

doi: 10.19920/j.cnki.jmsc.2023.08.008

# 农产品冷库 PPP 项目运营模式及补贴设计<sup>①</sup>

冯 卓, 宋金波, 胡祥培  
(大连理工大学经济管理学院, 大连 116024)

**摘要:** 本研究分析并比较了企业参与农产品冷库 PPP 项目的两种常见运营模式, 即购买模式和租赁模式。研究发现只有当冷库的建设成本较低时, 企业才愿意参与到冷库建设中, 并且两种模式都导致较低的农民利润和社会福利。为了提高两种模式下的社会福利, 进一步研究了政府的补贴设计问题, 研究发现政府补贴可以在一定条件下提高两种模式下的社会福利, 在此基础上给出了政府应选择对农民还是对企业进行补贴的边界条件。关于两种模式之间的比较, 研究发现租赁模式下的农民利润和社会福利更低, 而且租赁模式使得政府更难通过补贴设计来提高社会福利。研究结果旨在为政府科学确定农产品冷库 PPP 项目的运营模式以及补贴设计提供决策支持。

**关键词:** 冷库; PPP; 运营模式; 政府补贴

**中图分类号:** F224 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-9807(2023)08-0133-19

## 0 引 言

由于蔬菜、水果等农产品的保鲜时间较短, 农民对该类农产品进行销售时通常采用集中采收以及集中上市的方式, 很难及时根据市场行情确定采收和上市时间, 从而降低了农民的种植利润。尤其是我国很多优质的蔬菜、水果等农产品都集中在中西部欠发达地区, 短暂的保鲜时间使得这些农产品很难在全国市场进行销售, 导致农民只能在当地市场低价销售, 很多农产品由于销售不及时直接腐烂, 造成了巨大的浪费。如何延长蔬菜、水果等农产品的保鲜时间, 进而延长农民的销售时间甚至是扩大农民的销售市场, 减少农民的产后损失, 解决好农产品产销衔接和出村进城“最初一公里”问题, 成

为摆在很多政府面前的一个重要问题, 这对于我国脱贫攻坚工作的推进以及乡村振兴战略的实施也具有重要意义。

为了延长蔬菜、水果等农产品的保鲜时间, 越来越多的农村地区开始推行冷库建设, 如贵州省榕江县 2018 年对 500 m<sup>3</sup> 冷库建设进行了招标<sup>②</sup>, 2019 年海南省琼海市批准了 4 000 t 农产品冷藏库的改扩建项目规划图纸<sup>③</sup>, 2019 年云南省曲靖市麒麟区批准了 3 万 t 蔬菜冷库扩建项目的林地使用请求<sup>④</sup>。在国家政策层面, 2020 年 7 月, 中央农村工作领导小组办公室、发展和改革委员会、财政部等七部门联合印发了《关于扩大农业农村有效投资, 加快补上“三农”领域突出短板的意见》, 该《意见》将农产品仓储保鲜冷链物流设施列为农业农村领域补短板的重大工程项目之一, 强调

① 收稿日期: 2020-11-26; 修订日期: 2022-02-22.

基金项目: 国家重点研发计划资助项目(2019YFD1101103); 国家自然科学基金资助项目(71702020; 71734001; 72171036); 中央高校基本科研业务费资助项目(DUT21RW203); 国家社会科学基金资助重大项目(20&ZD129).

作者简介: 冯 卓(1987—), 男, 山东聊城人, 博士, 副教授, 博士生导师. Email: zhfeng@dlut.edu.cn

② <http://www.ccg.gov.cn/cggg/dfgg/jztpgg/201910/t2019102813195378.htm>

③ <http://qionghai.hainan.gov.cn/zfxxgkzl/bm/gtj/gkml/201907/t201907302640220.html>

④ [http://www.ql.gov.cn/html/2019/forestry\\_0620/65334.html](http://www.ql.gov.cn/html/2019/forestry_0620/65334.html)

指出要加快该领域的建设,尤其提出要积极引导和鼓励社会资本在该领域的投资<sup>⑤</sup>。

尽管冷库建设可以帮助农民根据市场行情安排农产品的销售,但不可否认的是冷库建设也需要较大的资金投入,往往超出农民个人甚至是地方政府的承受能力。此外,冷库的运营也依赖于很多专业技术,例如,如何通过对蒸发器、压缩机以及膨胀阀等进行控制以维持稳定的温度等,这往往是农民个人或地方政府所不具备的。在这种情况下,政府与社会资本合作(Public-Private Partnership, PPP)模式被越来越多地应用到我国农产品冷库建设中,如山东省东明县现代农业综合服务平台建设 PPP 项目以及河南省固始县大别山农产品(果品)批发市场建设 PPP 项目等,均要求社会资本承担冷库的建设和运营。值得指出的是,在冷库建设中鼓励社会资本的参与不仅仅局限于我国,其他国家和地区也在积极进行冷库建设的 PPP 实践,如印度浦那(PUNE)地区接近一半的冷库项目均由企业所开发<sup>[2]</sup>。为了表述的方便,在本研究接下来的分析中,统一将“社会资本”简称为“企业”。

企业参与 PPP 冷库建设可以通过多种运营模式来回收投资并获得收益,常见的两种运营模式为购买模式和租赁模式。在购买模式下,企业直接收购农民的农产品并在冷库中进行贮存,通过农产品的销售收入来弥补前期的建设投资,例如,青州市国财蔬菜种植专业合作社即采用此种冷库运营模式。购买模式在其他类型的农村基础设施 PPP 项目中也较为普遍,如加纳、毛里塔尼亚以及土耳其等国家的灌溉基础设施项目,企业首先向农民免费提供灌溉服务,然后通过购买并销售农民的农作物来获取利润<sup>[2]</sup>;在租赁模式下,企业只是向农民提供冷库租赁服务,然后通过收取租赁费来弥补冷库的前期建设投资,前文提到的东明县以及固始县的冷库建设 PPP 项目均采用租赁模式。

尽管学者们对 PPP 模式已经进行了大量的研究,但主要集中于交通、电力等领域,如何利用

PPP 模式帮助农民进行冷库建设以提高农民收入尚未得到学者们的关注。与一般 PPP 项目相比,农产品冷库 PPP 项目具有显著的不同,具体而言,在一般 PPP 项目下,用户只是项目的使用者,项目的实际运营只影响用户是否参与而对用户的其他决策并不产生影响,因此在对一般 PPP 项目的运营决策进行分析时通常只需要考虑政府与企业之间的博弈关系即可;而对于冷库 PPP 项目,农民不仅是项目的使用者,而且还是项目的参与方,项目的实际运营不仅影响农民是否参与,而且还对农民的种植及销售决策产生影响,这就要求在对冷库 PPP 项目的运营模式进行分析时,需要同时考虑政府、企业以及农民三方之间的博弈关系。

本研究站在政府的视角上,研究政府对于冷库 PPP 项目运营模式的选择以及不同模式下政府补贴的设计问题。首先通过考虑购买和租赁两种运营模式对农民种植及销售决策的影响,识别企业参与冷库建设的边界条件,在此基础上对不同运营模式下的农民利润、企业利润以及社会福利进行比较,从而确定较优的冷库运营模式。为了完成对购买和租赁两种运营模式的比较,本研究进一步对两种模式下的政府补贴设计进行研究。学者们以交通、电力等一般 PPP 项目为背景,已经对政府补贴进行了大量研究,但现有结论难以直接借鉴到农产品冷库这一特殊情境下,这是因为政府补贴不仅影响着企业的决策,而且影响着农民的种植及销售决策。此外,之前的研究隐含假设政府应当对企业进行补贴,忽视了政府对用户进行补贴的情形。基于此,本研究分别在购买和租赁两种模式下研究政府应当给予项目补贴的边界条件,在此基础上研究政府应当对企业还是农民进行补贴的选择决策问题。

