$ 的式子确定,因此生鲜农产品在 t_0 时间内到达零售商处时,不论隐瞒系数 λ 的大小,都存在唯一的最优批发价格 w_D^*,并且 $w_D^* = w^* = w^{\lambda^*}$。命题 1 得证。

命题 2:分散模式中,生产商隐瞒新鲜度信息会导致:

(1)诱导零售商增大订货量。

(2)生产商受益并将侵占零售商利润;生产商利润是隐瞒系数 λ 的减函数。

(3)对供应链总利润的影响与生鲜农产品实际出产时间 t 有关。当 $0\leqslant t\leqslant \tilde{t}$ 时供应链总利润随隐瞒系数 λ 的减少而增加,当 $\tilde{t} < t\leqslant T$ 时总利润随隐

瞒系数 λ 的减少先增加后减少，其中：

$$\tilde{t} = T \times [1 - \frac{F^{-1}(\frac{p - w_D^*}{p})}{F^{-1}(\frac{p-c}{p})}]^{\frac{1}{2}}。$$

证明：(1)由命题 1 可知，分散模式下，无论是否隐瞒新鲜度，生产商公布唯一的批发价 w_D^*，则根据式(3)和式(8)可得：

$$q^{\lambda^*} = \theta(\lambda t)F^{-1}(\frac{p - w^{\lambda^*}}{p}) = \frac{\theta(\lambda t)}{\theta(t)}q^* \geqslant q^*$$

因此，有结论：分散模式下，生产商隐瞒新鲜度信息将诱导零售商增大订货量。

(2)生产商隐瞒新鲜度信息后的利润为：

$$\pi_1^{\lambda^*} = (w^{\lambda^*} - c)q^{\lambda^*} \geqslant (w^* - c)q^*$$

即 $\pi_1^{\lambda^*} \geqslant \pi_1{}^*$。因此，分散模式下，生产商隐瞒新鲜度信息使得自身受益。此时，零售商实际利润为：

$$\bar{\pi}_2^{\lambda} = p[q^{\lambda^*} - \theta(t)\int_0^{\frac{q^{\lambda^*}}{\theta(t)}} F(x)dx] - w^{\lambda^*}q^{\lambda^*}$$

由(7)式的一阶最优条件可得，零售商最优订货量实际应为：

$$\bar{q}^{\lambda^*} = \theta(t)F^{-1}(\frac{p - w^{\lambda^*}}{p})$$

由命题 1，这个订货量等于新鲜度信息对称下零售商的订购量，即 $\bar{q}^{\lambda^*} = q^*$，则有 $q^{\lambda^*} \geqslant \bar{q}^{\lambda^*}$，即生产商隐瞒信息使得零售商增加了不必要的订购量。实际利润函数(7)是个凹函数，零售商订货量为 $\bar{q}^{\lambda^*}$ 时利润最大，由于零售商决策的订货量高于这一最优订货量，其利润较之应有的最大利润减少。

进一步，

$$\pi_1^{\lambda} = (w^{\lambda^*} - c)q^{\lambda^*} = (w_D^* - c)\theta(\lambda t)F^{-1}(\frac{p - w_D^*}{p}) = (1 - \frac{\lambda^2 t^2}{T^2})(w_D^* - c)F^{-1}(\frac{p - w_D^*}{p})$$

对 λ 求一次导可得：

$$\frac{\partial \pi_1^{\lambda}}{\partial \lambda} = -\frac{2\lambda t^2}{T^2}(w_D^* - c)F^{-1}(\frac{p - w_D^*}{p}) < 0$$

因而生产商利润是隐瞒系数 λ 的减函数。所以，分散模式下，生产商隐瞒新鲜度受益，零售商利润被侵占。并且在不被发现的情况下，越隐瞒实际的新鲜程度(即公布农产品出产时间越短)，生产商利润越大。

