

互联网金融背景下农业产业化的最优运作模式研究

曾 款, 徐贤浩, 余祖阁

(华中科技大学管理学院, 湖北 武汉 430074)

摘要: 本文研究由农业电商企业和受资金约束的农户所构成的农业供应链. 在考虑农产品交付水平的前提下, 分别构建了“公司+农户”和“公司租赁”两种运作模式下的决策模型, 得到了农业电商企业和农户在这两种模式下的最优策略, 并通过对比分析找到了能够实现供应链最优运作模式的“双赢”区间. 最后, 利用京东“跑步鸡”项目中的市场数据进行数值实验, 验证了相关的研究结论. 研究表明: 只有当农户的抵押物达到一定价值时, “公司+农户”模式才具有可行性; 对整个农业供应链来说, “公司租赁”要优于“公司+农户”; 当农户抵押物的价值较高或较低时, 农户将选择“公司租赁”模式; 存在关于土地租金的“双赢”区间, 使得农业电商企业和农户在该区间内都将选择“公司租赁”模式, 同时“双赢”区间将随农户抵押物价值的增加而减小.

关键词: 农业运作模式; 资金约束; 农产品供应链; 交付水平; 互联网金融

中图分类号: TP273 文献标识码: A 文章编号: 1000-5781(2020)04-0544-15

doi: 10.13383/j.cnki.jse.2020.04.010

Operation mode of agricultural industrialization based on internet finance

Zeng Kuan, Xu Xianhao, Yu Zuge

(School of Management, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: The paper investigates an agricultural supply chain consisting of an internet company and a capital-constrained farmer, and analyzes each member's choice on the agricultural operation mode—"company+farmer" or "land contract" mode—with an aim to maximize the profits. Through analyzing and comparing the optimal strategies under different modes, a "win-win" zone is identified where the whole supply chain achieves the optimal mode. The results show that the "company+farmer" mode is feasible only when the farmer's collateral is valuable enough. For the whole supply chain, the "land contract" performs better than the "company+farmer". When the collateral value is either high or low, the farmer always adopts the "land contract". There exists a "win-win" zone for the land rent, in which both the company and farmer prefer the "land contract". Moreover, the zone shrinks with the farmer's collateral value. Finally, a numerical experiment is conducted with the data from JD.com to verify the results.

Key words: agricultural operation mode; capital constraint; agricultural supply chain; delivery level; internet finance

1 引言

作为我国重要的基础产业, 农业发展一直受到高度关注, 如十九大政府工作报告提出了“乡村振兴战略”, 强

收稿日期: 2018-06-10 修订日期: 2018-12-20

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71471071; 71620107002); 教育部人文社会科学基金资助项目(17YJC630004).

调农业产业化是落实这一战略的重要环节。在国家政策引导下,以京东、阿里巴巴、顺丰优选为代表的一批电商企业陆续参与到农业产业化进程中来。与传统农业企业相比,电商企业在农业产业化方面具有独特优势:一方面,电商企业能够利用自身平台优势及信息技术及时掌握市场需求信息,从而降低农产品需求的不确定性^[1]。另一方面,电商企业拥有雄厚的资金实力,能够承担由于农产品前期投入大,生产周期长而造成的资金压力,同时也具备直接向资金短缺的农户提供抵押贷款的能力^[2]。由于农业电商企业所具备的这些优势,使得农业电商市场在我国的发展规模不断扩大,根据《2017-2022年中国农产品电子商务市场研究及投资前景预测报告》的统计,截至2016年中国农村电商市场规模仅有4 823亿元,而2017年的中国农村电商市场规模达到6 256亿元,较2016年增长30%。

目前,农业电商企业采用的产业运作模式主要包括“公司+农户”和“公司租赁”两种。如,京东、中粮我买网等电商企业采用的是“公司+农户”模式,而以阿里聚土地,沱沱工社为代表的电商企业则采用“公司租赁”模式。在“公司+农户”模式下,电商企业与农户签订法律合同,农户按照合同进行农产品生产,电商企业在生产周期末向农户回购满足其质量标准的农产品。同时,电商企业可以向资金短缺的农户提供抵押贷款,原材料或工具,并根据农户抵押物(如土地承包经营权)的价值设定相应的贷款利率。而在“公司租赁”模式下,电商企业通过支付土地租金的形式向农户租赁土地,建立统一管理的种植基地以形成农产品规模化生产。如,沱沱工社承包农户土地,自建农基地,雇佣当地农户为其种植农产品,并由沱沱工社电商平台销售合格农产品。关于农业运作模式的选择,农业电商企业需要权衡利弊:“公司+农户”模式能够节省农业电商企业的运营管理成本,降低订单违约所造成的损失,但也使电商企业面临潜在的金融风险。而“公司租赁”模式虽然能够避免农户融资的风险,但也意味着电商企业需要承担订单违约的全部风险。因此,对农业电商企业来说,在考虑农户资金约束的情况下,如何选择最优的农业产业化运作模式是农业电商领域及学术界需要解决的一个现实问题。

本文在“互联网+农业”背景下,结合农户面临资金约束的现实情况,研究了我国农业电商企业关于农业运作模式的决策问题,涉及的主要学术领域包括资金约束问题和农业运作模式问题。

资金约束是近年来供应链研究领域中的热点问题,但目前关于资金约束问题的研究主要以传统制造或零售供应链为背景。如国外,Dada等^[3]探讨了在银行贷款模式下,受资金约束零售商的最优融资决策,及银行的最优利率设置。而Kouvelis等^[4],Cai等^[5],Chen^[6]和Jing等^[7]在考虑资金约束的情况下,分析和比较了银行贷款和贸易授信对供应链各成员利益的影响。Yang等^[8]发现通过授信机制来解决资金约束问题,可以有效分担供应链成员间的风险,并提高整体供应链效用。Tang等^[9]则比较了“采购订单贷款”与“买方直接贷款”两种融资模式,并发现“买方直接贷款”模式更具优势。在国内,陈祥峰^[10]研究了贸易授信对资金约束下的供应链所产生的价值。徐贤浩等^[11]分析了资金约束条件下供应链成员的最优订货策略。王文利等^[12]则针对零售商在资金约束下的订货策略进行了分析。然而,与传统制造业相比,农业更容易受到自然灾害等因素的影响,从而使农产品的产出具有不确定性的特性。因此,农业供应链的运营策略不能直接等同于传统制造业。对于农业供应链中的资金约束问题,一些学者近年来也开始关注,如叶飞^[13]在考虑破产风险和无破产风险两种情况下,分析了受资金约束农户的最优策略,但文章所研究的农户贷款还是通过银行等第三方金融机构来实现。黄建辉^[14,15]则在银行贷款的基础上进一步考虑了政府补贴及贸易授信的情况,分析了供应链各方在该模式下的利润,得到了资金约束农户的最优策略。还有部分学者在不考虑资金约束的情况下,研究了金融衍生期权工具在农业中的应用,如叶飞等^[16],Zant^[17]及Hosseini-Yekani等^[18]。可以看出,农业供应链的相关研究较少考虑资金约束问题,而其中与资金约束有关的文献也都以传统金融机构融资为背景,未涉及农业电商企业直接向农户贷款的情况。

随着现代农业的不断发展,许多学者对农业的运作模式进行了研究。其中关于“公司+农户”模式的研究主要关注订单农业在运行过程中的违约问题,国内外学者从不同的视角对订单农业中存在的违约现象进行了解释。如,Kniem等^[19]通过分析订单农业所涉及到的合同条款,从利益分配的角度解释了订单违约的原因。涂国平等^[20]利用静态博弈模型对订单农业的违约问题进行分析,发现市场风险是造成违约的根本原

因。而李彬^[21]则认为契约的非完全性是导致违约现象频繁发生的重要因素。在对违约原因进行分析的基础上,许多学者提出了相应的改善措施及建议,如Narayanan等^[22]发现建立互信机制有助于深化公司与农户间的合作,从而有效降低违约风险。Guo等^[23]提出通过制定合理的价格合同来提高订单交付的成功率。叶飞等^[24]发现利益分配机制能够实现供应链的协调,从而减少违约现象的发生。高青松等^[25]则建议通过增加中介机构来实现组织模式的再造。伏红勇等^[26]研究了基于天气期权的订单契约机制,并发现该机制能够实现双方利润的Pareto改进。部分研究(黄虹富等^[27],浦徐进等^[28])还涉及“公司+农户”模式下的其他决策问题。一些学者对电商在农业领域内的“公司租赁”模式进行了初步探讨,如严金明等^[29],段禄峰等^[30],徐鑫等^[31]从宏观层面思考了土地政策与涉农电商的融合;周立群等^[32]指出“公司租赁”模式更能有效提高农产品规模生产效率;王紫恒等^[33]对“聚土地”项目做出全面分析与评价;李长海^[34]则分析了“公司租赁”模式下沱沱工社全产业链运作模式,但目前关于“公司租赁”模式的研究还较少,且主要采用案例分析方法,较少涉及定量分析。综上可知,关于“公司+农户”订单农业模式的研究主要围绕着传统农业企业,而对于“公司租赁”模式的研究还较少,并且多以案例分析为主。与传统农业相比,电商企业在农业领域内的活动具备新的特征(如,农业电商企业能够直接向农户贷款,农业电商企业的订单需求确定),而这些新特征可能使农业运作策略发生变化,但目前几乎没有文献对农业电商企业的“公司+农户”与“公司租赁”模式进行分析及比较,本文填补了目前该领域的研究空白。

