

考虑供应商保鲜努力的生鲜农产品供应链协调

朱腾飞

上海工程技术大学管理学院, 上海

收稿日期: 2023年10月24日; 录用日期: 2023年12月11日; 发布日期: 2023年12月19日

摘要

本文以单一生鲜供应商与零售商组成的二级生鲜农产品供应链作为主要研究对象, 考虑供应商付出保鲜努力行为, 构建受农产品新鲜度和市场价格影响的需求函数。对比分析了集中式决策和分散式决策下的均衡决策。研究表明, 分散式决策下生鲜农产品的市场零售价格更高, 市场需求量更低, 同时供应链系统的利润较低。对此设计“保鲜成本分担”契约引导零售商分担保鲜努力成本, 最终改善了生鲜农产品供应商和零售商的利润, 实现了供应链系统利润的优化与协调。

关键词

生鲜农产品, 保鲜努力, 供应链协调

Coordination of Fresh Agricultural Product Supply Chain Considering Supplier Preservation Efforts

Tengfei Zhu

School of Management, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai

Received: Oct. 24th, 2023; accepted: Dec. 11th, 2023; published: Dec. 19th, 2023

Abstract

This article takes a secondary fresh agricultural product supply chain composed of single-life fresh suppliers and retailers as the main research object, considering the supplier's efforts in preservation, and constructing a demand function influenced by the freshness of agricultural products and market prices. A comparative analysis was conducted on the balanced decision-making under centralized decision-making and decentralized decision-making. Research has shown that under

decentralized decision-making, the market retail prices of fresh agricultural products are higher, the market demand is lower, and the profits of the supply chain system are lower. The design of a “preservation cost-sharing” contract guides retailers to guarantee the cost of fresh effort, ultimately improving the profits of fresh agricultural product suppliers and retailers, and achieving optimization and coordination of supply chain system profits.

Keywords

Fresh Agricultural Products, Preservation Efforts, Supply Chain Coordination

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

近年来,随着经济的快速发展和人们健康生活意识的提升,人们对于生鲜农产品的需求量越来越大。生鲜农产品富含营养与各种维生素,对人们的身体健康有很大益处,在人们生活中扮演的角色越来越重要。特别是在当下生鲜电商以及社区团购蓬勃发展的局面下,大众对于生鲜农产品的消费比以往更加常见。然而,与一般商品相比,生鲜农产品有着运输难度大,容易损坏和变质等特点,加上其配套的冷链物流设施还不够健全,生鲜农产品供应链系统各成员的共同保鲜意识还不够强,因此,生鲜农产品的市场流通环节经常面临着巨大的损耗。所以,如何分配生鲜农产品供应链各成员之间的保鲜成本,以更好地引导各个参与者做出保鲜努力,减少生鲜农产品流通过程中不必要的损耗,提高供应链的整体运营效率,具有重要的实践意义。

首先,有不少学者在生鲜农产品供应链领域进行了相关的研究,主要围绕生鲜农产品供应链的冷链服务、保鲜努力和预售决策等方面进行研究。周宝刚[1]以“合作社+超市”的二级生鲜农产品供应链为研究对象,并将保鲜努力作为决策变量引入到供应链模型中,得出超市的保鲜努力行为将直接影响市场需求。但斌等[2]考虑第三方物流保鲜努力对生鲜农产品新鲜度的影响,并分析不同信息共享模式下的定价决策。周涛[3]以“农超对接”+线上渠道的双渠道供应链为研究对象,研究了不同参与主体做出保鲜努力对供应链绩效的影响。李昕等[4]研究了考虑产量情况下生鲜农产品新鲜度需求弹性对供应链利润的影响。余云龙等[5]以单物流商、单供应商和零售商组成的生鲜农产品供应链为研究对象,分析探究了不同冷链服务模式如何影响供应链企业的绩效。吴爽等[6]以生鲜农产品双渠道供应链为研究对象,分析并给出了生鲜农产品的损耗率对供应链各个参与方收益的影响。Yu [7]研究了不同冷链模式下生鲜农产品定价的决策问题。叶俊等[8]把冷链物流服务考虑在内,基于不同的贸易模式构建了不同的生鲜品供应链模型,得出冷链物流服务质量对供应链各方利润的提升的影响。