(3)集中模式下供应链的总利润函数为：

$$\pi = p[Q - \theta(t)\int_0^{\frac{Q}{\theta(t)}} F(x)dx] - cQ$$

总利润在 Q^* 处达到最大，Q^* 为集中模式下唯一的最优订货量：

$$Q^* = \theta(t)F^{-1}(\frac{p-c}{p}) \tag{10}$$

而由(8)式，分散模式下新鲜度信息不对称时供应链订货量为：

$$q^{\lambda^*} = \theta(\lambda t)F^{-1}(\frac{p - w^{\lambda^*}}{p})$$

当且仅当 $q^{\lambda^*} = Q^*$ 时，分散模式下的供应链总利润最大，并且 q^{λ^*} 越靠近 Q^* 其利润越高(如图 3)。

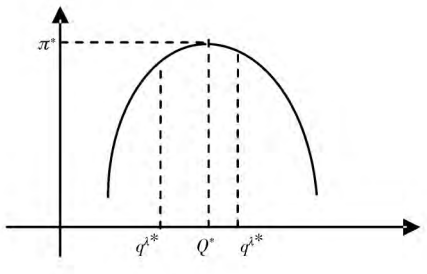

图 3 总利润随订货量变化曲线

首先，$\frac{\partial q^{\lambda^*}}{\partial \lambda} = -2\lambda\frac{t^2}{T^2}F^{-1}(\frac{p - w^{\lambda^*}}{p}) < 0$，即 $\lambda \in (0,1]$ 时，q^{λ^*} 是 λ 的单调递减函数。

其次，由 $q^{\lambda^*}\Big|_{\lambda \to 0} - Q^* = F^{-1}(\frac{p - w^{\lambda^*}}{p}) - (1 - \frac{t^2}{T^2})F^{-1}(\frac{p-c}{p})$，$(0 \leqslant t \leqslant T)$ 得：

$$\begin{cases} q^{\lambda^*}|_{\lambda \to 0} \leqslant Q^*, 0 \leqslant t \leqslant \tilde{t} \\ q^{\lambda^*}|_{\lambda \to 0} > Q^*, \tilde{t} < t \leqslant T \end{cases}$$

其中 $\tilde{t} = T \times [1 - \frac{F^{-1}(\frac{p - w_D^*}{p})}{F^{-1}(\frac{p-c}{p})}]^{\frac{1}{2}}$，而 $q^{\lambda^*}|_{\lambda=1} < Q^*$。

综上：实际出产时间 $0 \leqslant t \leqslant \tilde{t}$ 时，$q^{\lambda^*}|_{\lambda=1} < Q^*$，$q^{\lambda^*}|\lambda \to 0 \leqslant Q^*$，又 q^{λ^*} 单调递减，所以随着隐瞒系数(生产商诚实度)λ 的降低，订货量增加，越来越接近 Q^*，供应链总利润增加。另一方面，当实际出产时间 $\tilde{t} < t \leqslant T$ 时，$q^{\lambda^*}|_{\lambda=1} < Q^*$，$q^{\lambda^*}|_{\lambda \to 0} > Q^*$，又 q^{λ^*} 单调递减，所以随着隐瞒系数(生产商诚实度)λ 的降低，订货量增加，先越来越接近 Q^*，又越来越远离 Q^*，供应链总利润先增加后降低。因此，有结论，对供应链总利润的影响与生鲜农产品实

际出产时间 t 有关,当 $0 \leqslant t \leqslant \tilde{t}$ 时供应链总利润随着隐瞒系数 λ 的减少而增加,当 $\tilde{t} < t \leqslant T$ 时随着隐瞒系数 λ 的减少先增加后减少,其中:

$$\tilde{t} = T \times [1 - \frac{F^{-1}(\frac{p - w_D^*}{p})}{F^{-1}(\frac{p-c}{p})}]^{\frac{1}{2}}。$$

综合(1)、(2)、(3),命题 2 得证。

命题 2 说明,一般的批发价格契约下,生产商隐瞒生鲜农产品实际新鲜度信息,可令自身利润增加,同时使得零售商订货量增加、利润减少。而供应链总利润却与农产品实际出产时间密切相关,隐瞒行为并不一定损害供应链总收益,这与 Hua Zhongsheng 等人[25-26]的结论不同。

