文章编号:1003－207(2015)06－0126－09
DOI:10.16381/j.cnki.issn1003－207x.2015.06.016

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

吴忠和,陈　宏,梁翠莲

(电子科技大学经济与管理学院,四川 成都　610054)

摘　要:针对一个由供应商和一个零售商构成的鲜活农产品供应链,在考虑损耗和新鲜度的影响下,假设产品的市场需求为零售价格的非线性函数,零售商成本为私有信息,研究如何协调供应链应对突发事件。首先,给出了对称信息下供应链协调模型;然后,研究了不对称信息下集权式与分权式供应链的协调机制;再次,研究了在突发事件引起零售商成本分布函数扰动情况下,供应链的最优应对策略。研究表明,供应链的最优生产计划、最优批发价格和最优零售价格均具有一定的鲁棒性,当突发事件造成零售商期望成本在一定范围内发生扰动时,三者可以保持不变。最后,通过数值仿真验证了相关结论。

关键词:鲜活农产品;不对称信息;应急管理; 协调模型;时间约束

中图分类号:F406.2　　**文献标识码**:A

1　引言

鲜活农产品作为一类特殊的变质产品,是指新鲜蔬菜、新鲜水果、鲜活水产品、活的畜禽和新的肉奶蛋等 5 类农产品[1]。鲜活农产品具有较大的易腐易损性,在采购、运输、销售等各环节中,会持续变质,因而容易产生数量的损耗和新鲜度的降低。近年来,针对鲜活农产品供应链协调的研究逐渐增多。肖勇波等[2-3]针对离岸价格和到岸价格商务模式下涉及远距离运输的鲜活农产品供应链进行了研究,通过成本分担机制实现了协调;赵霞等[4]分析了收益共享契约下产出和需求均为随机的农产品两级供应链协调问题;林略等[5-6]研究了收益共享契约下鲜活农产品的三级供应链协调问题。

当今社会是一个突发事件发生频繁的社会, 近年来恐怖袭击、战争、海啸、食品安全事件、重大公共卫生事件等突发事件,严重影响了全球供应链的正常运作,直接导致供应链不再协调或者原有计划不再可行。因此,对于协调供应链系统如何应对突发事件的研究就显得格外重要。

目前,对于突发事件下供应链协调问题的研究正处于起步阶段。Qi Xiangtong 等[7]研究了在单供应商和单零售商构成的简单供应链系统中,在假设零售商面对的市场需求是关于价格的线性函数的情形下,当需求出现扰动时,如何利用全单位数量折扣契约应对突发事件,以实现供应链的协调;于辉等[8]假定需求为线性函数,在考虑需求敏感系数变化下,给出了抗突发事件的数量折扣契约;吴忠和等[9]在 Xiao Tiaojun 等[10]研究需求变化下一个供应商和两个竞争零售商组成的二级供应链对突发事件的协调应对的基础上,进一步研究了生产成本、市场需求和价格敏感系数同时扰动的协调机制,运用线性数量折扣契约实现了多因素扰动下的供应链协调;此外,吴忠和等[11-12]针对二级供应链,分别运用数量折扣契约和期权契约实现了突发事件引起双因素同时扰动时的供应链应急协调,给出了最优应对策略。

在非对称信息供应链协调机制研究方面,Lau 等[13]研究当供应商生产成本信息不完全条件下,一个占统治地位零售商的决策问题;但斌等[14]针对客户企业实施应用服务外包时面临的应用服务提供商(ASP)的成本效率参数及努力水平信息不对称所带来的风险,研究了客户企业如何通过服务外包菜单式合约的设计激励 ASP 付出最优的努力水平,并显

收稿日期:2013－05－15; **修订日期**:2014－03－31
基金项目:国家自然科学基金资助项目(70773017,71472026);2011 年度高等学校博士学科点专项科研基金资助课题(博导类)(20110185110022)
作者简介:吴忠和(1969－),男(汉族),广东廉江人,电子科技大学经济与管理学院,博士,研究方向:供应链管理、博弈论.

示出真实的成本信息。

目前，有关非对称信息下供应链应急管理方面的研究还很少涉及。覃艳华等[15]考虑了二级供应链在随机市场需求下突发事件导致市场需求发生变化且变化后的需求信息是不对称信息时的供应链协调问题；曹细玉等[16]考虑了机市场需求下的二级供应链，探讨了突发事件导致市场需求和零售商边际成本同时变化且变化后的零售商边际成本是不对称信息时回购契约对供应链的协调作用。

近年来，与鲜活农产品有关的突发事件频繁发生，如 SARS、H1N1 流感、三聚氰胺奶粉事件、海南毒豆角事件、西瓜膨大剂事件等，这些事件对鲜活农产品的生产、销售、需求以及消费者对食品安全问题的信心等方面造成了严重的影响。鲜活农产品由于产品自身特点以及生产、运输、需求等各种因素的不确定性很大，并且直接关系到人类的生活与健康，其供应链面临的突发事件也更多，更加复杂，影响范围也更广，因而，鲜活农产品供应链的应急协调研究也显得更加重要和迫切。

本文针对由一个供应商和一个零售商组成的鲜活农产品供应链系统，结合鲜活农产品在运输过程中会产生产品数量损耗和新鲜度降低的特点，假设零售商面对的市场需求是零售价格的非线性函数情形，零售商成本为私有信息，考虑突发事件造成零售商成本分布函数发生扰动时的供应链应急协调问题，为决策者进行决策提供理论依据。

