

黄芳, 宋寒, 郑循刚. 质量兴农下考虑投资补贴的农产品供应链协调 [J]. 广东农业科学, 2019, 46(4): 156-164.

质量兴农下考虑投资补贴的农产品供应链协调

黄芳^{1,2}, 宋寒¹, 郑循刚²

(1. 重庆理工大学管理学院, 重庆 400054; 2. 四川农业大学管理学院, 四川 成都 611130)

摘要:【目的】针对农产品供应链质量管理中的双重边际化、质量投资不足问题,探讨了公司作为供应链主导方、农户决定农产品质量水平情况下,农户、公司构成的二级农产品供应链的质量协调问题。【方法】运用动态博弈理论分析了集中决策下的供应链均衡结果,以及传统批发价契约下的供应链决策,在此基础上应用博弈理论、最优化理论设计了质量投资补贴契约。【结果】批发价契约下供应链的最优质量水平、供应链总利润均低于集中决策下的情形;投资补贴契约下,农产品最优质量水平等于集中决策下的质量水平,最优价格与批发价正相关,最优质量、最优价格、公司利润均大于传统批发价契约下的均衡结果,农户利润则不变。研究也发现,质量需求弹性越大、质量投资系数越小的农产品,采用投资补贴契约后、公司的利润提升越大。【结论】投资补贴契约下的农产品供应链,相比批发价契约能够得到帕累托改进,同时农产品质量投资也将得到更好的激励。

关键词: 农产品供应链协调; 质量提升; 投资补贴; 斯坦伯格博弈; 库恩-塔克条件

中图分类号: F272

文献标志码: A

文章编号: 1004-874X(2019)04-0156-09

Coordination of Agricultural Product Supply Chain with Consideration on Investment Subsidy Under the Strategy of Prospering Agriculture by Improving Quality

HUANG Fang^{1,2}, SONG Han¹, ZHENG Xungang²

(1. School of Management, Chongqing University of Technology, Chongqing 400054, China;

2. School of Management, Sichuan Agricultural University, Chengdu 611130, China)

Abstract: 【Objective】 Aiming at double marginalization and insufficient quality investment in the quality management of agricultural product supply chain, this paper probed into the quality coordination of the secondary agricultural product supply chain formed by the companies as the leading party of the supply chain and farmers households as the party that decides the quality level of agricultural products. 【Method】 The equilibrium results of supply chain under the centralized decision and the supply chain decision under the traditional wholesale price contract were analyzed by dynamic game theory. On this basis, the quality investment subsidy contract was designed by using game theory and optimization theory. 【Result】 It was found that both the optimal quality level and the total profit of the supply chain under the wholesale price contract were lower than those under the centralized decision. Under the investment subsidy contract, the optimal quality of agricultural products was equal to the quality under the centralized decision, the optimal price was positively correlated to wholesale price, and the optimal quality, optimal price, and the companys' profits were greater than the equilibrium results under wholesale price contract while the farmers' profits remained the same. It was also observed that, for the agricultural products with higher quality demand elasticity and lower quality investment coefficient, the higher profits could be gained by the company after adopting the investment subsidy contract. 【Conclusion】 The supply chain of

收稿日期: 2018-12-14

基金项目: 国家社会科学基金(16CGL017); 重庆市教委科学技术研究项目(KJQN201801144)

作者简介: 黄芳(1979—),女,博士,讲师,研究方向为农产品供应链管理, E-mail: huangfang@cqut.edu.cn

agricultural products under the investment subsidy contract can gain Pareto improvement compared with the wholesale price contract, and the investment in the quality of agricultural products will be better encouraged.

Key words: coordination of agricultural product supply chain; quality improvement; investment subsidy; Stackelberg game; Kuhn-Tucker conditions

【研究意义】2018年中央“一号文件”提出了乡村振兴的重大战略，乡村振兴的重点是产业兴旺，实现产业兴旺应推动农业由增产导向转向提质导向，“实施质量兴农战略”。据2017年国务院文件，“我国农业生产质量供给的短板日益凸显”，落实质量兴农战略，全面提高农产品供给质量，成为当前亟需解决的重要问题。由于农产品质量具有多维属性，质量确认难度高，易导致短期交易中的信息不对称、市场失灵，因此，单靠短期市场交易中的农户或农业企业，很难满足消费者高品质农产品的需求。订单农业（公司+农户）下的农产品供应链管理是全面提高农产品质量的重要途径^[1]。然而，“公司+农户”的农产品供应链在运营中，由于其交易契约为不完全契约^[2-3]，在农户和公司分散决策的过程中，为了规避敲竹杠风险，农户往往难以投入充足的质量提升投资^[4-5]。因此，在“公司+农户”的农产品供应链质量管理中，存在双重边际化、质量投资不足等问题，有必要对这一问题展开研究，以提升农产品供应链的稳定性、协调性及质量水平。

【前人研究进展】近年来，农产品供应链协调问题的研究逐渐成为国内外研究热点。如Wang等^[6]探讨了买入期权契约在农户-公司农产品供应链中的应用，研究发现组合契约能够实现生鲜供应链的协调。针对农产品供应商、第三方物流商、零售商构成的三级供应链，Yu等^[7]探讨了不同供应链主导权下的物流水平决策、定价决策及各方利润；冯颖等^[8]进一步探讨了随机产出与随机需求下、需求依赖于物流服务水平三级农产品供应链的决策协调问题。上述文献研究了农产品供应链的契约协调问题，但均未涉及农产品供应链质量管理的相关问题。农产品供应链的质量管理是国内外学者的研究热点，一些文献应用理论模型研究了农产品供应链的质量协调问题。如陈小霖^[9]探讨了保障农产品质量的供应链收益分配机制，其研究主要基于静态的边际分析，并未考虑供应链各方决策的互动博弈。应用博弈方