一些学者围绕着生鲜农产品供应链的协调问题进行研究。曹晓宁等[9]考虑生鲜农产品新鲜度损耗以及供应商保鲜努力行为,以生鲜农产品双渠道供应链为主要研究对象,构建了批发价协调、两部定价和混合协调三种契约。李中庆[10]将不确定需求因素纳入到生鲜农产品供应链中,设定“收益共享-成本分担”混合模型进行协调,最终实现供应链各成员的利益优化。赵忠等[11]针对两级生鲜品供应链,以零售商承担保鲜工作为基础,通过设计合理的期权协调契约,实现生产商和供应商双方的收益共享。董振宇等[12]以“农超对接”模式为背景,建立生产商和经销商组成的二阶供应链,设计了“保鲜努力成本共担”

契约,改善了供应商与零售商双方的利润,最终实现了 Pareto 优化。王赫暄[13]在新零售模式背景下,以供应商主导的双渠道生鲜农产品供应链为主要研究对象,计算并得出集中决策模式下供应链整体的绩效达到最优。李永飞等[14]基于不确定需求的背景下,构建由制造商主导的二级供应链,求解收益共享契约下的最优订购批量并得出供应商和零售商的协调策略,降低了供应链整体的风险性。

供应链成员主导角色的问题引起了一部分学者的研究兴趣。丁洁等[15]研究了供应商主导的双渠道供应链协调问题,并设计混合契约对供应链进行协调。朴惠淑等[16]以农产品生产商、第三方物流和超市组成的三级供应链为研究对象,将农产品生产商作为主导者,最终实现了帕累托改进。王磊等[17]考虑零售商单独付出保鲜的情形,在分散式决策下以供应商作为主导者,最终设计“成本分担+收益共享”契约提高了消费者效用。徐聪[18]以电商平台、物流服务商与生产商为研究对象,分别分析了电商平台与生产商主导下的供应链决策问题。Hsu 等[19]研究了零售商作为保鲜服务的提供者时零售商的最优订货量和保鲜努力水平决策问题。李琳等[20]以零售商作为生鲜农产品供应链的主导者,研究得出了基于 RFID 技术的灵活定价有利于零售商获得更高的利润。

因此,本文针对由单一的生鲜农产品供应商和零售商组成的二级供应链,考虑供应商付出保鲜努力的情况下,构建受价格水平和产品新鲜度影响的生鲜品需求函数,分别研究了供应商和零售商集中决策下、零售商主导的分散决策下供应链的最优决策。并对比分析了不同情况下供应链利润和供应链各成员的利润变化。借鉴前人的研究成果,本文采用了“保鲜成本共担”契约实现了生鲜农产品供应链的协调,最终用算例分析,引入实际参数验证了协调契约的有效性与真实性,实现供应商与零售商的 Pareto 优化。

2. 生鲜农产品供应链决策模型

2.1. 问题描述及假设

本文针对生鲜农产品供应链进行研究,假设生鲜农产品供应链中包含两个基本的决策成员,且由单一供应商和单一零售商组成,供应链结构如图 1 所示。

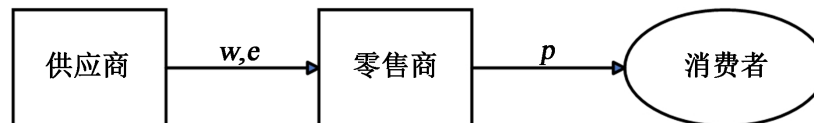


Figure 1. Supply chain structure of fresh agricultural products

图 1. 生鲜农产品供应链结构

生鲜供应商的单位生产成本为 c , 供应商向零售商提供的生鲜农产品的单位批发价为 w , 生鲜农产品的市场零售价格为 p 。

本文的其他假设条件如下:

假设 1: 供应商和零售商是两个独立个体, 它们均以实现自身利益最大化进行决策, 并且假设双方供需相等, 整个生产与经营周期结束没有剩余库存堆积;

假设 2: 生鲜农产品保鲜努力工作由供应商来承担, 且生鲜农产品新鲜度 $\theta(t)$ 随时间 t 的推移逐渐下降, 并且随时间下降越来越快;

假设 3: 供应商提高保鲜努力水平 e , 可帮助提高产品质量、增加销量, 但是需要付出相应的保鲜努力成本。设保鲜努力成本 $c_e = \frac{1}{2} \mu e^2$ 。其中 $\mu > 0$ 为保鲜努力水平对保鲜成本影响系数。设生鲜农产品的新鲜度函数为 $\theta(t) = \theta_0 + k_1 e - \eta(t/T)^2$, θ_0 是指初始新鲜度, η 为经过时间 T 以后生鲜农产品的新鲜度最大衰减值。

生鲜农产品的市场需求函数为： $d = a - bp + k_2\theta(t)$ ，其中 p 代表生鲜农产品的市场零售价格， a 代表常规状态下的生鲜农产品市场规模。