## 1 文献综述

本研究与基于社会责任的运作管理(socially responsible operations)领域密切相关,很多学者研

<sup>⑤</sup> <http://www.scio.gov.cn/xwfbh/xwfbh/wqfbh/42311/43798/xgzc43804/Document/1688278/1688278.htm>

究了如何利用供应链工具帮助农民提高收入. Federgruen 等对订单农业进行了供应链分析,通过建立不对称信息的 Stackelberg 博弈模型,研究了制造商提供给农户的最优菜单合同设计<sup>[3]</sup>. Hu 等研究了策略型农民对于稳定农产品市场价格的作用,并指出即使市场上不存在策略型农民,企业通过在耕种前向一部分农民提供买断合同也可以达到类似效果<sup>[4]</sup>. Chen 等针对印度 ITC 公司的商业模式研究了 ITC 公司的信息设计,即是否应对所有农民提供农业生产或市场需求信息,在此基础上探讨了农民相应的生产决策<sup>[5]</sup>. Tang 等研究了订单农业中部分价格保证的影响,在部分价格保证下,企业对于部分产量给予农民保证价格但对于剩余产量按照市场价格进行收购. 研究发现当企业收购数量固定时,部分价格保证可以使双方受益<sup>[6]</sup>. Niu 等比较了企业-农民和企业-农业合作社-农民两种供应链结构,发现农业合作社的加入能够在一定条件下实现三赢<sup>[7]</sup>. 叶飞等将 B-S 期权定价模型应用到“公司+农户”型订单农业供应链分析中,研究发现公司可以利用期权来保证公司、农户都能获得稳定收益,并且增强了“公司+农户”型订单农业供应链的稳健性<sup>[8]</sup>. Uppari 等在考虑农民资金约束的基础上,研究了企业如何通过商业模式创新以及产品设计鼓励农民使用清洁能源<sup>[9]</sup>. Yi 等分析了发展中国家农作物平台对于农民融资的作用问题<sup>[9]</sup>. Levi 等研究了如何防范农业供应链中农民的掺假行为<sup>[9]</sup>. Lee 和 Shen 指出农业供应链的创新能为一带一路国家的农业领域创造巨大价值<sup>[9]</sup>. Sodhi 和 Tang 分析了在发展中国家如何将贫困群体作为供应商或者分销商嵌入到企业供应链中,并进一步针对这一领域给出了未来的研究方向<sup>[13]</sup>. 与之前的文献相比,本研究的侧重点有所不同. 具体而言,之前的文献更多集中于农产品的生产和销售,而本研究则侧重于冷库这种农业基础设施的建设和运营,并在此基础上研究政府补贴的最优设计.

与本研究密切相关的另外一支文献为 PPP 项目中的政府补贴设计,学者们通常认为政府通过补贴设计可以改变博弈各方的决策,从而带动社会福利的提高<sup>[5]</sup>. 在政府补贴的吸引作用方

面,高颖等研究了当 PPP 项目在运营期间出现需求量下降时,政府如何对企业进行补偿<sup>[17]</sup>. 吴孝灵等指出当 PPP 项目的实际运营收入与项目的预期收入存在差距时,政府应该对企业进行补贴,他们通过建立 Stackelberg 博弈模型研究了政府最优的补贴设计<sup>[18]</sup>. 宋波和徐飞同样强调了政府补贴对于吸引企业参与 PPP 项目的重要作用,他们以社会福利最大化为目标,在需求水平较低时给出了政府最优的补贴设计<sup>[19]</sup>. Song 等以垃圾焚烧发电项目为背景,通过建立系统动力学模型,给出了政府最优的补贴水平<sup>[20]</sup>. 在政府补贴的激励作用方面, Feng 等以 PPP 道路项目为背景,研究了不同的政府补贴设计对企业决策的影响<sup>[21]</sup>. 他们进一步通过建立关系合约模型,研究了当企业的绩效无法量化时,政府如何通过补贴设计激励企业提高这部分不能量化的绩效水平<sup>[22]</sup>. Wang 等研究了基于需求的补贴对 PPP 合约设计的影响,包括收费价格、需求量以及特许期长度等<sup>[23]</sup>. 与传统的 PPP 文献相比,本研究的贡献主要体现于两点. 首先,传统的 PPP 文献通常在需求给定情况下,聚焦于分析政府和企业之间的博弈关系,而对于冷库 PPP 项目,运营模式的选择还需要考虑其对农民生产和种植决策的影响,从而需要建立政府、企业和农民之间的博弈模型;其次,在激励性政府补贴设计时,传统的 PPP 文献通常聚焦于政府补贴企业的情形,而对于冷库 PPP 项目,政府可以选择不同的补贴对象,本研究在不同的运营模式下,给出了政府补贴企业还是农民的边界条件.

由于蔬菜、水果等农产品属于易逝品的一种,因此本研究与易逝品的库存管理也紧密相关. 一些学者根据易逝品不同的生命周期特征研究了易逝品最优的库存策略,如 Rong 等研究了衰减率随时间变化的易逝品的库存管理问题<sup>[24]</sup>. 还有一些学者研究了易逝品的定价及库存控制的联合决策问题,如 Chen 等通过考虑各个阶段的随机性需求,研究了最优的产品定价、订货及处置策略以最大化企业的期望收益<sup>[25]</sup>. 此外,还有很多学者通过考虑易逝品的回收再制造研究了其最优的库存策略,如 Fu 等以切花产业为背景,考虑了新产品

过时后可以被重新制造和销售的情形,在此基础上研究了新旧两种产品共存市场下的产品库存及产量决策<sup>[26]</sup>;Feng 等基于最优控制理论研究了易逝品回收系统的联合生产及再制造决策以实现总成本最小化<sup>[27]</sup>.关于易逝品的库存管理,Nahmias 提供了一个系统性综述<sup>[28]</sup>易逝品的库存管理强调如何对库存策略进行设计以最大化企业利润或最小化成本,通常假设库存能力为已知,很少分析仓库的建设问题.与此相比,本研究通过分析农民对农产品的种植和库存决策,聚焦于研究冷库库存能力的设计及冷库运营模式的选择,并在此基础上研究政府最优的补贴设计.

## 2 基础模型构建: 农民自建冷库的情形

本部分进行基础模型的构建,假设农民有足够的资金完成冷库建设,探究农民的最优决策及相应的农民利润,其结果将为第 4 部分进行 PPP 模式的分析提供基础.本部分首先对没有冷库情形下农民的种植和销售决策进行分析.如果农民种植的水果、蔬菜等农产品在采收后不在冷库中进行贮存,此类农产品很容易腐烂导致无法继续在市场上进行销售.为了便于讨论,假设农民必须在两个时间段内完成农产品的销售,否则剩余的农产品就会全部腐烂,腐烂后的农产品的剩余价值为 0.

当没有冷库贮存时,如果农民没有在第一阶段卖出所有的农产品,那么在第二阶段只有  $\alpha(0 \leq \alpha \leq 1)$  比例的农产品能够保留下来并继续销售.假设农民总的农产品产量为  $Q$ ,农民在第一阶段和第二阶段的卖出量分别为  $q_1$  和  $q_2$ ,那么  $q_1$  和  $q_2$  应当满足  $q_1 + \frac{q_2}{\alpha} = Q$ .假设两个时间段的市价  $P_i (i = 1, 2)$  都是随机变量,  $P_i$  的数学期望为  $\bar{P}_i$ , 第一阶段市价  $P_1$  的密度函数和分布函数分别为  $f(\cdot)$  和  $F(\cdot)$ .

