

doi: 10.19920/j.cnki.jmsc.2022.01.002

考虑权力结构及供应商竞争的生鲜供应链决策^①

范体军¹, 郑琪^{2*}, 蔡路¹

(1. 华东理工大学商学院, 上海 200237; 2. 上海工程技术大学管理学院, 上海 201620)

摘要: 考虑消费者新鲜度偏好, 研究了两竞争性供应商和单零售商组成的生鲜农产品供应链决策问题. 针对供应链的3种权力结构: 供应商领导(SS)、无领导(VN)和零售商领导(RS)构建生鲜农产品供应链的两阶段博弈模型. 结果表明: 1) SS情形下, 当两竞争性供应商的产品品质差异值高于临界值时, 零售商会向低品质供应商订货; 否则, 零售商会向高品质供应商订货; 2) VN情形下, 生鲜农产品品质提升导致批发价格上升, 但不一定伴随着销售价格的上升, 且产品品质提高导致批发价格上升的阈值大于产品品质导致销售价格上升的阈值; 两供应商之间的竞争越激烈, 均衡时的批发价也就越低, 但零售商边际利润越高; 3) RS情形下, 供应商提供的生鲜农产品新鲜度越高, 零售商获取的该生鲜农产品边际利润也就越高, 但竞争供应商边际利润不变; 4) 3种情形下, 当生鲜农产品的品质较低且低于临界值时, VN情形时供应商利润最低, SS情形下供应商获得的利润高于RS情形.

关键词: 供应链决策; 生鲜农产品; 权力结构; 竞争性供应商

中图分类号: F274 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-9807(2022)01-0023-16

0 引言

我国是世界上生鲜农产品生产和消费大国, 其中蔬菜产量占世界总产量的52%, 水果占22%, 肉类占32%, 水产品占31%, 每年有4亿吨生鲜农产品进入流通领域^[1]. 生鲜农产品的供应链运作直接关乎人们的日常生活, 越来越受到广泛关注, 并影响着生鲜农产品行业的健康发展.

我国政府高度重视生鲜农产品供应链的生产流通问题. 中共中央“一号文件”连续多年锁定三农问题, 相继提出“大力发展绿色优质农产品供给”、“支持产地建设农产品贮藏保鲜”等政策. 中共中央、国务院关于深入推进农业供给侧结构性改革加快培育农业农村发展新动能的若干意见中, 明确“加强农产品产地预冷等冷链物流建设, 完善鲜活农产品供销体系”. 同时各大部委也发

文制定了相应的改革措施. 国家发展改革委员会(以下简称发改委)颁布了“农产品冷链物流发展规划”. 商务部和农业农村部也专门出台针对生鲜农产品的相关工作指导意见, 继续推进对生鲜农产品流通环节税费减免政策, 以此来降低产品的流通成本与零售价格, 提升生鲜农产品零售商在市场中的竞争能力^[2].

然而由于生鲜农产品的易腐性, 消费者偏好生鲜性, 加上其供应链结构的复杂性和供应链权力结构的多样性, 导致供应链决策难度增加, 从而影响整个生鲜农产品供应链的运作绩效. 因此, 迫切需要考虑消费者新鲜度偏好, 针对不同权力结构, 结合供应商间的竞争性, 研究生鲜农产品供应链的决策问题, 进而有效提升生鲜农产品供应链的整体绩效.

在供应链方面, 尽管近些年国内外越来越多的

^① 收稿日期: 2018-12-27; 修订日期: 2020-12-20.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(72032001; 71972071; 71901141); 上海市哲学社会科学规划课题资助项目(2018EGL010).

通讯作者: 郑琪(1988—), 女, 河南南阳人, 博士, 讲师. Email: zhengqi_zq@163.com

研究聚焦于生鲜农产品及易逝品等,但他们的研究多集中于“一对一”的供应链决策。Cai等^[3]指出生鲜农产品在远距离运输过程中可能存在两种类型的损耗,并针对两阶段供应链构建了保鲜努力水平影响流通损耗的供应链优化模型。刘墨林等^[4]在考虑保鲜努力和服务水平影响生鲜农产品市场需求的情况下,研究了生鲜电商供应链的契约协调与帕累托改进。郑琪等^[5]针对“农超对接”模式下新鲜度和需求价格弹性对供应链的影响,探讨了改进的收益共享契约下生鲜农产品供应链利润的协调情况。Avinadav等^[6]提出了在特殊市场环境下竞争性产品的联合定价方法,易腐产品由可替代和互补的产品组成。近年来,随着互联网和平台经济的兴起,出现了双渠道和O2O等模式。一些学者针对不同模式开展了生鲜农产品供应链的决策研究。浦徐进和金德龙^[7]针对生鲜农产品供应链的不同运作模式,分析了农超对接和社区直销店、超市并存的双渠道模式对供应链决策的影响。Yang等^[8]对零售模式、双渠道模式和O2O模式下的生鲜农产品供应链的最优定价和保鲜努力决策问题进行了研究。Khan等^[9]在考虑与广告和零售价格相关的库存持有成本和需求的情况下,对易腐品的库存问题进行了探讨。此外,一些学者综合考虑了供应链决策中的库存、定价和订购等问题。Chen等^[10]分析了在有限范围内具有固定寿命的易腐产品的联合定价和库存控制问题。Li等^[11]考虑了随机库存系统中易腐产品的库存控制和联合动态定价策略。Ouyang等^[12]探讨了当特殊订单数量有限且假定商品的腐败率保持不变时,价格上涨可能对零售商补充政策的影响,并确定每种情况的最优订购策略和最优定价策略。郑宇婷等^[13]采用加法形式需求函数刻画市场需求,引入保鲜努力因素,研究不确定需求下生鲜农产品供应链的最优决策问题。事实上,生鲜农产品供应链上多供应商之间的竞争对其供应链决策的影响也是非常大,竞争性供应商将改变供应链的利润分配,但上述研究没有结合生鲜农产品的竞争性供应商来研究供应链的决策问题。

在竞争性供应商的供应链决策研究方面,金伟和骆建文^[14]研究了需求不确定条件下,两家

竞争的制造商如何通过资金补偿策略改善供应商的资金约束问题。牛文举等^[15]针对由两家竞争性制造商和一家供应商组成的供应链,探讨质量溢出效应下制造商能否对供应商进行质量投资。Pi等^[16]探讨了由一家制造商和两家零售商组成的双渠道供应链系统中,零售商在竞争和合作下的定价和服务策略。在此基础上,Fan等^[17]研究了在一家供应商、知名品牌制造商和普通品牌制造商组成的供应链中,品牌竞争情况下3种不同策略对两个品牌的制造商和供应商的最佳销售价格影响。Jin等^[18]构建了零售商线上渠道和线下渠道混合情况下的利润模型,研究了全渠道竞争的退货策略。Yang和Ma^[19]采用两阶段博弈来研究由两家供应商和一家零售商组成的供应链,结果表明更高的替代率意味着更低的购买价格和更高的固定费用。王宇和于辉^[20]构建了双寡头零售商的股权融资模型,探讨零售商采取股权融资进行市场开拓时,市场竞争对其股权融资决策的作用机理。郑本荣等^[21]分析了产品再制造、渠道竞争和制造商渠道入侵决策之间的内在关系,并探讨了零售商回收、产量竞争和多零售商竞争情形下的鲁棒性。李晓静等^[22]构建了两家竞争性供应商和两家竞争性零售商组成交叉销售的供应链模型,对供应商契约选择的动态演化过程进行了研究。然而,竞争性供应商的供应链各成员的利润在不同权力结构下存在着很大差异,直接影响供应链的决策。但这些研究却较少深入剖析不同权力结构下的供应链决策问题。

一些学者研究了考虑不同权力结构供应链的决策问题,并主要集中于一般性产品供应链。孙自来等^[23]针对单个拥有线下传统批发及线上直销双渠道的制造商和单个零售商组成的供应链,分析了3种博弈权力结构对供应链成员价格、需求和利润的影响。公彦德和达庆利^[24]在考虑供应商主导和零售商主导的情形后,研究了不同物流模式和供应链主导模式的4种组合下供应链决策及其稳定性。王旭坪等^[25]针对由一家供应商和一家线下线上双渠道的跨境电商组成的供应链,探讨了不同权力结构对供应链各成员决策的影响。Tang和Yang等^[26]针对不同权力结构下的闭环供

供应链设计了相应的奖惩机制,并分析了权力结构对融资机制、碳排放和绩效的影响. Zhang 等^[27]对绿色技术和碳信用策略下 3 种权力结构的供应链中制造商的减排决策和政府规定的排放上限进行了研究,并分析了政府规制如何影响制造商的低碳策略. Zheng 等^[28]研究了渠道竞争和权力结构对双渠道闭环供应链影响,并且分析了不同渠道权力结构下集中式供应链和 3 个分散式供应链的决策. 事实上,生鲜农产品不同于普通产品,消费者新鲜度偏好程度对不同权力结构下生鲜农产品供应链决策产生一定的影响. 但上述研究较少结合生鲜农产品这一特性对不同权力结构下供应商竞争的供应链决策进行分析.

基于此,本文针对由两家竞争性供应商和一家零售商组成的生鲜农产品供应链,考虑生鲜农产品竞争性因素及消费者新鲜度偏好程度研究生鲜农产品供应链的最优决策. 针对不同的权力结构,分 3 种情形建立了相应的两阶段博弈模型,并对模型进行了深入分析. 最后,通过算例分析进一步研究了不同情形下供应商的竞争性及消费者新鲜度偏好等因素对生鲜农产品供应链最优决策的影响.