为了满足本文模型中最优解的存在，本文假设 $2b\mu - k_1^2k_2^2 > 0$ 和 $a - bc + k_2(\theta_0 - \eta(t/T)^2) > 0$ 。

2.2. 符号说明

本文的相关符号说明如表 1 所示：

Table 1. Symbol description

表 1. 符号说明

符号	符号说明
$\theta(t)$	新鲜度指数
c	单位农产品生产成本
w	单位农产品批发价格
e	供应商保鲜努力水平
p	单位农产品的市场销售价格
d	生鲜农产品市场需求量
b	价格对市场需求量影响系数
k_1	保鲜努力水平对新鲜度的影响系数
k_2	新鲜度对市场需求量影响系数
μ	保鲜努力水平对保鲜成本影响系数

2.3. 集中决策模型

在集中决策模型中，可以将生鲜农产品的供应商与零售商看作一个整体。此时生鲜农产品供应链系统的整体利润为：

$$\pi_c = (p - c)q - \frac{1}{2}\mu e^2 = (p - c)(a - bp + k_2\theta(t)) - \frac{1}{2}\mu e^2 \quad (1)$$

为了使供应链整体利润最大化，则需要零售商决策零售价格 p ，供应商决定保鲜努力水平 e ，无需要考虑零售商的批发价格 w 。

此时，供应链系统利润是关于市场零售价 p 和保鲜努力水平的 e 的二元凹函数，分别对 p 和 e 求一阶偏导。

$$\frac{\partial \pi_c}{\partial p} = a - 2bp + bc + k_2\theta(t) = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial \pi_c}{\partial e} = (p - c)k_1k_2 - \mu e = 0 \quad (3)$$

根据一阶条件并联立式(2)、式(3)可得，集中决策下的最优保鲜努力水平和最优零售价分别为：

$$e_c^* = \frac{k_1k_2(a - bc + k_2(\theta_0 - \eta(t/T)^2))}{2\mu b - k_1^2k_2^2}$$

$$p_c^* = \frac{a\mu - ck_1^2k_2^2 + bc\mu - k_2\mu\eta(t/T)^2 + k_2\mu\theta_0}{2b\mu - k_1^2k_2^2}$$

将 p_c^* 代入到生鲜品的需求函数中，得到集中决策下的生鲜农产品的市场需求为：

$$d_c^* = \frac{b\mu(a - bc - k_2\eta(t/T)^2 + k_2\theta_0)}{2b\mu - k_1^2k_2^2}$$

然后将 p_c^* ， e_c^* 代入到式(1)中，得到生鲜农产品供应链系统最优利润为：

$$\pi_c^* = \frac{\mu(a - bc - k_2\eta(t/T)^2 + k_2\theta_0)^2}{2(2b\mu - k_1^2k_2^2)}$$

2.4. 分散决策模型

分散决策模型中，供应商与零售商均以实现自身利益最大化为目标进行决策。在零售商主导的 Stackelberg 博弈模型中，零售商首先决定加价幅度 δ_1 ，若生鲜品的批发价格为 w_1 ，那么其零售价格为 $p_1 = w_1 + \delta_1$ 。然后供应商根据零售商的加价幅度决定生鲜农产品批发价格 w_1 和自身保鲜努力水平 e_1 。

此时供应商的利润函数为：

$$\pi_{s1} = (w_1 - c)q - \frac{1}{2}\mu e^2 = (w_1 - c)\left(a - b(w_1 + \delta_1) + k_2(\theta_0 + k_1e_1 - \eta(t/T)^2)\right) - \frac{1}{2}\mu e_1^2 \quad (4)$$

令 $\frac{\partial \pi_{s1}}{\partial w_1} = \frac{\partial \pi_{s1}}{\partial e_1} = 0$ ，分别得到最优批发价格与供应商的保鲜努力水平为：

$$w_1^* = \frac{a\mu - ck_1^2k_2^2 + bc\mu - b\delta_1\mu - \eta(t/T)^2 k_2\mu + k_2\mu\theta_0}{2b\mu - k_1^2k_2^2} \quad (5)$$

$$e_1^* = \frac{k_1k_2(bc - a + b\delta_1 + \eta(t/T)^2 k_2 - k_2\theta_0)}{2b\mu - k_1^2k_2^2} \quad (6)$$

零售商利润函数：

$$\pi_{r1} = \delta_1q = \delta_1\left(a - b(w_1 + \delta_1) + k_2(\theta_0 + k_1e_1 - \eta(t/T)^2)\right) \quad (7)$$

将式(5)和式(6)代入到零售商的利润函数中，得到零售商的利润函数，之后令 $\frac{\partial \pi_{r1}}{\partial \delta_1} = 0$ ，求得