本研究假设农产品的市价为外生随机变量,这是因为本研究分析单个农民的决策问题,其农产品产量很难对整体的市价产生影响,因

此可以将农民认为是市价的接受者,这种假设在文献中也较为常见,如文献[29~31]均在给定随机性市价下研究农民的决策问题.市价可能还受季节性的影响,这可以反映在模型的部分参量上,第 5 部分将对此进行分析.需要指出的是,第二阶段的市价可能会高于第一阶段的市价,这是因为市价虽然不受单个农民产量的影响,但是却依赖于市场整体的供需关系,因此,如果第二阶段的市价需求相比于供应更为旺盛,可能导致该阶段较高的市价,这也是进行冷库建设的部分原因,即通过延长农产品的保存时间,以获得更高的市价.此外,与文献[29~31]的假设一致,农民是市价的接受者也就意味着单个农民的产量都可以被整体市场需求所消化,否则农民总可以通过降价将之全部卖出,从而农民成为了市价的决定者,这与本研究的假设相矛盾.

下面给出事件的时间顺序: 1) 农民决定生产多少农产品 ( $Q$ ); 2) 农民观察到第一阶段的市价  $P_1$  并在该市价下决定卖出多少 ( $q_1$ ); 3) 农民观察到第二阶段的市价  $P_2$  并在该市价下销售剩余的农产品 ( $q_2$ ).采用逆向归纳法对该问题进行分析,当第一阶段的市价  $P_1$  实现后,如果农民在该阶段的销售量为  $q_1$ ,那么农民在两个阶段的期望利润为

$$\pi_1 = P_1 \cdot q_1 + \bar{P}_2 \cdot q_2 \tag{1}$$

由于  $q_2 = \alpha(Q - q_1)$ , 因此上式可重新写为

$$\begin{aligned} \pi_1 &= P_1 \cdot q_1 + \bar{P}_2 \cdot \alpha \cdot (Q - q_1) \\ &= (P_1 - \alpha \bar{P}_2) q_1 + \alpha \bar{P}_2 Q \end{aligned} \tag{2}$$

因此,如果  $P_1 \geq \alpha \bar{P}_2$ , 那么上式为  $q_1$  的增函数,从而农民在两个阶段的最优销量满足  $(q_1^*, q_2^*) = (Q, 0)$ ; 否则,如果  $P_1 < \alpha \bar{P}_2$ , 那么上式为  $q_1$  的减函数,从而  $(q_1^*, q_2^*) = (0, \alpha Q)$ .

接下来分析农民的种植决策,根据文献中的常用假设<sup>[32,33]</sup>,假设农民种植  $Q$  产量的农产品所付出的成本为  $\frac{1}{2}Q^2$ , 即农民的种植成本为产量的边际递增函数.由于农民在种植时并不知道两个

阶段的市场价格,因此农民通过决策  $Q$  以最大化自己的期望利润

$$\pi = \int_0^{\bar{P}_2} \bar{P}_2 \alpha Q f(x) dx + \int_{\bar{P}_2}^{\infty} x Q f(x) dx - \frac{1}{2} Q^2 \quad (3)$$

其中第一项为  $P_1 \geq \bar{P}_2$  时的期望利润,第二项为  $P_1 < \bar{P}_2$  时的期望利润,第三项为种植成本.容易证明上式为  $Q$  的凹函数,即其二阶导数为负  $\frac{\partial^2 \pi}{\partial Q^2} <$

0,因此最优的  $Q^*$  应当满足  $\frac{\partial \pi}{\partial Q^*} = 0$ ,从而得到

$$Q^* = \int_0^{\bar{P}_2} \alpha \bar{P}_2 f(x) dx + \int_{\bar{P}_2}^{\infty} x f(x) dx.$$

为了撰写的方便,作如下变换  $h = \int_0^{\bar{P}_2} \alpha \bar{P}_2 f(x) dx + \int_{\bar{P}_2}^{\infty} x f(x) dx$ ,从而有  $Q^* = h$ .将  $Q^*$  代入  $\pi$  可以计算出农民此时的期望利润为  $\pi^* = \frac{1}{2} h^2$ .

可以将上述的分析总结为以下引理:

**引理 1** 如果没有冷库贮存,那么农民最优的种植量为  $Q^* = h$ ,在该种植决策下,如果第一阶段实现的市场价格  $P_1$  满足  $P_1 \geq \bar{P}_2$ ,那么  $(q_1^*, q_2^*) = (Q^*, 0)$ , 否则有  $(q_1^*, q_2^*) = (0, \alpha Q^*)$ ,农民的期望利润为  $\pi^* = \frac{1}{2} h^2$ .

从以上分析中可以看出,如果  $\alpha < 1$ ,即使第一阶段的市场价格并不十分理想 ( $\alpha \bar{P}_2 \leq P_1 \leq \bar{P}_2$ ),为了避免农产品变质所带来的损失,农民仍被迫在第一阶段就销售掉所有的农产品,导致农民的利益损失.但是当农产品在冷库中进行贮存时,第一阶段未销售的农产品可以更多地留存到第二阶段进行销售.为了分析的简便,假设在冷库贮存条件下  $\alpha = 1$ ,即不存在农产品的变质损失.

如果农民并不受资金约束的影响,那么最优的冷库建设方案应当为农民自行建设,因为农民可以将冷库容量以及农产品的种植和销售进行一体化决策.作为基准模型,本部分研究如果农民有足够的资金来完成冷库建设,那么农民应当在什么条件下进行冷库建设以及冷库存在对农民的种

植和销售决策有何影响.

本部分事件的时间顺序与上一部分类似,只是农民在决定生产多少农产品的同时还需要决定冷库的贮存容量 ( $v$ ),其中  $Q \geq v$ ,否则将导致冷库的容量浪费.关于冷库的建设成本,遵循之前的文献<sup>[34]</sup>,假设单位容量的建设成本为  $k$ ,那么冷库总的建设成本为  $k \cdot v$ ,同时,假设单位农产品的贮存成本为  $c$ .

在冷库存在情形下,当农民完成第一阶段的销售后,如果冷库容量足够大,那么农民可以将剩余的全部农产品在第二阶段进行销售,但是如果冷库容量不足以满足剩余农产品的贮存要求,即  $v \leq Q - q_1$ ,那么只有  $v$  数量的农产品能够在第二阶段销售,另外的  $Q - q_1 - v$  数量的农产品只有  $\alpha$  比例能够保存下来并在第二阶段销售.同样采用逆向归纳法进行分析,当第一阶段的市场价格实现后,农民的期望利润为

$$\pi_1 = P_1 \cdot q_1 + \bar{P}_2 \cdot \min(v, Q - q_1) + \alpha \cdot \bar{P}_2 \cdot (Q - q_1 - \min(v, Q - q_1)) - c \cdot \min(v, Q - q_1) \quad (4)$$

其中第一项为在第一阶段销售的农产品所能获得的收入,第二项为在冷库中贮存的农产品在第二阶段所能获得的期望收入,第三项为不能在冷库中贮存的农产品在第二阶段所能获得的期望收入,最后一项为冷库的贮存成本.以下分两种情形进行分析.