法，但斌等^[10]探讨了生产商的努力水平影响农产品质量、需求下的供应链决策，并设计了“风险分担+回购”协调契约，但并未探讨农产品质量改进的相关问题。针对食品供应链的质量安全管理问题，借助系统动力学仿真模型，杨浩雄等^[11]发现生产监管投入比流通监管投入对提高农产品质量更有效；Song等^[12]应用博弈方法，探讨了政府、企业、农户三方博弈下的农产品质量安全决策，并提出了治理结构策略；许民利等^[13]研究发现政府惩罚搭便车行为、补贴质量投入产出比低的成员，能激励质量投入。上述文献主要关注外部治理问题，并未深入探讨供应链内部的质量协调机制。还有一些文献研究了农产品供应链质量管理的内部协调机制，如闻卉等^[14]基于农超对接供应链，探讨了供应商与零售商通过质量控制努力、质量检测努力影响需求的供应链博弈决策；熊峰等^[15]研究了批发价契约下合作社、零售企业的公平偏好对双方质量投入、批发价等供应链决策的影响。上述两篇文献均应用博弈方法，分析了农户-企业二级供应链中的内部质量管理问题，其协调机制主要基于批发价契约或收益共享契约，均未引入投资或成本分担机制，更未考虑到供应链中的质量投资不足问题。针对“农超对接”二级供应链的质量改进，姚冠新等^[16]研究发现超市分担质量改进成本可以激励农户的质量改进，但没有设计出具体的质量改进成本分担契约。

【本研究切入点】现有文献中仅有两篇将供应链投资或成本分担机制纳入供应链质量协调的研究。崔丽等^[17]探讨了农户为供应链主导方、超市为跟随者时，“农超对接”供应链的质量控制成本分担机制，发现其能够提高农产品质量、供应链利润。郑琪等^[18]则将农产品供应链中的质量安全投入激励纳入供应链协调机制，发现在收益分成契约中引入合作社对超市的质量安全设施投入补贴后，供应链双方的利润均能获得提高。但上述文献并未关注农产品质量提升的关键和基础环节—农户的质量提升投资（如选育良种、投

入生产设施设备投资),更未探讨实践中广泛存在的公司(如超市、网销企业等)作为供应链核心时其对农户质量提升投资的激励。本研究以农产品供应链质量提升中的投资激励为切入点,探讨公司作为农产品供应链的核心企业时,其对农户的质量提升投资激励。【拟解决的关键问题】探讨“公司+农户”农产品供应链的质量提升协调机制,考虑农产品质量和市场价格影响农产品需求下,公司和农户的博弈决策,以建立农产品质量投资激励机制、提升农产品质量、促进供应链的协调。

1 基本模型假设

本研究构建了单一农户和单个公司组成的两级农产品供应链,这里的“单一”既指小农户、家庭农场,也指农业合作社,其中农户通过公司销售定制化的农产品,公司则指超市、农产品网销企业等各类面向最终消费者的零售企业。生产周期开始前,公司确定农产品将以零售价格 p 在零售市场上销售,农户决定产出质量为 y 的农产品,农产品产出后市场需求将为 d ;为此,农户以 c_s 的单位成本投入 d 单位的产品进行生产,到收获期后,公司以事先商定的批发价格 w 向农户收购农产品 d 单位。

1.1 模型及变量说明

(1) 假定农户和公司都是风险中性和完全理性的,且信息是对称的(双方均知晓该定制化农产品的市场需求函数等相关信息)。

(2) 考虑到定制化农产品市场具有一定的垄断性,采用线性需求函数描述市场对农产品的需求^[19-20]:

$$d = a - kp + \beta y \quad (1)$$

式中,参数 a 、 k 、 $\beta > 0$,且 a 为市场容量, k 、 β 分别为市场需求对价格 p 、产品质量 y 的敏感系数。

(3) 鉴于公司先确定价格 p ,农户在确定农产品质量 y 后,根据需求函数 $d = a - kp + \beta y$ 可以知晓农产品未来的市场需求,以未来的市场需求作为产量投入进行生产,那么可以认为不存在缺货成本和剩余成本(不考虑生产的不确定性、市场的波动),因此模型对缺货成本和剩余成本不加以考虑。

(4) 为简化模型,假定行业最低农产品质

量水平为0,为提高农产品质量到 $y (> 0)$,农户需要投入质量投资成本为 $\frac{1}{2}\beta_s y^2$ ^[18-19]。

(5) 农产品在最低质量水平下,保本销售时有一定的市场需求,也就是 $a - kc_s > 0$ 。

1.2 供应链系统有效性的基本条件

农户-公司的二级农产品供应链必须满足系统有效性的基本条件,即供应链在集中决策下存在最优解。

集中决策下,供应链总利润可以表示为:

$$\pi_{scj} = (p_j - c_s)(a - kp_j + \beta y_j) - \frac{1}{2}\beta_s y_j^2 \quad (2)$$

对 π_{scj} 求 p_j 、 y_j 的二阶导数,得到 $\frac{d^2\pi_{scj}}{dp_j^2} = -2k < 0$,

$\frac{d^2\pi_{scj}}{dy_j^2} = -\beta_s < 0$,进一步计算得到海塞矩阵为 $\begin{vmatrix} -2k & \beta \\ \beta & -\beta_s \end{vmatrix} = 2k\beta_s - \beta^2$,集中决策下供应链利润为 p_j 、 y_j

的联合凹函数的条件是海塞矩阵大于0,因而必须有 $\beta_s > \frac{\beta^2}{2k}$,得供应链的最优解为:

$$y_j = \frac{\beta}{2k\beta_s - \beta^2}(a - kc_s) \quad (3)$$

$$p_j = c_s + \frac{(a - kc_s)\beta_s}{2k\beta_s - \beta^2} \quad (4)$$

根据模型的基本假设,有 $y_j \geq 0$, $p_j > w$,由 $a > kc_s$ 可知满足 $y_j \geq 0$ 的条件,由于还需 $p_j > w$,因此还需满足 $(a - k(2w - c_s))\beta_s + \beta^2(w - c_s) > 0$,也就是批发价需满足 $C_s < w < C_s + \frac{\beta_s}{2k\beta_s - \beta^2}(a - kc_s)$ 。