$\delta_1^* = \frac{a - bc - \eta(t/T)^2 k_2 + k_2\theta_0}{2b}$ ，再将其代入到式(5)和式(6)中，可以得到供应商的最优批发价 w_1^* 和保鲜努力水平 e_1^* 分别为：

$$w_1^* = \frac{a\mu - 2ck_1^2k_2^2 + 3bc\mu - \eta(t/T)^2 k_2\mu + k_2\mu\theta_0}{4b\mu - 2k_1^2k_2^2},$$

$$e_1^* = \frac{k_1k_2(a - bc - \eta(t/T)^2 k_2 + k_2\theta_0)}{4b\mu - 2k_1^2k_2^2}$$

继而求得分散式决策下生鲜农产品的市场需求为：

$$d_a^* = \frac{b\mu(a - bc - k_2\eta(t/T)^2 + k_2\theta_0)}{2(2b\mu - k_1^2k_2^2)}$$

最终将 w_1^* 、 δ_1^* 和 e_1^* 代入到供应商和零售商的利润函数中可以得到分散决策下供应商、零售商以及供应链系统的最优利润为：

$$\pi_{s1}^* = \frac{\mu(a - bc - k_2\eta(t/T)^2 + k_2\theta_0)^2}{8(2b\mu - k_1^2k_2^2)}$$

$$\pi_{r1}^* = \frac{\mu(a - bc - k_2\eta(t/T)^2 + k_2\theta_0)^2}{4(2b\mu - k_1^2k_2^2)}$$

此时，供应链系统的总利润为：

$$\pi_1^* = \frac{3\mu(a - bc - k_2\eta(t/T)^2 + k_2\theta_0)^2}{8(2b\mu - k_1^2k_2^2)}$$

得到集中决策与分散决策下的最优决策如表 2 所示：

Table 2. The optimal strategy and profit function of two models

表 2. 两种模型的最优策略和利润函数

	集中决策	分散决策
w^*	—	$\frac{a\mu - 2ck_1^2k_2^2 + 3bc\mu - \eta(t/T)^2k_2\mu + k_2\mu\theta_0}{4b\mu - 2k_1^2k_2^2}$
e^*	$\frac{k_1k_2(a - bc - \eta(t/T)^2k_2 + k_2\theta_0)}{2\mu b - k_1^2k_2^2}$	$\frac{k_1k_2(a - bc - \eta(t/T)^2k_2 + k_2\theta_0)}{4b\mu - 2k_1^2k_2^2}$
p^*	$\frac{a\mu - ck_1^2k_2^2 + bc\mu - k_2\mu\eta(t/T)^2 + k_2\mu\theta_0}{2b\mu - k_1^2k_2^2}$	$\frac{(3b\mu - k_1^2k_2^2)(a + k_2(\theta_0 - \eta(t/T)^2)) + bc(b\mu - k_1^2k_2^2)}{2b(2b\mu - k_1^2k_2^2)}$
π_s^*	—	$\frac{\mu(a - bc - \eta(t/T)^2k_2 + k_2\theta_0)^2}{8(2b\mu - k_1^2k_2^2)}$
π_r^*	—	$\frac{\mu(a - bc - \eta(t/T)^2k_2 + k_2\theta_0)^2}{4(2b\mu - k_1^2k_2^2)}$
π_1^*	$\frac{\mu(a - bc - k_2\eta(t/T)^2 + k_2\theta_0)^2}{2(2b\mu - k_1^2k_2^2)}$	$\frac{3\mu(a - bc - \eta(t/T)^2k_2 + k_2\theta_0)^2}{8(2b\mu - k_1^2k_2^2)}$

2.5. 集中式决策和分散式决策对比

当 $\mu b - k_1^2k_2^2 > 0$ 且 $a - bc + k_2(\theta_0 - \eta(t/T)^2) > 0$ 时，对集中式决策与分散式决策下的最优策略、最优保鲜努力水平和供应链整体利润进行对比分析，可以得到以下结论。

定理 1: 集中决策下生鲜农产品的市场需求量 d_c^* 大于分散决策下的生鲜农产品的市场需求量 d_d^* , 即 $d_c^* > d_d^*$ 。

证明: 由 $d_c^* = b\mu \left(a - bc - \eta(t/T)^2 k_2 + k_2 \theta_0 \right) / (2b\mu - k_1^2 k_2^2)$,
 $d_d^* = b\mu \left(a - bc - \eta(t/T)^2 k_2 + k_2 \theta_0 \right) / 2(2b\mu - k_1^2 k_2^2)$ 可得, $d_c^* > d_d^*$;