**情形 1**  $v \leq Q - q_1$ .

在该情形下,  $\pi_1$  可以重新写为

$$\pi_1 = (P_1 - \alpha \bar{P}_2) \cdot q_1 + (\bar{P}_2 - \alpha \bar{P}_2 - c) v + \alpha \bar{P}_2 Q \quad (5)$$

因此,如果  $P_1 \geq \alpha \bar{P}_2$ ,那么上式为  $q_1$  的增函数,从而  $q_1^* = Q - v$ , 否则有  $q_1^* = 0$ .进而可以写出农民在进行建设和种植决策时的期望利润

$$\begin{aligned} \pi &= \int_{\alpha \bar{P}_2}^{\infty} (x - \alpha \bar{P}_2) (Q - v) f(x) dx + (\bar{P}_2 - \alpha \bar{P}_2 - c) v + \alpha \bar{P}_2 Q - kv - \frac{1}{2} Q^2 \\ &= \left( \int_0^{\alpha \bar{P}_2} \alpha \bar{P}_2 f(x) dx + \int_{\alpha \bar{P}_2}^{\infty} x f(x) dx \right) Q + \end{aligned}$$

$$\left( (\bar{P}_2 - \alpha\bar{P}_2 - c) - \int_{\alpha\bar{P}_2}^{\infty} (x - \alpha\bar{P}_2) f(x) dx \right) v - kv - \frac{1}{2}Q^2 \quad (6)$$

为了表述的方便,做以下代换  $t = (\bar{P}_2 - \alpha\bar{P}_2 - c) - \int_{\alpha\bar{P}_2}^{\infty} (x - \alpha\bar{P}_2) f(x) dx$  从而  $\pi$  可以进一步写为

$$\pi = hQ + tv - kv - \frac{1}{2}Q^2 \quad (7)$$

因此,农民在进行建设和种植决策时需要求解以下规划问题

$$\max_{Q^*} \pi = hQ + tv - kv - \frac{1}{2}Q^2 \quad s.t. \quad v \leq Q \quad (8)$$

如果  $k \leq t$ ,那么上式为  $v$  的增函数,从而  $v^* = Q$ ,进而可以计算农民最优的种植量为  $Q^* = h + t - k$ ,农民的期望利润为  $\pi^* = \frac{1}{2}(h + t - k)^2$ ; 否则,上式为  $v$  的减函数,从而  $v^* = 0$ ,此时农民最优的种植量为  $Q^* = h$ ,农民的期望利润为  $\pi^* = \frac{1}{2}h^2$ .

情形2  $v > Q - q_1$ .

在该情形下,  $\pi_1$  可以重新写为

$$\pi_1 = (P_1 - \bar{P}_2 + c)q_1 + (\bar{P}_2 - c)Q \quad (9)$$

因此,如果  $P_1 \geq \bar{P}_2 - c$ ,那么上式为  $q_1$  的增函数,从而  $q_1 = Q$ ; 否则有  $q_1 = Q - v$ . 进而可以写出农民在进行建设和种植决策时的期望利润

$$\begin{aligned} \pi &= \int_{\bar{P}_2 - c}^{\infty} (x - \bar{P}_2 + c) Q f(x) dx + \int_0^{\bar{P}_2 - c} (x - \bar{P}_2 + c) (Q - v) f(x) dx + (\bar{P}_2 - c)Q - kv - \frac{1}{2}Q^2 \\ &= \bar{P}_1 Q + \int_0^{\bar{P}_2 - c} (\bar{P}_2 - c - x) f(x) dx - kv - \frac{1}{2}Q^2 \end{aligned} \quad (10)$$

同样,为了表述的方便,令  $s = \int_0^{\bar{P}_2 - c} (\bar{P}_2 - c - x) f(x) dx$  从而  $\pi$  可以进一步写为

$$\pi = \bar{P}_1 Q + sv - kv - \frac{1}{2}Q^2 \quad (11)$$

因此,农民在进行建设和种植决策时需要求解以下规划问题

$$\max_{Q^*} \pi = \bar{P}_1 Q + sv - kv - \frac{1}{2}Q^2 \quad s.t. \quad v \leq Q \quad (12)$$

如果  $k \leq s$ ,那么上式为  $v$  的增函数,从而  $v^* = Q$ ,农民最优的种植量为  $Q^* = \bar{P}_1 + s - k$ ,农民的期望利润为  $\pi^* = \frac{1}{2}(\bar{P}_1 + s - k)^2$ ; 否则,上式为  $v$  的减函数,从而  $v^* = 0$ ,此时农民最优的种植量为  $Q^* = \bar{P}_1$ ,农民的期望利润为  $\pi^* = \frac{1}{2}\bar{P}_1^2$ .

命题1 1) 如果  $k \leq \bar{P}_1 + s - h$ ,那么  $v^* = Q^* = \bar{P}_1 + s - k$ ,在该建设及种植决策下,如果第一阶段实现的市场价格  $P_1$  满足  $P_1 \geq \bar{P}_2 - c$ ,那么  $(q_1^*, q_2^*) = (Q^*, 0)$ , 否则有  $(q_1^*, q_2^*) = (0, Q^*)$ ,农民的期望利润为  $\pi^* = \frac{1}{2}(\bar{P}_1 + s - k)^2$ ;

2) 如果  $k > \bar{P}_1 + s - h$ ,那么  $v^* = 0, Q^* = h$ ,在该建设及种植决策下,如果第一阶段实现的市场价  $P_1$  满足  $P_1 \geq \alpha\bar{P}_2$ ,那么  $(q_1^*, q_2^*) = (Q^*, 0)$ , 否则有  $(q_1^*, q_2^*) = (0, \alpha Q^*)$ ,农民的期望利润  $\pi^* = \frac{1}{2}h^2$ .

与上一部分的结果进行比较,可以看出,只有当冷库的单位建设成本足够小时 ( $k \leq \bar{P}_1 + s - h$ ),农民才能够在冷库建设中获益 ( $\frac{1}{2} \times (h + t - k)^2 \geq \frac{1}{2}h^2$ ),并且冷库的建设容量与农产品产量相同,冷库的存在还会导致农民扩大种植量 ( $\bar{P}_1 + s - k > h$ ). 关于农民的销售决策,其与冷库不存在的情形基本相同,即如果第一阶段的市场价格足够高,那么农民将在第一阶段卖出所有的农产品,否则农民将在第二阶段卖出所有的农产品. 但与上部分不同的是,即使农民没有在第一阶段进行出售,农民在第二阶段仍然可以卖

出所有的农产品,即  $q_2^* = Q^*$ 。当冷库的单位建设成本较高时,农民倾向于不建设冷库,此时农民的种植及销售决策与上一部分完全相同。

### 3 企业通过 PPP 模式参与冷库建设的情形

第 3 部分的基准模型假设农民拥有足够的资金来完成冷库建设,但是在实践中,农民的收入水平通常较低,难以负担冷库的建设成本。需要指出的是,根据 Thaler 所提出的“心理账户”理论,农民可能并不会挪用部分的种植成本来建设冷库<sup>[35]</sup>。事实上,根据该理论,人们通常将收入归为不同的账户以适应不同消费的需要。人们在消费过程中倾向于只花费相应账户的资金,而拒绝不同账户资金之间的相互转移。该理论已经被大量的心理学及实验经济学的实验所验证,文献 [35] 进一步指出家庭或组织的收入越低,这种心理账户的现象越明显。文献 [9] 利用该理论解释了欠发达国家地区农民只使用归入“电灯账户”的收入而非全部收入购买电灯的现象。为了更清晰地对 PPP 模式下的冷库运营模式进行分析,本研究假设农民同时存在“种植账户”和“冷库账户”两个心理账户,而“冷库账户”的预算为 0,从而需要完全由企业出资来进行冷库的建设。