本文在“电商+农业”背景下,考虑了农户面临资金短缺的现实情况,通过构建包含风险中性的农业电商企业和资金约束型农户的供应链模型,分析了当前农业电商领域中两种主流运作模式(包括“公司+农户”和“公司租赁”),探讨了农业电商企业关于农业运作模式的最优决策,及农户抵押品的价值对其最优运作模式的影响。所构建的利润最大化模型考虑了农产品具有产出不确定的特性,利用努力成本函数将订单的交付成功率与农产品生产过程中的努力投入程度相联系,同时分别对订单交付成功和失败情况下供应链各方的利润进行了分析,找出了两种模式下订单的最优交付水平及农业电商企业的利润,最后通过比较得到了农业电商企业的最优运作模式及其条件。本文主要回答了以下两个问题:1)对农业电商企业来说,“公司+农户”模式及“公司租赁”模式在什么情况下将成为其最优策略?2)农户抵押品的价值是否会影响农业电商企业对运作模式的选择?以上研究丰富和完善了互联网金融模式下农业产业化的相关理论,同时为参与农业产业化的电商企业提供了决策支持。

2 农业电商企业与农户的基准决策模型

2.1 问题描述

考虑由农业电商企业和农户所构成的农业供应链,其中农户缺乏资金及销售渠道,而农业电商企业拥有充足的资金和稳定的市场需求。为确保农产品能够及时交付,农业电商企业可以采用两种产业化运作模式。在“公司+农户”模式下,农业电商企业首先考察农户抵押品的价值及生产效率,并在此基础上确定农产品的收购总价及贷款利率,与农户签订合同并发放贷款。农户需要在合同规定期限前提供农产品,若农产品交付成功,农户将获得扣除贷款本金及利息后的剩余资金;若农产品未能成功交付,则农业电商企业有权没收农户的抵押品,同时由于订单无法交付,农业电商企业需要向其客户退款,具体流程如图1所示。第二种模式为“公司租赁”模式,农业电商企业在该模式下将承包农户的土地,并对农产品实行统一的生产管理,同时电商企业需要和农户签订合同以确定支付给农户的土地租金,具体如图2所示。

2.2 基本假设及符号说明

在构建模型之前,提出假设如下:

假设 1 由于农户面临资金不足的问题,不失一般性,这里假设农户没有流动资金(即 $M = 0$),这与Jing等^[35]的假设类似。

假设 2 虽然农产品的生产受自然天气,气候条件等因素的影响^[36],但通过增加生产的努力投入程度,农

产品的产出水平可以在一定范围内得到控制, 这里将 e 表示为订单成功交付的概率(农户决策变量), 并假设在第 i 种农业模式下($i = 1, 2$), 以概率 $e \in (0, 1)$ 成功交付的农产品所需的生产投入成本为 $k_i e^2$ (如Tang等^[9]), 这符合农业生产成本的基本假设(如叶飞等^[37], Niu等^[38]).

假设 3 生产成本系数 k_i 越大表示第 i 种运作模式的生产效率越低. 为便于讨论, 假设两种模式下的生产成本系数均为 k , 即 $k_1 = k_2 = k$.

假设 4 为便于求解, 无风险利率 r_f 假设为零, 即 $r_f = 0$.

假设 5 农业电商企业与农户之间的信息为共同知识, 且双方风险均呈中性^[24].

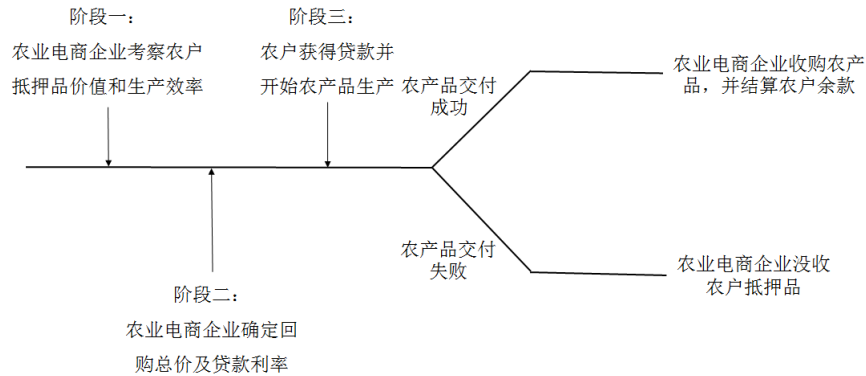


图 1 “公司+农户”模式下的运作流程

Fig. 1 Operation procedure under “company+farmer” mode

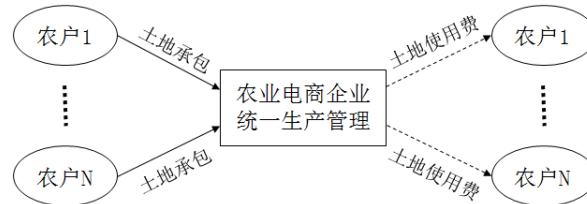


图 2 “公司租赁”模式下的运作流程

Fig. 2 Operation procedure under “land contract” mode

本文中涉及的符号如表1所示:

表 1 符号说明

Table 1 Notation description

符号	描述
P	农业电商企业在客户订单成功交付的情况下所获得的总收益
ω	农业电商企业对农产品的收购总价
C	生产农产品所需原材料的总成本
r	农业电商企业向农户发放贷款的利率, 其中 $0 \leq r \leq 1$
M	农户抵押品的总价值, 其中 $M < C$
Δ	农业电商企业在“公司租赁”模式下支付给农户的土地租金
e	订单成功交付的概率
k_i	第 i 种运作模式下农产品生产方的生产成本系数
Σ_i	第 i 种运作模式下农业电商企业的总利润
r_f	市场无风险利率

2.3 “公司+农户”模式

在“公司+农户”模式下, 农业电商企业在期初向农户提供贷款, 并在期末向农户回购达标的农产品, 其利润函数可以表示为

$$\Sigma_1(\omega, r, e) = e[P + (r + 1)C - \omega] + (1 - e)M - C, \tag{1}$$

其中 $e[P + (r + 1)C - \omega]$ 表示农业电商企业在成功交付订单的情况下获得的收益; $(1 - e)M$ 表示农业电商企业在订单未能成功交付的情况下, 通过没收农户抵押品所得到的收益; C 表示农业电商企业给农户的贷款总额.

作为农产品的生产方, 农户的利润函数表示为

$$\Pi_1(e) = e[\omega - (r + 1)C] - (1 - e)M - k_1 e^2, \quad (2)$$

其中 $e[\omega - (r + 1)C]$ 表示在农产品成功交付的情况下, 农户能够获得的收益; $(1 - e)M$ 表示在农产品未能成功交付的情况下, 农户将被清算的抵押品价值; $k_1 e^2$ 表示农户对农产品的生产投入成本.

在“公司+农户”模式下, 首先由农业电商企业提供合同确定收购总价和贷款利率, 然后农户根据这些信息来确定生产投入的成本, 从而构成Stackelberg博弈. 在模型求解过程中采用倒推法, 在收购总价 ω 和贷款利率 r 给定的情况下, 对利润函数 $\Pi_1(e)$ 实现最大化, 得最优交付水平 $\hat{e} = \frac{\omega + M - (r + 1)C}{2k_1}$. 将 \hat{e} 代入农户

的利润函数得 $\Pi_1(\hat{e}) = \frac{[\omega + M - (r + 1)C]^2}{4k_1} - M$. 为确保农户具有参与项目的动机, 需要满足 $\Pi_1(\hat{e}) \geq 0$, 即 $\omega \geq (r + 1)C + 2\sqrt{k_1 M} - M$. 同时, 将 \hat{e} 代入函数 $\Sigma_1(\omega, r, e)$, 得到关于农业电商企业利润的优化模型为

$$\begin{aligned} \text{Max}_{\omega, r} \Sigma_1 &= -\frac{[\omega + M - (r + 1)C]^2}{2k_1} + \frac{[\omega + M - (r + 1)C]}{2k_1} P + M - C, \\ \text{s.t. } \omega &\geq (r + 1)C + 2\sqrt{k_1 M} - M. \end{aligned} \quad (3)$$

通过分析农业电商企业的利润函数, 得到其最优策略的性质如引理1所示.