将式(3)、式(4)代入式(2)可得最优供应链利润为:

$$\pi_{scj}^* = \frac{\beta_s(a - kc_s)^2}{2(2k\beta_s - \beta^2)} \quad (5)$$

2 基础模型—批发价格契约下的农产品供应链

探讨在传统批发价契约下农产品供应链的均衡决策。为区分不同的契约环境,利润函数及2个决策变量的下标加上“ w ”以表示批发价契约,市场需求函数仍然符合公式(1)。批发价契约下,农户及公司的利润可分别表示为:

$$\pi_{mw} = (w - c_s)(a - kp_w + \beta y_w) - \frac{1}{2}\beta_s y_w^2 \quad (6)$$

$$\pi_{rw} = (p_w - w)(a - kp_w + \beta y_w) \quad (7)$$

公司-农户的决策过程是斯坦伯格博弈,公司是斯坦伯格博弈的领导者,而农户是跟随者,应用逆向归纳法求解。对式(6)求 y_w 的二阶导数得 $\frac{d^2\pi_{mw}}{dy_w^2} = -\beta_s < 0$,满足二阶条件,进一步对式(6)

求 y_w 一阶导数并令其为 0, 得:

$$y_w^* = \frac{(w-c_s)\beta}{\beta_s} \quad (8)$$

根据基本假设, 有 $p_w > w > c_s > 0$, 显然 $y_w^* > 0$, 将 y_w^* 代入式 (7), 并对 π_{rw} 求 p_w 的二阶导数得到 $\frac{d^2\pi_{rw}}{dp_w^2} = -2k < 0$, 满足二阶条件, 进一步对其求 p_w 的一阶导数并令其为零, 得:

$$p_w^* = \frac{w}{2} + \frac{a}{2k} + \frac{\beta^2}{2k\beta_s}(w-c_s) \quad (9)$$

将式 (8) ~ 式 (9) 代入式 (6) ~ 式 (7), 得到最优农户利润和最优公司利润分别为:

$$\pi_{mw}^* = \frac{(w-c_s)(a-kw)}{2} \quad (10)$$

$$\pi_{rw}^* = \frac{[(a-kw)\beta_s + \beta^2(w-c_s)]^2}{4k\beta_s^2} \quad (11)$$

命题 1: 批发价契约下, 农产品的最优质量水平是 $y_w^* = \frac{\beta}{\beta_s}(w-c_s)$, 最优市场价格是 $p_w^* = \frac{w}{2} + \frac{a}{2k} + \frac{\beta^2}{2k\beta_s}(w-c_s)$, 农户的最优利润是 $\pi_{mw}^* = \frac{(w-c_s)(a-kw)}{2}$, 公司的最优利润是 $\pi_{rw}^* = \frac{[(a-kw)\beta_s + \beta^2(w-c_s)]^2}{4k\beta_s^2}$ 。批发价契约下的最优质量水平、供应链总利润均低于集中决策下的情形。

证明:

将批发价契约下的均衡结果与集中决策下的均衡结果进行比较, 发现 $y_j^* - y_w^* = \frac{\beta}{(2\beta_s k - \beta^2)\beta_s} \times \{[(a-k(2w-c_s))\beta_s + \beta^2(w-c_s)]\}$, 根据 1.2 中供应链有效性需满足的基本条件 $(a-k(2w-c_s))\beta_s + \beta^2(w-c_s) > 0$, 不难发现有 $y_j^* - y_w^* > 0$, 因此集中决策下的农产品质量水平高于批发价契约下的质量水平。

将批发价契约下的均衡利润与集中决策下的均衡利润进行比较, 发现 $\pi_{scj}^* - (\pi_{rp}^* + \pi_{rp}^*) = [4(2k\beta_s - \beta^2)k\beta_s^2]^{-1} \times \{2k^3(w-c_s)^2\beta_s^3 + (a+k(2c_s-3w))(a-kw)\beta^2\beta_s^2 + 2(w-c_s)(a+k(c_s-2w))\beta^4\beta_s\beta^6(w-c_s)^2\}$, 由于上式是关于 w 的凸函数, 其最小值为 $\frac{\beta^2\beta_s^2k(a-kc_s)^2}{4(k^2\beta_s^2 + 2k\beta^2\beta_s - \beta^4)(2k\beta_s - \beta^2)} > 0$, 因此 $\pi_{scj}^* - (\pi_{rp}^* + \pi_{rp}^*) > 0$, 也就是说集中决策下的总利润大于批发价契约下的利润水平。证毕。

由命题 1 发现, 批发价契约下, 农产品质量水平、市场价格均随着批发价增长而提高。

进一步分析农户的最优利润发现, $\frac{d^2\pi_{mw}^*}{dw^2} = -k < 0$, 令 $\frac{d\pi_{mw}^*}{dw} = 0$ 得 $w_{mw} = c_s + \frac{a-kc_s}{2k}$, 显然有 $w_{mw} \in \left(c_s, c_s + \frac{\beta_s(a-kc_s)}{2k\beta_s - \beta^2}\right)$, 即 w_{mw} 恰好处于

批发价可行域中, 随着批发价的增长, 农户的利润将先增长后下降。分析公司的最优利润, 发现 $\frac{d^2\pi_{rw}^*}{dw^2} = \frac{(k\beta_s - \beta^2)^2}{2k\beta_s^2} > 0$, 令 $\frac{d\pi_{rw}^*}{dw} = 0$ 容易得到 $w_{rw} = c_s + \frac{\beta_s(a-kc_s)}{k\beta_s - \beta^2}$, 因此有: $\beta_s \geq \frac{\beta^2}{k}$ 时, $w_{rw} \geq c_s + \frac{\beta_s(a-kc_s)}{2k\beta_s - \beta^2}$, 因此公司的利润将随着批发价的增长而下降; $\beta_s < \frac{\beta^2}{k}$ 时, $w_{rw} \leq c_s$, 因此公司的利润将随着批发价的增长而增长。

