

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2014.06.011

随机供求下农产品供应链协调模型研究

邹浩

(湖南财政经济学院 工商管理系, 湖南 长沙 410205)

摘要: 基于农产品随机供求情形, 并考虑产品残值收益和缺货损失成本, 研究了农产品供应商和销售商组成的二级供应链的协调问题。通过对集中控制决策和分散无协调决策时的利润分析, 设计了随机供求下农产品供应链利润共享契约协调模型, 在合理的利润分配参数下, 供应链可以实现最优。最后, 通过算例分析验证了模型的科学性和有效性。

关键词: 随机供求; 农产品供应链; 利润共享契约

中图分类号: F273

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2014)06-0053-05

Research on Coordination Model of Agricultural Supply Chain Under Random Supply and Demand

Zou Hao

(Department of Business Administration, Hunan University of Finance and Economics, Changsha 410205, China)

Abstract: Based on the situation of agricultural random supply and demand, and considering the income of product residual and the cost of stock losses, the coordination process of two-level supply chain composed of suppliers and vendors is studied. Through the analysis of profits of decentralized decision and centralized decision, the coordination model of agricultural supply chain profit-sharing contract is designed, and under the reasonable profit distribution coefficient, the supply chain can achieve optimal. An example analysis verifies the scientific and effective of the model.

Keywords: random supply and demand; agricultural supply chain; profit-sharing contract

1 研究背景

农产品供应链是由农户、生产基地、超市、零售商、消费者等组成的一个网络结构。在农产品生产销售过程中, 由于农户远离消费市场, 并且农产品生产受天气、努力程度等因素的影响较大, 从而使农产品的产出和需求具有随机性, 农产品供应链也更具有不确定性。因此, 在随机供求下如何实现农产品供应链的有效协调发展, 具有重要的实际意义。

供应链的协调策略, 主要是通过相关约束条件促使各成员之间有效配合, 使得各自利润以及供应链整体利润最大化的过程。供应链契约作为一种重要的协调策略, 近年来已有不少学者进行了较深入的研究。文献[1]研究了单周期库存下供应链协调的问题, 虽然考虑了随机产出的情况, 但却将市场需求假定为固定的情形。文献[2]分析了惩罚瓶颈供应商下供应链的协调问题, 但只考虑了产出随机的情况。文献[3]研究了存在农产品残值和缺货惩罚下的供应链协调问题, 但没有考虑市场需求随机的情况。

收稿日期: 2014-08-02

作者简介: 邹浩(1986-)男, 湖南望城人, 湖南财政经济学院教师, 硕士, 主要研究方向为物流工程与快速客运系统,

E-mail: 290336567@qq.com

文献[4]通过风险共担合同,探讨了随机产出和随机需求下的农产品供应链协调问题,但只考虑了供应商存在缺货损失和残值的情况。文献[5]针对生鲜农产品流通中的双重损耗,建立了期权合同下的供应链订货策略模型。文献[6]考虑天气和努力水平的影响,研究了随机供求下组合契约对农产品供应链的协调。文献[7]针对一个生产商和多个零售商组成的鲜活农产品供应链,研究了突发事件下收益共享契约协调过程。文献[8]基于随机产出和随机需求,通过对集中决策和分散决策下农产品供应链利润的分析,设计了分散情形下风险共享契约协调模型。文献[9]基于收益共享契约,研究了随机产出与随机需求下农产品供应链协调问题,但只探讨了分配参数对整条供应链的影响,没有考虑缺货损失和残值的情形。文献[10]基于随机供求情形,研究了完全竞争市场的农产品供应链模型,并通过期权合同实现了供应链的协调。文献[11]基于风险共享协调模型,研究了两供应商和单制造商系统的溢出库存惩罚过程,但只考虑了随机产出的情形。

参考上述文献的研究,本文基于传统供应链契约协调理论,考虑各节点缺货损失与残值的情形,设计了随机供求下农产品供应链利润共享契约协调模型,并通过利润分配参数的合理设置,优化各节点利润的同时,实现整条供应链的最优。