引理1 在“公司+农户”模式下, 若农业电商企业与农户双方都同意启动项目, 则农业电商企业的最优策略 (ω^*, r^*) 满足下列条件, 即

$$\omega^* - (r^* + 1)C = 2k_1 \max\left(\frac{P}{4k_1}, \sqrt{\frac{M}{k_1}}\right) - M. \quad (4)$$

(证明过程请参看附录)

引理1给出了农业电商企业最优策略 (ω^*, r^*) 的必要条件, 而执行该策略必须确保农业电商企业在该策略下处于盈利状态. 定理1给出了农业电商企业的项目启动条件及项目启动下的最优策略 (ω^*, r^*) .

定理1 对农业电商企业来说, 其项目的启动及采取的策略 (ω^*, r^*) 取决于农户抵押品的价值 M , 具体情况如下:

1) 当 $M \geq \max\left(\frac{P^2}{16k_1}, \frac{1}{2k_1}(P^2 - P\sqrt{P^2 - 4k_1 C}) - C\right)$ 时, 农业电商企业将启动项目, 所采用的策略 (ω^*, r^*) 满足 $\omega^* - (r^* + 1)C = 2\sqrt{k_1 M} - M$. 同时, 在这种情况下, 农业电商企业所获利润为 $\Sigma_1 = P\sqrt{\frac{M}{k_1}} - M - C$, 而农户所获利润为 $\Pi_1 = 0$.

2) 当 $C - \frac{P^2}{8k_1} \leq M \leq \frac{P^2}{16k_1}$ 时, 农业电商企业将启动项目, 所采取的策略 (ω^*, r^*) 满足 $\omega^* - (r^* + 1)C = \frac{P}{2} - M$. 此时, 农业电商企业所获利润为 $\Sigma_1 = \frac{P^2}{8k_1} + M - C$, 农户所获利润为 $\Pi_1 = \frac{P^2}{16k_1} - M$.

3) 当 $M \leq \max\left(C - \frac{P^2}{8k_1}, \frac{1}{2k_1}(P^2 - P\sqrt{P^2 - 4k_1 C}) - C\right)$ 时, 农业电商企业将放弃该项目. 此时, 农业电商企业和农户的利润都为0, 即 $\Sigma_1 = 0, \Pi_1 = 0$.

(证明过程请参看附录)

定理1表明农业电商企业将依据农户抵押品的价值来决定是否启动项目, 及项目启动时的最优策略. 如果农户抵押品的价值较高, 则产品无法交付将对农户造成较大损失. 因此, 农户的产品交付意愿将变强, 愿意增加投入来提高交付水平. 同时, 基于对农户策略的预测, 农业电商企业将尽可能降低收购总价或提高贷

款利率, 从而占有供应链上的全部利润 $\Sigma_1 = P\sqrt{\frac{M}{k_1}} - M - C$, 而农户只能接受最低利润 $\Pi_1 = 0$. 如果农户抵押品的价值适中, 则产品交付失败对农户造成的损失在其可承受范围内, 因此农户对产品的交付意愿不强. 同时, 基于对农户策略的预测, 在确保自身能够盈利的条件下, 农业电商企业将通过增加收购总价或降低贷款利率的方式来激励农户增加生产投入以提高交付水平, 此时电商将启动项目, 而农户也将分得一部分利润 $\Pi_1 = \frac{P^2}{16k_1} - M$. 如果农户抵押品的价值很低, 则产品未能交付对农户所造成的损失很小, 同时, 增加收购总价或降低贷款利率以激励农户将无法使电商企业盈利, 此时项目将被放弃.

由定理1可知, 农业电商企业在“公司+农户”模式下的利润为

$$\Sigma_1 = \begin{cases} P\sqrt{\frac{M}{k_1}} - M - C, & M \geq \max\left(\frac{P^2}{16k_1}, \frac{1}{2k_1}(P^2 - P\sqrt{P^2 - 4k_1C}) - C\right) \\ \frac{P^2}{8k_1} + M - C, & C - \frac{P^2}{8k_1} \leq M \leq \frac{P^2}{16k_1} \\ 0, & M \leq \max\left(C - \frac{P^2}{8k_1}, \frac{1}{2k_1}(P^2 - P\sqrt{P^2 - 4k_1C}) - C\right). \end{cases} \quad (5)$$

而农户在“公司+农户”模式下的利润为

$$\Pi_1 = \begin{cases} \frac{P^2}{16k_1} - M, & M \in \left[C - \frac{P^2}{8k_1}, \frac{P^2}{16k_1}\right] \\ 0, & M \notin \left[C - \frac{P^2}{8k_1}, \frac{P^2}{16k_1}\right]. \end{cases} \quad (6)$$

推论 1 在“公司+农户”模式下, 农业电商企业与农户的利润都随生产成本系数 k_1 的增加而降低.

2.4 “公司租赁”模式

在“公司租赁”模式下, 农业电商企业将直接向农户承包土地来进行统一生产管理, 其利润函数可表示为

$$\Sigma_2(e) = e(P - C) - (1 - e)C - k_2e^2 - \Delta, \quad (7)$$

其中 $e(P - C)$ 表示在农产品交付成功的情况下, 农业电商企业能够获得的收益; $(1 - e)C$ 表示农产品未能成功交付对农业电商企业造成的利润损失; k_2e^2 表示农业电商企业对于农产品的生产投入成本; Δ 表示农业电商企业支付给农户的土地租金.

对农业电商企业的利润函数进行分析, 可得到其最优利润及交付水平如下.

定理 2 “公司租赁”模式下, 农业电商企业的最优交付水平为 $\hat{e} = \frac{P}{2k_2}$. 若 $\frac{P^2}{4k_2} \geq C + \Delta$, 则该交付水平下农业电商企业能够确保盈利, 其利润为 $\Sigma_2 = \frac{P^2}{4k_2} - C - \Delta$.

(证明过程请参看附录)

定理2表明, 在“公司租赁”模式下, 农业电商企业的决策不需要考虑农户的资金约束情况. 通过直接承包土地来进行大规模种植, 实现统一化管理. 此时, 农业电商企业能够获得的利润为 $\Sigma_2 = \left(\frac{P^2}{4k_2} - C - \Delta\right)^+$, 同时, 电商企业需要支付给农户土地租金. 因此, 农户的利润为 $\Pi_2 = \Delta$.

推论 2 “公司租赁”模式下, 农业电商企业的利润将随生产成本系数 k_2 的增加而降低.

3 农业产业化模式的比较

在分析农业电商企业和农户关于农业运作模式的决策前, 首先比较不同模式下农业供应链的总利润.

“公司+农户”模式下的供应链利润函数可以表示为

$$\Sigma_1 + \Pi_1 = \begin{cases} P\sqrt{\frac{M}{k_1}} - M - C, & M \geq \max\left(\frac{P^2}{16k_1}, \frac{1}{2k_1}(P^2 - P\sqrt{P^2 - 4k_1C}) - C\right) \\ \frac{3P^2}{16k_1} - C, & C - \frac{P^2}{8k_1} \leq M \leq \frac{P^2}{16k_1} \\ 0, & M \leq \max\left(C - \frac{P^2}{8k_1}, \frac{1}{2k_1}(P^2 - P\sqrt{P^2 - 4k_1C}) - C\right). \end{cases} \quad (8)$$

而“公司租赁”模式下的供应链利润函数为

$$\Sigma_2 + \Pi_2 = \left(\frac{P^2}{4k_2} - C\right)^+. \quad (9)$$

通过对比分析不同运作模式下农业供应链的总利润,有下列结论.

定理3 在相等的生产效率条件下($k_1 = k_2 = k$),对整个农业供应链来说,“公司租赁”模式下的利润将高于“公司+农户”模式.