在 PPP 模式下,企业首先利用自己的自有资金完成冷库建设,然后通过使用者付费或者政府补贴等方式获得运营收入以弥补前期投资并获得利润。冷库的运营通常采用两种模式,即购买模式和租赁模式。在购买模式下,企业通过收购农民的农产品并进行销售来获得冷库的运营收入;而在租赁模式下,企业通过向农民收取租赁费来获得运营收入。在不同的运营模式下,企业和农民各自的决策变量会发生变化,但都为了最大化自身收益,而无论在何种运营模式下,政府都需要通过决策政府补贴来最大化社会福利,表现为企业和农民在补贴下的总利润减去政府补贴及所产生的补贴成本。

冷库项目具有准公共品的特点,即具有排他性和非竞争性。具体而言,如果一个农民的农产品占用一定的冷库容量,那么该容量就无法被其他农民的农产品所继续使用(排他性);而农产品的保鲜水平并不会随着使用农民数量的增加而有所降低(非竞争性)。正因为农产品冷库的准公共性特点,国家有关部委出台了多项政策鼓励企业参与到冷库项目投资中,根据财政部 PPP 中心的统计数据,进入项目管理库的农产品冷库项目也已达十余个<sup>⑥</sup>。冷库项目的准公共性特点也促使政府在企业运营冷库过程中施加一定的规制以保护公众利益,本研究将在第 5 部分分析政府在购买模式及租赁模式下的最优政府规制设计。

无论是在购买模式还是在租赁模式下,企业在特许经营期间都拥有冷库项目的产权,表现为决策控制权及剩余收益权。首先,企业在运营期间可以决策农产品的收购价格或者冷库的租赁价格,即企业拥有冷库运营决策的控制权;其次,在需求不确定下,冷库运营的收益都归企业所有,这意味着企业也拥有冷库运营收益的剩余所有权。当特许期结束冷库移交给政府后,冷库的产权也随之转移给政府。这与文献中关于 PPP 项目产权分配的讨论也是一致的<sup>[36,37]</sup>。由于本研究重点关注冷库两种运营模式的比较,因此为了分析的聚焦,也为了模型参数的简洁,本研究在基础模型构建中并没有明确给出项目的特许期,而在第 5 部分分析政府在两种模式下的最优特许期决策。

本部分在研究企业通过 PPP 参与冷库建设时,将分别针对购买模式和租赁模式展开分析,在每种模式下,分别研究企业和农民的各自决策,并在此基础上,着重研究两种模式下政府最优的补贴设计,即政府应当补贴企业还是补贴农民,以及政府最优的补贴额。

#### 3.1 购买模式

在购买模式下,事件的时间顺序及企业和农民各自的决策变量如下: 1) 企业决定是否参与冷库建设以及冷库的贮存容量  $v$ ; 2) 企业决定收购价格  $\omega$ ; 3) 农民决定种植量  $Q$  以及是否要将农产

⑥ <https://www.cpppc.org/8082/inforpublic/homepage.html#/projectPublic>

品出售给企业; 4) 企业决定如何将收购的农产品在市场上进行销售. 引理 2 给出了农民向企业出售农产品的边界条件以及相应的种植决策.

引理 2 农民向企业出售自己的农产品当且仅当  $\omega \geq h$  此时农产品种植量为  $Q^* = \omega$ .

接下来考察企业的决策问题, 与上一部分类似, 同样分为两种情形进行分析. 在情形 1 下, 即当  $v \leq Q - q_1$  时, 企业的期望利润  $\pi_f$  为

$$\pi_f = hQ + tv - kv - \omega Q \quad (13)$$

在该情形下, 根据上一部分的分析, 如果企业参与冷库建设, 那么应该有  $v^* = Q^* = \omega$ , 因此  $\pi_f$  可以进一步写为

$$\pi_f = (h + t - k - \omega)\omega \quad (14)$$

上式为  $\omega$  的凹函数, 即  $\frac{\partial^2 \pi_f}{\partial \omega^2} < 0$ , 因此企业最优的收购价格可以根据一阶条件求解为  $\omega^* = \frac{h+t-k}{2}$ , 此时企业的利润为  $\pi_f^* = \frac{(h+t-k)^2}{4}$ .

在情形 2 下, 即当  $v > Q - q_1$  时, 企业的期望利润  $\pi_f$  为

$$\pi_f = \bar{P}_1 Q + sv - kv - \omega Q \quad (15)$$

同样, 根据上一部分的分析, 在该情形下, 如果企业参与冷库建设, 那么应该有  $v^* = Q^* = \omega$ , 因此  $\pi_f$  可以进一步写为

$$\pi_f = (\bar{P}_1 + s - k - \omega)\omega \quad (16)$$

可以计算企业最优的收购价格为  $\omega^* = \frac{\bar{P}_1 + s - k}{2}$ ,

企业的利润为  $\pi_f = \frac{(\bar{P}_1 + s - k)^2}{4}$ .

命题 2 在购买模式下.

1) 如果  $k \leq \bar{P}_1 + s - 2h$ , 那么企业会参与冷库建设, 并且企业最优的收购价格为  $\omega^* = \frac{\bar{P}_1 + s - k}{2}$ , 冷库容量以及农产品种植量为  $v^* = Q^* = \frac{\bar{P}_1 + s - k}{2}$ , 关于企业的销售决策, 如果第一阶段实现的市场价格  $P_1$  满足  $P_1 \geq \bar{P}_2 - c$ , 那么  $(q_1^* \ q_2^*) = (Q^* \ 0)$ , 否则有  $(q_1^* \ q_2^*) = (0,$

$Q^*)$ , 此时企业和农民的利润分别为  $\pi_f^* = \frac{(\bar{P}_1 + s - k)^2}{4}$ ,  $\pi^* = \frac{(\bar{P}_1 + s - k)^2}{8}$ ;

2) 如果  $k > \bar{P}_1 + s - 2h$ , 那么企业不会参与冷库建设, 农民的种植及销售决策与引理 1 相同.

由于当  $k \leq \bar{P}_1 + s - 2h$  时, 企业才会参与冷库建设, 此时  $\omega^* = \frac{\bar{P}_1 + s - k}{2} \geq h$ , 从而根据引理

2, 农民会向企业出售农产品. 通过比较命题 1 和命题 2 可以看出, 只有当冷库的单位建设成本更低时, 企业才愿意参与到冷库的建设中. 当企业负责冷库建设时, 虽然冷库容量仍然与农产品的产量相同, 但相比于农民自建的情形, 二者都有所降低, 并且企业的参与也降低了农民的利润. 根据命题 2, 可以进一步对社会福利进行比较分析, 计算

可得购买模式下的社会福利为  $\frac{(\bar{P}_1 + s - k)^2}{4} +$

$\frac{(\bar{P}_1 + s - k)^2}{8} = \frac{3(\bar{P}_1 + s - k)^2}{8}$ , 而农民自建冷

库情形下的社会福利为  $\frac{(\bar{P}_1 + s - k)^2}{2}$ , 因此企业

的参与也会降低社会福利, 这是因为企业和农民的目标具有异质性, 并且企业和农民之间的决策缺乏协调, 导致冷库容量以及农产品的种植和销售在企业参与下无法进行一体化决策.

命题 2 指出尽管企业参与能够有效缓解农民的资金约束, 但是企业参与也降低了社会福利. 本部分接下来讨论政府的补贴设计问题, 即研究政府补贴能否以及如何提高社会福利.