定理 2: 两种决策模式下的最优保鲜努力水平不同, 且集中决策下的最优保鲜努力水平 e_c^* 大于分散式决策下的 e_d^* , 即 $e_c^* > e_d^*$ 。

证明: 由 $e_c^* = k_1 k_2 \left(a - bc - \eta(t/T)^2 k_2 + k_2 \theta_0 \right) / (2b\mu - k_1^2 k_2^2)$,
 $e_d^* = k_1 k_2 \left(a - bc - \eta(t/T)^2 k_2 + k_2 \theta_0 \right) / 2(2b\mu - k_1^2 k_2^2)$ 可得, $e_c^* > e_d^*$;

定理 3: 集中式决策和分散式决策的最优定价策略不同, 且集中决策下的最优零售定价小于分散式决策下的最优零售定价, 即 $p_c^* < p_d^*$ 。

证明:

$$p_c^* = \left(a\mu - ck_1^2 k_2^2 + bc\mu - k_2 \mu \eta(t/T)^2 + k_2 \mu \theta_0 \right) / (2b\mu - k_1^2 k_2^2)$$

$$p_d^* = - \left(ak_1^2 k_2^2 - \eta(t/T)^2 k_1^2 k_2^3 + k_1^2 k_2^3 \theta_0 - 3ab\mu - b^2 c\mu - 3bk_2 \mu \theta_0 + bck_1^2 k_2^2 + 3b\eta(t/T)^2 k_2 \mu \right) / 2b(2b\mu - k_1^2 k_2^2)$$

$$p_d^* - p_c^* = \left(b\mu - k_1^2 k_2^2 \right) \left(a - bc + k_2 \left(\theta_0 - \eta(t/T)^2 \right) \right) / \left(2b(2b\mu - k_1^2 k_2^2) \right),$$

因为 $b\mu - k_1^2 k_2^2 > 0$, 所以 $p_d^* - p_c^* > 0$ 。

定理 4: 两种决策模式下生鲜农产品供应链系统最优利润不同, 且集中式决策下的系统最优利润比分散决策下的最优利润更高。

证明: $\pi_c^* = \mu \left(a - bc - k_2 \eta(t/T)^2 + k_2 \theta_0 \right)^2 / 2(2b\mu - k_1^2 k_2^2)$,
 $\pi_d^* = 3\mu \left(a - bc - \eta(t/T)^2 k_2 + k_2 \theta_0 \right)^2 / 8(2b\mu - k_1^2 k_2^2)$ 。
 $\pi_c^* - \pi_d^* = \mu \left(a - bc - \eta(t/T)^2 k_2 + k_2 \theta_0 \right)^2 / 8(2b\mu - k_1^2 k_2^2) > 0$, 证得 $\pi_c^* > \pi_d^*$ 。

3. “保鲜成本分担”协调策略

在保鲜成本分担协调契约下, 零售商帮助供应商承担一部分保鲜成本, 然后供应商根据零售商承担的保鲜成本比例决定自身保鲜努力水平和生鲜农产品的批发价格。此契约下的各成员决策顺序和分散决策下的情景一致。具体如下: 1) 零售商决定保鲜成本承担比例 φ 和市场零售价 p_2 。2) 然后供应商决定保鲜努力水平 e_2 和生鲜农产品批发价格 w_2 。

当采用协调契约时, 如果该契约可以实现完美协调, 则最终零售价格 p_2 应当与集中决策时的零售价格 p_c 相等, 即:

$$p_2^* = p_c^* = \frac{a\mu - ck_1^2 k_2^2 + bc\mu - k_2 \mu \eta(t/T)^2 + k_2 \mu \theta_0}{2b\mu - k_1^2 k_2^2}$$

供应商的利润函数为:

$$\pi_{s,2} = (w_2 - c) \left(a - bp_c + k_2 \left(\theta_0 + k_1 e_2 - \eta(t/T)^2 \right) \right) - \frac{1}{2} (1 - \varphi) \mu e_2^2$$

对供应商利润函数求其关于保鲜努力水平 e_2 的二阶导，可得 $\frac{\partial^2 \pi_{s_2}}{\partial e_2^2} = \mu^*(\varphi-1) < 0$ ，即 π_{s_2} 是关于 e_2 的凹函数；然后令 $\frac{\partial \pi_{s_2}}{\partial e_2} = 0$ ，求得其最优保鲜努力水平为 $e_2^* = \frac{k_1 k_2 (c - w_2)}{\mu(\varphi-1)}$ ，当契约实现协调时，供应商自主决策的最优保鲜努力水平 e_2^* 与集中决策时的保鲜努力水平 e_c^* 一致，因此得批发价格 $w_2 = c - (\varphi-1)[p_c^* - c]$ ，即此时契约可以让供应商选择与集中决策时一致的保鲜努力水平。