1 问题描述与符号说明

1.1 问题描述

考虑由两竞争性供应商 S_1 、 S_2 和单零售商 R 组成的生鲜农产品供应链系统,设一家供应商为 S_i , $i = (1, 2)$, 与其竞争的供应商为 S_j , 则 $j = 3 - i$. 研究生鲜农产品供应链的最优决策,分析供应链权力结构及生鲜农产品竞争性对最优决策的影响. 通过建立二对一生鲜农产品供应链模型,给出供应链企业最优决策;然后分析供应链权力结构及生鲜农产品竞争性对供应链企业决策的影响;最后为供应链企业提供参考意见.

假设两家竞争性供应商通过同一家零售商销售同类异质生鲜农产品,低品质的生鲜农产品可替代高品质的生鲜农产品,两者形成竞争关系. 供应商 S_i 决策生鲜农产品的批发价格为 w_i , 零售商决策零售边际利润 m_i , 产品的订货量为 q_i . 供应

链的结构模型如图 1 所示.

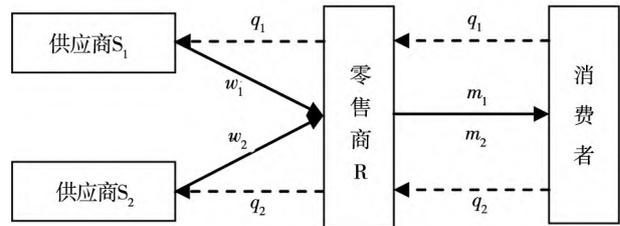


图 1 供应商竞争的生鲜农产品供应链流程图

Fig. 1 Flow chart of fresh agri-product supply chain with competitive suppliers

基于上述生鲜农产品供应链模型,探讨存在竞争情况下,竞争因素和消费者新鲜度偏好程度对供应链成员均衡决策的影响. 从博弈论角度,根据供应链权力结构分 3 种情形进行讨论比较: 1) SS 结构, 供应商为领导者, 零售商为追随者的 Stackelberg 博弈; 2) VN 结构, 供应商和零售商同时各自做出决策的 Nash 均衡; 3) RS 结构, 零售商为领导者, 供应商为追随者的 Stackelberg 博弈.

1.2 符号说明和模型假设

本文的主要参数如表 1 所示.

表 1 符号与定义

Table 1 Notations and definition

参数	含义
C_m	供应商的生产成本
w_i	供应商的批发价格
q	产品订货量
p	销售价格
θ	产品新鲜度
β	产品数量的有效率
k_i	两生鲜农产品供应商的竞争系数(产品替代性)
b	消费者新鲜度偏好系数
m	零售商的边际利润
π_{S_i}	供应商 S_i 的利润
π_R	零售商的利润

两家生鲜农产品供应商的生产成本都为 c_m . 生鲜农产品的新鲜度是根据其质量的表观特征直接观测到的,消费者在决策购买行为时将其作为重要依据,这也是与一般易腐品的不同之处^[29]. 生鲜农产品具有易变质性,而且新鲜度 θ_i 和产品价格 p_i 都影响顾客的需求. 假设 S_i 为一方供应商, S_j 为竞争方供应商. 为了方便计算,根据参考文献[30]采用线性

需求形式,产品订货量为

$$q_i = a - p_i + k_i(p_j - p_i) + b[\theta_i - k_j(\theta_j - \theta_i)]$$

$$i=1, 2, j=3-i$$

式中 k_i 为两生鲜农产品供应商的竞争系数,为了便于分析,假设 $k_1 = k_2 = k$, 则

$$q_i = a - p_i + k(p_j - p_i) + b[\theta_i - k(\theta_j - \theta_i)] \quad (1)$$

式中 $p_i = m_i + w_i$, 且 $b > 0, k > 0$.

结合现实情况,模型假设如下:

1) 供应链成员均为风险中性,且信息完全对称;

2) 两供应商提供的生鲜农产品完全满足市场需求,不考虑缺货损失和库存成本;

3) 生鲜农产品品质由新鲜度 θ 和产品数量的有效率 β 组成,供应商提供不同产品品质的两种生鲜农产品,且假设供应商 S_i 提供的生鲜农产品的品质 (θ_i, β_i) 优于供应商 S_j 提供的生鲜农产品的品质 (θ_j, β_j) .

基于以上分析,供应商 S_i 的利润函数为

$$\pi_{S_i} = \left(w_i - \frac{c_m}{\beta_i} \right) q_i \quad (2)$$

竞争方供应商 S_j 的利润函数为

$$\pi_{S_j} = \left(w_j - \frac{c_m}{\beta_j} \right) q_j \quad (3)$$

零售商 R 的利润函数为

$$\pi_R = m_i q_i + m_j q_j \quad (4)$$

2 不同权力结构下生鲜农产品供应链的收益模型

2.1 SS 结构下生鲜农产品供应链的收益模型分析

在 SS 结构下,供应商和零售商之间形成以供应商为领导者,零售商为追随者的 Stackelberg 非合作博弈. 博弈第一阶段,两供应商首先对各自的批发价格同时做出决策; 博弈第二阶段,零售商根据供应商给出的批发价格及市场需求信息同时决策两种生鲜农产品的边际利润.

采用逆推法求解,博弈的第二阶段,零售商根据两供应商给定的批发价格,确定最优边际利润使其利润最大化. 因此,零售商的策略是

$$\max \pi_R = m_i q_i + m_j q_j \quad (5)$$

根据一阶最优条件,求得零售商的最优边际利润

$$m_i = \frac{1}{2}(a + b\theta_i - w_i) \quad (6)$$

最优零售价格为

$$p_i = m_i + w_i = \frac{1}{2}(a + b\theta_i + w_i) \quad (7)$$

从式(6)可以看出,当供应商 S_i 提高其提供生鲜农产品的批发价格时,零售商销售该种生鲜农产品的最优边际利润会降低,而零售商销售竞争方供应商 S_j 的生鲜农产品的边际利润保持不变. 同时,生鲜农产品的批发价格上升,仅有一半会作用在生鲜农产品的零售价格上,还有一半被零售商自己消化掉,这与实际相符.

此时,零售商的订货量为

$$q_i = \frac{1}{2} [a + b\theta_i - w_i + 3bk(\theta_i - \theta_j) + k(w_i - w_j)] \quad (8)$$

博弈第一阶段,供应商各自对其批发价同时做出决策. 将式(6)代入式(2),根据一阶最优条件

$$\frac{\partial \pi_{S_i}}{\partial w_i} = q_i - \frac{1}{2}(k+1) \left(w_i - \frac{c_m}{\beta_i} \right) = 0 \quad (9)$$

可得

$$q_i = \frac{1}{2}(k+1) \left(w_i - \frac{c_m}{\beta_i} \right) \quad (10)$$

从式(9)可以看出零售商的订货量与其供应商提供的批发价格负相关,与竞争方供应商提供的批发价格无关. 将式(6)和式(8)代入式(2),并根据一阶最优条件,可得

$$w_i = \frac{1}{2(k+1)} \left[a + kw_j + b(k+1)\theta_i - bk\theta_j + (k+1)\frac{c_m}{\beta_i} \right] \quad (11)$$

从上述分析可以看出,如果当一方供应商的生鲜农产品批发价格上升,这时竞争方供应商的生鲜农产品的批发价格也会随之上升,竞争方供应商的订货量也随之增加.

因此可得命题 1,即在 SS 结构下达到稳定状态时生鲜农产品供应链成员各自决策变量的最优解.

命题 1 当供应商为领导者,零售商为追随者时,在批发价格契约下,供应链各成员有如下均衡解.

供应商的批发价格为

$$w_i^{SS*} = \frac{1}{(3k+2)(k+2)} \left[b\theta_i(k^2+4k+2) - b\theta_j k(k+1) + a(3k+2) + c_m(k+1) \left(\frac{2(k+1)}{\beta_i} + \frac{k}{\beta_j} \right) \right]$$

零售商的边际利润为

$$m_i^{SS*} = \frac{k+1}{2(3k+2)(k+2)} \left[2b\theta_i(k+1) + b\theta_j k + a(3k+2) - c_m \left(\frac{2(k+1)}{\beta_i} + \frac{k}{\beta_j} \right) \right]$$

生鲜农产品的市场零售价格为

$$p_i^{SS*} = \frac{1}{2(3k+2)(k+2)} \left[2b\theta_i(2k^2+6k+3) - b\theta_j(k+1) + a(3k+2)(k+3) + c_m(k+1) \left(\frac{2(k+1)}{\beta_i} + \frac{k}{\beta_j} \right) \right]$$

零售商的最优订货量为

$$q_i^{SS*} = \frac{k+1}{2(3k+2)(k+2)} \left[b\theta_i(k^2+4k+2) - b\theta_j k(k+1) + a(3k+2) - c_m \left(\frac{k^2+4k+2}{\beta_i} - \frac{k(k+1)}{\beta_j} \right) \right]$$

根据前面的分析及命题 1,可以得出以下结论.

结论 1 在 SS 结构下,供应商提供的生鲜农产品新鲜度越高,零售商获取该供应商的生鲜农产品的边际利润和与其竞争的供应商的生鲜农产品的利润也就越高.