### 3.1.1 政府补贴: 补贴农民

在这种补贴形式下, 政府补贴农民的种植量, 用  $\lambda$  表示政府对于农民每单位种植量的补贴额. 由于补贴农民并不改变企业的决策, 因此根据命题 2, 如果企业参与冷库建设, 那么  $\omega$  的最优值仍

然为  $\omega^* = \frac{\bar{P}_1 + s - k}{2}$ , 此时农民最优的种植决策

为  $Q^* = \omega^* + \lambda$ , 因此总的政府补贴为  $\lambda \cdot Q^* =$

$\lambda \left( \frac{\bar{P}_1 + s - k}{2} + \lambda \right)$ . 由于政府补贴主要来自于政府

税收,而政府征税通常会引发整个社会的效率损失.本研究用  $\beta$  表示单位政府补贴所引发的社会成本,发达国家和发展中国家的  $\beta$  值分别为  $\beta = 0.3$  和  $\beta = 0.9$ ,从而政府补贴所引起的总的社会成本为  $\beta \cdot \lambda \cdot Q^*$ . 根据命题 2,可以进一步写出这种补贴模式下的社会福利,可表示为: 社会福利 = 企业利润 + 农民利润 - 政府补贴及补贴成本,即

$$W = \frac{(\bar{P}_1 + s - k)^2}{4} + \frac{1}{2} \left( \frac{\bar{P}_1 + s - k}{2} + \lambda \right)^2 - (1 + \beta) \lambda Q^*$$

其中第一项为政府补贴下的企业利润,第二项为政府补贴下的农民利润,第三项为总的政府补贴及相应的补贴成本.为了探究政府最优的补贴设计问题,政府需要求解规划问题  $\max_{\lambda} W$ .

### 3.1.2 政府补贴: 补贴企业

在这种补贴形式下,政府补贴企业的建设成本,仍然用  $\lambda$  表示政府对于企业每单位冷库容量的补贴额,从而企业每单位冷库容量所需要承担的建设成本变为  $k - \lambda$ . 根据命题 2,如果企业参与冷库建设,那么企业最优的收购价格变为

$$\omega^* = \frac{\bar{P}_1 + s + \lambda - k}{2}, \text{ 此时最优的冷库容量为 } v^* = \frac{\bar{P}_1 + s + \lambda - k}{2}, \text{ 总的政府补贴为 } \lambda \cdot v^* = \lambda \times \frac{\bar{P}_1 + s + \lambda - k}{2}.$$

进一步根据命题 2 可以写出这种

$$W = \frac{(\bar{P}_1 + s + \lambda - k)^2}{4} + \frac{1}{2} \left( \frac{\bar{P}_1 + s + \lambda - k}{2} \right)^2 - (1 + \beta) \lambda v^* \quad (17)$$

同样,政府需要决定补贴水平  $\lambda$  以最大化社会福利,即政府需要求解规划问题  $\max_{\lambda} W$ .

命题 3 在购买模式下.

- 1) 如果  $\beta < \frac{1}{2}$ , 并且进一步有  $k \leq \bar{P}_1 + s - \frac{4\beta + 1}{\beta + 1}h$ , 那么政府应该补贴企业,最优的补贴为  $\lambda^* = \frac{1 - 2\beta}{1 + 4\beta} (\bar{P}_1 + s - k)$ , 相应的企业利润、农民

利润及社会福利分别为

$$\pi_f^* = \frac{(1 + \beta)^2}{(1 + 4\beta)^2} (\bar{P}_1 + s - k)^2 \quad (18)$$

$$\pi^* = \frac{(1 + \beta)^2}{2(1 + 4\beta)^2} (\bar{P}_1 + s - k)^2 \quad (19)$$

$$W^* = \frac{(1 + \beta)^2}{2(1 + 4\beta)} (\bar{P}_1 + s - k)^2 \quad (20)$$

2) 否则政府最优的补贴为  $\lambda^* = 0$ , 相应的企业利润、农民利润及社会福利分别为

$$\pi_f^* = \frac{(\bar{P}_1 + s - k)^2}{4}, \pi^* = \frac{(\bar{P}_1 + s - k)^2}{8} \text{ 和}$$

$$W^* = \frac{3(\bar{P}_1 + s - k)^2}{8}.$$

命题 3 表明只有当政府补贴的社会成本较低以及冷库的建设成本较低时,政府才应当给予企业一定的补贴.事实上,如果补贴的成本太高,那么补贴所带来的企业和农民利润的增加不足以弥补补贴的成本,而如果建设成本较高,那么即使存在政府补贴,企业也不愿意参与到冷库建设中.命题 3 还表明在购买模式下,政府只应当对企业的建设成本进行补贴,而不应当补贴农民的种植量.这是因为当政府对企业的建设成本进行补贴时,企业可以提供更大的冷库容量,并进一步提高农产品的收购价格,从而使农民也可以从补贴中受益;而当政府对农民的种植量进行补贴时,在冷库容量保持不变情况下,会使得农民过度生产,反而会降低社会福利.当政府补贴存在时,通过与命题 2 进行比较,命题 3 进一步表明政府补贴可以同时提高企业和农民利润,这也符合以上的解释,即政府通过补贴企业的建设成本促使企业提高冷库容量,从而也使农民获益.

推论 1 在购买模式下,当且仅当  $\beta = 0$  并且  $k \leq \bar{P}_1 + s - h$  时,政府才可以通过补贴来弥补由于企业参与所造成的效率损失.

虽然有效的政府补贴可以提高社会福利,但推论 1 表明只有当补贴成本为 0 时,政府补贴才可以完全弥补由于企业参与所造成的效率损失,这是因为当  $\beta = 0$  时,政府可以通过补贴设计使得企业对于冷库容量的决策达到社会最优水平,而无需考虑补贴成本.

### 3.2 租赁模式

在租赁模式下,事件的时间顺序及企业和农民各自的决策变量如下:1)企业决定是否参与冷库建设以及冷库的贮存容量;2)企业决定单位农产品的租赁费  $r$ ;3)农民决定种植量  $Q$  以及所需要租用的冷库容量;4)农民决定如何将农产品在市场上进行销售.

如果农民的租赁容量为  $v$ ,那么当第一阶段的 市场价格  $P_1$  实现后,农民的期望利润为

$$\pi_1 = P_1 \cdot q_1 + \bar{P}_2 \cdot \min(v, Q - q_1) + \alpha \cdot \bar{P}_2 \cdot (Q - q_1 - \min(v, Q - q_1)) - rv \quad (21)$$

其中  $rv$  为农民总的租赁支出. 同样分两种情形进行分析,在情形1下,即当  $v \leq Q - q_1$  时,  $\pi_1$  可以重新写为

$$\begin{aligned} \pi_1 &= P_1 q_1 + (\bar{P}_2 - \alpha \bar{P}_2) v + \alpha \bar{P}_2 (Q - q_1) - rv \\ &= (P_1 - \alpha \bar{P}_2) q_1 + (\bar{P}_2 - \alpha \bar{P}_2 - r) v + \alpha \bar{P}_2 Q \end{aligned} \quad (22)$$

因此,如果  $P_1 \geq \alpha \bar{P}_2$ ,那么  $q_1^* = Q - v$ ; 否则有  $q_1^* = 0$ . 进而可以写出农民在进行种植决策时的期望利润为

$$\begin{aligned} \pi &= \int_{\alpha \bar{P}_2}^{\infty} (x - \alpha \bar{P}_2) (Q - v) f(x) dx + (\bar{P}_2 - \alpha \bar{P}_2 - r) v + \alpha \bar{P}_2 Q - \frac{1}{2} Q^2 \\ &= \left( \int_{\alpha \bar{P}_2}^{\infty} (x - \alpha \bar{P}_2) f(x) dx + \alpha \bar{P}_2 \right) Q + (\bar{P}_2 - \alpha \bar{P}_2 - r - \int_{\alpha \bar{P}_2}^{\infty} (x - \alpha \bar{P}_2) f(x) dx) v - \frac{1}{2} Q^2 \\ &= hQ + (\bar{t} - r) v - \frac{1}{2} Q^2 \end{aligned} \quad (23)$$