因为实行契约时，供应商的保鲜努力水平、市场零售价格和集中决策模式下的相同，所以此时的市场需求量和集中决策下的市场需求量也应当一致。即 $d_2 = d_c$ ，因此供应商的最优利润为：

$$\pi_{s_2}^* = (w_2^* - c)q_2^* - (1-\varphi)c_{ec}^* = (1-\varphi)[p_c^* - c]q_c^* - (1-\varphi)c_{ec}^* = (1-\varphi)\pi_c$$

所以，

$$\begin{aligned} \pi_{s_2}^* - \pi_{s_1}^* &= (1-\varphi)\pi_c^* - \pi_{s_1}^* \\ &= (1-\varphi) \frac{\mu(a-bc-k_2\eta(t/T)^2+k_2\theta_0)^2}{2(2b\mu-k_1^2k_2^2)} - \frac{\mu(a-bc-\eta(t/T)^2k_2+k_2\theta_0)^2}{8(2b\mu-k_1^2k_2^2)} \\ &= \left(\frac{3-4\varphi}{8}\right) \frac{\mu(a-bc-\eta(t/T)^2k_2+k_2\theta_0)^2}{(2b\mu-k_1^2k_2^2)}, \end{aligned}$$

所以当 $\varphi \leq 3/4$ 时， $\pi_{s_2}^* \geq \pi_{s_1}^*$ ，即供应商在协调决策下获得的利润高于分散决策时的最优利润，所以供应商愿意接受这样的协调契约。

当协调时，零售商的最优利润为 $\pi_{r_2}^* = \pi_2^* - \pi_{s_2}^* = \pi_c^* - \pi_{s_2}^* = \varphi\pi_c^*$ ，还需要满足 $\pi_{r_2}^* \geq \pi_{r_1}^*$ ，此时零售商的利润不低于分散决策时自身的利润，因此零售商也愿意接受这样的协调策略。

此时需要满足 $\varphi\pi_c^* \geq \pi_{r_1}^*$ ，即 $\varphi \frac{\mu(a-bc-k_2\eta(t/T)^2+k_2\theta_0)^2}{2(2b\mu-k_1^2k_2^2)} \geq \frac{\mu(a-bc-\eta(t/T)^2k_2+k_2\theta_0)^2}{4(2b\mu-k_1^2k_2^2)}$ ，解得 $\varphi \geq 1/2$ 。

综上所述，当 $\varphi \in [1/2, 3/4]$ 时，供应商和零售商的利润均高于分散决策自身的最优利润，所以他们都愿意接受这样的协调决策，即该契约可以实现生鲜农产品供应链的协调。

4. 数值算例

为了更加直观和有效地验证本文得出的结论，本节设置相关参数对模型结果进行算例分析。假设生鲜农产品的市场规模 $a=10$ ， $b=0.5$ ， $k_1=0.2$ ， $k_2=10$ 。生鲜农产品的初始新鲜度 $\theta_0=0.85$ ， $\eta=0.8$ ， $\mu=30$ ， $c=2$ 。

将这些参数分别代入到集中决策和分散决策情形中，借助 Matlab2020a 进行计算并得到不同决策情形下的均衡决策和供应链系统及各成员的最优利润，具体结果如表 3 所示。

由表 3 可知：(1) 集中决策下生鲜农产品的市场零售价格要低于分散决策下的生鲜农产品的市场零售价格(即 $p_c^* < p_1^*$)，这意味着对消费者来说，他们可以花费更低的费用购买新鲜的生鲜品。同时，由于分散决策下供应链系统各成员均以实现自身利益最大化为目标，系统存在双重的边际效用，因此分散决策下生鲜农产品供应链的总利润低于集中决策下的生鲜农产品供应链系统的利润。(2) 在分散决策情形下，零售商作为主导者为了追求自身更高的收益，因此将制定更高的市场零售价格 p ，对于生鲜农产品供应

商来说, 其他因素不变时, 其付出的保鲜努力水平 e 越高, 越有利于其获得更高的批发价格和利润。然而零售商的逐利性致使分散决策下生鲜品的市场零售价相比集中决策下的更高, 所以会引起消费者对生鲜品的市场需求减少, 最终导致整个供应链系统的利润受损, 低于集中决策下的生鲜农产品供应链系统总利润水平(即 $\pi_1^* < \pi_c^*$)。