对生鲜农产品的边际利润关于供应商 S_i 的产品新鲜度求偏导,可得

$$\frac{\partial m_i^{SS*}}{\partial \theta_i} = \frac{2b(k+1)^2}{2(3k+2)(k+2)} > 0$$

对生鲜农产品的边际利润关于竞争方供应商 S_j 的产品新鲜度求偏导,可得

$$\frac{\partial m_i^{SS*}}{\partial \theta_j} = \frac{bk(k+1)}{2(3k+2)(k+2)} > 0$$

结论 1 表明零售商总是偏好新鲜度更高的生鲜农产品. 尽管高新鲜度生鲜农产品的批发价格更高,但零售商可以从中获取更高的边际利润,而不是更多的需求量. 此外,还可以发现,零售商的边际利润与生鲜农产品的替代性和新鲜度有关. 值得注意的是,某生鲜农产品零售边际利润的提高不仅仅可能是其供应商保鲜努力提升的结果,也可能是竞争方供应商保鲜努力提升的结果,这是因为两种生鲜农产品间具有替代性.

结论 2 SS 结构下,供应商 S_i 的批发价格不仅与其生鲜农产品品质相关,而且与竞争方的生鲜农产品的品质相关. 当两供应商生鲜农产品品质 $(\theta_i,$

$\beta_i)$ 和 (θ_j, β_j) 的差异 $f_2(\theta_i, \theta_j, \beta_i, \beta_j)$ 值低于临界值 $\frac{k(k+1)}{k^2+4k+2}$, 即 $f_2(\theta_i, \theta_j, \beta_i, \beta_j) = \frac{a+b\theta_j-c_m/\beta_j}{a+b\theta_i-c_m/\beta_i} < \frac{k(k+1)}{k^2+4k+2}$ 时,零售商只会向提供更高品质生鲜农产品的供应商 S_i 订货.

1) 若竞争方供应商提高生鲜农产品品质,供应商将降低其生鲜农产品的批发价格,导致其生鲜农产品的市场零售价格降低.

2) 若供应商提供的生鲜农产品品质提高达 $f_1(\theta, \tilde{\theta}, \beta, \tilde{\beta}) > \frac{2c_m(k+1)^2}{b(k^2+4k+2)}$ 则供应商将提高其批发价格;若供应商提供的生鲜农产品品质提高达 $f_1(\theta, \tilde{\theta}, \beta, \tilde{\beta}) > \frac{c_m(k+1)^2}{b(2k^2+6k+3)}$ 则零售商

将提高其市场零售价格. 其中 (θ, β) 和 $(\tilde{\theta}, \tilde{\beta})$ 分别指生鲜农产品品质改变前后的新鲜度和数量有

$$效率, f_1(\theta, \tilde{\theta}, \beta, \tilde{\beta}) = \frac{\tilde{\theta} - \theta}{1/\beta - 1/\tilde{\beta}}$$

3) 若两竞争供应商生鲜农产品的品质出现差异时,其需求量差异是

$$\frac{(k+1)(2k+1)}{2(3K+2)} \left[b(\theta_i - \theta_j) - c_m \left(\frac{1}{\beta_i} - \frac{1}{\beta_j} \right) \right]$$

由结论 1 可以直观看出,当竞争方供应商提供的生鲜农产品新鲜度更高时,供应商会降低其生鲜农产品批发价格,零售商销售其生鲜农产品的边际利润则会增加,生鲜农产品的市场零售价

格降低(命题1和式(6)),也就是说,边际利润的增加量少于批发价格的降低量.结论2表明,当生鲜农产品品质提升到一定水平时,生鲜农产品的批发价格或市场零售价格会增加.值得注意的是,生鲜农产品品质提升导致批发价格上升时,并不一定伴随市场零售价格的上升,且生鲜农产品品质提高导致批发价格上升的阈值 $\left(\frac{2c_m(k+1)^2}{b(k^2+4k+2)}\right)$ 大于生鲜农产品品质提高导致

市场零售价格上升的阈值 $\left(\frac{c_m(k+1)^2}{b(2k^2+6k+3)}\right)$.不失一般性,假设供应商 S_i 的生鲜农产品品质较高.表2描述了上述分析中有关批发价格和边际利润这两决策变量与生鲜农产品品质、产品替代性及消费者的新鲜度偏好程度间的关系.表中 $g = \frac{\bar{\theta} - \theta}{1/\beta - 1/\beta}$.

表2 SS结构下 w_i 和 $(\theta_i, \beta_i)^*$ 对供应链决策变量的影响

Table 2 Effect of w_i and $(\theta_i, \beta_i)^*$ on the decision variables of supply chain in the SS model

变量	m_i	w_i	p_i	q_i	m_j	w_j	p_j	q_j
$w_i \uparrow$	\downarrow	-	\uparrow	\uparrow	\downarrow	\uparrow	\uparrow	\uparrow
$(\theta_i, \beta_i)^*, \uparrow$	\uparrow	$g > \frac{2c_m(k+1)^2}{b(k^2+4k+2)}, \uparrow$	\uparrow	\uparrow	\uparrow	\downarrow	\downarrow	\downarrow
		$\frac{c_m(k+1)^2}{b(2k^2+6k+3)} < g < \frac{2c_m(k+1)^2}{b(k^2+4k+2)}, \downarrow$	\uparrow	\downarrow				
		$g < \frac{c_m(k+1)^2}{b(2k^2+6k+3)}, \downarrow$	\downarrow	\downarrow				

注: 两供应商生鲜农产品的品质差满足 $\frac{a+b\theta_j-c_m/\beta_j}{a+b\theta_i-c_m/\beta_i} > \frac{k(k+1)}{k^2+4k+2}$.

2.2 VN结构下生鲜农产品供应链的收益模型分析

在VN结构中,供应商和零售商处于同等地位,供应商各成员同时展开非合作博弈,使得各自利润最大化.两供应商各自对其提供的生鲜

农产品批发价格做出决策,零售商对销售的两家供应商的生鲜农产品的边际利润做出决策,使得其各自收益最优.

对零售商而言,关于式(4)对 m_i 求一阶导数并令其等于0,可得

$$m_i = \frac{1}{2(k+1)} [2km_j - (k+1)w_i + kw_j + a + b(k+1)\theta_i - bk\theta_j] \tag{12}$$

同理,对供应商而言,关于式(12)对 w_i 求一阶导数并令其等于0,可得

$$w_i = \frac{1}{2(k+1)} [kw_j - (k+1)m_i + km_j + a + b(k+1)\theta_i - bk\theta_j + \frac{k+1}{\beta_i}c_m] \tag{13}$$

联立式(12)和式(13)可以得到在Nash非合作博弈模型下,达到稳定状态时供应链成员各自的最优决策,可以描述在命题2中.

命题2 当供应商和零售商展开Nash非合作博弈情形下,供应链成员有如下最优决策.

供应商的批发价格为

$$w_i^{VN*} = \frac{1}{(4k+3)(2k+3)} [a(4k+3) + b\theta_i(2k^2+6k+3) - 2b\theta_jk(k+1) + 2c_m(k+1) \left(\frac{3k+3}{\beta_i} + \frac{k}{\beta_j}\right)]$$

零售商的边际利润为

$$m_i^{VN*} = \frac{k+1}{(4k+3)(2k+3)} [a(4k+3) + 3b\theta_i(k+1) + b\theta_jk - c_m \left(\frac{3k+3}{\beta_i} + \frac{k}{\beta_j}\right)]$$

生鲜农产品的市场零售价格为

$$p_i^{VN*} = \frac{1}{(4k+3)(2k+3)} \left[a(4k+3)(k+2) + b\theta_i(5k^2+12k+6) - b\theta_j k(k+1) + c_m(k+1) \left(\frac{3(k+1)}{\beta_i} + \frac{k}{\beta_j} \right) \right]$$

零售商的最优订货量为

$$q_i^{VN*} = \frac{k+1}{(4k+3)(2k+3)} \left[b\theta_i(2k^2+6k+3) - 2b\theta_j k(k+1) + a(4k+3) - c_m \left(\frac{2k^2+6k+3}{\beta_i} - \frac{2k(k+1)}{\beta_j} \right) \right]$$

根据前面的分析及命题 2, 可以得出以下结论.

结论 3 在 VN 情形下, 供应商提供的生鲜农产品新鲜度越高, 零售商获取的该供应商的生鲜农产品的边际利润及竞争方供应商的生鲜农产品的边际利润也就越高.

对零售商的边际利润关于供应商 S_i 的产品新鲜度求偏导, 可得

$$\frac{\partial m_i^{VN*}}{\partial \theta_i} = \frac{3b(k+1)^2}{(4k+3)(2k+3)} > 0$$

对零售商的的边际利润关于竞争方供应商 S_j 的产品新鲜度求偏导, 可得

$$\frac{\partial m_i^{VN*}}{\partial \theta_j} = \frac{bk(k+1)}{(4k+3)(2k+3)} > 0$$

结论 3 解释了零售商总是偏好新鲜度更高的生鲜农产品的原因. 尽管高新鲜度生鲜农产品的批发价格更高, 但零售商可以从中获取更高的边际利润, 而非是更多的需求量. 此外, 还可以发现, 零售商的边际利润与生鲜农产品的替代性和新鲜度有关. 值得注意的是, 零售商销售某生鲜农产品的边际利润的提高可能不仅仅是其供应商保鲜努力提升的结果, 也可能是竞争方供应商保鲜努力提升的结果, 这是因为两种生鲜农产品间具有替代性.