(证明过程请参看附录)

定理3表明“公司租赁”模式能够为整个农业供应链带来更多利润,但这并不意味着在“公司租赁”模式下,供应链中每位成员的利润都会增加.由于农业产业化需要电商企业与农户的共同参与.因此,对于农业运作模式的选择,需要同时考虑农业电商企业和农户的利益.对农户来说,在不同运作模式下的利润分别为

$$\Pi_1 = \begin{cases} \frac{P^2}{16k_1} - M, & M \in \left[C - \frac{P^2}{8k_1}, \frac{P^2}{16k_1}\right] \\ 0, & M \notin \left[C - \frac{P^2}{8k_1}, \frac{P^2}{16k_1}\right], \end{cases} \quad (10)$$

$$\Pi_2 = \Delta. \quad (11)$$

定理4 在生产效率相等的条件下($k_1 = k_2 = k$),农户将根据所拥有的抵押品价值,及农业电商企业支付的土地租金来选择农业产业运作模式:

- 1) 当 $M \in \left[C - \frac{P^2}{8k}, \frac{P^2}{16k}\right]$ 时,
 - 若 $\Delta \geq \frac{P^2}{16k} - M$, 则农户选择“公司租赁”模式.
 - 若 $\Delta \leq \frac{P^2}{16k} - M$, 则农户选择“公司+农户”模式.
- 2) 当 $M \notin \left[C - \frac{P^2}{8k}, \frac{P^2}{16k}\right]$ 时, 农户选择“公司租赁”模式.

(证明过程请参看附录)

定理4表明,高价值抵押品和低价值抵押品的农户都将选择“公司租赁”模式,而中等价值抵押品的农户则主要依据土地租金 Δ 来选择农业产业模式.对于高价值抵押品的农户来说,在“公司+农户”模式下一旦无法完成交付就意味着损失较高价值的抵押品,同时对于高抵押品价值的农户,农业电商企业的合同比较苛刻(电商将获得了供应链上的全部收益),此时农户将选择“公司租赁”模式以获得稳健,无风险的收益.对于低价值抵押品的农户,由于其交付失败风险较大,农业电商企业不会考虑“公司+农户”模式,这种情况下农户只能选择“公司租赁”模式.对于中等价值抵押品的农户,农业电商企业在“公司+农户”模式下将通过增加收购价格或降低贷款利率的方式来调动农户生产积极性,这种情况下,农户将根据“公司租赁”模式下能够获得的土地租金 Δ 来进行选择.若 Δ 足够大,则农户偏向于“公司租赁”模式,否则农户将选择“公司+农户”模式.

对农业电商企业来说,其在“公司+农户”模式下的利润为

$$\Sigma_1 = \begin{cases} P\sqrt{\frac{M}{k_1}} - M - C, & M \geq \max\left(\frac{P^2}{16k_1}, \frac{1}{2k_1}(P^2 - P\sqrt{P^2 - 4k_1C}) - C\right) \\ \frac{P^2}{8k_1} + M - C, & C - \frac{P^2}{8k_1} \leq M \leq \frac{P^2}{16k_1} \\ 0, & M \leq \max\left(C - \frac{P^2}{8k_1}, \frac{1}{2k_1}(P^2 - P\sqrt{P^2 - 4k_1C}) - C\right). \end{cases} \quad (12)$$

而在“公司租赁”模式下的利润为

$$\Sigma_2 = \left(\frac{P^2}{4k_2} - C - \Delta\right)^+ \quad (13)$$

通过对比分析农业电商企业在不同运作模式下的利润,有下列结论.

定理5 在生产效率相等的情况下($k_1 = k_2 = k$),农业电商企业将根据农户抵押品的价值和土地租金来决定农业产业模式:

- 1) 当 $C - \frac{P^2}{8k} \leq M \leq \frac{P^2}{16k}$ 时,
 - 若 $\Delta \leq \frac{P^2}{8k} - M$, 则农业电商企业选择“公司租赁”模式.
 - 若 $\Delta \geq \frac{P^2}{8k} - M$, 则农业电商企业选择“公司+农户”模式.
 - 2) 当 $M \geq \max\left(\frac{P^2}{16k}, \frac{1}{2k}(P^2 - P\sqrt{P^2 - 4kC}) - C\right)$ 时,
 - 若 $\Delta \leq \left(\frac{P}{2\sqrt{k}} - \sqrt{M}\right)^2$, 则农业电商企业选择“公司租赁”模式.
 - 若 $\Delta \geq \left(\frac{P}{2\sqrt{k}} - \sqrt{M}\right)^2$, 则农业电商企业选择“公司+农户”模式.
 - 3) 当 $M \leq \max\left(C - \frac{P^2}{8k}, \frac{1}{2k}(P^2 - P\sqrt{P^2 - 4kC}) - C\right)$ 时,
 - 若 $\Delta \leq \frac{P^2}{4k} - C$, 则农业电商企业选择“公司租赁”模式.
 - 若 $\Delta \geq \frac{P^2}{4k} - C$, 则农业电商企业不会启动项目.
- (证明过程请参看附录)

定理5说明农业电商企业所选择的农业产业化运作模式取决于农户抵押品的价值 M 和“公司租赁”模式下需要支付给农户的土地租金 Δ .对于低价值抵押品的农户,农业电商企业不会采用“公司+农户”模式,此时只要“公司租赁”模式能够盈利,电商就将采取该模式,否则将放弃项目.对于中等及以上抵押品价值的农户,电商企业的选择取决于“公司租赁”模式下支付给农户的土地租金,较高的土地租金将迫使农业电商企业选择“公司+农户”模式.此外,对于拥有不同抵押品价值的农户,电商企业在“公司租赁”模式下提供的土地租金也不同.

农业运作模式的确定需要建立在农业电商企业与农户达成共识的基础上,因此,只有双方都同意,该模式才能实行.定理6给出了能够使农业电商企业和农户双赢的农业运作模式及其与土地租金相对应的“双赢”区间.

定理6 当生产效率相等时($k_1 = k_2 = k$),土地租金 Δ 存在“双赢”区间,使得农业电商企业和农户都将选择“公司租赁”模式.同时,土地租金的“双赢”区间将随农户抵押品价值的增加而减小,具体如下:

- 1) 当 $C - \frac{P^2}{8k} \leq M \leq \frac{P^2}{16k}$ 时, 则 $\frac{P^2}{16k} - M \leq \Delta \leq \frac{P^2}{8k} - M$.

2) 当 $M \geq \max\left(\frac{P^2}{16k}, \frac{1}{2k}\left(P^2 - P\sqrt{P^2 - 4kC}\right) - C\right)$ 时, 则 $0 \leq \Delta \leq \left(\frac{P}{2\sqrt{k}} - \sqrt{M}\right)^2$.

3) 当 $M \leq \max\left(C - \frac{P^2}{8k}, \frac{1}{2k}\left(P^2 - P\sqrt{P^2 - 4kC}\right) - C\right)$ 时, 则 $0 \leq \Delta \leq \frac{P^2}{4k} - C$.

(证明过程请参看附录)

定理6说明“公司租赁”模式在农业产业化过程中更具可行性, 并且通过调节土地租金可以实现电商企业和农户在“公司租赁”模式下的双赢, 即保证电商企业和农户在“公司租赁”模式下的期望利润均不低于“公司+农户”模式下的收益. 同时, 对于不同抵押品价值的农户, 电商企业可以制定不同的土地租金 Δ 来实现“公司租赁”模式下的双赢.

4 算例分析

2016年初, 京东集团和国务院扶贫小组共同签署了《电商精准扶贫战略合作框架协议》, 并在国家级贫困县河北衡水武邑县共投资252万落地“跑步鸡”项目, 项目林地200亩.

“跑步鸡”项目是指京东农村金融“京农贷”为农户提供一定贷款作为养殖基金; 这笔费用由京东金融直接支付给当地“跑步鸡”管理合作社, 由合作社购买60天日龄的柴鸡鸡苗, 生产资料; 每个农户得到100只左右的鸡苗后, 按80只/亩的柴鸡密度进行养殖, 养殖完成后, 京东生鲜按其标准进行验收, 若达标则按规定价格回购. 京东的回收标准是柴鸡爪上的计步器达到一百万步, 且散养周期达到100天. 柴鸡总成本为46元/只(包括鸡苗成本20元/只, 饲料费20元/只和京东预处理成本6元/只). 京东回收后对柴鸡进行初加工, 再按重量分别以128元/只, 168元/只及188元/只的价格售卖.

关于农业产业化运作模式的数值实验, 所采用的参数为京东“跑步鸡”项目的实际数据: $P = 128$ 元/只, $C = 46$ 元/只. 同时, 为确保订单交付水平 $e \in (0, 1)$, 假设生产成本系数 $k = 50$. 利用Matlab进行数值实验, 得到了期望利润和土地租金随农户抵押品价值的变化趋势.