同时, 由 $\pi_{scw}^* = \frac{[(a-kw)\beta_s + \beta^2(w-c_s)]^2}{4k\beta_s^2} + \frac{(w-c_s)(a-kw)}{2}$, 得 $\frac{d^2\pi_{scw}^*}{dw^2} = -\frac{\beta^2(2k\beta_s - \beta^2) + k^2\beta_s^2}{2k\beta_s^2} < 0$, 令 $\frac{d\pi_{scw}^*}{dw} = 0$ 得 $w_{scw} = c_s + \frac{(a-kc_s)\beta^2\beta_s}{k^2\beta_s^2 + \beta^2(2k\beta_s - \beta^2)}$, 易得 $w_{scw} \in \left(c_s, c_s + \frac{\beta_s(a-kc_s)}{2k\beta_s - \beta^2}\right)$, 也就是说, 随着批发价的增长, 供应链的总利润将先增长后下降。另一方面, 可以发现 $\beta_s \geq \frac{\beta^2}{k}$ 时 $w_{scw} \leq w_{mw}$, $\beta_s < \frac{\beta^2}{k}$ 时 $w_{scw} > w_{mw}$, 由 1.2 供应链系统有效性的基本条件 $\beta_s > \frac{\beta^2}{2k}$, 因此批发价契约下, 公司、农户以及供应链利润与批发价的关系如表 1 所示。

推论 1: 批发价契约下, 农产品最优质量水平及最优市场价格均随批发价的增长而增长、随质量投资系数的增大而降低; 当质量投资系数大于某阈值时, 最优公司利润将随批发价的提高而降低, 当质量投资系数小于某阈值时, 公司利润将随着批发价的提高而提高; 同时, 最优农户利润随着批发价的增长将先增长后下降。

从推论 1 可以发现, 批发价契约下, 当质量投资系数较大、质量需求弹性较小时, 公司降低批发价将能够提高利润, 反之, 公司提高批发价将能够提高利润。而农户的利润也并非与批发价完全正相关或负相关, 农户利润随着批发价的增长先增长后下降。

3 扩展模型—质量投资补贴下的供应链博弈

鉴于批发价契约下, 农产品供应链的最优质量水平、供应链利润均低于集中决策下的情形, 为了激励决策方(农户)提高质量水平, 同时考虑到农户提高农产品质量水平需要一定的质量投

鉴于批发价契约下, 农产品供应链的最优质量水平、供应链利润均低于集中决策下的情形, 为了激励决策方(农户)提高质量水平, 同时考虑到农户提高农产品质量水平需要一定的质量投

表 1 批发价契约下, 公司利润、农户利润、供应链利润与批发价 w 的关系
Table 1 Relationship between company's profit, farmer's profit, supply chain profit and wholesale price w under wholesale price contract

β_s 取值范围 Value range of β_s and w	公司利润与 w 的关系 Relationship of company's profit and w	农户利润与 w 的关系 Relationship of farmer's profit and w	供应链利润与 w 的关系 Relationship of supply chain profit and w	
$\beta_s > \frac{\beta^2}{2k}$	$w \in (c_s, w_{scw})$	递减	递增	递增
	$w \in [w_{scw}, w_{mw})$	递减	递增	递减
	$w \in [w_{mw}, c_s + \frac{\beta_s(a-kc_s)}{2k\beta_s - \beta^2}]$	递减	递减	递减
$\beta_s \in (\frac{\beta^2}{2k}, \frac{\beta^2}{k})$	$w \in (c_s, w_{mw})$	递增	递增	递增
	$w \in [w_{mw}, w_{scw})$	递增	递减	递增
	$w \in [w_{scw}, c_s + \frac{\beta_s(a-kc_s)}{2k\beta_s - \beta^2}]$	递增	递减	递减

资, 这一投资具有较高的专用性、投资回收亦存在不确定性, 拟引入 (专用性) 投资补贴, 即公司为农户的质量投资提供比例为 τ 的投资补贴, 在此基础上构建投资补贴契约下的农产品供应链模型 [21-22]。此时, 公司需要加入一个决策变量 - 投资补贴率 τ , 具体的决策过程为: 生产周期开始前, 公司确定农产品将以零售价格 p 在零售市场上销售, 并确定为农户的质量投资提供比例为 τ 的投资补贴, 而农户则决策产出质量为 y 的农产品, 为此农户需要投入的质量投资成本为 y , 公司则需投入质量投资成本 d , 农产品产出后市场需求将为 $\frac{1}{2}(1-\tau)\beta_s y^2$; 到收获期后, 公司以事先商定的批发价格 w 向农户收购农产品 d 单位。

类似的, 利润函数以及 p 、 y 2 个决策变量的下标加上 “b” 以表示补贴契约, 此时, 农户和公司的利润分别为:

$$\pi_{nb} = (w - c_s)(a - kp_b + \beta y_b) - \frac{1}{2}(1 - \tau)\beta_s y_b^2 \quad (12)$$

$$\pi_{rb} = (p_b - w)(a - kp_b + \beta y_b) - \frac{1}{2}\tau\beta_s y_b^2 \quad (13)$$

公司 - 农户的决策过程仍然是斯坦伯格博弈, 公司为博弈的领导者, 应用逆向归纳法求解。对式 (12) 求 y_b 的二阶导数得到: $\frac{d^2\pi_{nb}}{dy_b^2} = -\beta_s < 0$, 满足二阶条件, 进一步对式 (12) 求 y_b 的一阶导数并令其为 0, 得到:

$$y_b = \frac{\beta}{\beta_s(1-\tau)}(w - c_s) \quad (14)$$

显然 $y_b \geq 0$, 满足约束条件, 将式 (14) 代入式 (13), 此时公司的最优化问题变为:

$$\begin{aligned} \text{Max}_{p_b, \tau} \pi_{rb} &= (p_b - w)(a - kp_b) + \frac{\beta^2}{\beta_s(1-\tau)}(w - c_s)p_b + \frac{\beta^2(w - c_s)}{2\beta_s(1-\tau)^2} \\ &\quad [(w + c_s)\tau - 2w] \\ \text{st: } &\begin{cases} w - p_b < 0 \\ \tau - 1 < 0 \\ -\tau \leq 0 \end{cases} \end{aligned} \quad (15)$$