2　对称信息下供应链协调机制

考虑由一个供应商和一个零售商组成的供应链，为了描述鲜活农产品供应链的特点，定义一个反映鲜活农产品质量随零售商运输时间 t 加速递减的单调连续减函数的新鲜度因子，令 $\theta(t)=1-\frac{t^2}{T^2}$，其中 T 是鲜活农产品的有效生命周期，$0\leqslant t\leqslant T$，T 同时是有效运输时间约束。构造一个运输过程中鲜活农产品变化的损耗比例系数 $\varphi(t)=e^{\frac{\ln 2}{T}t}-1$，则与运输时间有关的有效比例因子 $\beta(t)=1-\varphi(t)=2-e^{\frac{\ln 2}{T}t}$，$\beta(t)\in[0,1]$，可知当零售商预测的市场需求量为 q，运输时间为 t 时，零售商在利润最大化目标下，向生产商订购 $\frac{q}{2-e^{\frac{\ln 2}{T}t}}$。

假设产品的市场需求 q 为零售价格的非线性函数 $q=\frac{ap^{-k}}{\ln 2}\ln(2-\frac{t^2}{T^2})$，其中，$a>0$ 表示市场求规模（市场的最大需求），$k>0$ 为价格敏感系数。供应商的单位生产成本为 c_s，零售商的边际单位成本为 c_r。零售商以批发价格 w 订购 q 数量的产品，显然，零售价格为：

$$p=\left(\frac{a\ln(2-\frac{t^2}{T^2})}{q\ln 2}\right)^{\frac{1}{k}}。$$

首先考虑将一个供应商和一个零售商构成的供应链看成是一个集中供应链的情况，供应链由一个集中决策者统一决策，以寻求供应链整体利润的最大化。

供应链系统的利润为：

$$\prod(q)=q\left(p-\frac{c_s+c_r}{2-e^{\frac{\ln 2}{T}t}}\right)=q\left(\left(\frac{a\ln(2-\frac{t^2}{T^2})}{q\ln 2}\right)^{\frac{1}{k}}-\frac{c_s+c_r}{2-e^{\frac{\ln 2}{T}t}}\right)$$

由一阶最优性条件可知，存在唯一最优订货点 q^* 能最大化供应链的利润，令 $\frac{\partial\prod(q)}{\partial q}=0$，可得：

最优销售量：

$$q^*=\frac{a\ln(2-\frac{t^2}{T^2})}{\ln 2}\left(\frac{(k-1)(2-e^{\frac{\ln 2}{T}t})}{k(c_s+c_r)}\right)^k$$

相应的零售价格为：

$$p^*=\frac{k(c_s+c_r)}{(k-1)(2-e^{\frac{\ln 2}{T}t})}$$

供应链最大利润为：

$$\prod(q^*)=\frac{a\ln(2-\frac{t^2}{T^2})}{\ln 2}\frac{1}{k^k}\left(\frac{(k-1)(2-e^{\frac{\ln 2}{T}t})}{(c_s+c_r)}\right)^{k-1}$$

3　不对称信息下的供应链协调机制

前面的分析是建立在完全信息的情况下的，但实际中的供应链系统通常存在不对称信息的情况。本文考虑的是零售商的成本信息 c_r 为非对称信息，对于零售商而言，零售商的成本是其完全信息，而供应商不知道零售商的成本信息 c_r，只知道 c_r 在 $[\underline{c_r},\overline{c_r}]$ 区间的分布，设 $0\leqslant\underline{c_r}\leqslant\overline{c_r}\leqslant\infty$，分布函数为 $F(c_r)$，概率密度函数为 $f(c_r)$ 期望为 μ，$F(c_r)$ 是可微的和严格增加的且 $F(0)=0$，令 $\bar{F}(c_r)=1-F(c_r)$。其它数对供应商和零售商是共同的知识。

(1)集权式控制情形

在集权式控制下，供应链系统由一个决策者统一作出决策，集权式控制下供应链期望利润模型为：

$$\prod{}^{c}(p)=E\left[q\left(p-\frac{c_s+c_r}{2-e^{\frac{\ln 2}{T}t}}\right)\right]$$

由于 c_r 在区间 $[\underline{c_r},\overline{c_r}]$ 的概率密度函数为 $f(c_r)$，所以此时可写成下式：

$$\prod{}^{c}(p)=\int_{\underline{c_r}}^{\overline{c_r}}q(p-c_s-c_r)f(c_r)dc_r$$

$$\prod{}^{c}(p)=\int_{\underline{c_r}}^{\overline{c_r}}\frac{ap^{-k}\ln\left(2-\frac{t^2}{T^2}\right)}{\ln 2}\left(p-\frac{c_s+c_r}{2-e^{\frac{\ln 2}{T}t}}\right)f(c_r)dc_r$$

由一阶最优条件 $\frac{\partial\prod(p)}{\partial p}=0$，可得以下定理 1。

定理 1 集权式控制下供应链最优契约为：

最优零售价为：$p^c=\frac{k(c_s+\mu)}{(k-1)(2-e^{\frac{\ln 2}{T}t})}$

最优销售量为：

$$q^c=\frac{a\ln(2-\frac{t^2}{T^2})}{\ln 2}\left(\frac{(k-1)(2-e^{\frac{\ln 2}{T}t})}{k(c_s+\mu)}\right)^k$$