结论 4 VN 情形下, 供应商的生鲜农产品批发价格不仅与其自身品质相关, 而且与竞争方供应商的生鲜农产品品质相关. 当两生鲜农产品品质 (θ_i, β_i) 和 (θ_j, β_j) 的差异 $f_2(\theta_i, \theta_j, \beta_i, \beta_j)$ 值低于临界值 $\frac{2k(k+1)}{2k^2+6k+3}$, 即 $f_2(\theta_i, \theta_j, \beta_i, \beta_j) = \frac{a+b\theta_j-c_m/\beta_j}{a+b\theta_i-c_m/\beta_i} < \frac{2k(k+1)}{2k^2+6k+3}$ 时, 零售商只会向提供较高品质生鲜农产品的供应商 S_i 订货.

1) 若竞争方供应商提高生鲜农产品品质, 供应商将降低其生鲜农产品的批发价格, 导致其生

鲜农产品的市场零售价格也降低.

2) 若供应商提供的生鲜农产品品质提高到 $f_1(\theta, \tilde{\theta}, \beta, \tilde{\beta}) > \frac{6c_m(k+1)^2}{b(2k^2+6k+3)}$ 的水平, 则供应商将提高其批发价格. 若供应商提供的生鲜农产品品质提高 $f_1(\theta, \tilde{\theta}, \beta, \tilde{\beta}) > \frac{3c_m(k+1)^2}{b(5k^2+12k+6)}$ 的水平, 则零售商将提高其市场零售价格, 其中

水平, 则零售商将提高其市场零售价格, 其中

$$f_1(\theta, \tilde{\theta}, \beta, \tilde{\beta}) = \frac{\tilde{\theta} - \theta}{1/\tilde{\beta} - 1/\beta}$$

3) 若两相互竞争的生鲜农产品的品质出现差异时, 其需求量差异是

$$\frac{(k+1)(2k+1)}{4k+3} \left[b(\theta_i - \theta_j) - c_m \left(\frac{1}{\beta_i} - \frac{1}{\beta_j} \right) \right]$$

由结论 3 可以看出, 当竞争方供应商提供的生鲜农产品新鲜度较高时, 供应商会降低其生鲜农产品批发价格, 零售商则会增加其生鲜农产品的边际利润, 生鲜农产品的市场零售价格降低, 也就是说, 边际利润的增加量少于批发价格的降低量. 结论 4 表明, 当生鲜农产品品质提升到一定水平时, 生鲜农产品的批发价格或市场零售价格会增加. 值得注意的是, 生鲜农产品品质的提升导致批发价格上升时, 并不一定伴随市场零售价格的上升, 且生鲜农产品品质提高导致批发价格上升的阈值 $\frac{6c_m(k+1)^2}{b(2k^2+6k+3)}$ 大于生鲜农产品品质提高导致市场

零售价格上升的阈值 $\frac{3c_m(k+1)^2}{b(5k^2+12k+6)}$. 同理, 假设

供应商 S_i 提供的生鲜农产品的品质更高. 表 3 描述了上述分析中有关批发价格、零售边际利润这两决策变量与生鲜农产品品质、产品替代性及消费者的新鲜度偏好程度间的关系. 表中

$$g = \frac{\tilde{\theta} - \theta}{1/\tilde{\beta} - 1/\beta}$$

表3 VN结构下 w_i 和 $(\theta_i, \beta_i)^*$ 对供应链决策变量的影响

Table 3 Effect of w_i and $(\theta_i, \beta_i)^*$ on the decision variables in the VN model

变量	m_i	w_i	p_i	q_i	m_j	w_j	p_j	q_j
$w_i \uparrow$	\downarrow	-	\uparrow	\uparrow	\downarrow	\uparrow	\uparrow	\uparrow
$(\theta_i, \beta_i)^*, \uparrow$	\uparrow	$g > \frac{6c_m(k+1)^2}{b(2k^2+6k+3)}, \uparrow$	\uparrow	\uparrow	\uparrow	\downarrow	\downarrow	\downarrow
		$\frac{3c_m(k+1)^2}{b(5k^2+12k+6)} < g < \frac{6c_m(k+1)^2}{b(2k^2+6k+3)}, \downarrow$	\uparrow	\downarrow				
		$g < \frac{3c_m(k+1)^2}{b(5k^2+12k+6)}, \downarrow$	\downarrow	\downarrow				

注: 两供应商生鲜农产品的品质差满足 $\frac{a+b\theta_j-c_m/\beta_j}{a+b\theta_i-c_m/\beta_i} > \frac{2k(k+1)}{2k^2+6k+3}$.

2.3 RS结构下生鲜农产品供应链的收益模型分析

供应链中若零售商规模较大往往更具有领导权, 供应商按零售商的订单进行备货, 供应链间形成以零售商为领导者, 供应商为追随者的RS权力结构, 进行Stackelberg博弈. 博弈的第一阶段, 零售商作为领导者, 根据市场需求信息及供应商的

反应函数对销售的两家供应商生鲜农产品的边际利润做出决策; 博弈的第二阶段, 供应商根据向零售商的订货量, 各自同时决策自己的批发价格使其自身利润最优.

采用逆序法求解, 首先, 对供应商的利润函数求关于 w_i 的一阶导数, 并令其等于0, 得到

$$w_i = \frac{1}{2(k+1)} \left[kw_j - (k+1)m_i + km_j + a + b(k+1)\theta_i - bk\theta_j + (k+1)\frac{c_m}{\beta_i} \right] \quad (14)$$

从式(14)可以看出, 供应商生鲜农产品的批发价格与其自身的新鲜度和竞争方供应商的生鲜农产品的批发价格、零售边际利润正相关, 与竞争方的生鲜农产品的新鲜度和自身零售边际利润负相关.

产品的边际利润做出决策. 将式(14)代入零售商利润函数, 对 m_i 求一阶导数并使其等于0, 得到达到稳定状态时, 供应链各成员的最优决策(体现在命题3中).

博弈的第一阶段, 零售商根据两供应商给出的批发价格及市场需求信息对两家供应商生鲜农产品的批发价格为

命题3 在零售商为领导者, 供应商为追随者的Stackelberg博弈模型中, 供应链各成员有如下均衡解.

$$w_i^{RS*} = \frac{1}{2(3k+2)(k+2)} \left[a(3k+2) + b\theta_i(k^2+4k+2) - b\theta_j(k^2+k) + c_m \left(\frac{5k^2+12k+6}{\beta_i} + \frac{k^2+k}{\beta_j} \right) \right]$$

零售商的边际利润为

$$m_i^{RS*} = \frac{1}{2} \left(a + b\theta_i - \frac{c_m}{\beta_i} \right)$$

生鲜农产品的市场零售价格为

$$p_i^{RS*} = \frac{1}{2(3k+2)(k+2)} \left[b\theta_i(4k^2+12k+6) - b\theta_jk(k+1) + a(3k+2)(k+3) + c_m(k+1) \left(\frac{2(k+1)}{\beta_i} + \frac{k}{\beta_j} \right) \right]$$

零售商的最优订货量为

$$q_i^{RS*} = \frac{k+1}{2(3k+2)(k+2)} \left[b\theta_i(k^2+4k+2) - b\theta_jk(k+1) + a(3k+2) - c_m \left(\frac{k^2+4k+2}{\beta_i} - \frac{k(k^2+1)}{\beta_j} \right) \right]$$

根据前面的分析及命题3, 可以得出以下结论.

际利润也就越高.

结论5 在RS情形下, 供应商提供的生鲜农产品新鲜度越高, 零售商获取的该生鲜农产品边

对生鲜农产品的边际利润关于供应商 S_i 的生鲜产品新鲜度求偏导, 可得

$$\frac{\partial m_i^{RS*}}{\partial \theta_i} = \frac{b}{2} > 0$$

结论 5 与结论 1、结论 3 类似，但仅当某一供应商提高其生鲜农产品的的新鲜度时，零售商获取的该生鲜农产品边际利润才越高。也就是说，零售商获取的生鲜农产品边际利润与两家供应商生鲜农产品的替代性无关，仅与生鲜农产品自身的品质有关。具体来说，零售商获取的某一供应商生鲜农产品的边际利润与该生鲜农产品的新鲜度和数量有效率正相关。

结论 6 RS 情形下，供应商生鲜农产品的批发价格不仅与其自身生鲜农产品品质相关，而且与竞争方供应商的生鲜农产品品质相关。当两家生鲜农产品品质 (θ_i, β_i) 和 (θ_j, β_j) 的差异 $f_2(\theta_i, \theta_j, \beta_i, \beta_j)$ 值低于临界值 $\frac{k(k+1)}{k^2+4k+2}$ 即

$$f_2(\theta_i, \theta_j, \beta_i, \beta_j) = \frac{a + b\theta_j - c_m/\beta_j}{a + b\theta_i - c_m/\beta_i} < \frac{k(k+1)}{k^2+4k+2}$$