2 问题描述及符号说明

考虑一个由农产品供应商 s 和销售商 r 组成的两级供应链。 w 为供应商给销售商的批发价格, p 为销售商的单位产品销售价格, q 为销售商向供应商的订购量; c_s 为供应商投入农资的单位成本, c_r 为销售商单位产品销售成本; g_s 为供应商为销售商补充缺货所付出的单位成本, g_r 为销售商单位产品的缺货损失成本; v_s, v_r 分别为供应商和销售商获得的单位剩余产品的净残值。

为研究方便,作如下基本假设。

假设 1 农产品供应商和销售商面对的市场风险为中性,各自根据自身期望利润最大化原则进行决策。

假设 2 销售商所面临的市场需求为销售价格 p 的弹性函数,可以采用乘法模式构造产品需求函数^[12]

$$D(p) = y(p)\varepsilon,$$

式中: $y(p) = ap^{-b}$,其中 a 为产品需求量基本容量, $a > 0$, b 为产品的市场需求弹性, $b \geq 1$ (设该产品的需求是富有弹性的);

ε 是与销售价格无关的其他市场随机因素, $h(\varepsilon)$ 与 $H(\varepsilon)$ 分别是其概率密度函数和分布函数,并设 ε 服从均匀分布 $\varepsilon \sim U(A, B)$,则

$$h(\varepsilon) = \frac{1}{B-A}, H(\varepsilon) = \frac{\varepsilon-A}{B-A}.$$

假设 3 供应商根据销售商的产品订购量来进行农资投入,农资投入量为 T ,农产品产出随机因子为 e ,则最终农产品产出量为 Te 。其中 e 是与天气、努力程度等相关的随机因素, $f(e)$ 与 $F(e)$ 分别是其概率密度函数和分布函数,并设 e 服从均匀分布 $e \sim U(S, L)$,则

$$f(e) = \frac{1}{L-S}, F(e) = \frac{e-S}{L-S}.$$

3 分散无协调式农产品供应链决策模型

分散式无协调决策时,农产品供应商和销售商遵循非合作博弈时的主从关系,即遵循Stackelberg均衡。供应商根据销售商的订购量 q ,确定自己的农资投入量 T 和农产品批发价格 w ;接着销售商再根据农产品市场需求量 D 的取值和市场价格 p 及批发价格 w 来确定自己的订购量 q ,以期各自利润的最大化。于是,分散式无协调情形下销售商、供应商的期望利润分别为:

$$\begin{aligned} E(\pi_r) &= pE[\min(q, D)] + v_r E[\max(q - D, 0)] - \\ &g_r E[\max(D - q, 0)] - (w + c_r)q = \\ &py(p) \left[\int_A^{q/y(p)} \varepsilon h(\varepsilon) d\varepsilon + \int_{q/y(p)}^B \frac{q}{y(p)} h(\varepsilon) d\varepsilon \right] + \\ &v_r y(p) \int_A^{q/y(p)} \left[\frac{q}{y(p)} - \varepsilon \right] h(\varepsilon) d\varepsilon - \\ &g_r y(p) \int_{q/y(p)}^B \left[\varepsilon - \frac{q}{y(p)} \right] h(\varepsilon) d\varepsilon - (w + c_r)q; \quad (1) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E(\pi_s) &= wq + v_s E[\max(Te - q, 0)] - \\ &g_s E[\max(q - Te, 0)] - c_s T = \\ &wq + v_s T \int_{q/T}^L [e - q/T] f(e) de - \\ &g_s T \int_S^{q/T} (q/T - e) f(e) de - c_s T. \quad (2) \end{aligned}$$