求出上述最大化问题的海塞矩阵 (略), 由于其二阶行列式 $\frac{2k\beta^2(w - c_s)[(w - c_s)(2 + \tau) - 2(p_b - w)(1 - \tau)]}{\beta_s(1 - \tau)^4} - \left(\frac{\beta^2(w - c_s)}{\beta_s(1 - \tau)^2}\right)^2$ 符号不定, 因而海塞矩阵不定, 用库恩 - 塔克条件求解,

可算出其梯度为:

$$\begin{aligned} \nabla f(x) &= \begin{pmatrix} a - 2kp_b + kw + \frac{\beta^2(w - c_s)}{\beta_s(1 - \tau)} \\ \frac{\beta^2(w - c_s)[(1 + \tau)c_s - (2p_b - w)\tau - 3w + 2p_b]}{2\beta_s(1 - \tau)^3} \end{pmatrix} \\ \nabla g(x) &= (0, -1) \end{aligned} \quad (16)$$

进一步求出上述非线性规划问题的 $k-t$ 条件为:

$$\begin{cases} a - 2kp_b + kw + \frac{\beta^2(w - c_s)}{\beta_s(1 - \tau)} = 0 \\ \frac{\beta^2(w - c_s)[(1 + \tau)c_s - (2p_b - w)\tau - 3w + 2p_b]}{2\beta_s(1 - \tau)^3} + \gamma = 0 \\ \gamma(-\tau) = 0 \end{cases} \quad (17)$$

求得:

① 令 $\gamma^* \neq 0$, 则: $\tau = 0$, $p_b = \frac{a + kw}{2k} + \frac{\beta^2(w - c_s)}{2k\beta_s}$, 此时 $\gamma^* = \frac{\beta^2(w - c_s)[(a - 2kw + kc_s)\beta_s + \beta^2(w - c_s)]}{2k\beta_s^2}$, 又由 1.2 供

应链有效性的基本条件 $c_s < w < c_s + \frac{\beta_s}{2k\beta_s - \beta^2}(a - kc_s)$, 可

知 $\gamma^* > 0$ 显然成立, 另由于 $p_b - w = \frac{a - kw}{2k} + \frac{\beta^2(w - c_s)}{2k\beta_s} > 0$, 故约束条件 1 也满足, 因而此解可行, 目标函

数 $\pi_{rb} = \frac{[(a - kw)\beta_s + \beta^2(w - c_s)]^2}{4k\beta_s^2}$ 。

② 令 $\gamma^* = 0$, 则: $\tau = 1 - \frac{(w - c_s)(2k\beta_s - \beta^2)}{\beta_s(a - kc_s)}$, $p_b = \frac{2(a + kw)\beta_s - \beta^2(w + c_s)}{2(2k\beta_s - \beta^2)}$, 又由于最大化问题中的约

束 3, 因此须有 $\frac{(w-c_s)(2k\beta_s-\beta^2)}{\beta_s(a-kc_s)} < 1$, 根据 1.2 中供

应链有效性的条件 $c_s < w < c_s + \frac{\beta_s}{2k\beta_s-\beta^2}(a-kc_s)$, 条件 3

显然满足, 同时 $p_b - w = \frac{2(a-kw)\beta_s + \beta^2(w-c_s)}{2(2k\beta_s-\beta^2)} > 0$, 因此约束条件 1 也满足, 因而此解可行, 此时目标

$$\text{函数 } \pi_{rb} = \frac{2\beta_s(a-kw)^2 + \beta^2(w-c_s)(2a-k(w+c_s))}{4(2k\beta_s-\beta^2)}。$$

因此, $c_s < w < c_s + \frac{\beta_s}{2k\beta_s-\beta^2}(a-kc_s)$ 下, 该最大化问题有两个驻点。驻点 2 与 1 的目标函数差额为 $\pi_{rb2} - \pi_{rb1} = \frac{\beta^2((a-2kw+kc_s)\beta_s + \beta^2(w-c_s))^2}{4(2k\beta_s-\beta^2)k\beta_s^2} > 0$, 因而公司将选择目标函数 (公司利润) 最大的驻点 2 下的决策, 也即是说情形②下的解为投资补贴契约下的最优解。

将 $\tau^* = 1 - \frac{(w-c_s)(2k\beta_s-\beta^2)}{\beta_s(a-kc_s)}$ 代入式 (14) 求得投资补贴契约下的最优农产品质量为 $y_b^* = \frac{\beta}{2k\beta_s-\beta^2}(a-kc_s)$,

市场需求为 $d_b^* = \frac{k[2(a-kw)\beta_s + \beta^2(w-c_s)]}{2(2k\beta_s-\beta^2)}$, 上述结果代入

式 (12) 可求得 $\pi_{rb}^* = 1/2(a-kw)(w-c_s)$, 也可得到

$$\pi_{scb}^* = \pi_{nb}^* + \pi_{rb}^* = \frac{\beta_s(a-kc_s)^2}{2(2k\beta_s-\beta^2)} - \frac{1}{4}(w-c_s)^2 k。$$

命题 2: 投资补贴约下, 最优农产品质量

为 $y_b^* = \frac{\beta}{2k\beta_s-\beta^2}(a-kc_s)$, 最优零售价格为

$p_b^* = \frac{w}{2} + \frac{2\beta_s a - \beta^2 c_s}{2(2k\beta_s-\beta^2)}$, 最优投资补贴率为

, 最优农户利润为 $\pi_{nb}^* = \frac{1}{2}(a-kw)(w-c_s)$, 最优公司利润

为 $\pi_{rb}^* = \frac{2\beta_s(a-kw)^2 + \beta^2(w-c_s)(2a-k(w+c_s))}{4(2k\beta_s-\beta^2)}$ 。

根据命题 2, 分析上述指标与批发价 w 、质量投资系数 β_s 、需求敏感指数 ρ 的关系, 得表 2。

由表 2 发现, 最优投资补贴率随着批发价的上涨而降低, 最优农产品质量与批发价无关, 最优零售价格则随着批发价的上涨而上涨, 从而导

表 2 投资补贴契约下各决策指标的特征

Table 2 Characteristics of the decision indicators under investment subsidy contract