时，零售商只会向品质较高的生鲜农产品的供应商 S_i 订货。

1) 若竞争方供应商提高生鲜农产品品质，供应商将降低其生鲜农产品的批发价格，导致其生鲜农产品的市场零售价格也降低。

2) 若供应商提供的生鲜农产品品质提高到 $f_1(\theta, \tilde{\theta}, \beta, \tilde{\beta}) > \frac{c_m(5k^2+12k+6)}{b(k^2+4k+2)}$ 的水平，则供应商将提高其批发价格。若供应商提供的生鲜农产品品质提高到 $f_1(\theta, \tilde{\theta}, \beta, \tilde{\beta}) > \frac{c_m(k+1)^2}{b(2k^2+6k+3)}$

的水平，则零售商将提高其市场零售价格，其中

$$f_1(\theta, \tilde{\theta}, \beta, \tilde{\beta}) = \frac{\tilde{\theta} - \theta}{1/\beta - 1/\tilde{\beta}}$$

3) 若两供应商的生鲜农产品的品质出现差异时，其需求量差异是

$$\frac{(k+1)(2k+1)}{2(3k+2)} \left[b(\theta_i - \theta_j) - c_m \left(\frac{1}{\beta_i} - \frac{1}{\beta_j} \right) \right]$$

由结论 6 1) 可以直观地看出，当竞争方供应商提供的生鲜农产品新鲜度较高时，供应商会降低其生鲜农产品的批发价格，零售商则会增加其生鲜农产品的边际利润，生鲜农产品的市场零售价格降低，也就是说，边际利润的增加量少于批发价格的减少量。结论 6 2) 表明，当生鲜农产品品质提升到一定水平时，生鲜农产品的批发价格或市场零售价格会增加。值得注意的是，生鲜农产品品质提升导致批发价格上升时，并不一定伴随市场零售价格的上升，且生鲜农产品品质提高导致

批发价格上升的阈值 $\left(0, \frac{c_m(5k^2+12k+6)}{b(k^2+4k+2)} \right)$ 大于生鲜农产品品质提高导致市场零售价格上升的阈值 $\left(0, \frac{c_m(k+1)^2}{b(2k^2+6k+3)} \right)$ 。

同理，假设供应商 S_i 的生鲜农产品的品质较高。表 4 描述了上述分析中有关批发价格、零售边际利润这两决策变量与生鲜农产品品质、产品替代性及消费者的新鲜度偏好程度间的关系，表中

$$g = \frac{\tilde{\theta} - \theta}{1/\beta - 1/\tilde{\beta}}$$

表 4 RS 结构下 m_i 和 $(\theta_i, \beta_i)^*$ 对供应链决策变量的影响

Table 4 Effect of m_i and $(\theta_i, \beta_i)^*$ on the decision variables in the RS model

变量	m_i	w_i	p_i	q_i	m_j	w_j	p_j	q_j
$m_i \uparrow$	-	↓	↑	↑	↓	↑	↑	↑
$(\theta_i, \beta_i)^*, \uparrow$	↑	$g > \frac{c_m(5k^2+12k+6)}{b(k^2+4k+2)}, \uparrow$	↑	↑	-	↓	↓	↓
		$\frac{c_m(k+1)^2}{b(2k^2+6k+3)} < g < \frac{c_m(5k^2+12k+6)}{b(k^2+4k+2)}, \downarrow$	↑	↓				
		$g < \frac{c_m(k+1)^2}{b(2k^2+6k+3)}, \downarrow$	↓	↓				

注：两供应商的生鲜农产品的品质满足 $\frac{a + b\theta_j - c_m/\beta_j}{a + b\theta_i - c_m/\beta_i} > \frac{k(k+1)}{k^2+4k+2}$ 。

3 比较分析

3.1 供应链权力结构对生鲜农产品供应链决策的影响

在不同的权力结构下,生鲜农产品供应链的决策存在差异.在SS、RS情形下,生鲜农产品品质需满足

$$\frac{a + b\theta_j - c_m/\beta_j}{a + b\theta_i - c_m/\beta_i} > \frac{k(k+1)}{k^2 + 4k + 2}$$

在VN情形下,生鲜农产品品质需满足

$$\frac{a + b\theta_j - c_m/\beta_j}{a + b\theta_i - c_m/\beta_i} > \frac{2k(k+1)}{2k^2 + 6k + 3}$$

所以,为了保证这3种情形同时成立,生鲜农产品品质需满足

$$\frac{a + b\theta_j - c_m/\beta_j}{a + b\theta_i - c_m/\beta_i} > \frac{2k(k+1)}{2k^2 + 6k + 3}$$

命题4 在供应商和零售商非合作模型中,两家供应商的生鲜农产品的批发价格存在如下关系 $w_i^{SS*} > w_i^{VN*} > w_i^{RS*}$; 当

$$f_2(\theta_i, \theta_j, \beta_i, \beta_j) > \frac{4k^4 + 18k^3 + 21k^2 + 7k}{4k^4 + 18k^3 + 33k^2 + 24k + 6}$$

时, $w_j^{SS*} > w_j^{VN*} > w_j^{RS*}$ 否则 $w_j^{SS*} > w_j^{RS*} > w_j^{VN*}$.

命题4表明,若市场中存在领导者,在SS情形下,决策的最优批发价格要高于RS情形下决策的最优批发价格.当生鲜农产品的品质低于临界值时,VN情形下的批发价格最低.当生鲜农产品的品质高于临界值时,RS情形的批发价格最低.因此,供应商和零售商可根据自身在市场的地位来优化决策进而获得更多的利润.

命题5 供应商和零售商非合作模型中,两家供应商的生鲜农产品的市场零售价格存在如下关系: $p_i^{SS*} = p_i^{RS*} > p_i^{VN*}$; $p_j^{SS*} = p_j^{RS*} > p_j^{VN*}$.

命题5表明,当供应商和零售商不合作时,SS情形和RS情形下的销售价格是相等的,并且高于VN情形时的销售价格,竞争方供应商的销售价格会出现同样的情况.此时,如果供应链中的企业降低销售价格,需要市场不出现一方主导的情况才能实现.

命题6 供应商和零售商非合作模型中,两家供应商的生鲜农产品的市场需求量存在如下关系 $q_i^{VN*} > q_i^{SS*} = q_i^{RS*}$; 当

$$f_2(\theta_i, \theta_j, \beta_i, \beta_j) > \frac{4k^4 + 18k^3 + 21k^2 + 7k}{4k^4 + 18k^3 + 33k^2 + 24k + 6}$$

时, $q_j^{VN*} > q_j^{SS*} = q_j^{RS*}$ 否则 $q_j^{SS*} = q_j^{RS*} > q_j^{VN*}$.

命题5和命题6表明,当零售商和供应商间存在领导关系时,消费者对谁是领导者谁是追随者并不关心,即生鲜农产品的市场零售价格和需求量在SS情形和RS情形下是一致的. SS时的产品需求量与RS时的产品需求量是相同的.当生鲜农产品的品质低于临界值时,供应商和零售商存在领导者时的产品需求量高于双方不存在领导者时的产品需求量.当生鲜农产品的品质高于临界值时,供应商和零售商存在领导关系时的产品需求量低于VN时的产品需求量.因此,零售商可根据市场中是否存在领导关系来制定自身的订购量进而获得更多的利润.

命题7 供应商和零售商非合作模型中,两家供应商的生鲜农产品的零售边际利润存在如下关系: $m_i^{RS*} > m_i^{VN*} > m_i^{SS*}$; $m_j^{RS*} > m_j^{VN*} > m_j^{SS*}$.

命题7表明,若市场存在领导者,RS情形下,零售商可以从供应链中获取更多的边际利润;SS情形下,零售商从供应链中获取的边际利润较低;当供应商和零售商不存在领导关系时,即VN情形下,零售商从供应链中获取的边际利润介于两者之间.

命题8 提供较高品质生鲜农产品的供应商 S_i ,其利润存在如下关系: $\pi_{S_i}^{SS*} > \pi_{S_i}^{RS*}$, $\pi_{S_i}^{VN*} > \pi_{S_i}^{RS*}$. 对于提供较低品质生鲜农产品的供应商 S_j 来说,其利润存在如下关系: 当

$$f_2(\theta_i, \theta_j, \beta_i, \beta_j) > \frac{4k^4 + 18k^3 + 21k^2 + 7k}{4k^4 + 18k^3 + 33k^2 + 24k + 6}$$

时 $\pi_{S_j}^{SS*} > \pi_{S_j}^{RS*}$, $\pi_{S_j}^{VN*} > \pi_{S_j}^{RS*}$, 否则 $\pi_{S_j}^{SS*} > \pi_{S_j}^{RS*} > \pi_{S_j}^{VN*}$.

命题8表明,当生鲜农产品的品质较高时,供应商在SS时的利润高于RS时的利润.当生鲜农产品的品质较低但高于临界值时,供应商在SS时的利润最高,RS时的利润最低,VN时的利润介于两者中间;当生鲜农产品的品质较低且低于临界值时,供应商在SS时的利润最高,VN时的利润最低,RS时的利润介于两者中间.

命题9 供应商和零售商非合作模型中,零售商利润存在如下关系, $\pi_R^{RS*} > \pi_R^{SS*}$, $\pi_R^{VN*} > \pi_R^{SS*}$.

命题9表明,若市场存在领导者,零售商在

RS 情形下的利润高于 SS 时的利润; 如市场中不存在领导者, 即零售商在 VN 情形下的利润高于 SS 时的利润.