利用逆向推导法则,销售商根据 $\frac{\partial E(\pi_r)}{\partial q} = 0$ 确定

订购量 q ,则有

$$q = H^{-1} \frac{p + g_r - w - c_r}{p + g_r - v_r} \times y(p). \quad (3)$$

同理,供应商根据销售商的订购量,确定农资投入量和批发价格,则有

$$\begin{cases} \frac{\partial E(\pi_s)}{\partial T} = 0, \\ \frac{\partial E(\pi_s)}{\partial w} = 0. \end{cases} \quad (4)$$

从而可以得到分散无协调式决策时，供应商确定的农资投入量 T 满足

$$\int_S^{q/T} ef(e)de = \frac{c_s - v_s \times E(e)}{g_s - v_s}. \quad (5)$$

将式(3)和式(5)代入式(4)，即可求得分散无协调式决策时，供应商确定的批发价格 w 。从而可求得分散无协调式决策时，销售商确定的最优订购量 q 和期望利润 $E(\pi_r)$ ，供应商确定的农资投入量 T 和期望利润 $E(\pi_s)$ 。最终可得分散无协调式决策时，供应链整体的期望利润为

$$E(\pi) = E(\pi_s) + E(\pi_r). \quad (6)$$

4 集中控制式农产品供应链决策模型

集中控制情形下，农产品供应商和销售商作为一个整体进行统一管理，共同面对消费市场，成员之间可以完全实现信息共享。此时，系统通过对市场需求的预测，确定农资投入量 T ，以期供应链整体利益的最大化。于是，集中控制决策时，农产品供应链整体的期望利润为

$$\begin{aligned} E(\pi_c) &= pE[\min(Te, D)] + v_r E[\max(Te - D, 0)] - \\ &g_r E[\max(D - Te, 0)] - c_s T - c_r Te = \\ &p \left[\int_A^B \int_S^{D/T} Tef(e)h(\varepsilon)d\varepsilon + \right. \\ &\left. \int_A^B \int_{D/T}^L Df(e)h(\varepsilon)d\varepsilon \right] + \\ &v_r \int_A^B \int_{D/T}^L (Te - D)f(e)h(\varepsilon)d\varepsilon - \\ &g_r \int_A^B \int_S^{D/T} (D - Te)f(e)h(\varepsilon)d\varepsilon - \\ &c_s T - c_r T \times E(e). \end{aligned} \quad (7)$$

根据优化的一阶必要条件，则有

$$\frac{\partial E(\pi_c)}{\partial T} = 0,$$

从而可以求得集中控制决策下，供应商的最优农资投入量 T^* 满足

$$\begin{aligned} p \int_A^B \int_S^{D/T} ef(e)h(\varepsilon)d\varepsilon + v_r \int_A^B \int_{D/T}^L ef(e)h(\varepsilon)d\varepsilon + \\ g_r \int_A^B \int_S^{D/T} ef(e)h(\varepsilon)d\varepsilon = c_s - c_r \times E(e). \end{aligned} \quad (8)$$

因此，根据式(7)和式(8)即可得到集中控制决策时，农产品供应链的最大期望利润 $E(\pi_c)$ 。

5 利润共享契约协调式农产品供应链决策模型

利润共享契约，是指供应链成员之间为了实现利润共享、风险共担，在农产品销售结束后，供应商与销售商对销售利润进行合理分配的一种模式。此时，农产品供应商提供一组契约菜单 $\{w, 1-\gamma\}$ ($0 < \gamma < 1$)，即供应商为销售商提供一个较低的批发价格 w ，却要获得销售商利润的 $1-\gamma$ 。其中利润分配参数 γ 和批发价格 w ，取决于各成员对整条供应链的贡献，及谈判的博弈能力。因此，利润共享契约协调模式下，销售商、供应商的期望利润分别为

$$E(\pi_r^c) = \gamma \{ pE[\min(q, D)] + v_r E[\max(q - D, 0)] - g_r E[\max(D - q, 0)] - (w + c_r)q, \quad (9)$$

$$\begin{aligned} E(\pi_s^c) &= 1 - \gamma \{ pE[\min(q, D)] + \\ &v_r E[\max(q - D, 0)] \} + \\ &wq + v_s E[\max(Te - q, 0)] - \\ &g_s E[\max(q - Te, 0)] - c_s T. \end{aligned} \quad (10)$$