其中为了表述的方便,记  $\bar{t} = \bar{P}_2 - \alpha \bar{P}_2 - \int_{\alpha \bar{P}_2}^{\infty} (x - \alpha \bar{P}_2) f(x) dx$ . 因此,农民在进行种植及租赁决策时需要求解以下规划问题

$$\max_{Q, v} \pi = hQ + \bar{t}v - rv - \frac{1}{2} Q^2, \text{ s. t. } v \leq Q \quad (24)$$

如果  $r \leq \bar{t}$ ,那么上式为  $v$  的增函数,从而  $v^* = Q$ ,进而可以计算农民最优的种植量为  $Q^* = h + \bar{t} -$

$r$ ,此时农民的期望利润为  $\pi^* = \frac{1}{2} (h + \bar{t} - r)^2$ ; 否则,上式为  $v$  的减函数,从而  $v^* = 0$ ,此时农民最优的种植量为  $Q^* = h$ ,农民的期望利润为  $\pi^* = \frac{1}{2} h^2$ .

在情形2下,即当  $v > Q - q_1$  时,  $\pi_1$  可以重新写为

$$\begin{aligned} \pi_1 &= P_1 q_1 + (\bar{P}_2 - \alpha \bar{P}_2) (Q - q_1) + \alpha \bar{P}_2 (Q - q_1) - rv \\ &= (P_1 - \bar{P}_2) q_1 + \bar{P}_2 Q - rv \end{aligned} \quad (25)$$

因此,如果  $P_1 \geq \bar{P}_2$ ,那么  $q_1^* = Q$ ; 否则有  $q_1^* = Q - v$ . 进而可以写出农民在进行种植决策时的期望利润为

$$\begin{aligned} \pi &= \int_{\bar{P}_2}^{\infty} (x - \bar{P}_2) Q f(x) dx + \int_0^{\bar{P}_2} (x - \bar{P}_2) \times (Q - v) f(x) dx + \bar{P}_2 Q - rv - \frac{1}{2} Q^2 \\ &= \bar{P}_1 Q + \left( \int_0^{\bar{P}_2} (\bar{P}_2 - x) f(x) dx - r \right) v - \frac{1}{2} Q^2 \\ &= \bar{P}_1 Q + (\bar{s} - r) v - \frac{1}{2} Q^2 \end{aligned} \quad (26)$$

其中为了表述的方便,记  $\bar{s} = \int_0^{\bar{P}_2} (\bar{P}_2 - x) f(x) dx$ . 因此,农民在进行种植及租赁决策时需要求解以下规划问题

$$\max_{Q, v} \pi = \bar{P}_1 Q + (\bar{s} - r) v - \frac{1}{2} Q^2, \text{ s. t. } v \leq Q \quad (27)$$

如果  $r \leq \bar{s}$ ,那么上式为  $v$  的增函数,从而  $v^* = Q$ ,进而可以计算农民最优的种植量为  $Q^* = \bar{P}_1 + \bar{s} - r$ ,此时农民的期望利润为  $\pi^* = \frac{1}{2} \times (\bar{P}_1 + \bar{s} - r)^2$ ; 否则,上式为  $v$  的减函数,从而  $v^* = 0$ ,此时农民最优的种植量  $Q^* = \bar{P}_1$ ,农民的期望利润为  $\pi^* = \frac{1}{2} \bar{P}_1^2$ .

根据命题1,可以得到以下推论.

推论2 1) 如果  $r \leq \bar{P}_1 + \bar{s} - h$ ,那么  $v^* = Q^* =$

$\bar{P}_1 + \bar{s} - r$  , 在该建设及种植决策下 , 如果第一阶段实现的市场价格  $P_1$  满足  $P_1 \geq \bar{P}_2$  , 那么  $(q_1^* , q_2^*) = (Q^* , 0)$  , 否则有  $(q_1^* , q_2^*) = (0 , Q^*)$  , 农民的期望利润为  $\pi^* = \frac{1}{2}(\bar{P}_1 + \bar{s} - r)^2$  ;

2) 如果  $r > \bar{P}_1 + \bar{s} - h$  , 那么  $v^* = 0 , Q^* = h$  , 在该建设和种植决策下 , 如果第一阶段实现的市场价格  $P_1$  满足  $P_1 \geq \alpha \bar{P}_2$  , 那么  $(q_1^* , q_2^*) = (Q^* , 0)$  , 否则有  $(q_1^* , q_2^*) = (0 , \alpha Q^*)$  , 农民的期望利润为  $\pi^* = \frac{1}{2}h^2$  .

推论 2 描述了当租赁费  $r$  给定时 , 农民在租赁模式下的最优种植及销售决策 . 通过比较引理 1 和推论 2 可以看出 , 只有当  $r \leq \bar{P}_1 + \bar{s} - h$  , 租赁模式才能够对农民的决策产生影响 . 此时 , 农民最优的租赁容量为  $v^* = \bar{P}_1 + \bar{s} - r$  , 因此企业最优的冷库建设容量也应为  $v^*$  . 接下来分析企业对  $r$  的最优决策问题 . 当  $r \leq \bar{P}_1 + \bar{s} - h$  , 企业的利润可以写为

$$\begin{aligned} \pi_f &= (r - k)v^* - \int_0^{\bar{P}_2} cv^* f(x) dx \\ &= (r - k - cF(\bar{P}_2))(\bar{P}_1 + \bar{s} - r) \end{aligned} \quad (28)$$

其中第二项  $\int_0^{\bar{P}_2} cv^* f(x) dx$  为冷库的运营成本 . 以下命题给出企业最优的  $r^*$  决策 .

命题 4 在租赁模式下 , 如果  $k \leq \bar{P}_1 + \bar{s} - 2h - cF(\bar{P}_2)$  , 那么企业最优的租赁费为  $r^* = \frac{\bar{P}_1 + \bar{s} + k + cF(\bar{P}_2)}{2}$  , 从而企业最优的冷库容量

为  $v^* = \frac{\bar{P}_1 + \bar{s} - k - cF(\bar{P}_2)}{2}$  , 此时企业和农民

利润分别为  $\pi_f^* = \frac{(\bar{P}_1 + \bar{s} - k - cF(\bar{P}_2))^2}{4}$  和

$\pi^* = \frac{(\bar{P}_1 + \bar{s} - k - cF(\bar{P}_2))^2}{8}$  , 并且租赁模式

下的企业、农民利润以及社会福利均低于购买

模式 .

通过比较命题 4 和命题 2 , 由于  $\bar{s} - cF(\bar{P}_2) < s$  , 因此相比于企业购买模式 , 只有当冷库的单位建设成本更低时 , 企业才愿意在租赁模式下参与到冷库建设中 , 并且租赁模式下的冷库容量、农产品种植量以及企业和农民利润都较低 , 从而购买模式占优于租赁模式 . 这是由于冷库容量是提高农产品销售利润的关键决策 , 在购买模式下 , 企业能针对冷库的建设、贮存和农产品的销售进行一体化决策 , 而在租赁模式下 , 农产品的销售和冷库的建设分别由农民和企业负责 , 即尽管农民也能针对冷库贮存和销售进行一体化决策 , 但却受到企业所制定的租赁费的制约 .