4　协调契约研究

由前两部分,生鲜农产品生产商与零售商各自决策产生了"双边际效应",并且由于新鲜度信息不对称使得整个供应链极不稳定。因此考虑使用回购契约进行协调。

回购契约里生产商给零售商提供一个批发价格 w 和回购价格 b,等零售商销售结束后,对于未出售产品,生产商以每单位 b 价格补偿零售商,其中 $b < w$。

首先考虑新鲜度信息对称下,回购契约在二级生鲜农产品供应链中的应用。

命题 3:回购契约可协调新鲜度信息对称的生鲜农产品供应链,其中契约形式为:

$$\begin{cases} w = \alpha c + (1-\alpha)p \\ b = (1-\alpha)p \\ 0 < \alpha < 1 \end{cases}$$

证明:零售商的预期销售量为:

$$qP(D \geqslant q) + DP(D < q) = q - \theta(t)\int_0^{\frac{q}{\theta(t)}} F(x)dx$$

则未出售农产品的量为:

$$q - [q - \theta(t)\int_0^{\frac{q}{\theta(t)}} F(x)dx] = \theta(t)\int_0^{\frac{q}{\theta(t)}} F(x)dx$$

所以,新鲜度信息对称时回购契约下的生产商期望利润为:

$$\pi_1 = (w-c)q - b\theta(t)\int_0^{\frac{q}{\theta(t)}} F(x)dx$$

零售商期望利润为:

$$\pi_2 = p[q - \theta(t)\int_0^{\frac{q}{\theta(t)}} F(x)dx] - wq + b\theta(t)\int_0^{\frac{q}{\theta(t)}} F(x)dx$$

则回购契约下,零售商最优订购量为:

$$q_b^* = \theta(t)F^{-1}(\frac{p-w}{p-b})$$

将这一订购量与(10)式集中模式下最优订购量相比较,令 $q_b^* = Q^*$,可得 $w = \frac{p-c}{p}b + c$,此时可解决"双边际效应",达到供应链协调。

令 $b = (1-\alpha)p$,$0 < \alpha < 1$,则有契约形式如下:

$$\begin{cases} w = \alpha c + (1-\alpha)p \\ b = (1-\alpha)p \\ 0 < \alpha < 1 \end{cases}$$

其中 α 为利润分配系数,生产商与零售商通过双方谈判可进行利润分配。命题 3 得证。

下面考虑回购契约是否可以协调隐瞒新鲜度信息的生鲜农产品供应链。

命题 4:新鲜度信息不对称供应链中,回购契约的引入在协调"双边际效应"的同时,保证信息共享,解决生产商隐瞒新鲜度信息的问题。

证明:引入命题 3 中的回购契约:

$$\begin{cases} w = \alpha c + (1-\alpha)p \\ b = (1-\alpha)p \\ 0 < \alpha < 1 \end{cases}$$

在新鲜度信息不对称供应链下,零售商决策函数如下:

$$\pi_2^\lambda = p[q^\lambda - \theta(\lambda t)\int_0^{\frac{q^\lambda}{\theta(\lambda t)}} F(x)dx] - wq^\lambda + b\theta(\lambda t)\int_0^{\frac{q^\lambda}{\theta(\lambda t)}} F(x)dx$$

则回购契约下零售商的决策订购量为:

$$q_b^{\lambda *} = \theta(\lambda t)F^{-1}(\frac{p-w}{p-b})$$

生产商实际利润函数如下:

$$\pi_1^\lambda = (w-c)q_b^{\lambda *} - b\theta(t)\int_0^{\frac{q_b^{\lambda *}}{\theta(t)}} F(x)dx = (w-c)\theta(\lambda t)F^{-1}(\frac{p-w}{p-b}) - b\theta(t)\int_0^{\frac{\theta(\lambda t)F^{-1}(\frac{p-w}{p-b})}{\theta(t)}} F(x)dx$$

上式对隐瞒系数 λ 求导可得:

$$\frac{\partial \pi_1^\lambda}{\partial \lambda} = -\frac{2\lambda t^2}{T^2}F^{-1}(\frac{p-w}{p-b})\{w - c - bF[\frac{T^2 - \lambda^2 t^2}{T^2 - t^2}F^{-1}(\frac{p-w}{p-b})]\}$$