据优化的一阶必要条件，销售商在一定的市场需求量 D 下，并根据供应商提供的批发价格 w 和利润分配参数 γ ，由 $\frac{\partial E(\pi_r^c)}{\partial q} = 0$ 可求得利润共享契约决策下，销售商决定的最优产品订购量为

$$q^c = H^{-1} \frac{\gamma p + g_r - w - c_r}{\gamma p + g_r - \gamma v_r} \times y(p). \quad (11)$$

同理，供应商在销售商的订购量 q^c 下，结合利润共享契约菜单 $\{w, 1-\gamma\}$ ，确定农资最优投入量，则有

$$\frac{\partial E(\pi_s^c)}{\partial T} = 0.$$

从而可以求得利润共享契约决策下，供应商决定的最优农资投入量满足

$$\int_S^{q^c/T} ef(e)de = \frac{c_s - v_s \times E(e)}{g_s - v_s}. \quad (12)$$

利润共享契约协调策略，主要是实现供应商和销售商利润的最优。为了使供应商和销售商主动接受该契约，契约协调下供应链的整体利润必须与集中控制下相同，即满足 $T^c = T^*$ ；根据式(12)即可求得利润共享契约决策下，农产品供应商决定的最优批发价格 w^c 与利润分配参数 γ 的关系表达式；再将表达式代入式(9)和式(10)，即可求得利润共享契约决策下，供应商和销售商关于利润分配参数 γ 的期望利润表达式 $E(\pi_s^c)$ 和 $E(\pi_r^c)$ 。

为了保证各成员积极参与契约协调模式，实施利润共享契约之后，供应商、销售商的期望利润至

少不低于分散决策情形下的利润。因此, 利润共享契约协调农产品供应链决策的充要条件为

$$\begin{cases} T^c = T^*, \\ E(\pi_s^c) \geq E(\pi_s), \\ E(\pi_r^c) \geq E(\pi_r). \end{cases} \quad (13)$$

6 算例分析

假设某农产品供应链由供应商和销售商构成。供应商农产品产出具有随机性, 随机因子 e 服从均匀分布 $e \sim U(1,5)$, 从而可得 e 的概率分布函数 $F(e) = (e-1)/4$, e 的概率密度函数 $f(e) = 1/4$, e 的期望值 $E(e) = 3$ 。销售商面临的市场需求 $D(p)$ 中的 $a = 6 \times 10^3$, $b = 2$, 随机变量 ε 服从均匀分布 $\varepsilon \sim U(2,6)$, 从而可得 ε 的概率分布函数 $H(\varepsilon) = (\varepsilon-2)/4$, ε 的概率密度函数 $h(\varepsilon) = 1/4$, ε 的期望值 $E(\varepsilon) = 4$ 。供应商和销售商之间缔结了上述利润共享协调契约, 相关参数如表 1 所示。

表 1 相关参数表

Table 1 Related parameters table

变量	P	c_s	c_r	g_s	g_r	v_s	v_r
取值	12	2	1	1.5	0.5	2.0	3.5

将表 1 中的参数值代入式 (3) ~ (5), 即可求得分散式无协调情形下, 销售商确定的最优订购量 $q = 138$, 供应商确定的农资投入量 $T = 17.089$, 供应商确定的批发价格 $w = 8.562$; 再将其代入式 (1) 和式 (2) 可求得销售商的期望利润 $E(\pi_r) = 240.357$, 供应商的期望利润 $E(\pi_s) = 1\ 028.823$ 。此时分散式无协调情形下整条农产品供应链的最大期望利润