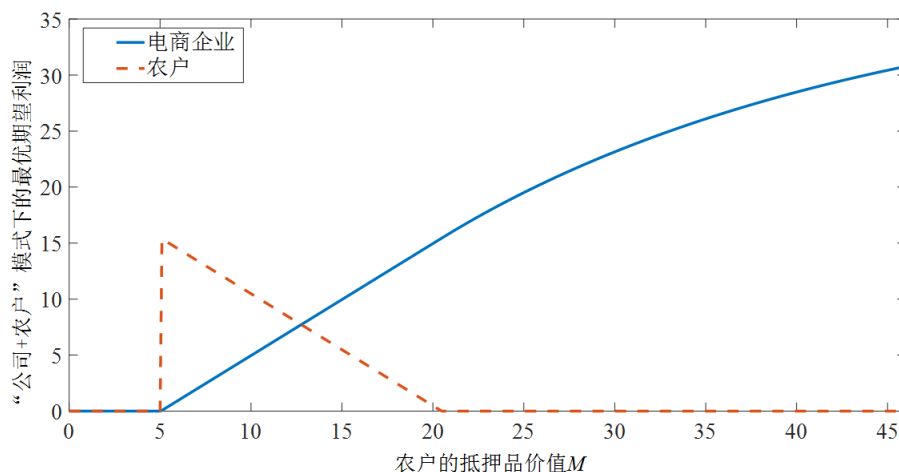


图3 “公司+农户”模式下各供应链成员的最优期望利润

Fig. 3 Profits of each supply chain member under “company+farmer” mode

图3反映了农业电商企业和农户在“公司+农户”模式下的期望利润随农户抵押品价值的变化趋势. 当农户抵押品的价值低于5元/只时, 农业电商企业不会采用“公司+农户”模式, 此时供应链成员的利润为零. 当农户抵押品的价值高于5元/只时, 项目启动, 此时, 农业电商企业的利润将随农户抵押品的价值而增加, 而农户的利润将从15元/只逐渐降低, 直至利润为0. 这些现象与定理1的结论一致, 主要是因为随着农户抵押品的价值增加, 农业电商企业承担的交付风险将逐渐转移给农户.

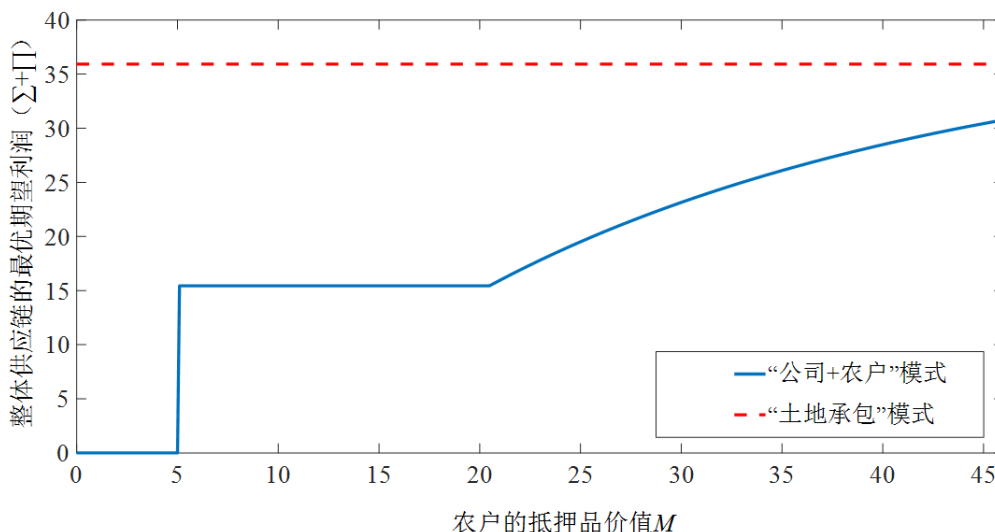


图 4 农户抵押品的价值对供应链利润影响

Fig. 4 Effect of collateral value M on the supply chain profits

图4反映了整个农业供应链的期望利润随农户抵押品价值的变化. 如图所示, 对整体供应链来说, “公司租赁”模式带来的利润要高于“公司+农户”模式, 该现象与定理3 的结论一致. 同时, “公司租赁”模式下供应链的利润不受农户抵押品的价值影响, 始终保持在37元/只, 而“公司+农户”模式下供应链的利润将随农户抵押品的价值而增加, 当抵押品的价值低于5 元/只时, 电商企业将不会采用“公司+农户”模式, 此时期望利润为0; 当抵押品的价值大于5 元/只并且小于21元/只时, 期望利润保持在15元/只; 当抵押品的价值大于22元/只时, 期望利润将随抵押品的价值逐渐增加.

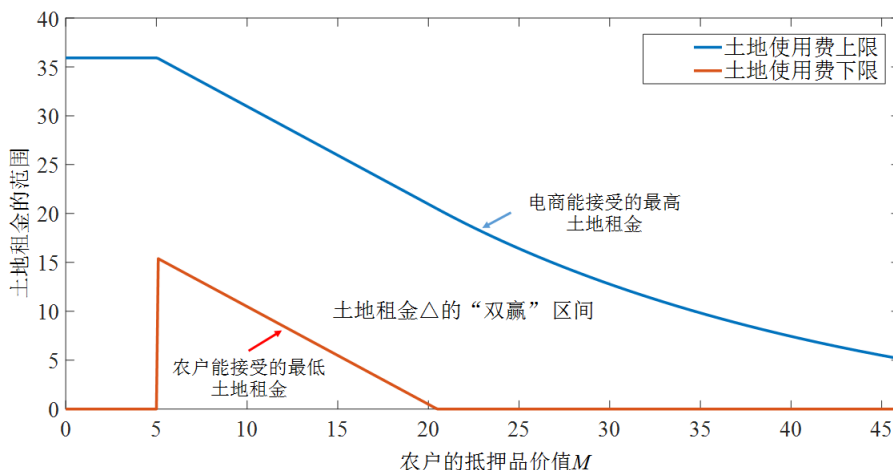


图 5 农户抵押品价值对“双赢”区间的影响

Fig. 5 Effect of collateral value M on the “win-win” zone

图5反映了关于土地租金的“双赢”区间, 且该区间将随农户抵押品价值而变化, 与定理6的结论一致. 当土地租金 Δ 高于36元/只时, 电商企业的利益得不到保障, 而当土地使租金 Δ 低于0时, 农户的利益得不到保障. 同时, 土地租金存在的范围将随农户抵押品价值的增加而变小.

5 结束语

针对农业电商企业和受资金约束农户所组成的农业供应链, 本文分析比较了目前农业运作中的两种主流运作模式(“公司+农户”和“公司租赁”), 并得到了电商企业和农户各自的最优决策. 从本文的研究结论

中,能够得到一定的管理启示.首先,实行“公司+农户”模式要求农户具有一定的财产基础以支持抵押贷款.否则该模式存在较大的产品交付风险,如产品质量不达标,不能达到预计的产量等,从而引起经济纠纷.就目前中国农村的发展现状来看,大多数农户还处于低收入水平,所拥有的抵押品价值较低,普遍地实施“公司+农户”模式将会出现较大金融风险隐患.而在“公司租赁”模式下,电商企业通过承包农户土地进行统一的农产品生产管理,可以更有效地控制农产品的交付水平.同时,通过支付土地租金或签订“利润分享”合同实行分红,可以保障农户得到稳定的无风险收益.此外,公司也可以为农户提供专业技能培训并实行竞聘上岗,聘用当地农户进行农产品生产,这也直接增加当地的就业机会.

参考文献:

- [1] 刘丽伟,高中理.“互联网+”促进农业经济发展方式转变的路径研究:基于农业产业链视角.世界农业,2015(12):18–23.
Liu L W, Gao Z L. Research on the path in the transformation of agricultural economic development mode under the Internet: From the perspective of agricultural industry chain. World Agriculture, 2015(12): 18–23. (in Chinese)
- [2] 王刚贞,江光辉.“农业价值链+互联网金融”的创新模式研究:以农富贷和京农贷为例.农村经济,2017(04):49–55.
Wang G Z, Jiang G H. Study on the “agricultural value chain+internet finance” mode: The evidences from the financing loans in Nongfu and Jingnong. Rural Economy, 2017(04): 49–55. (in Chinese)
- [3] Dada M, Hu Q. Financing newsvendor inventory. Operations Research Letters, 2008, 36(5): 569–573.
- [4] Kouvelis P, Zhao W. Financing the newsvendor: supplier vs. bank, and the structure of optimal trade credit contracts. Operations Research, 2012, 60(3): 566–580.
- [5] Cai G, Chen X, Xiao Z. The roles of bank and trade credits: theoretical analysis and empirical evidence. Production and Operations Management, 2014, 23(4): 583–598.
- [6] Chen X F. A model of trade credit in a capital-constrained distribution channel. International Journal of Production Economics, 2015, 159(1): 347–357.
- [7] Jing B, Chen X, Cai G. Equilibrium financing in a distribution channel with capital constraint. Production and Operations Management, 2012, 21(6): 1090–1101.
- [8] Yang S A, Birge J R. Trade credit, risk sharing, and inventory financing portfolios. Management Science, 2018, 64(8): 3469–3970.
- [9] Tang C S, Yang S A, Wu J. Sourcing from suppliers with financial constraints and performance risk. Manufacturing Service Operations Management, 2018, 22(1): 70–84.
- [10] 陈祥锋.资金约束供应链中贸易信用合同的决策与价值.管理科学学报,2013,16(12):13–20.
Chen X F. The value of trade credit contract in capital-constrained supply chains. Journal of Management Sciences in China, 2013, 16(12): 13–20. (in Chinese)
- [11] 徐贤浩,邓晨,彭红霞.基于供应链金融的随机需求条件下的订货策略.中国管理科学,2011,19(2):63–70.
Xu X H, Deng C, Peng H X. Ordering strategy research based on financial supply chain under conditions of stochastic demands. Chinese Journal of Management Science, 2011, 19(2): 63–70. (in Chinese)
- [12] 王文利,骆建文.交易信用与资金约束下两阶段零售商订货策略.系统工程理论与实践,2014,34(2):304–312.
Wang W L, Luo J W. Two-stage ordering strategies of the retailer under trade credit and capital constraint. Systems Engineering: Theory and Practice, 2014, 34(2): 304–312. (in Chinese)
- [13] 叶飞,黄建辉,林强.资金约束下订单农业供应链中的农户最优策略.系统工程理论与实践,2017,37(6):1467–1478.
Ye F, Huang J H, Lin Q. The optimal production strategies of the farmer in contract-farming supply chain under capital constraint. Systems Engineering: Theory and Practice, 2017, 37(6): 1467–1478. (in Chinese)
- [14] 黄建辉,叶飞,林强.随机产出下考虑资金约束的农产品供应链补贴机制研究.管理学报,2017,14(2):277–285.
Huang J H, Ye F, Lin Q. Government subsidy mechanism in agricultural supply chain considering capital constrain under random yield. Chinese Journal of Management, 2017, 14(2): 277–285. (in Chinese)
- [15] 黄建辉,叶飞,周国林.产出随机及贸易信用下农产品供应链农户决策与政府补偿价值.中国管理科学,2018,26(1):107–117.
Huang J H, Lin F, Zhou G L. Decisions and the value of government compensation in agricultural supply chain under trade credit and uncertainty of production yield. Chinese Journal of Management Science, 2018, 26(1): 107–117. (in Chinese)

- [16] 叶 飞, 林 强, 莫瑞君. 基于B-S模型的订单农业供应链协调机制研究. 管理科学学报, 2012, 15(1): 66–76.
Ye F, Lin Q, Mo R J. Contract-farming supply chain coordination mechanism based on B-S model. Journal of Management Sciences in China, 2012, 15(1): 66–76. (in Chinese)
- [17] Zant W. Hedging price risk of farmers by commodity boards: A simulation applied to the Indian natural rubber market. World Development, 2001, 29(4): 691–710.
- [18] Hosseini-Yekani S A, Zibaei M, Allen D E. The choice of feasible commodities for futures trading: A study of Iranian agricultural commodities. African Journal of Agricultural Research, 2009, 4(3): 193–199
- [19] Khiem N T, Emor S. Linking Farmers to Markets through Contract Farming. Markets and Development Bulletin, 2005.
- [20] 涂国平, 冷碧滨. 基于博弈模型的“公司+农户”模式契约稳定性及模式优化. 中国管理科学, 2010, 18(3): 148–157.
Tu G P, Leng B B. Contract stability and optimization of “company+farmer” mode based on game model. Chinese Journal of Management Science, 2010, 18(3): 148–157. (in Chinese)
- [21] 李 彬. “公司+农户”契约非完全性与违约风险分析. 华中科技大学学报(社会科学版), 2009, 23(3): 97–101.
Li B. Analysis on the incomplete contracts and the default risks of “company+farmer”. Journal of Huazhong University of Science and Technology(Social Science Edition), 2009, 23(3): 97–101. (in Chinese)
- [22] Narayanan S. Relationship Farming: The problem of enforcement in contract farming systems in India. Cornell University, Ithaca, USA, 2011.
- [23] Guo H, Jolly R W. Contractual arrangements and enforcement in transition agriculture: Theory and evidence from China. Food Policy, 2008, 33(6): 570–575.
- [24] 叶 飞, 林 强, 李怡娜. 基于CVaR的“公司+农户”型订单农业供应链协调契约机制. 系统工程理论与实践, 2011, 31(3): 450–460.
Ye F, Lin Q, Li Y N. Supply chain coordination for “company+farmer” contract-farming with CVaR criterion. Systems Engineering: Theory and Practice, 2011, 31(3): 450–460. (in Chinese)
- [25] 高青松, 何 花, 陈石平. 农业产业链“公司+农户”组织模式再造. 科学决策, 2010(1): 35–43.
Gao Q S, He H, Chen S P. Restructuring the agricultural industrial chain of “company+farmer” pattern. Scientific Decision-Making, 2010(1): 35–43. (in Chinese)
- [26] 伏红勇, 但 斌. 基于天气期权的“公司+农户”型订单契约机制研究. 系统工程学报, 2015, 30(6): 768–778.
Fu H Y, Dan B. Study of contract mechanism “company+farmer” pattern based on weather option. Journal of Systems Engineering, 2015, 30(6): 768–778. (in Chinese)
- [27] 黄虹富, 何 勇. 受成活率与价格影响的养殖业供应链协调. 系统工程学报, 2013, 28(5): 660–667.
Huang H F, He Y. Coordinating the agriculture supply chain affected by survivalratio and price. Journal of Systems Engineering, 2013, 28(5): 660–667. (in Chinese)
- [28] 浦徐进, 范旺达, 吴 亚. 不同契约下的农户与公司双边努力投入研究. 系统工程学报, 2016, 31(2): 242–253.
Pu X J, Fan W D, Wu Y. Comparison analysis on bilateral efforts of farmers and company considering different transaction modes. Journal of Systems Engineering, 2016, 31(2): 242–253. (in Chinese)
- [29] 严金明, 夏方舟, 李 强. 中国土地综合整治战略顶层设计. 农业工程学报, 2012(14): 1–9.
Yan J M, Xia F Z, Li Q. Top strategy design of comprehensive land consolidation in China. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2012(14): 1–9. (in Chinese)
- [30] 段禄峰, 唐文文. 涉农电子商务发展的理论、外部性及政策选择. 江苏农业科学, 2016(4): 4–7.
Duan L F, Tang W W. Study on the theory, externality and strategy of the development in agricultural e-commerce. Journal of Jiangsu Agricultural Science, 2016(4): 4–7. (in Chinese)
- [31] 徐 鑫, 卢福强. “聚土地”模式下农业电商破茧之路. 企业改革与管理, 2015(13): 60–61.
Xu X, Lu F Q. Study on the agricultural e-commerce development under the “land contract” mode. Enterprise Reform and Management, 2015(13): 60–61. (in Chinese)
- [32] 周立群, 邓宏图. 为什么选择了“准一体化”的基地合约—来自塞飞亚公司与农户签约的证据. 中国农村观察, 2004(3): 2–11.
Zhou L Q, Deng H T. Why the “quasi-integration” contracts are selected?: The evidences from the contracts signed by Sapphire company and farmers. China Rural Survey, 2004(3): 2–11. (in Chinese)
- [33] 王紫恒. 基于“聚土地”项目的新型农业产业模式研究. 安徽农业科学, 2018, 46(19): 201–203.
Wang Z H. Research on a new agricultural industry model based on “gather land” project. Journal of Anhui Agricultural Science, 2018, 46(19): 201–203. (in Chinese)

- [34] 李长海. 全产业链模式下的小众服务沱沱工社:有机行业的责任实验. WTO经济导刊, 2013(21): 91-93.
Li C H. Tootoo's organic experiment: the responsibility survey in the organic industry. WTO Economic Guide, 2013(21): 91-93. (in Chinese)
- [35] Jing B, Seidmann A. Finance Sourcing in a Supply Chain. Decision Support Systems, 2014, 58(1): 15-20.
- [36] 但斌, 伏红勇, 徐广业, 等. 风险厌恶下天气影响产出的农产品供应链协调. 系统工程学报, 2014, 29(3): 362-370.
Dan B, Fu H Y, Xu G Y, et al. Coordination of agri-food supply chain with weather-related yield under risk-averse producer. Journal of Systems Engineering, 2014, 29(3): 362-370. (in Chinese)
- [37] 叶飞, 林强. 销售价格受产出率影响下订单农业的定价模型. 系统工程学报, 2015, 30(3): 417-430.
Ye F, Lin Q. Pricing model for contract-farming under sale price affected by yield. Journal of Systems Engineering, 2015, 30(3): 417-430. (in Chinese)
- [38] Niu B, Jin D, Pu X. Coordination of channel members' efforts and utilities in contract farming operations. European Journal of Operational Research, 2016, 255(3): 869-883.