Table 3. Equilibrium decision and optimal profit in different decision situations

表 3. 不同决策情形下的均衡决策和最优利润

	集中决策	分散决策
w^*	—	7.48
e^*	0.73	0.37
p^*	12.96	16.98
π_s^*	—	13.02
π_r^*	—	26.03
π_1^*	52.07	39.05

在保鲜成本分担的协调契约下, 零售商将会对供应商所付出的保鲜努力成本 c_e 做出一定的分担, 设零售商的保鲜成本分担比例为 φ , 为了验证协调契约的有效性和真实性, 以下用具体数值来分析和验证零售商保鲜努力分担比例 φ 如何影响生鲜农产品供应链各成员利润并实现完美协调, 具体结果见表 4。

Table 4. The impact of different sharing ratios of preservation costs on various members of the supply chain

表 4. 不同保鲜成本分担比例对供应链各成员的影响

φ	w_2^*	p_2^*	e_2^*	$\pi_{s,2}^*$	$\pi_{r,2}^*$	π_2^*
0.500	7.48	12.96	0.73	26.03	26.03	52.07
0.525	7.21	12.96	0.73	24.73	27.34	52.07
0.550	6.93	12.96	0.73	23.43	28.64	52.07
0.575	6.66	12.96	0.73	22.13	29.94	52.07
0.600	6.38	12.96	0.73	20.83	31.24	52.07
0.625	6.11	12.96	0.73	19.53	32.54	52.07
0.650	5.84	12.96	0.73	18.22	33.85	52.07
0.675	5.56	12.96	0.73	16.92	35.15	52.07
0.700	5.29	12.96	0.73	15.62	36.45	52.07
0.725	5.01	12.96	0.73	14.32	37.75	52.07
0.750	4.74	12.96	0.73	13.02	39.05	52.07

从表 4 可以得出, 在保鲜努力成本共担的协调契约下, 当保鲜成本共担比例 $\varphi \in [0.5, 0.75]$ 时, 随着零售商分担的保鲜努力成本比例 φ 的增加, 零售商的总利润 $\pi_{r,2}^*$ 将会增加, 即零售商反而将会获得更高的最优利润。与此同时生鲜供应商给零售商提供的农产品的批发价格 w_2^* 也会随之降低, 进而使得生鲜供

应商的利润 π_{s2}^* 也会降低, 即 π_{s2}^* 随着保鲜成本分担比例 φ 的增加而减少。但是, 相比于无契约之下的分散决策, 零售商利润和供应商的利润都得到了优化与提升, 并且供应链系统的总体利润 π_2^* 要高于两者分散决策时系统总利润 π_1^* , 达到与集中决策时一致的水平, 进而实现了比较完美的供应链协调。

5. 结束语

本文以零售商主导的两级生鲜农产品供应链作为主要的研究对象, 考虑生鲜农产品的特异性和供应商保鲜努力行为, 重点分析了集中式决策、分散式决策以及“成本共担”契约下的供应链协调模型。对比分析不同情况下供应链系统成员的最优决策和供应链系统的利润, 并设计合理的“保鲜成本共担契约”协调供应链各成员收益, 引导零售商帮助生鲜供应商分担保鲜成本, 最后通过数值分析验证了模型和契约的有效性和真实性, 得到与实际相符的结论。

结果表明, 与集中式决策相比, 分散式决策下生鲜农产品的市场零售价格更高, 供应商所付出的保鲜努力水平也更高。对消费者来说, 在分散式决策下其需要花费更高的价格去购买不那么新鲜的农产品, 因此相比于集中决策模式下, 消费者对生鲜农产品的需求会减少。在保鲜成本分担的协调契约下, 零售商承担相应的保鲜努力成本, 这将会吸引生鲜供应商降低批发价格, 同时有利于两者合作共赢。零售商分担的保鲜努力成本比例需要控制在合理的范围内, 在相应的区间内, 零售商所获得的最优利润将随着其承担的保鲜成本比例升高, 并实现比分散式决策下更优的利润。同时, 供应商也将获得比分散决策情况下更高的收益, 最终两者实现利益共赢, 提高了供应链的整体运作效率。

然而, 本文研究的生鲜农产品供应链模型较为基础, 假设条件相对严格。现实生活中, 生鲜农产品供应链各成员间很难实现信息的完全对称, 同时生鲜供应链在实际运行过程中要面临多种不确定性因素的干扰与影响, 产品销售渠道也有多个选择。因此, 此后研究可以将生鲜农产品的不确定性需求考虑在内, 分析外界环境干扰情形下生鲜农产品供应链的协调决策。