则供应链总期望利润为：

$$\prod{}^{c}(q^c)=\frac{a\ln\left(2-\frac{t^2}{T^2}\right)}{\ln 2}\frac{1}{k^k}\left(\frac{(k-1)(2-e^{\frac{\ln 2}{T}t})}{c_s+\mu}\right)^{k-1}$$

(2) 分权式控制情形

在分权式控制下，供应链成员各自是独立的经济实体，追求自身利润最大化。根据委托—代理理论，供应商作为委托人，零售商作为代理人。这是一个逆向选择问题，在签订契约之前，供应商不知道零售商的成本信息，根据机制设计原理，供应商首先提出契约，零售商决定接受或不接受契约，如果接受契约，则选择订单数量和零售价来最大化其期望利润。除了零售商成本信息外，其他参数都是博弈参与人的共同知识。

对于供应商来说，其优化问题就是最大化其期望利润，目标函数可表示为：

供应商优化问题可表示为：

目标函数：

$$\max_w E[\prod{}_s(w)]=\max_w\int_{\underline{c_r}}^{\overline{c_r}}\prod{}_s^S(w)f(c_r)dc_r \tag{4}$$

$$s.t.\ IC: q=\arg\max_q\prod{}_r^N(p) \tag{5}$$

式(5)表示零售商的激励相容 IC 约束，零售商选择 q 最大化自己的利润。式(4)表明供应商的期望利润取决于零售商由式(5)激励相容约束条件得到的订货量 q。

1) 零售商的优化问题

零售商的期望利润函数可写成：

$$\prod{}_r(p)=q\left(p-\frac{w+c_r}{2-e^{\frac{\ln 2}{T}t}}\right)=\frac{a\ln(2-\frac{t^2}{T^2})}{\ln 2}p^{-k}\left(p-\frac{w+c_r}{2-e^{\frac{\ln 2}{T}t}}\right)$$

由一阶最优条件 $\frac{\partial\prod_r(p)}{\partial p}=0$，可得最优零售价格为：

$$p(w)=\frac{k(w+c_r)}{(k-1)(2-e^{\frac{\ln 2}{T}t})} \tag{6}$$

相应的最优销售量为：

$$q(w)=\frac{a\ln(2-\frac{t^2}{T^2})}{\ln 2}\left(\frac{(k-1)(2-e^{\frac{\ln 2}{T}t})}{k(w+c_r)}\right)^k \tag{7}$$

2)供应商的优化问题

此时，供应商的期望利润为：

$$\max_w E[\prod{}_s(w)]=E\left[\frac{q(w)}{2-e^{\frac{\ln 2}{T}t}}(w-c_s)\right]$$

将式(7)代入上式中，由一阶最优条件 $\frac{\partial E[\prod_s(w)]}{\partial w}=0$，可得出以下定理 2。

定理 2 分权式控制下，无突发事件时在不对称信息下的供应链协调契约为：

最优批发价格为：

$$w^N=\frac{kc_s+\mu}{k-1} \tag{8}$$

最优零售价格为：

$$p^N=\left(\frac{k}{k-1}\right)^2\left(\frac{c_s+\mu}{2-e^{\frac{\ln 2}{T}t}}\right) \tag{9}$$

零售商最优销售量为：

$$q^N=\frac{a\ln(2-\frac{t^2}{T^2})}{\ln 2}\left(\frac{k-1}{k}\right)^{2k}\left(\frac{2-e^{\frac{\ln 2}{T}t}}{c_s+\mu}\right)^k \tag{10}$$

相应地，零售商的期望利润为：

$$\prod{}_r^N=\frac{a\ln(2-\frac{t^2}{T^2})}{\ln 2}\frac{(k-1)^{2k-2}}{k^{2k-1}}\left(\frac{2-e^{\frac{\ln 2}{T}t}}{c_s+\mu}\right)^{k-1} \tag{11}$$

供应商的期望利润为：

$$\prod{}_s^N=\frac{a\ln(2-\frac{t^2}{T^2})}{\ln 2}\frac{(k-1)^{2k-1}}{k^{2k}}\left(\frac{2-e^{\frac{\ln 2}{T}t}}{c_s+\mu}\right)^{k-1} \tag{12}$$

供应链系统的期望利润为:

$$\prod^{N} = \frac{a\ln(2-\frac{t^2}{T^2})}{\ln 2}\frac{(2k-1)(k-1)^{2k-2}}{k^{2k}}\times(\frac{2-e^{\frac{\ln 2}{T}t}}{c_s+\mu})^{k-1} \tag{13}$$

4　突发事件下不对称信息供应链协调机制

本部分考虑的是不对称信息下如何协调供应链应对突发事件。假设突发事件造成零售商的成本分布函数发生扰动,而其它参数没有变化。销售季节来临前,零售商制定了最优订货量,供应商则根据最优订货量安排了生产计划。若突发事件的发生导致零售商的成本分布函数发生了变化,由 $F(c_r)$ 变为 $G(c_r)$,相应地密度函数 $f(c_r)$ 变为 $g(c_r)$。与 $F(c_r)$ 一样,$G(c_r)$ 是可微的和严格增加的,且 $G(0)=0$,令 $\bar{G}(c_r)=1-G(c_r)$,其期望为 μ_G。

当零售商成本发生变化后,供应链由于调整原来的生产计划会引起额外的费用。因此,供应链应急管理的决策模型中应考虑这些偏差费用。突发事件下供应商优化问题可表示为:

目标函数:

$$\max_{w} E[\tilde{\prod}_s(w)] = \max_{w}\int_{\underline{c_r}}^{\overline{c_r}}\tilde{\prod}_s(w)g(c_r)dc_r$$

$$s.t.\ IC: q=\arg\max_{q}\tilde{\prod}_r(p)$$

考虑改变生产计划引起的偏差费用,则供应商的利润函数为:

$$\tilde{\prod}_s(w) = \frac{1}{2-e^{\frac{\ln 2}{T}t}}[q(w-c_s)-\lambda_1(q-q^N)^+-\lambda_2(q^N-q)^+] \tag{14}$$

假设突发事件发生后,零售商的最优订货量为 $q^D/(2-e^{\frac{\ln 2}{T}t})$,当新的订货量 $q^D/(2-e^{\frac{\ln 2}{T}t})>q^N/(2-e^{\frac{\ln 2}{T}t})$ 时,由于打破了原有生产计划,对于增加的产品 $(q^D-q^N)/(2-e^{\frac{\ln 2}{T}t})$,需要增加新的生产成本 λ_1;而如果突发事件导致订货量比原有生产计划量 $q^N/(2-e^{\frac{\ln 2}{T}t})$ 少,对于剩余的产品 $(q^N-q^D)/(2-e^{\frac{\ln 2}{T}t})$,将招致新的处理费用 λ_2,$(x)^+=\max(0,x)$。

突发事件可能会造成成本增加或者减少,当 $c_r\geqslant 0$ 时,如果成本增加则 $\bar{G}(c_r)\geqslant\bar{F}(c_r)$,如果成本减少,则 $\bar{G}(c_r)\leqslant\bar{F}(c_r)$。

引理 1 如果突发事件造成零售商成本增加,即 $\bar{G}(c_r)\geqslant\bar{F}(c_r)$,对于任意的 $c_r\geqslant 0$,则 $q^D\leqslant q^N$,如果突发事件造成零售商成本减少,即 $\bar{G}(c_r)\leqslant\bar{F}(c_r)$,则有 $q^D\geqslant q^N$。

证明:假设突发事件造成零售商成本增加,即 $\bar{G}(c_r)\geqslant\bar{F}(c_r)$ 时,对任意的 $c_r\geqslant 0$,

有 $q^D\geqslant q^N$,供应商的期望利润函数为:

$$\tilde{\prod}_s(w) = \frac{1}{2-e^{\frac{\ln 2}{T}t}}[q(w-c_s)-\lambda_1(q-q^N)]$$

供应商的优化问题就可表示为:

$$\max_{w} E[\tilde{\prod}_s(w)] = \max_{w}\int_{\underline{c_r}}^{\overline{c_r}}\tilde{\prod}_s(w)g(c_r)dc_r \tag{15}$$

$$s.t.\ IC: q=\arg\max_{q}\tilde{\prod}_r(p) \tag{16}$$

$$\tilde{\prod}_r(p) = q(p-\frac{w+c_r}{2-e^{\frac{\ln 2}{T}t}}) = \frac{ap^{-k}\ln(2-\frac{t^2}{T^2})}{\ln 2}(p-\frac{w+c_r}{2-e^{\frac{\ln 2}{T}t}})$$

由一阶最优条件 $\frac{\partial\tilde{\prod}_r(p)}{\partial p}=0$,可得最优零售价格为:

$$p(w) = \frac{k(w+c_r)}{(k-1)(2-e^{\frac{\ln 2}{T}t})} \tag{17}$$

相应最优销售量为:

$$q(w) = \frac{a\ln(2-\frac{t^2}{T^2})}{\ln 2}(\frac{(k-1)(2-e^{\frac{\ln 2}{T}t})}{k(w+c_r)})^{k} \tag{18}$$

将式(18)代入式(15)中,由一阶最优条件 $\frac{\partial E[\tilde{\prod}_s(w)]}{\partial w}=0$,可得此时供应链的最优批发价格为:

$$w^D = \frac{k(c_s+\lambda_1)+\mu_G}{k-1}$$

相应的最优销售量为:

$$q^D = \frac{a\ln(2-\frac{t^2}{T^2})}{\ln 2}(\frac{k-1}{k})^{2k}(\frac{2-e^{\frac{\ln 2}{T}t}}{c_s+\mu_G+\lambda_1})^{k} < q^N = \frac{a\ln(2-\frac{t^2}{T^2})}{\ln 2}(\frac{k-1}{k})^{2k}(\frac{2-e^{\frac{\ln 2}{T}t}}{c_s+\mu})^{k}$$

,这与假设矛盾,所以故若突发事件造成零售商成本增加,即 $\bar{G}(c_r)\geqslant\bar{F}(c_r)$,对于任意的 $c_r\geqslant 0$,有 $q^D\leqslant q^N$。

同理可证，如果突发事件造成零售商成本减少，即 $\bar{G}(c_r)\leqslant\bar{F}(c_r)$，则有 $q^D\geqslant q^N$。

下面考虑两种情形时供应链的协调机制。

情形 1 当零售商成本减少时，即 $\bar{G}(c_r)\leqslant\bar{F}(c_r)$，此时 $q^D\geqslant q^N$，此种情况下，供应商的利润函数为：

$$\widetilde{\prod}_{s1}(w)=\frac{1}{2-e^{\frac{\ln 2}{T}t}}[q(w-c_s)-\lambda_1(q-q^N)]$$