作者简介:

曾款 (1988—), 男, 江西萍乡人, 博士生, 研究方向: 供应链金融、互联网金融, Email: allenzen@hust.edu.cn;
徐贤浩 (1964—), 男, 湖北武汉人, 教授, 博士生导师, 研究方向: 生产运作管理, Email: xxhao@hust.edu.cn;
余祖阁 (1996—), 女, 湖北襄阳人, 硕士生, 研究方向: 供应链金融, Email: yuzuge@hust.edu.cn.

附录

引理1的证明

证明 在收购总价 ω 及贷款利率 r 给定的条件下, 农户的最优交付水平为 $\hat{e} = \frac{\omega + M - (r+1)C}{2k_1}$. 为便于求解, 这里将 $\Sigma_1(\omega, r)$ 整理为关于 e 的函数为

$$\begin{aligned} \text{Max}_e \Sigma_1 &= -2k_1 e^2 + Pe + M - C, \\ \text{s.t. } e &\geq \sqrt{\frac{M}{k_1}}. \end{aligned}$$

由 $\frac{\partial \Sigma_1(e)}{\partial e} = -4k_1 e + P$ 和 $\frac{\partial^2 \Sigma_1(e)}{\partial e^2} = -4k_1 < 0$, 可知当 $e = \frac{P}{4k_1}$ 时, 电商企业能够获得最大利润. 同时需要考虑约束条件 $e \geq \sqrt{\frac{M}{k_1}}$, 以下分两种情况讨论:

- 1) 当 $\frac{P}{4k_1} \geq \sqrt{\frac{M}{k_1}}$ 时, 最优交付水平满足约束条件. 因此, 最优交付水平为 $\frac{P}{4k_1}$;
- 2) 当 $\frac{P}{4k_1} \leq \sqrt{\frac{M}{k_1}}$ 时, 全局最优交付水平 $\frac{P}{4k_1}$ 不满足约束条件. 由于 $\Sigma_1(e)$ 在范围 $e \geq \sqrt{\frac{M}{k_1}}$ 内为减函数. 因此, 在约束条件下, $\Sigma_1(e)$ 的最优交付水平为 $\sqrt{\frac{M}{k_1}}$;

综上所述, 最优交付水平为 $\max\left(\frac{P}{4k_1}, \sqrt{\frac{M}{k_1}}\right)$, 同时农户的交付水平需满足 $\hat{e} = \frac{\omega + M - (r+1)C}{2k_1}$. 因此, 若公司向农户贷款, 则公司的最优策略 (ω^*, r^*) 满足 $\omega^* - (r^* + 1)C = 2k_1 \max\left(\frac{P}{4k_1}, \sqrt{\frac{M}{k_1}}\right) - M$.

定理1的证明

证明 由引理1可知, 若电商企业启动项目, 则最优策略 (ω^*, r^*) 满足 $\omega^* - (r^* + 1)C = 2k_1 \max\left(\frac{P}{4k_1}, \sqrt{\frac{M}{k_1}}\right) - M$. 下面分情况讨论:

- 1) 当 $\frac{P}{4k_1} \leq \sqrt{\frac{M}{k_1}}$ 时, 即 $M \geq \frac{P^2}{16k_1}$, 此时最优策略 (ω^*, r^*) 满足: $\omega^* - (r^* + 1)C = 2\sqrt{Mk_1} - M$, 即 $e = \frac{M}{k_1}$. 若能确保盈利 $\left(\Sigma_1\left(\sqrt{\frac{M}{k_1}}\right) \geq 0\right)$, 则电商企业将启动项目. 此时, $\Sigma_1\left(\sqrt{\frac{M}{k_1}}\right) \geq 0$ 可以转化为 $P\sqrt{\frac{M}{k_1}} \geq M + C$. 通过整理可得 $M \geq \frac{1}{2k_1}(P^2 - P\sqrt{P^2 - 4k_1C}) - C$. 因此, 当 $M \geq \max\left(\frac{P^2}{16k_1}, \frac{1}{2k_1}(P^2 - P\sqrt{P^2 - 4k_1C}) - C\right)$ 时, 通过最

优策略 $\omega^* - (r^* + 1)C = 2\sqrt{k_1 M} - M$ 可以实现盈利, 电商企业将启动该项目. 此时, 电商企业利润为 $\Sigma_1 \left(\sqrt{\frac{M}{k_1}} \right) \geq P\sqrt{\frac{M}{k_1}} - M - C$, 而农户利润为 $\Pi_1 \left(\sqrt{\frac{M}{k_1}} \right) = 0$.

2) 当 $\frac{P}{4k_1} \geq \sqrt{\frac{M}{k_1}}$ 时, 即 $M \leq \frac{P^2}{16k_1}$, 此时最优策略 (ω^*, r^*) 满足: $\omega^* - (r^* + 1)C = \frac{P}{2} - M$, 即 $e = \frac{P}{4k_1}$. 若电商企业能够盈利 ($\Sigma_1 \left(\frac{P}{4k_1} \right) \geq 0$), 则项目启动. 此时 $\Sigma_1 \left(\frac{P}{4k_1} \right) \geq 0$ 可以转化为 $M \geq C - \frac{P^2}{8k_1}$. 因此, 当 $C - \frac{P^2}{8k_1} \leq M \leq \frac{P^2}{16k_1}$, 最优策略 $\omega^* - (r^* + 1)C = \frac{P}{2} - M$ 将实现盈利, 电商企业将启动该项目. 此时, 电商企业利润为 $\Sigma_1 \left(\frac{P}{4k_1} \right) = \frac{P^2}{8k_1} + M - C$, 而农户利润为 $\Pi_1 \left(\frac{P}{4k_1} \right) = \frac{P^2}{16k_1} - M$.

3) 当 $M \leq \max \left(C - \frac{P^2}{8k_1}, \frac{1}{2k_1} \left(P^2 - P\sqrt{P^2 - 4k_1 C} \right) - C \right)$ 时, 则 $\Sigma_1 \left(\frac{P}{4k_1} \right) \leq 0$, $\Sigma_1 \left(\sqrt{\frac{M}{k_1}} \right) \leq 0$, 即对任何满足 $\omega^* - (r^* + 1)C = 2k_1 \times \max \left(\frac{P}{4k_1}, \sqrt{\frac{M}{k_1}} \right) - M$ 的最优策略 (ω^*, r^*) , 电商企业都无法盈利. 因此, 电商企业将不会启动该项目. 此时, 电商企业利润为 $\Sigma_1 = 0$, 农户利润为 $\Pi_1 = 0$.

定理2的证明

证明 电商企业的利润函数为 $\Sigma_2(e) = e[P - C] - (1 - e)C - k_2 e^2 - \Delta$, 由于 $\frac{\partial \Sigma_2(e)}{\partial e} = P - 2k_2 e$ 和 $\frac{\partial^2 \Sigma_2(e)}{\partial e^2} = -2k_2 \leq 0$, 从而最优交付水平为 $\hat{e} = \frac{P}{2k_2}$, 此时利润为 $\Sigma_2 \left(\frac{P}{2k_2} \right) = \frac{P^2}{4k_2} - C - \Delta$.

定理3的证明

证明 假设 $k_1 = k_2 = k$, 在“公司租赁”模式下, 整个供应链的总利润为 $\Sigma_2 + \Pi_2 = \left(\frac{P^2}{4k} - C \right)^+$. 而在“公司+农户”模式下, 整个供应链的总利润取决于农户的抵押品价值, 其利润表达式

$$\Sigma_1 + \Pi_1 = \begin{cases} P\sqrt{\frac{M}{k_1}} - M - C, & M \geq \max \left(\frac{P^2}{16k_1}, \frac{1}{2k_1} \left(P^2 - P\sqrt{P^2 - 4k_1 C} \right) - C \right) \\ \frac{3P^2}{16k_1} - C, & C - \frac{P^2}{8k_1} \leq M \leq \frac{P^2}{16k_1} \\ 0, & M \leq \max \left(C - \frac{P^2}{8k_1}, \frac{1}{2k_1} \left(P^2 - P\sqrt{P^2 - 4k_1 C} \right) - C \right). \end{cases}$$

1) 若 $M \geq \max \left(\frac{P^2}{16k}, \frac{1}{2k} \left(P^2 - P\sqrt{P^2 - 4kC} \right) - C \right)$, 整个供应链的利润为 $\Sigma_1 + \Pi_1 = P\sqrt{\frac{M}{k_1}} - M - C$. 当 $M = \frac{P^2}{4k}$ 时, $(\Sigma_1 + \Pi_1)$ 可以达到的最大利润 $\frac{P^2}{4k} - C$.