外生参数 Exogenous parameters	ρ_b^*	y_b^*	τ^*	d_b^*
与 w 的关系 Relationship with w	递增	无关	递减	递减
与 ρ 的关系 Relationship with ρ	递增	递增	递增	递增
与 β_s 的关系 Relationship with β_s	递减	递减	递减	递减

致市场需求也随着批发价的上涨而下降。

进一步分析最优公司利润、最优农户利润、

最优供应链利润, 不难发现 $\frac{d\pi_{rb}^*}{dw} = -\frac{1}{2}(a-kw) < 0$, 即公司利润随着批发价的上涨而降低; 同时 (与批发价契约时一致), 当 $c_s < w < c_s + \frac{a-kc_s}{2k}$ 时农户利润随着批发价的上涨而上涨, 当 $c_s + \frac{a-kc_s}{2k} \leq w < c_s + \frac{\beta_s(a-kc_s)}{2k\beta_s-\beta^2}$ 时农户利润随着批发价的上涨而下降; 而

$\frac{d\pi_{scb}^*}{dw} = -\frac{k}{2}(w-c_s) < 0$, 因此供应链利润随着批发价格的上涨而下降。因而, 可得到最优农户利润、最优公司利润、最优供应链利润与批发价的关系满足表 3。

表 3 投资补贴契约下, 公司利润、农户利润、供应链利润与 w 的关系

Table 3 Relationship between company's profit, farmer's profit, supply chain profit and wholesale price w under investment subsidy contract

w 的取值范围 Value range of w	公司利润 与 w 的关系 Relationship of company's profit and w	农户利润 与 w 的关系 Relationship of farmer's profit and w	供应链利润 与 w 的关系 Relationship of supply chain profit and w
$w \in \left(c_s, c_s + \frac{a-kc_s}{2k} \right)$	递减	递增	递减
$w \in \left[c_s + \frac{a-kc_s}{2k}, c_s + \frac{\beta_s(a-kc_s)}{2k\beta_s-\beta^2} \right)$	递减	递减	递减

推论 2: 质量投资补贴契约下, 最优农产品质量与批发价无关, 最优农产品价格随着批发价的增大而增大, 最优补贴率、以及市场需求则随着批发价的增大而减小; 公司利润、供应链总利润均随着批发价的增大而减小, 批发价小于某阈值时最优农户利润随着批发价的增大而增大、批发价大于某阈值时则最优农户利润随着批发价的增大而减小。

命题 3: 投资补贴契约下, 最优农产品质量高于批发价契约下的农产品质量、并与集中决策下的农产品质量相同, 最优农产品价格高于批发价契约下、以及集中决策下的农产品价格; 投资补贴契约下, 最优农户利润与批发价契约下一致, 而公司利润则高于批发价契约下的利润; 投资补贴契约下的最优供应链利润, 高于批发价契约下的供应链利润、低于集中决策下的供应链利润。

证明:

由式 (3) ~ (5) 及命题 1、2 得:

$$\begin{aligned}
y_b^* - y_w^* &= \frac{\{(a - (2w - c_s)k)\beta_s + (w - c_s)\beta^2\}\beta}{(2k\beta_s - \beta^2)\beta_s} > 0, y_b^* = y_j^*; \\
p_b^* - p_w^* &= \frac{\{(a - k(2w - c_s))\beta_s + (w - c_s)\beta^2\}\beta^2}{2(2k\beta_s - \beta^2)k\beta_s} > 0, \\
d_{bw} = d_b^* - d_w^* &= \frac{\{((-2w + c_s)k + a)\beta_s + \beta^2(w - c_s)\}\beta^2}{2\beta_s(2k\beta_s - \beta^2)} > 0 \\
p_b^* - p_j^* &= \frac{1}{2}(w - c_s) > 0; \\
\pi_{nb}^* = \pi_{nw}^*, \pi_{rb}^* - \pi_{rw}^* &= \frac{\beta^2\{(a - k(2w - c_s))\beta_s + \beta^2(w - c_s)\}^2}{4(2k\beta_s - \beta^2)k\beta_s^2} > 0, \\
\pi_{rb}^* + \pi_{nb}^* - \pi_{scj}^* &= -\frac{1}{4}(w - c_s)^2 k < 0。证毕。
\end{aligned}$$

由命题 3 可以发现, 投资补贴契约下, 最优农产品质量比批发价契约下的质量得到了提高、达到了供应链集中决策下的农产品质量水平, 因而投资补贴契约使得供应链的质量水平达到了系统最优, 而同时农产品的价格水平也得到提高, 因此投资补贴契约有助于农产品实现优质优价。

但批发价相同的情形下, 投资补贴契约中农户效用不能得到任何提高, 农户为提高农产品质量所进行的投资以及农产品市场需求增大, 并没有为农户带来更大的利润, 农产品质量的改进以及市场需求扩大所带来的好处被公司所独占。

另一方面, 投资补贴契约中公司效用一定能够提高, 令 $\pi_{rbw} = \pi_{rb}^* - \pi_{rw}^*$, 可以发现 $\frac{d\pi_{rbw}}{d\beta_s} = \frac{\{(a - k(2w - c_s))\beta_s + \beta^2(w - c_s)\}\{k\beta_s((a - k(2w - c_s))\beta_s + \beta^2(w - c_s)) + \beta^2(w - c_s)(2k\beta_s - \beta^2)\}\beta^2}{2k\beta_s^3(2k\beta_s - \beta^2)^2}$,

由于有 $\beta_s > \frac{\beta^2}{2k}$ 、 $(a - k(2w - c_s))\beta_s + \beta^2(w - c_s) > 0$, 因此 $\frac{d\pi_{rbw}}{d\beta_s} < 0$, 同样的不难得到 $\frac{d\pi_{rbw}}{d\beta} > 0$, 也就是说质量投资系数 β_s 越大, 公司采用补贴契约 (相对于传统批发价契约) 所获得的利润增长越小; 质量弹性 β 越大, 公司采用补贴契约所获的利润增长越大。