供应商的优化问题就可表示为：

$$\max_w E[\widetilde{\prod}_s(w)]=\max_w\int_{\underline{c_r}}^{\bar{c}_r}\widetilde{\prod}_s(w)g(c_r)dc_r$$

$$s.t.\ IC:q=\arg\max_q\widetilde{\prod}_r(p)$$

由一阶最优条件 $\dfrac{\partial E[\widetilde{\prod}_s(w)]}{\partial w}=0$，可求出此时的最优批发价格为：

$$w_1^D=\frac{k(c_s+\lambda_1)+\mu_G}{k-1}$$

其最优的零售价格和最优销售量分别为：

$$p_1^D=\left(\frac{k}{k-1}\right)^2\left(\frac{c_s+\mu_G+\lambda_1}{2-e^{\frac{\ln 2}{T}t}}\right)$$

$$q_1^D=\frac{a\ln(2-\frac{t^2}{T^2})}{\ln 2}\left(\frac{k-1}{k}\right)^{2k}\left(\frac{2-e^{\frac{\ln 2}{T}t}}{c_s+\mu_G+\lambda_1}\right)^k$$

零售商的期望利润为：

$$\widetilde{\prod}_{r1}^D=\frac{a\ln(2-\frac{t^2}{T^2})}{\ln 2}\frac{(k-1)^{2k-2}}{k^{2k-1}}\times\left(\frac{2-e^{\frac{\ln 2}{T}t}}{c_s+\mu_G+\lambda_1}\right)^{k-1}$$

供应商的期望利润为：

$$\widetilde{\prod}_{s1}^D=\frac{a\ln(2-\frac{t^2}{T^2})}{\ln 2}\frac{(k-1)^{2k-1}}{k^{2k}}\times\left(\frac{2-e^{\frac{\ln 2}{T}t}}{c_s+\mu_G+\lambda_1}\right)^{k-1}+\lambda_1q^N$$

供应链系统的期望利润为：

$$\widetilde{\prod}_1^D=\frac{a\ln(2-\frac{t^2}{T^2})}{\ln 2}\frac{(k-1)^{2k-2}(2k-1)}{k^{2k}}\times\left(\frac{2-e^{\frac{\ln 2}{T}t}}{c_s+\mu_G+\lambda_1}\right)^{k-1}+\lambda_1q^N$$

情形 2 当零售商成本减少时，即 $\bar{G}(c_r)\geqslant\bar{F}(c_r)$，此时 $q^D\leqslant q^N$，在此种情况下，供应商的期望利润函数可写成：

$$\widetilde{\prod}_{s2}(w)=\frac{1}{2-e^{\frac{\ln 2}{T}t}}[q(w-c_s)-\lambda_2(q^N-q)]$$供应商的优化问题就可表示为：

$$\max_w E[\widetilde{\prod}_s(w)]=\max_w\int_{\underline{c_r}}^{\bar{c}_r}\widetilde{\prod}_s(w)g(c_r)dc_r$$

$$s.t.\ IC:q=\arg\max_q\widetilde{\prod}_r(p)$$

由一阶最优条件 $\dfrac{\partial E[\widetilde{\prod}_s(w)]}{\partial w}=0$，可求出此时的最优批发价格为：

$$w_2^D=\frac{k(c_s-\lambda_2)+\mu_G}{k-1}$$

最优的零售价格和最优销售量分别为：

$$p_2^D=\left(\frac{k-1}{k}\right)^2\left(\frac{c_s+\mu_G-\lambda_2}{2-e^{\frac{\ln 2}{T}t}}\right)$$

$$q_2^D=\frac{a\ln(2-\frac{t^2}{T^2})}{\ln 2}\left(\frac{k-1}{k}\right)^{2k}\left(\frac{2-e^{\frac{\ln 2}{T}t}}{c_s+\mu_G-\lambda_2}\right)^k$$

零售商的期望利润为：

$$\widetilde{\prod}_{r2}^D=\frac{a\ln(2-\frac{t^2}{T^2})}{\ln 2}\frac{(k-1)^{2k-2}}{k^{2k-1}}\left(\frac{2-e^{\frac{\ln 2}{T}t}}{c_s+\mu_G-\lambda_2}\right)^{k-1}$$

供应商的期望利润为：

$$\widetilde{\prod}_{s2}^D=\frac{a\ln(2-\frac{t^2}{T^2})}{\ln 2}\frac{(k-1)^{2k-1}}{k^{2k}}\times\left(\frac{2-e^{\frac{\ln 2}{T}t}}{c_s+\mu_G-\lambda_2}\right)^{k-1}-\lambda_2q^N$$

供应链系统的期望利润为：

$$\widetilde{\prod}_2^D=\frac{a\ln(2-\frac{t^2}{T^2})}{\ln 2}\frac{(k-1)^{2k-2}(2k-1)}{k^{2k}}\times\left(\frac{2-e^{\frac{\ln 2}{T}t}}{c_s+\mu_G-\lambda_2}\right)^{k-1}-\lambda_2q^N$$

总结上面的结果，可得到下面的定理 3。

定理 3 突发事件下不对称信息供应链协调机制为：

最优销售量为：

$$q^D=\begin{cases}q_1^D & \mu_G<\mu-\lambda_1\\ q^N & \mu-\lambda_1\leqslant\mu_G\leqslant\mu+\lambda_2\\ q_2^D & \mu_G>\mu+\lambda_2\end{cases}$$

最优的零售价格为：

$$p^D=\begin{cases}p_1^D & \mu_G<\mu-\lambda_1\\ p^N & \mu-\lambda_1\leqslant\mu_G\leqslant\mu+\lambda_2\\ p_2^D & \mu_G>\mu+\lambda_2\end{cases}$$