当且仅当 $\lambda = 1$,即不隐瞒新鲜度时,在契约形

式 $\begin{cases} w = \alpha c + (1-\alpha)p \\ b = (1-\alpha)p \\ 0 < \alpha < 1 \end{cases}$ 下有：

$$\frac{\partial \pi_1^{\lambda}}{\partial \lambda} = -\frac{2t^2}{T^2} F^{-1}\left(\frac{p-w}{p-b}\right)\left(w - c - b\frac{p-w}{p-b}\right) = 0,$$

即生产商能获得最大利润。因此，在这种回购契约下，生产商将选择如实公布新鲜度信息，且生产商与零售商的利润函数与信息对称情形相同。从而通过契约实现信息共享，解决了信息不对称导致的协调困难问题。命题 4 得证。

5 算例分析

本节运用数据来验证模型及理论探讨得到的相关结论。假设一个大白菜的二级生鲜农产品供应链，其中生产商的单位成本 $c = 0.1$ 元，在适当的保存条件下大白菜的生命周期为 $T = 30$ 天，送达到零售商处的实际出产时间为 $t = 5$ 天，零售价格为 $p = 0.4$ 元；当新鲜度为 1 时，该产品单位时间的顾客需求量在[0，60000 斤]间随机等概率取值，可将实际的顾客需求表示为 $D = \theta(t) \cdot A \cdot X$，其中 $A = 30000$，$X \sim U[0,2]$。

使用 MATLAB R2012b 进行求解，在新鲜度信息不对称生产商隐瞒新鲜度信息情形下，得到分散模式的最优批发价格为确定值 $w^{\lambda\ *} = 0.25$，与实际出产时间、隐瞒系数等无关。其他结果可以从表 2 和图 4 观察发现：(1)随着农产品新鲜度的下降零售商订货量下降；同样新鲜度下，生产商隐瞒新鲜度信息将诱导零售商增大订货量，隐瞒程度越大(隐瞒系数越小)零售商的订货量越大。(2)同样新鲜度下，生产商隐瞒新鲜度程度越大，其利润越大；同时零售商利润下降。(3)隐瞒新鲜度信息对供应链总效率的影响与生鲜农产品实际出产时间有关，对供应链总效率的影响具有不确定性。

注意到，当农产品出产时间较大时，生产商隐瞒新鲜度信息可能使零售商实际利润为负值，如 $t = 25$，$\lambda = 0.7$ 时，$\pi_2 = -177.1$，这时零售商会趋向于减少订货量，整个供应链极不稳定。

表 2 不同新鲜度不同隐瞒系数下的订货量及利润

	$t=5$				$t=15$				$t=25$			
λ	q	π_1	π_2	π	q	π_1	π_2	π	q	π_1	π_2	π
1	21875	3281.3	1640.6	4921.9	16875	2531.3	1265.6	3796.9	6875	1031.3	515.63	1546.9
0.9	21994	3299.1	1640.6	4939.6	17944	2691.6	1260.5	3952.1	9843.8	1476.6	419.48	1896
0.8	22100	3315	1640.5	4955.5	18900	2835	1247.4	4082.4	12500	1875	170.45	2045.5
0.7	22194	3329.1	1640.3	4969.3	19744	2961.6	1229	4190.6	14844	2226.6	−177.1	2049.4
0.6	22275	3341.3	1640.1	4981.3	20475	3071.3	1208	4279.3	16875	2531.3	−575.3	1956
0.5	22344	3351.6	1639.9	4991.4	21094	3164.1	1186.5	4350.6	18594	2789.1	−982.5	1806.6
0.4	22400	3360	1639.7	4999.7	21600	3240	1166.4	4406.4	20000	3000	−1364	1636.4
0.3	22444	3366.6	1639.5	5006.1	21994	3299.1	1149.2	4448.2	21094	3164.1	−1690	1474.2
0.2	22475	3371.3	1639.4	5010.6	22275	3341.3	1136	4477.3	21875	3281.3	−1939	1342.3
0.1	22494	3374.1	1639.3	5013.4	22444	3366.6	1127.8	4494.4	22344	3351.6	−2095	1256.8
0	22500	3375	1639.3	5014.3	22500	3375	1125	4500	22500	3375	−2148	1227.3