推论 3: 投资补贴契约下, 公司利润以及供应链总利润相比批发价契约均得到了提高, 农户利润不变, 因此投资补贴契约相比批发价契约获得了帕累托改进; 质量弹性越大、质量投资系数越小, 公司采用投资补贴契约相比批发价契约所获得的利润改进越大。

4 讨论

目前少数研究供应链质量协调的文献设计了供应链投资或成本分担机制^[17-18], 已有文献均假设农户或合作社是主导方, 超市为跟随者, 而本文则假设公司为主导方, 农户为跟随方。这一

假设反映了当前大部分订单型农产品供应链中农户处于弱势地位的现实, 并聚焦了农产品质量管理中农户决定质量水平、投入质量投资, 却在供应链利益分配中处于劣势、从而不愿意提高农产品质量的突出矛盾和冲突, 具有一定的创新性。另外, 本研究内生了质量投资补贴率, 并探讨了最优投资补贴率与供应链环境参数的相关性, 对农产品供应链的实践运作有较强的指导意义, 具有一定的创新性。

本研究在需求函数为简单线性函数条件下进行, 不具有普遍性, 下一步将研究当农产品的市场需求为非线性函数时农产品的质量投资及供应链协调问题。另外, 本文主要研究了农户、公司无资金约束的情形下, 农产品的质量投资及供应链协调问题, 而实践中双方尤其是农户往往面临资金不足问题, 因此有必要研究存在资金约束情形下的农产品供应链质量投资协调问题。

5 结论与启示

本研究在考虑农产品质量水平对市场需求产生影响、以及提高质量水平需要相应质量投资下, 对农户-公司构成的二级供应链的决策进行了分析, 得出以下结论: (1) 在农户单独承担质量投资成本的传统批发价契约下, 农产品最优质量水平以及最优市场价格均随着批发价的增长而增长、随着质量投资系数的增大而降低; 当质量投资系数较大时, 公司降低批发价将能够提高利润, 反之, 提高批发价能提高利润; 农户利润随着批发价的增长先增长后下降。(2) 在农户与公司共同承担质量投资成本的投资补贴契约下, 农产品最优质量水平与批发价无关, 最优农产品价格随着批发价的增大而增大, 最优质量、价格均大于批发价契约下的均衡结果。(3) 投资补贴契约下, 公司利润、供应链总利润均随着批发价的增大而减小, 并且均大于批发价契约下的公司、供应链利润, 农户利润则不变。

启示: (1) 质量投资补贴契约能够有效提高农产品质量, 达到供应链集中决策下的最优农产品质量, 同时也能够提高农产品价格, 因而有助于促进农产品实现优质优价。(2) 质量需求弹性越大、质量投资系数越小的农产品, 采用投资补贴契约后、公司的利润提升越大。(3) 农户可以通过投资补贴契约实现更高的农产品质量、销

量,但是难以获得更高收益,农户可以在稳定提高农产品质量、获得一定的市场认可后,和公司协商一个更有利的批发价。

参考文献 (References) :

- [1] 胡定寰, 陈志钢, 孙庆珍, 多田稔. 合同生产模式对农户收入和食品安全的影响——以山东省苹果产业为例 [J]. 中国农村经济, 2006 (11): 17-24, 41.
HU D H, CHEN Z G, SUN Q Z, DUO T R. The impact of contract production mode on farmers' income and food safety: A case research on the apple industry in Shan Dong province [J]. *Chinese Rural Economy*, 2006(11):17-24,41.
- [2] 刘凤芹. 不完全合约与履约障碍——以订单农业为例 [J]. 经济研究, 2003 (4): 22-30,92.
LIU F Q. Incomplete contract and the barrier to performance: a case research on the farm produce for order [J]. *Economic Research*, 2003(4):22-30,92.
- [3] 熊峰, 彭健, 金鹏, 张向阳, 邱斌. 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 (8): 102-111. doi:10.16381/j.cnki.issn1003-207X.2015.08.012.
XIONG F, PENG J, JIN P, ZHANG X Y, QIU Y. The impact of relational contracts stability about fresh agricultural product supply chain study: from the perspective of cold chain facilities subsidy mode [J]. *Chinese journal of management science*, 2015(8):102-111. doi:10.16381/j.cnki.issn1003-207X.2015.08.012.
- [4] 黄祖辉, 王祖锁. 从不完全合约看农业产业化经营的组织方式 [J]. 农业经济问题, 2002 (3): 28-31. doi:10.13246/j.cnki.iae.2002.03.006.
HUANG Z H, WANG Z S. The organization way of agricultural industrialization management—an incomplete contracting perspective [J]. *Issues in Agricultural Economy*, 2002(3):28-31. doi:10.13246/j.cnki.iae.2002.03.006.
- [5] 王庚, 李子文. 期权合约在订单农业中的应用 [J]. 运筹与管理, 2016, 25(1):238-245.
WANG G, LI Z W. The Application of Option Contract in Contract Farming [J]. *Operations research and management science*, 2016, 25(1): 238-245.
- [6] WANG C, CHEN X. Option pricing and coordination in the fresh produce supply chain with portfolio contracts [J]. *Annals of Operations Research*, 2017, 248(1-2): 471-491.
- [7] YU Y, XIAO T. Pricing and cold-chain service level decisions in a fresh agri-products supply chain with logistics outsourcing [J]. *Computers & Industrial Engineering*, 2017, 111(9): 56-66.
- [8] 冯颖, 余云龙, 张炎治, 吴茜. 随机产出与随机需求下 TPL 介入的农产品供应链协调 [J]. 管理工程学报, 2017 (4): 156-163. doi:10.13587/j.cnki.jieem.2017.04.020.
FENG Y, YU Y L, ZHANG Y Z, WU X. Coordination of agri-products supply chain with TPL's participation under random yield and random demand [J]. *Journal of Industrial Engineering Management*, 2017(4): 156-163. doi:10.13587/j.cnki.jieem.2017.04.020.
- [9] 陈小霖. 供应链环境下的农产品质量安全保障研究 [D]. 南京: 南京理工大学, 2008.
CHEN X L. Research on agri-food quality safety guarantee based on supply chain management [D]. Nanjing: Nanjing University of science, 2008.
- [10] 但斌, 伏红勇, 徐广业, 陈伟. 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 (9): 2229-2238.
DAN B, FU H Y, XU G Y, CHEN W. Agri-food supply chain coordination considering the impact of weather and effort level on output and quality [J]. *Systems Engineering Theory & Practice*, 2013(9):2229-2238.
- [11] 杨浩雄, 魏彬. 供应链视角下的鲜活农产品质量安全研究 [J]. 广东农业科学, 2015, 42 (22): 150-155. doi:10.16768/j.issn.1004-874X.2015.22.026.
YANG H X, WEI B. Study on fresh agricultural products quality and safety under the perspective of supply chain [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2015, 42(22):150-155. doi:10.16768/j.issn.1004-874X.2015.22.026.
- [12] SONG C, ZHUANG J. Modeling a Government-Manufacturer-Farmer game for food supply chain risk management [J]. *Food Control*, 2017, 78: 443-455.
- [13] 许民利, 王俏, 欧阳林寒. 食品供应链中质量投入的演化博弈分析 [J]. 中国管理科学, 2012 (5): 131-141. doi:10.16381/j.cnki.issn1003-207X.2012.05.004.
XU M L, WANG Q, OUYANG L H. Investment decision of food supply chain quality based on the evolutionary game [J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2012(5): 131-141. doi:10.16381/j.cnki.issn1003-207X.2012.05.004.
- [14] 闻卉, 陶建平, 曹晓刚, 黎继子. 基于双边质量控制的生鲜农产品供应链决策 [J]. 控制工程, 2017, 24(12): 2478-2484. doi:10.14107/j.cnki.kzgc.160691.
WEN H, TAO J P, CAO X G, LI J Z. Fresh Agricultural Supply Chain Decision Based on Bilateral Quality Control [J]. *Control Engineering of China*, 2017, 24(12):2478-2484. doi:10.14107/j.cnki.kzgc.160691.
- [15] 熊峰, 袁俊, 王猛, 陈方宇. 公平偏好下生鲜农产品质量投入与定价研究 [J]. 软科学, 2017, 31 (4): 122-127. doi:10.13956/j.ss.1001-8409.2017.04.27.
XIONG F, YUAN J, WANG M, CHEN F Y. Study on the Quality Investment and Pricing of Fresh Agricultural Products under the Fairness Preference [J]. *Soft Science*, 2017, 31(4):122-127. doi:10.13956/j.ss.1001-8409.2017.04.27.
- [16] 姚冠新, 浦凌波. 基于“农超对接”模式的质量改进与公平偏好研究 [J]. 商业研究, 2014 (5): 172-176. doi:10.13902/j.cnki.syyj.2014.05.025.
YAO G X, PU L B. Research on quality improvement and fairness preference based on the mode of "agriculture-supermarket jointing" [J]. *Commercial Research*, 2014(5): 172-176. doi:10.13902/j.cnki.