最优的批发价格为：

$$w^D=\begin{cases}w_1^D & \mu_G<\mu-\lambda_1\\ w^N & \mu-\lambda_1\leqslant\mu_G\leqslant\mu+\lambda_2\\ w_2^D & \mu_G>\mu+\lambda_2\end{cases}$$

零售商的期望利润为：

$$\tilde{\prod}_r^D = \begin{cases} \tilde{\prod}_{r1}^D & \mu_G < \mu - \lambda_1 \\ \prod_r^N & \mu - \lambda_1 \leqslant \mu_G \leqslant \mu + \lambda_2 \\ \tilde{\prod}_{r2}^D & \mu_G > \mu + \lambda_2 \end{cases}$$

供应商的期望利润为:

$$\tilde{\prod}_s^D = \begin{cases} \tilde{\prod}_{s1}^D & \mu_G < \mu - \lambda_1 \\ \prod_s^N & \mu - \lambda_1 \leqslant \mu_G \leqslant \mu + \lambda_2 \\ \tilde{\prod}_{s2}^D & \mu_G > \mu + \lambda_2 \end{cases}$$

供应链系统的期望利润为:

$$\tilde{\prod}^D = \begin{cases} \tilde{\prod}_1^D & \mu_G < \mu - \lambda_1 \\ \prod^N & \mu - \lambda_1 \leqslant \mu_G \leqslant \mu + \lambda_2 \\ \tilde{\prod}_2^D & \mu_G > \mu + \lambda_2 \end{cases}$$

由定理 3,可以得出以下结论:

(1)突发事件下的原生产计划具有很强的鲁棒性。当突发事件造成零售商成本增加或者减少不大时,原有的协调机制可以实现供应链的协调。

(2)当突发事件造成零售商的成本变化超过一定范围时,必须改变原来的协调策略使供应链重新挞到协调。

5　算例分析

本部分通过具体的算例分析来验证文中建立的模型的正确性。假设 $a = 50000$, $k = 2$, $c_s = 12$, $t = 3$, $T = 24$, $\lambda_1 = 3$, $\lambda_2 = 2$,零售商的成本分布函数 $F(c_r)$ 是均匀分布且 $\mu = 10$,突发事件可能引起零售商成本的增加或减少,假设突发事件造成零售商成本的期望值扰动范围为[2,18]。以下分析零售商的成本扰动对批发价格、销售量、零售价格、供应商期望利润、零售商期望利润以及整个供应链系统的期望利润的影响。

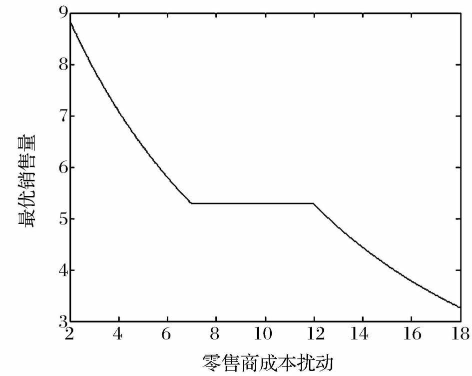

图 1　μ_G 与最优销售量的关系

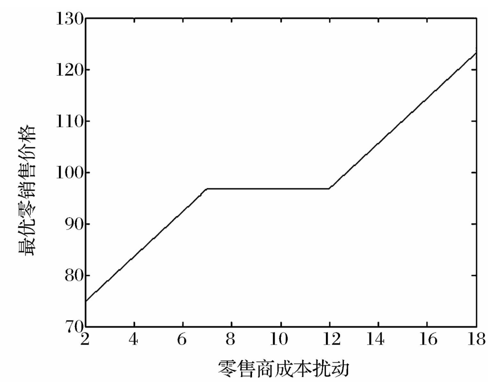

图 2　μ_G 与最优零售价格的关系

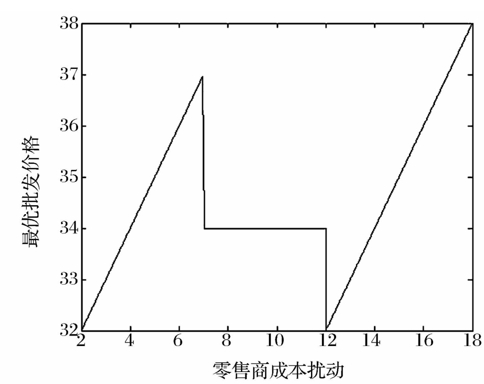

图 3　μ_G 与最优批发价格的关系

从上图可以看出,突发事件发生后:

(1)零售商成本扰动对最优生产量的影响:

当 $\mu_G < \mu - \lambda_1$ 时,最优生产量随着 μ_G 非线性递减,大于无突发事件发生时的生产量,即 $q^D > q^N$;当 $\mu_G > \mu + \lambda_2$ 时,最优生产量随着 μ_G 非线性递减,小于无突发事件发生时的生产量,即 $q^D < q^N$;当 $\mu - \lambda_1 \leqslant \mu_G \leqslant \mu + \lambda_2$ 时,突发事件发生前后的最优生产量没有变化,即: $q^D = q^N$,表明在零售商成本在一定范围内扰动时,供应链的最优生产计划具有一定的鲁棒性。

(2)零售商成本扰动对最优零售价格的影响:

当 $\mu_G < \mu - \lambda_1$ 时,最优零售价格随着 μ_G 线性递增,小于无突发事件发生时的零售价格,即 $p^D < p^N$;当 $\mu_G > \mu + \lambda_2$ 时,最优零售价格随着 μ_G 线性递增,大于无突发事件发生时的最优零售价格,即 $p^D > p^N$;当 $\mu - \lambda_1 \leqslant \mu_G \leqslant \mu + \lambda_2$ 时,突发事件发生前后的最优零售价格没有变化,即: $p^D = p^N$,表明在零售商成本在一定范围内扰动时,供应链的最优零售价格具有一定的鲁棒性。

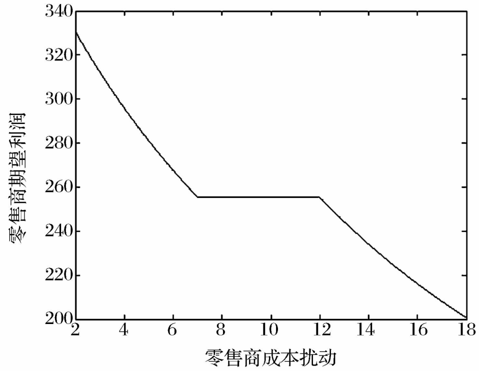

图 4 μ_G 与零售商期望利润的关系

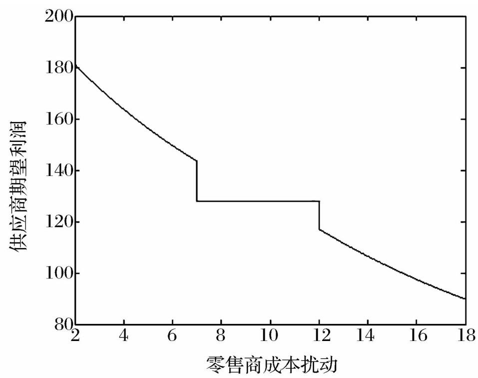

图 5 μ_G 与供应商期望利润的关系

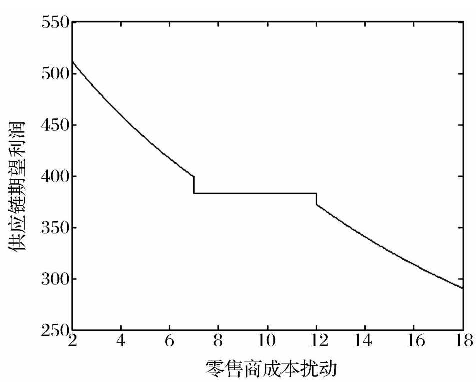

图 6 μ_G 与供应链期望利润的关系

(3)零售商成本扰动对最优批发价格的影响：

除了零售商成本 μ_G 扰动的中间一段区域，最优批发价格随着 μ_G 线性递增。当 $\mu_G<\mu-\lambda_1$ 时，最优批发价格大于或小于无突发事件发生时的批发价格；当 $\mu_G>\mu+\lambda_2$ 时，最优批发价格也大于或小于无突发事件发生时的批发价格；当 $\mu-\lambda_1\leqslant\mu_G\leqslant\mu+\lambda_2$ 时，最优批发价格等于无突发事件发生时的批发价格，即 $w^D=w^N$，表明在零售商成本在一定范围内扰动时，供应链的最优批发价格具有一定的鲁棒性。

(4)零售商成本扰动对最优期望利润的影响：

当 $\mu_G<\mu-\lambda_1$ 时，零售商最优期望利润、供应商最优期望利润以及供应链的最优期望利润均随着 μ_G 非线性递减，三者均大于突发事件发生前的，即 $\prod_r^D>\prod_r^N$，$\prod_s^D>\prod_s^N$，$\prod^D>\prod^N$；当 $\mu_G>\mu+\lambda_2$ 时，零售商最优期望利润、供应商最优期望利润以及供应链的最优期望利润均随着 μ_G 非线性递减，三者均小于突发事件发生前的，即 $q^D<q^N$，$\prod_r^D<\prod_r^N$，$\prod_s^D<\prod_s^N$，$\prod^D<\prod^N$；当 $\mu-\lambda_1\leqslant\mu_G\leqslant\mu+\lambda_2$ 时，突发事件发生前后零售商最优期望利润、供应商最优期望利润以及供应链的最优期望利润均没有变化，即 $\prod_r^D=\prod_r^N$，$\prod_s^D=\prod_s^N$，$\prod^D=\prod^N$。

6 结语

突发事件下的供应链协调机制成为非常重要的课题。本文研究了非对称信息下发生突发事件的鲜活农产品供应链的协调机制。根据以上分析，本文可以得出以下结论：

(1)当零售商成本受突发事件影响扰动范围较小时，供应链在其原有最优策略的鲁棒性的作用下可以继续得到协调。也即此时供应链原有的生产计划、批发价格和零售价格均可维持不变，即可使供应链各方及供应链系统利润达到最优。

(2)当零售商成本受突发事件影响扰动范围较大时，供应链必须改变原来的策略才能重新达到协调。也即供应链原有的生产计划、批发价格和零售价格均需要随零售商成本的增加或减少作出相应调整，才能有效应对突发事件，使供应链各方及供应链系统利润达到突发事件下的最优。

现实中，鲜活农产品产、供、销过程中信息不对称的现象普遍存在，给鲜活农产品造成了极大的损失，也给供应链管理带来了极大的困难，本文的研究，为非对称信息下鲜活农产品供应链的应急协调提供了一个新的思路。不对称信息下考虑供应链主体风险偏好的供应链的应急协调，将是今后进一步的研究方向。

参考文献：

[1] 中国交通运输网．全国高效率鲜活农产品流通“绿色通道”建设实施方案[J]．中国公路，2005，(3)：36－38.