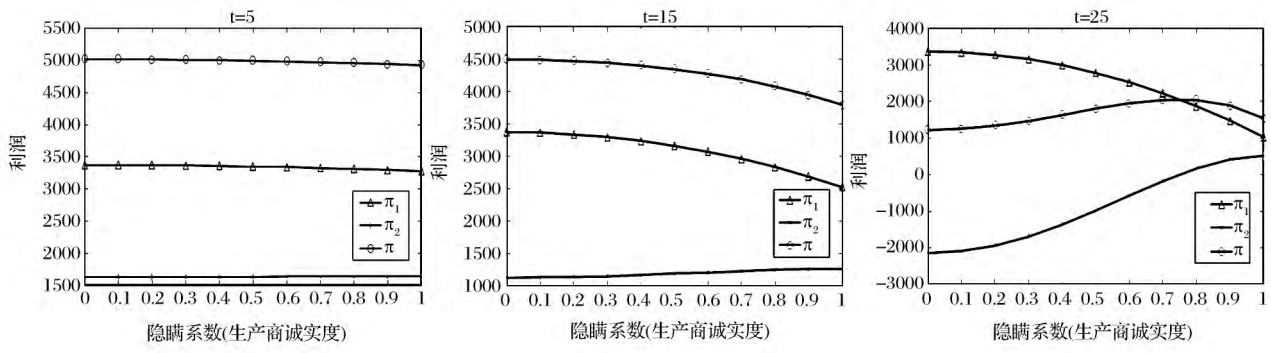

图 4 不同新鲜度下，隐瞒系数对生鲜农产品供应链利润的影响

使用 MATLAB R2012b 求解得到回购契约下供应链各结果,如表 3 和图 5、图 6 所示。回购契约可以协调供应链采取最优的订货量,使得总收益最大,并可通过调节利润分配系数进行供应链各成员间利润的重新分配。

表 3　回购契约下供应链各结果

α	w	b	q	π_1	π_2	π
0	0.4	0.4	43750	6562.5	0	6562.5
0.1	0.37	0.36	43750	5906.25	656.25	6562.5
0.2	0.34	0.32	43750	5250	1312.5	6562.5
0.3	0.31	0.28	43750	4593.75	1968.75	6562.5
0.4	0.28	0.24	43750	3937.5	2625	6562.5
0.5	0.25	0.2	43750	3281.25	3281.25	6562.5
0.6	0.22	0.16	43750	2625	3937.5	6562.5
0.7	0.19	0.12	43750	1968.75	4593.75	6562.5
0.8	0.16	0.08	43750	1312.5	5250	6562.5
0.9	0.13	0.04	43750	656.25	5906.25	6562.5
1	0.1	0	43750	0	6562.5	6562.5