3.2 生鲜农产品竞争性对供应链决策的影响

首先, 分析产品替代性 k 对供应链成员最优决策的影响. 在 SS、VN 和 RS 情形下, 有 $\frac{\partial w_i}{\partial k} < 0$, $\frac{\partial w_j}{\partial k} < 0$, $\frac{\partial p_i}{\partial k} < 0$, $\frac{\partial p_j}{\partial k} < 0$. 同样, 在 SS 和 VN 情形下, 有 $\frac{\partial m_i}{\partial k} > 0$, $\frac{\partial m_j}{\partial k} > 0$, 而在 RS 情形下, m_i, m_j 则与 k 无关.

也就是说, 产品替代性越低, 两家供应商的生鲜农产品的差异性也就越大, 均衡时的零售价格也就越高. 这是因为, 当两家供应商的生鲜农产品差异性越大时, 生鲜农产品零售边际利润越小, 而批发价格越高, 但生鲜农产品批发价格增高的幅度要大于零售商边际利润减小的幅度, 所以, 生鲜农产品的市场零售价格也越高. 也就是说, 若两供应商提供的生鲜农产品间差异性越大, 供应商就可以从垄断中获取更多的利益, 从而向零售商收取更高的批发价格. 另外, 零售商的最优决策是自己承担部分的批发价格增量, 而将剩下的部分转嫁给消费者, 故其零售边际利润随批发价格的上升而降低.

结论 7 若两家供应商的生鲜农产品替代性越高, 即差异性越小, 均衡时的批发价也就越低, 但零售商边际利润越高. 总的而言, 两供应商提供的生鲜农产品间竞争越大, 市场价格也就越低.

然后, 再分析消费者的新鲜度偏好程度 b 对供应链成员最优决策的影响. 在 SS、VN 和 RS 情形中, $\frac{\partial m_i}{\partial b} > 0$, $\frac{\partial m_j}{\partial b} > 0$. 对于有较高品质生鲜农产品的供应商 S_i 来说, 总有 $\frac{\partial w_i}{\partial b} > 0$, $\frac{\partial p_i}{\partial b} > 0$. 但对生鲜农产品品质较低的供应商 S_j 来说, 则有不同的结果, 具体见表 5.

根据上面的分析可以看出, 消费者的新鲜度偏好程度越高, 零售商从两家供应商的生鲜农产品中获取的零售边际利润也就越高. 但供应商是否可以从中获得更高的批发价格还要取决于其竞争对手提供的生鲜农产品的新鲜度. 对于提供较高新鲜度生鲜农产品的供应商 S_i 而言, 总能从更

高的消费者新鲜度偏好中获利, 但对于提供较低新鲜度生鲜农产品的供应商 S_j 而言, 并不是总能从更高的消费者新鲜度偏好中获利. 当两家供应商的生鲜农产品新鲜度差异较小时, 由于产品替代性, 供应商 S_j 可以从中获利, 也就是“搭便车”效应. 当两家供应商的生鲜农产品新鲜度差异性逐渐变大, 某些领导结构下, 若消费者新鲜度偏好程度越高, 供应商 S_j 决策的最优批发价格也就越低, 这是因为两种生鲜农产品间的替代性逐渐变小, 而竞争性逐渐变大.

表 5 消费者的新鲜度偏好对供应链价格决策的影响
Table 5 Effect of consumers' freshness preference on the price in the supply chain

$\frac{\theta_j}{\theta_i}$	$\frac{\partial w_j}{\partial b}$	$\frac{\partial p_j}{\partial b}$
$\left(0, \frac{k(k+1)}{5k^2+12k+6}\right)$	< 0	< 0
$\left(\frac{k(k+1)}{5k^2+12k+6}, \frac{k(k+1)}{4k^2+12k+6}\right)$	< 0	< 0 , 除了 VN 情形
$\left(\frac{k(k+1)}{4k^2+12k+6}, \frac{k(k^2+4k+2)}{(k+1)(k^2+8k+4)}\right)$	< 0	> 0
$\left(\frac{k(k^2+4k+2)}{(k+1)(k^2+8k+4)}, \frac{k(k+1)}{k^2+4k+2}\right)$	< 0	> 0
$\left(\frac{k(k+1)}{k^2+4k+2}, \frac{2k(k+1)}{2k^2+6k+3}\right)$	> 0 , 除了 VN 情形	> 0
$\left(\frac{2k(k+1)}{2k^2+6k+3}, 1\right)$	> 0	> 0

4 算例分析

针对本文的研究, 调查了沃尔玛超市和两家苹果供应商, 山东烟台苹果专业合作社和陕西洛川苹果专业合作社. 该类供应链运营模式符合两家竞争性供应商和一家零售商组成的生鲜农产品供应链. 考虑前面分析所得均衡解表达式的复杂性, 采用 MATLAB 对模型进行数值分析. 通过比较分析 3 种权力结构下, 生鲜农产品竞争性因素及消费者新鲜度偏好对供应链最优决策的影响, 以及供应链成员的收益情况. 基于此, 对于“二对一”型供应链的运营模式进行分析, 相关参数设置如下:

$$a = 100, c_m = 1, \theta_i = 0.9, \theta_j = 0.6, \beta_i = 0.8, \beta_j = 0.7.$$

1) 生鲜农产品竞争对供应链决策的影响分析

这里取 $b = 0.6$ 。从表 6 可以发现,对非合作竞争性供应链结构而言,山东烟台苹果专业合作社和陕西洛川苹果专业合作社之间的竞争越激

烈,即差异性越小,沃尔玛超市销售这两家供应商的产品的边际利润及订购量越大,两供应商提供的批发价格越低,两种苹果的市场零售价格也越低。

表 6 竞争因素对供应链决策的影响

Table 6 Effect of competitive factors on supply chain decisions

权力结构	k	w_i	w_j	m_i	m_j	p_i	p_j	q_i	q_j
SS	0.5	41.00	40.97	29.77	29.70	70.77	70.67	29.81	29.66
	1.0	34.39	34.36	33.07	33.00	67.47	67.36	33.14	32.93
	1.5	29.68	29.64	35.43	35.36	65.11	65.00	35.53	35.26
	2.0	26.14	26.09	37.20	37.13	63.34	63.23	37.33	37.00
	2.5	23.39	23.34	38.58	38.51	61.96	61.86	38.74	38.34
VN	0.5	26.10	26.13	37.22	37.11	63.32	63.24	37.27	37.06
	1.0	21.15	21.17	39.70	39.59	60.84	60.77	39.80	39.49
	1.5	17.85	17.87	41.35	41.25	59.19	59.11	41.50	41.10
	2.0	15.49	15.51	42.52	42.43	58.01	57.93	42.72	42.23
	2.5	13.72	13.73	43.41	43.31	57.13	57.05	43.65	43.07
RS	0.5	21.12	21.20	49.65	49.47	70.75	70.64	29.81	29.66
	1.0	17.82	17.89	49.65	49.47	67.44	67.32	33.14	32.93
	1.5	15.46	15.53	49.65	49.47	65.08	64.95	35.53	35.26
	2.0	13.69	13.76	49.65	49.47	63.31	63.18	37.33	37.00
	2.5	12.32	12.38	49.65	49.47	61.93	61.79	38.74	38.34

2) 消费者新鲜度偏好对供应链决策的影响分析

这里取 $k = 2$ 。从表 7 可以发现,对非合作竞争性供应链结构而言,消费者对苹果的新鲜度偏

好程度越高,沃尔玛超市销售这两种产品的边际利润及订购量、两供应商提供的批发价格、两家苹果的市场零售价格越高。

表 7 消费者新鲜度偏好对供应链决策的影响

Table 7 Effect of consumers' freshness preference on supply chain decisions

权力结构	b	w_i	w_j	m_i	m_j	p_i	p_j	q_i	q_j
SS	0.4	26.08	26.07	37.14	37.08	63.22	63.16	37.25	36.97
	0.5	26.11	26.08	37.17	37.11	63.28	63.19	37.29	36.98
	0.6	26.14	26.09	37.20	37.13	63.34	63.23	37.33	37.00
	0.7	26.17	26.10	37.23	37.16	63.40	63.26	37.38	37.01
	0.8	26.20	26.11	37.26	37.18	63.46	63.30	37.42	37.03
VN	0.4	15.46	15.50	42.45	42.37	57.91	57.87	42.62	42.21
	0.5	15.47	15.50	42.49	42.40	57.96	57.90	42.67	42.22
	0.6	15.49	15.51	42.52	42.43	58.02	57.93	42.72	42.23
	0.7	15.51	15.51	42.56	42.46	58.07	57.96	42.77	42.24
	0.8	15.53	15.51	42.60	42.48	58.12	58.00	42.83	42.25
RS	0.4	13.67	13.75	49.56	49.41	63.20	63.12	37.25	36.97
	0.5	13.68	13.76	49.60	49.44	63.25	63.15	37.29	36.98
	0.6	13.69	13.76	49.65	49.47	63.31	63.18	37.33	37.00
	0.7	13.71	13.77	49.69	49.50	63.36	63.20	37.38	37.01
	0.8	13.72	13.74	49.74	49.53	63.41	63.23	37.42	37.03

3) 供应链成员收益的比较分析

从图 2 ~ 图 7 可以看出: a. 对于山东烟台的苹果专业合作社来说,在 SS 情形下,其利润最大;

对于陕西洛川的苹果专业合作社来说,在 VN 情形下,其利润最大。这是由于洛川苹果品质要劣于烟台苹果,在 SS 情形中洛川苹果供应商与烟台苹

果供应商比较,处于弱势地位. b. 对非合作竞争性供应链结构而言,两家苹果供应商之间的竞争越激烈,即差异性越小,供应商获取的利润值越小,而沃尔玛超市销售这两种产品的利润越大. c. 零售商在 RS 情形下获得的利润值最大,在 SS 情形下获得的利润值最小.