$$E(\pi) = E(\pi_s) + E(\pi_r) = 1\ 269.180。$$

将上述数据代入式 (7) 和式 (8), 即可求得集中决策下最优农资投入量 $T^* = 30.66$, 农产品供应链的最大期望利润

$$E(\pi_c) = 1\ 510.86。$$

将上述数据代入式 (9) ~ (12), 可求得利润共享契约下, 供应商和销售商关于利润分配参数 γ 的期望利润表达式分别为:

$$E(\pi_r^c) = 41.6 \times \frac{648.729\gamma^2 - 24.4\gamma - 5.722}{8.5\gamma + 0.5}, \quad (14)$$

$$E(\pi_s^c) = 1\ 510.86 - 41.6 \times \frac{648.729\gamma^2 - 24.4\gamma - 5.722}{8.5\gamma + 0.5}。 \quad (15)$$

再结合式 (13), 可求得供应商和销售商之间利润分配参数 γ 的取值范围

$$0.183\ 5 \leq \gamma \leq 0.257\ 7。 \quad (16)$$

利润分配参数 γ 的具体取值, 取决于供应商和销售商之间的博弈能力。只要 γ 满足式 (16), 利润共享契约下, 供应商和销售商的利润都高于分散决策情形。为便于比较, 表 2 列出了不同状态下, 供应商与销售商的利润分配方案值。

表 2 不同系统状态下供应链成员利润分配对比情况

Table 2 Comparison of supply chain members' profit distribution under different systems

系统状态	相 关 数 据				
	T	π_s	π_r	π	γ
分散式	17.089	1 028.823	240.357	1 269.180	
集中式	30.660			1 510.860	
利润共享	30.660	1 220.662	290.198	1 510.860	0.20
契约	30.660	1 055.669	455.191	1 510.860	0.25

从表 2 可以看出, 随机供求下, 分散无协调决策时, 系统最优农资投入量远小于集中决策时的农资投入量; 并且此时整条供应链的利润也低于集中控制决策时的利润。而在利润共享契约协调决策时, 只要合理设置利润分配参数 γ , 就可以使得农资投入量 T 达到最优, 在满足农产品供应链整体利润最优的同时, 也能保证供应商和分销商的利润高于分散无协调决策时的利润, 最终使得供应链各成员实现共赢。

7 结语

在供应商农产品产出随机, 以及销售商市场需求随机的情形下, 综合考虑各节点产品缺货损失和残值收益情况, 通过分散无协调控制决策和集中控制决策时的分析, 建立了随机供求下农产品供应链利润共享契约协调模型, 并给出了合理的利润分配参数范围。研究表明, 农产品随机供求下, 通过实施利润共享契约, 不仅可以提高整条供应链的期望利润, 而且通过合理地设置利润分配参数, 也使得供应链成员的利润分配更合理。

参考文献:

- [1] Keren B. The Single-Period Inventory Problem: Extension to Random Yield from the Perspective of the Supply Chain[J]. Omega-International Journal of Management Science, 2009, 37(4): 801-810.
- [2] Gurnanr H, Gerchak Y. Coordination in Decentralized Assembly Systems with Uncertain Component Yields[J]. European Journal of Operational Research, 2007, 176(3): 1559-1576.
- [3] 王道平, 程 蕾, 李 峰. 产出不确定的农产品供应链协调问题研究[J]. 控制与决策, 2012, 27(6): 881-885.

Wang Daoping, Cheng Lei, Li Feng. Supply Chain Coordination of Agricultural Product Under Random Yield [J]. Control and Decision, 2012, 27(6): 881-885.

[4] 凌六一, 郭晓龙, 胡中菊, 等. 基于随机产出与随机需求的农产品供应链风险共担合同[J]. 中国管理科学, 2013, 21(2): 50-57.

Ling Liuyi, Guo Xiaolong, Hu Zhongju, et al. The Risk-Sharing Contracts Under Random Yield and Stochastic Demand in Agricultural Supply Chain[J]. Chinese Journal of Management Science, 2013, 21(2): 50-57.