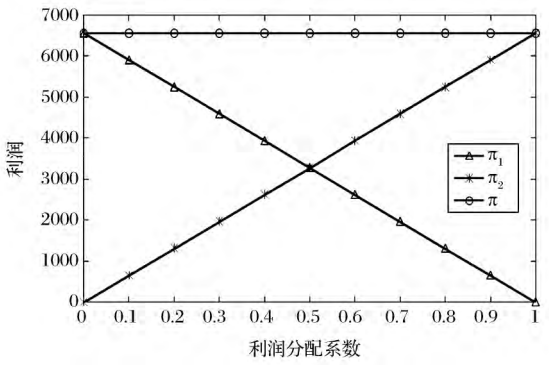

图 5　不同利润分配系数下的利润

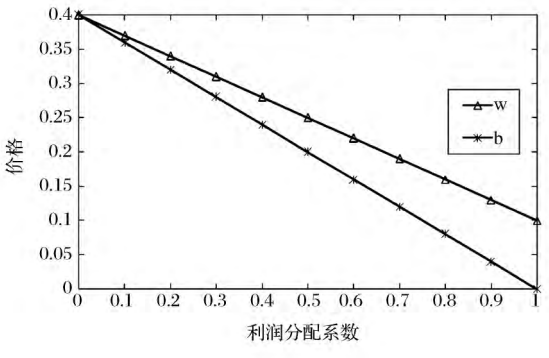

图 6　不同利润分配系数下批发及回购价格

6　结语

本文考虑由一个生产商和一个零售商组成的二级生鲜农产品供应链系统,其中新鲜度信息为生产商私有信息,研究新鲜度信息不对称对于生鲜农产品供应链的影响,以及如何运用相应契约进行协调。研究结论如下:(1)无论新鲜度信息是否对称,分散模式下生产商提供唯一的最优批发价格,并且新鲜度信息不对称时,生产商会隐瞒新鲜度信息。(2)分散模式下,生产商隐瞒新鲜度信息将诱导零售商增大订货量、并侵占零售商利润,且隐瞒系数(生产商诚实度)越低,侵占利润越多。(3)隐瞒新鲜度信息对供应链总效率的具体影响与生鲜农产品实际出产时间密切相关,得出批发价格契约下,隐瞒新鲜度信息并不一定损害供应链总效率的结论。(4)回购契约能有效协调"双边际效应",并保证信息共享,解决生产商隐瞒新鲜度的问题。通过调节利润分配系数,可进行供应链各成员间利润的重新分配。

最后,本文仅对新鲜度信息不对称下的销售价格固定的生鲜农产品供应链进行了研究,进一步的研究可增加产品销售价格随新鲜程度变化的情况,考虑如成本信息等多种不对称信息共同影响下的生鲜农产品供应链机制,并可以对零售商为主导(大型超市)的情况进行研究。

参考文献:

[1] 孙春华. 我国生鲜农产品冷链物流现状及发展对策分析[J]. 江苏农业科学, 2013, 41(1): 395－399.

[2] 中国物流与采购联合会冷链物流专业委员会,中国物流技术协会,国家农产品现代物流工程技术研究中心. 中国冷链物流发展报告[M]. 北京: 中国财富出版社, 2014.

[3] Clements M D, Lazo R M, Martin S K. Relationship connectors in NZ fresh produce supply chains [J]. British Food Journal, 2008, 110(4/5): 346－360.

[4] Blackburn J, Scudder G. Supply chain strategies for perishable products: The case of fresh produce[J]. Production and Operations Management, 2009, 18(2): 129－137.

[5] 李琳, 范体军. 面向零售商主导的生鲜农产品供应链的定价策略研究[C]. 第十六届中国管理科学学术年会, 太原,10 月 17 日－20 日,2014.

[6] 李琳, 范体军. 基于 RFID 技术应用的鲜活农产品供应链决策研究[J]. 系统工程理论与实践, 2014, 34(4): 836－844.

[7] 但斌, 丁松. 基于顾客分类的生鲜农产品二次补货策略[J]. 中国管理科学, 2012, 20(6): 87－93.

[8] 熊峰, 彭健, 金鹏, 等. 生鲜农产品供应链关系契约稳定性影响研究——以冷链设施补贴模式为视角[J]. 中国管理科学, 2015, 23(8): 102－111.