- syyj.2014.05.025.
- [17] 崔丽, 胡洪林. 农产品质量安全控制下“农超对接”主体间成本分担机制[J]. 系统工程, 2017(3): 131-136.
CUI L, HU H L. The cost sharing mechanism between participants of the alliance of farmers and supermarkets under quality control [J]. *System Engineering*, 2017(3):131-136.
- [18] 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. doi:10.13587/j.cnki.jieem.2018.02.019.
ZHENG Q, FAN T J. Design of incentive contract for fresh agricultural products supply chain considering risk preference [J]. *Journal of Industrial Engineering Engineering Management*, 2018,32(2): 171-178. doi:10.13587/j.cnki.jieem.2018.02.019.
- [19] 胡军, 张镓, 芮明杰. 线性需求条件下考虑质量控制的供应链协调契约模型[J]. 系统工程理论与实践, 2013(3): 601-609.
HU J, ZHANG J, RUI M J. Supply chain coordination model contract considering quality control under the condition of linear demand [J]. *Systems Engineering Theory & Practice*, 2013(3): 601-609.
- [20] GURNANI H, ERKOC M. Supply Contracts in Manufacturer-retailer interactions with manufacturer-quality and retailer effort -induced demand [J]. *Naval Research Logistics*, 2008, 55(3): 200-217.
- [21] XIE G, YUE W, WANG S, LAI K K. Quality investment and price decision in a risk-averse supply chain [J]. *European Journal of Operational Research*, 2011,214(2): 403-410.
- [22] YANG F, SHAN F, JIN M. Capacity investment under cost sharing contracts [J]. *International Journal of Production Economics*, 2017, 191: 278-285.
- [23] 戴佩慧, 项朝阳. 蔬菜供应链利益分配应用研究——基于改进的 shapley 值法[J]. 广东农业科学, 2014, 41(14): 208-213. doi:10.16768/j.issn.1004-874X.2014.14.047.
DAI P H, XIANG C Y. Application research on profit distribution of vegetable supply chain—Based on the improved shapley value method [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2014,41(14): 208-213. doi:10.16768/j.issn.1004-874X.2014.14.047.
- [24] 吴绒. 政府补贴策略下农产品绿色供应链管理决策研究[J]. 广东农业科学, 2014, 41(15): 215-219. doi:10.16768/j.issn.1004-874X.2014.15.044.
WU R. Decisions on green supply chain management of agricultural products under government subsidies strategies [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2014, 41(15):215-219. doi:10.16768/j.issn.1004-874X.2014.15.044.
- [25] 陈爽, 朱丽芳, 王薇薇. “互联网+”背景下农业产业链主体利益分配模型研究—基于合作博弈理论[J]. 广东农业科学, 2018, 45(1): 160-164. doi:10.16768/j.issn.1004-874X.2018.01.025.
CHEN S, ZHU L F, WANG W W. Research on the distribution pattern of the main interests of agricultural industry chains under the background of “Internet +” -Based on cooperative game theory [J]. *Guangdong Agricultural Sciences*, 2018, 45(1): 160-164. doi:10.16768/j.issn.1004-874X.2018.01.025.

(责任编辑 白雪娜)