[5] 王婧, 陈旭. 考虑流通损耗和期权合同的生鲜农产品供应链管理策略研究[J]. 预测, 2011, 30(5): 42-47.

Wang Jing, Chen Xu. Fresh Produce Supplier's Pricing Decisions Research with Circulation Wastage and Options Contracts[J]. Forecasting, 2011, 30(5): 42-47.

[6] 但斌, 伏红勇, 徐广业, 等. 考虑天气与努力水平共同影响产量及质量的农产品供应链协调[J]. 系统工程理论与实践, 2013, 33(9): 2229-2238.

Dan Bin, Fu Hongyong, Xu Guangye, et al. Agri-Food Supply Chain Coordination Considering the Impact of Weather and Effort Level on Output and Quality[J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 2013, 33(9): 2229-2238.

[7] 吴忠和, 陈宏, 赵千, 等. 时间约束下鲜活农产品供应链应急协调契约[J]. 系统管理学报, 2014, 23(1): 49-56, 61.

Wu Zhonghe, Chen Hong, Zhao Qian, et al. Supply Chain Disruptions Coordination for Fresh Agricultural Products Under Time Constraints[J]. Journal of Systems & Management, 2014, 23(1): 49-56, 61.

[8] 刘聘, 谢铁军. 随机产出与需求下的农产品供应链协调[J]. 物流技术, 2013, 32(7): 381-384.

Lin Pin, Xie Tiejun. Coordination of Agricultural Supply Chains Under Stochastic Output and Demand[J]. Logistics Technology, 2013, 32(7): 381-384.

[9] 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.

Zhao Xia, Wu Fangwei. Coordination of Agri-Food Chain with Revenue-Sharing Contract Under Stochastic Output and Demand[J]. Chinese Journal of Management Science, 2009, 17(5): 88-95.

[10] 孙国华, 许垒. 随机供求下二级农产品供应链期权合同协调研究[J]. 管理工程学报, 2014, 28(2): 201-210.

Sun Guohua, Xu Lei. Option Contract of Two-Echelon Agricultural Supply Chain with Random Supply and Demand [J]. Journal of Industrial Engineering /Engineering Management, 2014, 28(2): 201-210.

[11] 马士华, 李果. 供应商产出随机下基于风险共享的供应链协同模型[J]. 计算机集成制造系统, 2010, 16(3): 563-572.

Ma Shihua, Li Guo. Collaborative Model of Supply Chain Based on Risk Sharing Under Random Yields[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2010, 16(3): 563-572.

[12] Wang Y, Jiang L, Shen Z J. Channel Performance Under Consigtment Contract with Revenue Sharing[J]. Management Science, 2004, 50(1): 34-37.

(责任编辑: 邓光辉)



(上接第26页)

[14] Budak E, Tunc L T. Identification and Modeling of Process Damping in Turning and Milling Using a New Approach[J]. CIRP Annals-Manufacturing Technology, 2010, 59(1): 403-408.

[15] Ahmadi K, Ismail F. Experimental Investigation of Process Damping Nonlinearity in Machining Chatter[J]. International Journal of Machine Tools and Manufacture 2010, 50(3): 1006-1014.

[16] Tyler C T, Schmitz T L. Analytical Process Damping Stability Prediction[J]. Journal of Manufacturing Processes, 2013, 15(1): 69-76.

[17] Ahmadi K, Ismail F. Stability Lobes in Milling Including Process Damping and Utilizing Multi-Frequency and Semi-Discretization Methods[J]. International Journal of Machine Tools and Manufacture, 2012, 54(1): 46-54.

[18] Ahmadi K, Ismail F. Analytical Stability Lobes Including Nonlinear Process Damping Effect on Machining Chatter [J]. International Journal of Machine Tools & Manufacture, 2011, 51(2): 296-308.

(责任编辑: 邓光辉)