参考文献

- [1] 周宝刚. 突发事件下生鲜农产品供应链应急决策研究[J/OL]. 海南大学学报(人文社会科学版): 1-12. <https://doi.org/10.15886/j.cnki.hnus.202209.0026>, 2023-10-11.
- [2] 但斌, 马崧萱, 刘墨林, 等. 考虑 3PL 保鲜努力的生鲜农产品供应链信息共享研究[J/OL]. 中国管理科学: 1-16. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2835.g3.20220304.1735.002.html>, 2023-10-11.
- [3] 周涛, 吕圆圆, 周亚萍. “农超对接”双渠道生鲜农产品供应链协调研究——基于不同主体保鲜努力视角[J]. 管理现代化, 2022, 42(1): 8-16. <https://doi.org/10.19634/j.cnki.11-1403/c.2022.01.002>
- [4] 李昕, 毛禹卿. 成本共担契约下考虑产量的生鲜农产品双渠道供应链协调研究[J]. 物流工程与管理, 2022, 44(6): 59-63.
- [5] 余云龙, 冯颖. 不同冷链服务模式下生鲜农产品供应链决策[J]. 中国管理科学, 2021, 29(9): 135-143. <https://doi.org/10.16381/j.cnki.issn1003-207x.2019.0577>
- [6] 吴爽, 李波, 李嫣然. 双渠道生鲜农产品供应链中零售商的预售决策[J]. 系统工程学报, 2023, 38(3): 372-394. <https://doi.org/10.13383/j.cnki.jse.2023.03.07>
- [7] Yu, Y.L. and Xiao, T.J. (2021) Analysis of Cold-Chain Service Outsourcing Modes in a Fresh Agri-Product Supply Chain. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, **148**, Article ID: 102264. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2021.102264>
- [8] 叶俊, 顾波军, 付雨芳. 不同贸易模式下生鲜农产品供应链冷链物流服务与定价决策[J]. 中国管理科学, 2023, 31(2): 95-107. <https://doi.org/10.16381/j.cnki.issn1003-207x.2020.0751>
- [9] 曹晓宁, 王永明, 薛方红, 等. 供应商保鲜努力的生鲜农产品双渠道供应链协调决策研究[J]. 中国管理科学, 2021, 29(3): 109-118. <https://doi.org/10.16381/j.cnki.issn1003-207x.2017.0489>
- [10] 李中庆, 张克勇. 不确定需求下考虑供应商保鲜努力的生鲜农产品供应链协调[J]. 河南科学, 2022, 40(10): 1704-1711.

-
- [11] 赵忠, 程瑜. 考虑保鲜努力的生鲜农产品供应链期权契约协调[J/OL]. 中国管理科学: 1-19. <https://doi.org/10.16381/j.cnki.issn1003-207x.2022.0044>, 2023-10-11.
- [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. <https://doi.org/10.13383/j.cnki.jse.2022.03.006>
- [13] 王赫暄. 新零售生鲜双渠道供应链定价问题研究[J]. 物流科技, 2023, 46(4): 138-143. <https://doi.org/10.13714/j.cnki.1002-3100.2023.04.038>
- [14] 李永飞, 魏松波, 董焕焕. 随机需求和收益共享契约约束下的供应链协调问题研究[J]. 统计与决策, 2022, 38(1): 179-183. <https://doi.org/10.13546/j.cnki.tjyjc.2022.01.038>
- [15] 丁洁, 李贵萍, 孙建红. 考虑保鲜努力投入的生鲜产品双渠道供应链协调[J]. 物流技术, 2022, 41(2): 88-95.
- [16] 朴惠淑, 扈秀静. 绿色和保鲜消费导向的生鲜农产品供应链协调[J]. 工业工程, 2020, 23(4): 1-10.
- [17] 王磊, 但斌. 考虑零售商保鲜和消费者效用的生鲜农产品供应链协调[J]. 运筹与管理, 2015, 24(5): 44-51.
- [18] 徐聪. 电商平台补贴下的生鲜农产品供应链决策研究[J]. 中国储运, 2023(4): 118-120. <https://doi.org/10.16301/j.cnki.cn12-1204/f.2023.04.112>
- [19] Hsu, P.H., Wee, H.M. and Teng, H.M. (2010) Preservation Technology Investment for Deteriorating Inventory. *International Journal of Production Economics*, **124**, 388-394. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2009.11.034>
- [20] 李琳, 范体军. 零售商主导下生鲜农产品供应链的定价策略对比研究[J]. 中国管理科学, 2015, 23(12): 113-123. <https://doi.org/10.16381/j.cnki.issn1003-207x.2015.12.014>