[2] Cai Xiaoqing, Chen Jian, Xiao Yongbo, et al. Coordination of manufacturer and distributor in a fresh product supply chain with uncertain transportation delays [R].

Working paper, The Chinese University of Hong Kong, Shatin N T, Hong Kong , 2005.

[3] 肖勇波,陈剑,徐小林．到岸价格商务模式下涉及远距离运输的时鲜产品供应链协调 [J]. 系统工程理论与实践, 2008, 28(2) : 19－ 25.

[4] 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.

[5] 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):485－491.

[6] 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.

[7] Qi Xiangtong, Bard J F, Yu Gang. Supply chain coordination with demand disruptions[J]. Omega, 2004 ,32 (4) :301－312.

[8] 于辉,陈剑,于刚．协调供应链如何应对突发事件 [J]. 系统工程理论与实践,2005,25(7):9－16.

[9] 吴忠和,陈宏,赵千,等．两零售商竞争下多因素同时扰动的供应链协调研究 [J]. 中国管理科学,2012,20(2): 62－67.

[10] Xiao Tiaojun, Qi Xiangtong, Yu Gang. Coordination of supply chain after demand disruptions when retailers compete [J]. International Journal of Production Economics, 2007,109(1):162－179.

[11] 吴忠和,陈宏,赵千,等．需求和零售商购买成本同时扰动的供应链应急协调 [J]. 中国管理科学,2012,20 (6):110－117.

[12] 吴忠和,陈宏,赵千,等．需求和生产成本同时扰动下供应链期权契约应对突发事件 [J]. 中国管理科学, 2013,21(4):98－104.

[13] Lau A H, Lau H S,Wang Jiancai. Pricing and volume discounting for a dominant retailer with uncertain manufacturing cost information[J]. European Journal of Operational Research, 2007, 183(2): 848－870.

[14] 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.

[15] 覃艳华,曹细玉,宋璐君．突发事件下需求信息不对称时的供应链协调应对[J]. 运筹与管理,2012,21(4):60－64.

[16] 曹细玉,覃艳华．突发事件且非对称信息下的供应链回购契约模型[J]. 工业工程,2012,15(5):99－104.

Supply Chain Disruptions Coordination Model of Fresh Agricultural Products under Time Constraints with Asymmetric Information

WU Zhong-he, CHEN Hong, LIANG Cui-lian

(School of Management and Economics, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China)

Abstract: As a sort of special and spoiled product, fresh agricultural product has a fair corruptive and wastage character. Additionally, the fresh agricultural product supply chain exists universally the phenomenon of information asymmetry in the process of production, supply and sale, and this brings great loss to the fresh agricultural product, and brings great difficulty to the supply chain management. On the other hand, the disruptions such as SARS, H1N1 flu relating to the fresh agricultural products occur frequently in the recent year, and these disruptions make tremendous influence to the production, sale, demand and the confidence of the food safety which being cared by the consumer. So, it is very important and urgent for the fresh agricultural product supply chain to explore the strategies to coordinate the disruptions. This is just the origination of the question for the paper.

In this paper, focusing on a fresh agricultural products supply chain system composed of one supplier and one retailer which restrained by transport time, and by supposing the retailer's cost being a private information, we study how to coordinate the supply chain to response to the disruptions while they cause the retailer's cost distribution function fluctuated, in order to provide the theory basis to the decider.

A fresh agricultural product supply chain coordination model is constructed under symmetrical and asymmetric information firstly. Secondly, it is supposed that the disruption should cause the fluctuant to the retailer's cost distribution, and supply chain coordination model is proposed based on disruption environment by drawing (leading) into deviation cost so as to adjust the production plan. Finally, an optimal analysis to the model is provided and some management strategies relatively are suggested.

Based on asymmetric information of the retailer cost, firstly, the coordination model of the fresh agricultural product supply chain under symmetrical information is given. Secondly, the centralized system and the decentralized system decision mechanism are analyzed under the condition of asymmetric information. Finally, the optimal response strategy is investigated under the retailer's cost distribution fluctuation caused by disruption.

The study results show that it is the optimal decision to keep the original production plan of the fresh agricultural product supply chain based on time restrain unchanging when the expectant cost of the retailer fluctuates to a small extent with asymmetric information of the cost of the retailer, and it can keep the system operating normally. When the degree of the expectant cost fluctuation of the retailer exceeds the robustness zone, the supply chain can achieve coordination only if the original production planning, the wholesale price and the retail price must be adjusted.

In the part of data emulation and analysis, a living example according to the feature of thefresh agricultural product supply chain restrained by transport time is designed under the asymmetric information, furthermore, the influence suffered by wholesale cost, sale quantity, retail price, the supplier's expectant profit, the retailer's profit and the expectant profit of the whole supply chain system while the cost distribution of the retailer fluctuated caused by the emergent event are analyzed. Finally, the validity of the model on response to the disruption is verified.

In brief, a fundamental train of thought and a frame for coordinating the fresh agricultural product supply chain under asymmetric information to response to disruptions to the other related researches are provided in this study. Moreover, it can be used for reference to the other related studies in how to coordinating the supply chain under asymmetric information to response to disruptions.

Key words: fresh agricultural products; asymmetric information; disruptions management; coordination model; time constraints