2) 若 $C - \frac{P^2}{8k} \leq M \leq \frac{P^2}{16k}$, 供应链的总利润为 $\Sigma_1 + \Pi_1 = \frac{3P^2}{16k} - C$.

3) 若 $M \leq \max \left(C - \frac{P^2}{8k}, \frac{1}{2k} \left(P^2 - P\sqrt{P^2 - 4kC} \right) - C \right)$, 此时项目不启动, 供应链的总利润为 $\Sigma_1 + \Pi_1 = 0$.

综上所述, 在“公司+农户”模式下, 供应链总利润满足 $\Sigma_1 + \Pi_1 \leq \frac{P^2}{4k} - C$, 而“公司租赁”模式下, 供应链的总利润为 $\Sigma_1 + \Pi_1 = \left(\frac{P^2}{4k} - C \right)^+$. 因此 $(\Sigma_1 + \Pi_1 \leq \Sigma_2 + \Pi_2)$, 即整个供应链在“公司租赁”模式下利润将高于“公司+农户”模式.

定理4的证明

证明 因为 $k_1 = k_2 = k$, 农户在“公司+农户”模式和“公司租赁”模式下的利润如下

$$\Pi_1 = \begin{cases} \frac{P^2}{16k} - M, & M \in \left[C - \frac{P^2}{8k}, \frac{P^2}{16k} \right] \\ 0, & M \notin \left[C - \frac{P^2}{8k}, \frac{P^2}{16k} \right]. \end{cases}$$

$$\Pi_2 = \Delta.$$

当 $M \notin \left[C - \frac{P^2}{8k}, \frac{P^2}{16k} \right]$ 时, 由于 $\Delta = \Pi_2 \geq \Pi_1 = 0$, 因此农户将选择“公司租赁”模式;

当 $M \in \left[C - \frac{P^2}{8k}, \frac{P^2}{16k} \right]$ 时, 若 $\Delta \geq \frac{P^2}{16k} - M$, 则 $\Pi_1 \leq \Pi_2$, 即农户选择“公司租赁”模式; 若 $\Delta \leq \frac{P^2}{16k} - M$, 则 $\Pi_1 \geq \Pi_2$, 即农户选择“公司+农户”模式.

定理5的证明

证明 因为 $k_1 = k_2 = k$, 电商企业不同农业产业模式下的利润分别如下

$$\Sigma_1 = \begin{cases} P\sqrt{\frac{M}{k}} - M - C, & M \geq \max\left(\frac{P^2}{16k}, \frac{1}{2k}(P^2 - P\sqrt{P^2 - 4kC}) - C\right) \\ \frac{P^2}{8k} + M - C, & C - \frac{P^2}{8k} \leq M \leq \frac{P^2}{16k} \\ 0, & M \leq \max\left(C - \frac{P^2}{8k}, \frac{1}{2k}(P^2 - P\sqrt{P^2 - 4kC}) - C\right). \end{cases}$$

$$\Sigma_2 = \left(\frac{P^2}{4k} - C - \Delta\right)^+.$$

当 $C - \frac{P^2}{8k} \leq M \leq \frac{P^2}{16k}$, 若 $(\Sigma_1 \leq \Sigma_2)$ 且 $\Sigma_2 \geq 0$, 那么电商企业将选择“公司租赁”模式, $(\Sigma_1 \leq \Sigma_2)$ 可整理为 $\Delta \leq \frac{P^2}{8k} - M$, $\Sigma_2 \geq 0$ 可整理为 $\Delta \leq \frac{P^2}{4k} - C$. 同时, $\frac{P^2}{8k} + M - C \geq 0$, 即 $\frac{P^2}{8k} - M \leq \frac{P^2}{4k} - C$. 所以, 同时满足 $(\Sigma_1 \leq \Sigma_2)$ 和 $\Sigma_2 \geq 0$ 可以整理为 $\Delta \leq \frac{P^2}{8k} - M$. 若 $(\Sigma_1 \geq \Sigma_2)$ 且 $\Sigma_1 \geq 0$, 则公司选择“公司+农户”模式, $(\Sigma_1 \geq \Sigma_2)$ 可整理为 $\Delta \geq \frac{P^2}{8k} - M$, 同时满足 $\Sigma_1 \geq 0$. 所以, $(\Sigma_1 \geq \Sigma_2)$ 且 $\Sigma_1 \geq 0$ 可以表达为 $\Delta \geq \frac{P^2}{8k} - M$.

当 $M \geq \max\left(\frac{P^2}{16k}, \frac{1}{2k}(P^2 - P\sqrt{P^2 - 4kC}) - C\right)$ 时, 若 $(\Sigma_1 \leq \Sigma_2)$ 且 $\Sigma_2 \geq 0$, 那么电商企业将选择“公司租赁”模式, $(\Sigma_1 \leq \Sigma_2)$ 可整理为 $\Delta \leq \left(\frac{P}{2\sqrt{k}} - \sqrt{M}\right)^2$, $\Sigma_2 \geq 0$ 可整理为 $\Delta \leq \frac{P^2}{4k} - C$. 同时, $P\sqrt{\frac{M}{k}} - M - C \geq 0$ 即 $\left(\frac{P}{2\sqrt{k}} - \sqrt{M}\right)^2 \leq \frac{P^2}{4k} - C$. 所以, 同时满足 $(\Sigma_1 \leq \Sigma_2)$ 和 $\Sigma_2 \geq 0$ 可以整理为 $\Delta \leq \left(\frac{P}{2\sqrt{k}} - \sqrt{M}\right)^2$. 若 $(\Sigma_1 \geq \Sigma_2)$ 且 $\Sigma_1 \geq 0$, 则电商企业选择“公司+农户”模式, $(\Sigma_1 \geq \Sigma_2)$ 可整理为 $\Delta \geq \left(\frac{P}{2\sqrt{k}} - \sqrt{M}\right)^2$, 同时 $\Sigma_1 \geq 0$. 所以, $(\Sigma_1 \geq \Sigma_2)$ 且 $\Sigma_1 \geq 0$ 可以表达为 $\Delta \geq \left(\frac{P}{2\sqrt{k}} - \sqrt{M}\right)^2$.

当 $M \leq \max\left(C - \frac{P^2}{8k}, \frac{1}{2k}(P^2 - P\sqrt{P^2 - 4kC}) - C\right)$ 时, 电商企业不会采取“公司+农户”模式. 此时, 只要“公司租赁”模式能够盈利, 电商企业将选择“公司租赁”模式, 否则电商企业不会启动项目.

定理6的证明

证明 当 $M \notin \left[C - \frac{P^2}{8k}, \frac{P^2}{16k} \right]$ 时, 由定理4可知, 农户将选择“公司租赁”模式, 此时, 电商企业可以选择“公司租赁”模式, 或选择放弃项目. 同时, 由定理5可知, 若 $M \geq \max\left(\frac{P^2}{16k}, \frac{1}{2k}(P^2 - P\sqrt{P^2 - 4kC}) - C\right)$, 电商企业选择“公司租赁”模式的条件为 $0 \leq \Delta \leq \left(\frac{P}{2\sqrt{k}} - \sqrt{M}\right)^2$; 若 $M \leq \max\left(C - \frac{P^2}{8k}, \frac{1}{2k}(P^2 - P\sqrt{P^2 - 4kC}) - C\right)$, 电商企业选择“公司租赁”模式的条件为 $0 \leq \Delta \leq \frac{P^2}{4k} - C$.

当 $M \in \left[C - \frac{P^2}{8k}, \frac{P^2}{16k} \right]$ 时, 由定理4可知, 农户选择“公司+农户”模式的条件为 $\Delta \leq \frac{P^2}{16k} - M$, 选择“公司租赁”模式的条件为 $\Delta \geq \frac{P^2}{16k} - M$; 定理5给出了电商企业选择“公司+农户”模式的条件为 $\Delta \geq \frac{P^2}{8k} - M$, 选择“公司租赁”模式的条件为 $\Delta \leq \frac{P^2}{8k} - M$. 由于 $\frac{P^2}{8k} - M \geq \frac{P^2}{16k} - M$, 可知“公司+农户”模式无法保证电商和农户双赢, 而“公司租赁”模式下的土地租金范围为 $\frac{P^2}{16k} - M \leq \Delta \leq \frac{P^2}{8k} - M$.