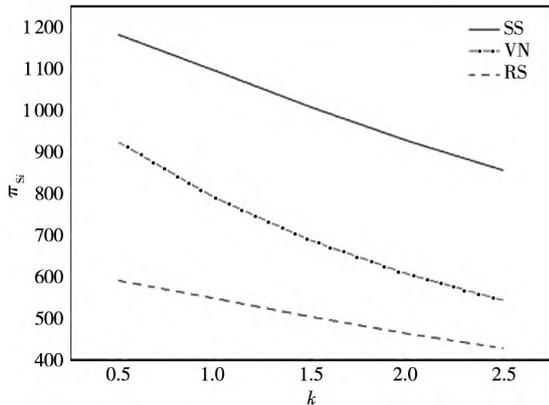


图 2 k 对供应商 S_i 利润的影响

Fig. 2 Effect of k on the profit of supplier S_i

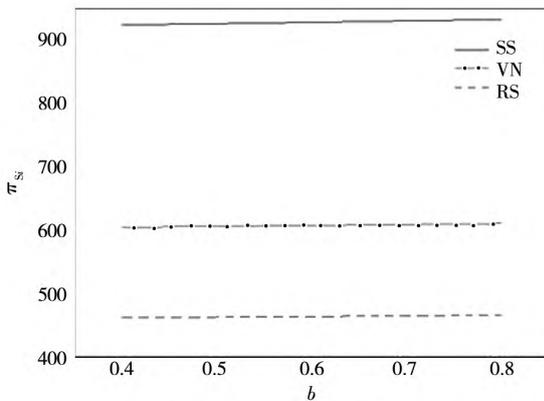


图 3 b 对供应商 S_i 利润的影响

Fig. 3 Effect of b on the profit of supplier S_i

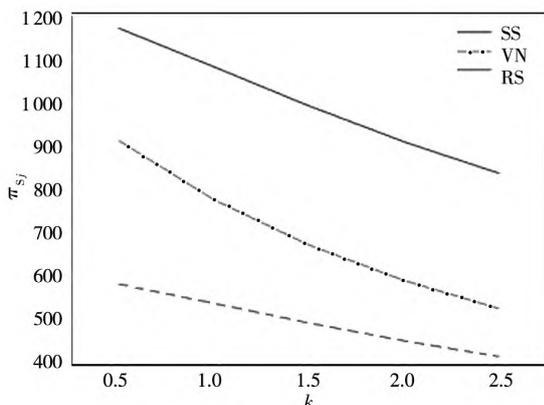


图 4 k 对供应商 S_j 利润的影响

Fig. 4 Effect of k on the profit of supplier S_j

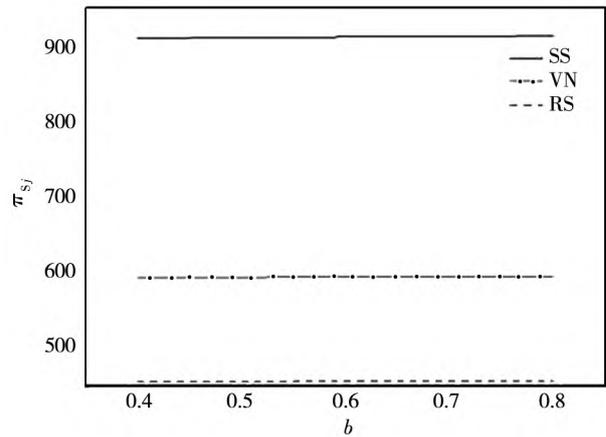


图 5 b 对供应商 S_j 利润的影响

Fig. 5 Effect of b on the profit of supplier S_j

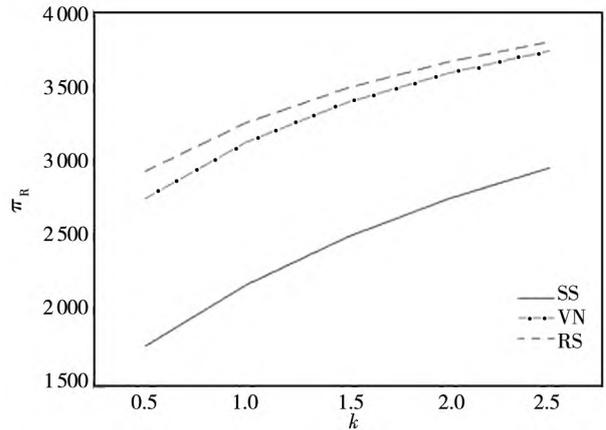


图 6 k 对零售商 R 利润的影响

Fig. 6 Effect of k on the profit of retailer R

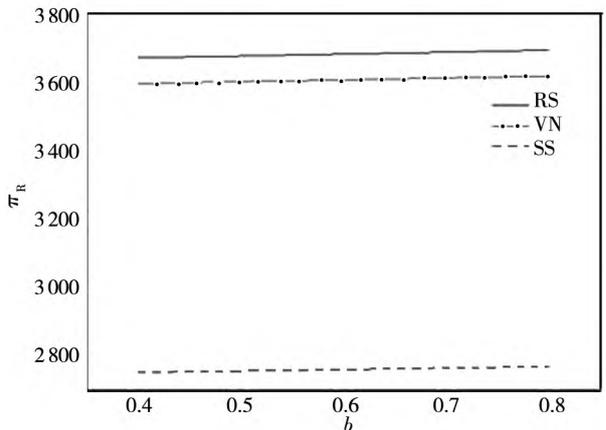


图 7 b 对零售商 R 利润的影响

Fig. 7 Effect of b on the profit of retailer R

通过以上的分析可以看出,无论生鲜农产品供应链领导结构如何,当供应链达到稳定状态时,提供较高新鲜度生鲜农产品的供应商的利润要高于提供较低新鲜度生鲜农产品的供应商的利润,

也就是说, 供应商通过合理途径改善生鲜农产品品质可以获取一定的优势。

5 结束语

本文针对两家竞争性供应商和一家零售商组成的生鲜农产品供应链, 研究了生鲜农产品供应商的竞争性及消费者新鲜度偏好程度等因素对生鲜农产品供应链最优决策的影响。针对不同的权力结构, 分3种情形建立了相应的两阶段博弈模型, 并进行了相关分析, 通过算例进一步研究了不同情形下相关因素对生鲜农产品供应链最优决策的影响。研究表明: 1) 在SS情形下, 零售商总是偏好新鲜度高的生鲜农产品, 尽管高新鲜度生鲜农产品的批发价格也较高, 但可从中获取较高的边际利润, 而非是较多的需求量; 当两竞争性供应商的产品品质差异值高于临界值时, 零售商会向低品质供应商订货; 否则, 零售商会向高品质供应商订货。2) 在VN情形下, 当竞争方供应商提供的生鲜农产品新鲜度较高时, 供应商会降低其生鲜农产品批发价格, 零售商则会增加其生鲜农产品的边际利润, 生鲜农产品的市场零售价格降低, 即边际利润的增加量少于批发价格的减少量; 生鲜农产品品质提升导致批发价格上升时, 并不一定

伴随着销售价格的上升, 且产品品质提高导致批发价格上升的阈值大于产品品质导致销售价格上升的阈值; 两供应商之间的竞争越激烈, 均衡时的批发价也就越低, 但零售商边际利润越高。3) 在RS情形下, 零售商获取生鲜农产品的边际利润与两家供应商生鲜农产品的替代性无关, 仅与生鲜农产品自身的品质有关; 供应商提供的生鲜农产品新鲜度越高, 零售商获取的该生鲜农产品边际利润也就越高, 而竞争方供应商边际利润不变。4) 3种情形下, 两家生鲜农产品之间的竞争越激烈, 均衡时的批发价也就越低, 但零售商边际利润越高。当生鲜农产品的品质较高时, SS情形下, 供应商的利润高于RS情形下的利润。当生鲜农产品的品质较低但高于临界值时, 供应商的利润在SS情形下仍然最高, 但在RS情形下最低, VN情形下介于两者中间; 当生鲜农产品的品质较低且低于临界值时, 供应商的利润在SS情形下最高, VN情形下最低, RS情形下介于两者中间。

在未来的研究中, 本文将从以下几个方面展开: 1) 考虑策略性消费者下生鲜农产品供应链的决策; 2) 考虑市场需求具有随机性的情况对供应链决策的影响; 3) 考虑由一家供应商和多家零售商组成的生鲜农产品供应链系统下供应链决策的情况。

参考文献:

- [1] 杨亚, 范体军, 张磊. 新鲜度信息不对称下生鲜农产品供应链协调[J]. 中国管理科学, 2016, 24(9): 147-155.
Yang Ya, Fan Tijun, Zhang Lei. Coordination of fresh agricultural supply chain with asymmetric freshness information[J]. Chinese Journal of Management Science, 2016, 24(9): 147-155. (in Chinese)
- [2] 郑琪, 范体军. 考虑风险偏好的生鲜农产品供应链激励契约设计[J]. 管理工程学报, 2018, 32(2): 171-178.
Zheng Qi, Fan Tijun. Design of incentive contract for fresh agricultural products supply chain considering risk preference[J]. Journal of Industrial Engineering and Engineering Management, 2018, 32(2): 171-178. (in Chinese)
- [3] Cai X Q, Chen J, Xiao Y B, et al. Optimization and coordination of fresh product supply chains with freshness-keeping effort[J]. Production and Operations Management, 2010, 19(3): 261-278.
- [4] 刘墨林, 但斌, 马崧萱. 考虑保鲜努力与增值服务的生鲜电商供应链最优决策与协调[J]. 中国管理科学, 2020, 28(8): 76-88.
Liu Molin, Dan Bin, Ma Songxuan. Optimal strategies and coordination of fresh e-commerce supply chain considering freshness-keeping effort and value-added service[J]. Chinese Journal of Management Science, 2020, 28(8): 76-88. (in Chinese)
- [5] 郑琪, 范体军, 张磊. “农超对接”模式下生鲜农产品收益共享契约[J]. 系统管理学报, 2019, 28(4): 742-751.
Zheng Qi, Fan Tijun, Zhang Lei. Research on revenue-sharing contract of fresh products supply chain under “farming-super-

- market docking” mode [J]. *Journal of System & Management*, 2019, 28(4): 742 – 751. (in Chinese)
- [6] Avinadav T, Cheronog T, Lahav Y, et al. Dynamic pricing and promotion expenditures in an EOQ model of perishable products [J]. *Annals of Operations Research*, 2017, 248(1): 75 – 91.
- [7] 浦徐进, 金德龙. 生鲜农产品供应链的运作效率比较: 单一“农超对接”vs. 双渠道 [J]. *中国管理科学*, 2017, 25(1): 98 – 105.
- Pu Xujin, Jin Delong. The operational efficiency measurement of agri-food supply chains: The single “farmer-supermarket direct purchase” vs. dual channel [J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2017, 25(1): 98 – 105. (in Chinese)
- [8] Yang L, Tang R H. Comparisons of sales modes for a fresh product supply chain with freshness-keeping effort [J]. *Transportation Research Part E*, 2019, 125: 425 – 448.
- [9] Khan M A, Shaikh A A, Konstantaras I, et al. Inventory models for perishable items with advanced payment, linearly time-dependent holding cost and demand dependent on advertisement and selling price [J]. *International Journal of Production Economics*, 2020, 230(4): 1 – 18.
- [10] Chen X, Zhan P, Pan L. Coordinating inventory control and pricing strategies for perishable products [J]. *Operations Research*, 2014, 62(2): 284 – 300.
- [11] Li S, Zhang J, Tang W. Joint dynamic pricing and inventory control policy for a stochastic inventory system with perishable products [J]. *International Journal of Production Research*, 2015, 53(10): 2937 – 2950.
- [12] Ouyang L Y, Wu K S, Yang C T, et al. Optimal order policy in response to announced price increase for deteriorating items with limited special order quantity [J]. *International Journal of Systems Science*, 2016, 47(3): 718 – 729.
- [13] 郑宇婷, 李建斌, 陈植元, 等. 不确定需求下的冷链分销商最优决策 [J]. *管理科学学报*, 2019, 22(1): 94 – 106.
- Zheng Yuting, Li Jianbin, Chen Zhiyuan, et al. Optimal decisions of cold chain distributor under uncertain in demand [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2019, 22(1): 94 – 106. (in Chinese)
- [14] 金伟, 骆建文. 竞争环境下面向资金约束供应商的均衡补偿策略 [J]. *系统工程理论与实践*, 2016, 36(11): 2829 – 2838.
- Jin Wei, Luo Jianwen. Equilibrium subsidy strategies for the capital-constrained supplier under competition [J]. *Systems Engineering: Theory & Practice*, 2016, 36(11): 2829 – 2838. (in Chinese)
- [15] 牛文举, 夏晶, 汤伟, 等. 市场竞争中具溢出效应共同供应商质量投资策略 [J]. *管理工程学报*, 2017, 31(2): 222 – 232.
- Niu Wenju, Xia Jing, Tang Wei, et al. Quality investment in a shared supplier with spillover effects in a competitive market [J]. *Journal of Industrial Engineering and Engineering Management*, 2017, 31(2): 222 – 232. (in Chinese)
- [16] Pi Z Y, Fang W G, Zhang B F. Service and pricing strategies with competition and cooperation in a dual-channel supply chain with demand disruption [J]. *Computers & Industrial Engineering*, 2019, 138(2): 106 – 130.
- [17] Fan Z P, Huang S, Wang X H. The vertical cooperation and pricing strategies of electric vehicle supply chain under brand competition [J]. *Computers & Industrial Engineering*, 2020, 152(4): 106968.
- [18] Jin D, Caliskan-Demirag O, Chen F Y, et al. Omnichannel retailers’ return policy strategies in the presence of competition [J]. *International Journal of Production Economics*, 2020, 225: 1 – 14.
- [19] Yang R, Ma L. Two-part tariff contracting with competing unreliable suppliers in a supply chain under asymmetric information [J]. *Annals of Operations Research*, 2017, 2015(1): 1 – 31.
- [20] 王宇, 于辉. 市场竞争下企业股权融资的供应链模型分析 [J]. *管理科学学报*, 2020, 23(1): 113 – 126.
- Wang Yu, Yu Hui. Supply chain modeling analysis of enterprise equity financing under market competition [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2020, 23(1): 113 – 126. (in Chinese)
- [21] 郑本荣, 杨超, 杨珺, 等. 产品再制造、渠道竞争和制造商渠道入侵 [J]. *管理科学学报*, 2018, 21(8): 98 – 111.
- Zheng Benrong, Yang Chao, Yang Jun, et al. Product remanufacturing, channel competition and manufacturer encroachment [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2018, 21(8): 98 – 111. (in Chinese)
- [22] 李晓静, 艾兴政, 唐小我. 基于交叉销售的竞争供应链纵向契约研究 [J]. *管理科学学报*, 2016, 19(10): 117 – 126.
- Li Xiaojing, Ai Xingzheng, Tang Xiaowo. Contracting under competing supply chains with cross sales [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2016, 19(10): 117 – 126. (in Chinese)

- [23]孙自来,王旭坪,詹红鑫,等. 不同权力结构下制造商双渠道供应链的博弈分析[J]. 中国管理科学,2020,28(9):154-163.
Sun Zilai, Wang Xuping, Zhan Hongxin, et al. Game analysis in a manufacturer dual-channel supply chain with different power structures[J]. Chinese Journal of Management Science, 2020, 28(9): 154-163. (in Chinese)
- [24]公彦德,达庆利. 闭环供应链主导模式与物流模式的组合研究[J]. 管理科学学报,2015,18(10):14-25.
Gong Yande, Da Qingli. Research on combinations of closed-loop supply chain dominant mode and logistics mode[J]. Journal of Management Sciences in China, 2015, 18(10): 14-25. (in Chinese)
- [25]王旭坪,孙自来,詹红鑫. 不同权力结构对跨境电商双渠道供应链的影响[J]. 系统工程学报,2017,32(3):385-396.
Wang Xuping, Sun Zilai, Zhan Hongxin. Impact of different game power structures on the cross-border e-retailer dual-channel retail supply chain[J]. Journal of Systems Engineering, 2017, 32(3): 385-396. (in Chinese)
- [26]Tang R H, Yang L. Impacts of financing mechanism and power structure on supply chains under cap-and-trade regulation[J]. Transportation Research Part E, 2020, 139: 101-127.
- [27]Zhang S Y, Wang C X, Yu C, et al. Governmental cap regulation and manufacturer's low carbon strategy in a supply chain with different power structures[J]. Computers & Industrial Engineering, 2019, 134: 27-36.
- [28]Zheng B, Yang C, Yang J, et al. Dual-channel closed loop supply chains: Forward channel competition, power structures and coordination[J]. International Journal of Production Research, 2017, 55(12): 3510-3527.
- [29]Yu M, Nagurney A. Competitive food supply chain networks with application to fresh produce[J]. European Journal of Operational Research, 2013, 224(2): 273-282.
- [30]Liu Z L, Anderson T D, Cruz J M. Consumer environmental awareness and competition in two-stage supply chains[J]. European Journal of Operational Research, 2012, 218(3): 602-613.

Supply chain decisions for fresh products with competitive suppliers under different power structures

FAN Ti-jun¹, ZHENG Qi^{2*}, CAI Lu¹

1. School of Business, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China;
2. School of Management, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China

Abstract: This paper considers a fresh product supply chain consisting of one retailer and two competitive suppliers with different consumers freshness preferences. A two-stage game model of the supply chain under three power structures are examined: where the supplier is the Stackelberg leader (referred as SS), where there is no leader (referred as VN) and where the retailer is the Stackelberg leader (referred as RS). The results show that: (1) In the scenario of SS, the retailer will order from the low-quality supplier when the quality difference between the two suppliers products is higher than a threshold. (2) In the scenario of VN, the increase of fresh product's quality leads to an increase in the wholesale price, but it will not necessarily cause the increase of the selling price. (3) In the scenario of RS, the retailer will obtain more marginal profit from fresh products if the suppliers provide fresher products, while the marginal profit of competitive suppliers will remain unchanged. (4) According to the comparative analysis, when the quality of the fresh product is lower than the critical value, the supplier's profit in the VN case is the lowest, and the competitive supplier's profit in the SS case is higher than the RS case.

Key words: supply chain decisions; fresh products; power structures; competitive suppliers