[9] 林略, 杨书萍, 但斌. 时间约束下鲜活农产品三级供应

链协调[J]. 中国管理科学, 2011, 19(3): 55－62.
[10] 但斌, 陈军. 基于价值损耗的生鲜农产品供应链协调[J]. 中国管理科学, 2008, 16(5): 42－49.
[11] 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.
[12] 林略, 杨书萍, 但斌. 收益共享契约下鲜活农产品三级供应链协调[J]. 系统工程学报, 2010,25(4):484－491.
[13] 赵霞, 吴方卫. 随机产出与需求下农产品供应链协调的收益共享合同研究[J]. 中国管理科学, 2009, 17(5): 88－95.
[14] Cai Xiaoqiang, Chen Jian, Xiao Yongbo, et al. Optimization and coordination of fresh product supply chains with freshness-keeping effort[J]. Production and Operations Management, 2010, 19(3): 261－278.
[15] Cai Xiaoqiang, Chen Jian, Xiao Yongbo, et al. Fresh-product supply chain management with logistics outsourcing[J]. Omega, 2013, 41(4): 752－765.
[16] Yue Xiaohang, Raghunathan S. The impacts of the full returns policy on a supply chain with information asymmetry[J]. European Journal of Operational Research, 2007, 180(2): 630－647.
[17] Lau A H L, Lau H S, Zhou Yongwu. A stochastic and asymmetric-information framework for a dominant-manufacturer supply chain[J]. European Journal of Operational Research, 2007, 176(1): 295－316.
[18] Guo Liang, Li Tian, Zhang Hongtao. Strategic information sharing in competing channels[J]. Production and Operations Management, 2014, 23(10): 1719－1731.
[19] Li Jianli, Liu Liwen. Supply chain coordination with quantity discount policy[J]. International Journal of Production Economics, 2006, 101(1): 89－98.
[20] 但斌, 唐国锋, 宋寒. 成本信息不对称下的应用服务外包菜单式合约[J]. 中国管理科学, 2012, 20(5): 142－151.
[21] Ha A Y. Supplier - buyer contracting: Asymmetric cost information and cutoff level policy for buyer participation[J]. Naval Research Logistics (NRL), 2001, 48(1): 41－64.
[22] 吴忠和, 陈宏, 梁翠莲. 时间约束下不对称信息鲜活农产品供应链应对突发事件协调模型[J]. 中国管理科学, 2015, 23(6): 126－134.
[23] Lodree Jr E J, Uzochukwu B M. Production planning for a deteriorating item with stochastic demand and consumer choice[J]. International Journal of Production Economics, 2008, 116(2): 219－232.
[24] Wang Yunzeng. Joint pricing-production decisions in supply chains of complementary products with uncertain demand[J]. Operations Research, 2006, 54(6): 1110－1127.
[25] Hua Zhongsheng, Li Sijie, Liang Liang. Impact of demand uncertainty on supply chain cooperation of single-period products[J]. International Journal of Production Economics, 2006, 100(2): 268－284.
[26] 徐晓燕, 吴三平. 生产成本信息不对称的两级供应链协调研究[J]. 系统工程学报, 2009, 24(1): 18－24.

Coordination of Fresh Agricultural Supply Chain with Asymmetric Freshness Information

YANG Ya[1,2], FAN Ti-jun[1], ZHANG Lei[1]
(1. School of Business, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China;
2. School of Finance and Economics, Qinghai University, Xining 810016, China)

Abstract: Serious damages and spoils of fresh agricultural supply chain result from the high complicated management by fresh agricultural products' short life, perishable and seasonal characteristics, which lead to coordination difficulties between upstream and downstream. Specially, the information asymmetry existing widely, such as producer conceals the private freshness information to retailer, will further aggravate this circulative loss. Thus, it is a need for us to research on the coordination of fresh agricultural supply chain with asymmetric freshness information.

In this paper, a one-producer-one-retailer fresh agricultural supply chain in which the producer holds private freshness information is considered. The producer has to determine the wholesale price based on the production cost, the output and the retailer's possible order quantity. The retailer, on the other hand, has to determine order quantity and selling price, by taking into account the market demand and the freshness information came from producer. Models are developed to study the coordination mechanism of this

supply chain with asymmetric freshness information. Moreover, a buyback contract is proposed to facilitate coordination between the two parties.

It is considered that agricultural products' demand is random, sensitive to the freshness, which degrades accelerated over time. Some single cycle newsboy models are developed, and each party's optimal decisions are derived in both decentralized and centralized systems based on Stackelberg game.

Two scenarios are analyzed in this model: freshness information symmetry and asymmetry. Firstly, the coordination model under symmetrical freshness information is constructed. Secondly, the centralized system and the decentralized system decision mechanism are analyzed under the scene that producer conceals the freshness information. Finally, the specific form of buyback contract is investigated to coordinate the supply chain.

An important implication from our study is that even if the producer conceals the freshness of the agricultural products, it will not necessarily impair the overall profit of the supply chain under the wholesale-price contract. In addition, we can ensure information sharing and supply chain coordination through appropriate buyback contract.

In the end, an illustrative case study dealing with acelery cabbage supply chain is discussed. Also, the impact of different freshness, conceal coefficient and profit distribution coefficient under asymmetric freshness information is illustrated.

Our contribution lies in how to find appropriate contract to coordinate this fresh agricultural supply chain when asymmetric information exists in the supply chain in which producer conceals the private freshness information to retailer.

Key words: freshness; asymmetric information; fresh agricultural product; coordination