### 3.2.1 政府补贴: 补贴农民

在这种补贴模式下 , 仍然用  $\lambda$  表示政府对农民每单位种植量的补贴额 , 则根据推论 2 , 如果企业参与到冷库建设中 , 那么此时农民的农产品种植量为  $Q^* = \bar{P}_1 + \lambda + \bar{s} - r$  , 农民的期望利润为  $\pi^* = \frac{1}{2}(\bar{P}_1 + \lambda + \bar{s} - r)^2$  .

在这种补贴模式下 , 企业利润变为

$$\pi_f = (r - k - cF(\bar{P}_2))(\bar{P}_1 + \lambda + \bar{s} - r) \quad (29)$$

从而最优的租赁费为  $r^* = \frac{\bar{P}_1 + \lambda + \bar{s} + k + cF(\bar{P}_2)}{2}$  , 此时

$Q^* = \frac{\bar{P}_1 + \lambda + \bar{s} - k - cF(\bar{P}_2)}{2}$  , 企业和农民利润相

应变为  $\pi_f^* = \frac{1}{4}(\bar{P}_1 + \lambda + \bar{s} - k - cF(\bar{P}_2))^2$  和  $\pi^* =$

$\frac{1}{8}(\bar{P}_1 + \lambda + \bar{s} - k - cF(\bar{P}_2))^2$  . 从而 , 政府补贴农民情况下的社会福利为

$$\begin{aligned} W &= \pi_f^* + \pi^* - (1 + \beta)\lambda Q^* \\ &= \frac{3}{8}(\bar{P}_1 + \lambda + \bar{s} - k - cF(\bar{P}_2))^2 - \\ &\quad (1 + \beta)\lambda \frac{\bar{P}_1 + \lambda + \bar{s} - k - cF(\bar{P}_2)}{2} \end{aligned} \quad (30)$$

### 3.2.2 政府补贴: 补贴企业

在这种补贴模式下 , 仍然用  $\lambda$  表示政府对于企业每单位冷库容量的补贴额 . 根据推论 2 , 如果

企业参与冷库建设,那么  $v^* = Q^* = \bar{P}_1 + \bar{s} - r$ ,此时企业的利润为

$$\pi_f = (r + \lambda - k)v^* = (r + \lambda - k - cF(\bar{P}_2))(\bar{P}_1 + \bar{s} - r) \quad (31)$$

从而最优的租赁费为  $r^* = \frac{\bar{P}_1 + \bar{s} - \lambda + k + cF(\bar{P}_2)}{2}$ ,此时

$$v^* = Q^* = \frac{\bar{P}_1 + \bar{s} + \lambda - k - cF(\bar{P}_2)}{2}$$
 企业和农民利

润相应变为  $\pi_f^* = \frac{1}{4}(\bar{P}_1 + \lambda + \bar{s} - k - cF(\bar{P}_2))^2$  和

$$\pi^* = \frac{1}{8}(\bar{P}_1 + \lambda + \bar{s} - k - cF(\bar{P}_2))^2$$
. 从而政府补贴

企业情况下的社会福利为

$$W = \pi_f^* + \pi^* - (1 + \beta)\lambda Q^* = \frac{3}{8}(\bar{P}_1 + \lambda + \bar{s} - k - cF(\bar{P}_2))^2 - (1 + \beta)\lambda \frac{\bar{P}_1 + \lambda + \bar{s} - k - cF(\bar{P}_2)}{2} \quad (32)$$

命题5 在租赁模式下.

1) 如果  $\beta < \frac{1}{2}$ , 并且进一步有  $k \leq \bar{P}_1 + \bar{s} - cF(\bar{P}_2) - \frac{1 + 4\beta}{3\beta}h$ , 那么政府既可以补贴企业,也可以补贴农民,最优的补贴均为  $\lambda^* = \frac{1 - 2\beta}{1 + 4\beta}(\bar{P}_1 + \bar{s} - k - cF(\bar{P}_2))$ . 相应的企业利润、农民利润及社会福利分别为

$$\pi_f^* = \frac{(1 + \beta)^2}{(1 + 4\beta)^2}(\bar{P}_1 + \bar{s} - k - cF(\bar{P}_2))^2 \quad (33)$$

$$\pi^* = \frac{(1 + \beta)^2}{2(1 + 4\beta)^2}(\bar{P}_1 + \bar{s} - k - cF(\bar{P}_2))^2 \quad (34)$$

$$W^* = \frac{(1 + \beta)^2}{2(1 + 4\beta)}(\bar{P}_1 + \bar{s} - k - cF(\bar{P}_2))^2 \quad (35)$$

2) 如果  $\beta < \frac{1}{2}$ , 并且进一步有  $\bar{P}_1 + \bar{s} - cF(\bar{P}_2) - \frac{1 + 4\beta}{3\beta}h < k \leq \bar{P}_1 + \bar{s} - cF(\bar{P}_2) - \frac{1 + 4\beta}{1 + \beta}h$ , 那么政府应该补贴企业,最优的补贴同

$$\text{样为 } \lambda^* = \frac{1 - 2\beta}{1 + 4\beta}(\bar{P}_1 + \bar{s} - k - cF(\bar{P}_2));$$

3) 否则政府最优的补贴为  $\lambda^* = 0$ , 相应的企业利润、农民利润及社会福利分别为

$$\pi_f^* = \frac{(\bar{P}_1 + \bar{s} - k - cF(\bar{P}_2))^2}{4}, \pi^* = \frac{(\bar{P}_1 + \bar{s} - k - cF(\bar{P}_2))^2}{8}$$

$$\text{和 } W^* = \frac{3(\bar{P}_1 + \bar{s} - k - cF(\bar{P}_2))^2}{8}$$

与命题3类似,命题5表明只有当补贴的社会成本及冷库的建设成本较低时,政府才应当提供一定数量的补贴.但与购买模式下仅仅补贴企业的做法不同,在租赁模式下,政府也可以对农民进行补贴.具体而言,当冷库的建设成本较低时,政府既可以补贴企业也可以补贴农民,而当冷库的建设成本较高时,政府只应当补贴企业.这是因为当建设成本较高时,如果政府对农民进行补贴,企业倾向于向农民收取更高的租赁费,从而降低农民的租赁意愿,这进一步导致企业较低的参与意愿,从而政府应当直接补贴企业的建设成本.

与命题4的分析类似,命题5表明当政府补贴存在时,租赁模式下的企业利润和社会福利仍然低于购买模式,这同样是由于企业在购买模式下能够将冷库容量这一关键变量与农产品的销售结合在一起进行一体化决策.值得指出的是,虽然租赁模式在一定程度上类似于“利润分享”的合约形式,但是由于租赁费是固定的而非以利润分成的形式,因此不同于传统的利润分享合约,合约双方的利益具有一致性,在租赁模式下,企业和农民仍然存在目标冲突.与命题3相比,命题5表明租赁模式下有效的政府补贴的边界条件更为苛刻,这意味着政府在租赁模式下更难以通过补贴设计来提高社会福利,这是因为相比于租赁模式,企业在购买模式下的利润较高,即使面临较高的冷库建设成本,企业也还愿意参与到冷库建设中,从而使得政府进行补贴的设计更为容易.

推论3 在租赁模式下,政府无法通过提供补贴来完全弥补由于企业参与所造成的效率损失.

由于在租赁模式下,农民在进行冷库贮存和农产品销售的一体化决策时,总受到租赁费的制约,因此,推论3表明,即使存在政府补贴,也无法弥补由于企业参与所造成的效率损失.

## 4 模型拓展

### 4.1 政府规制的影响

在 PPP 项目中,由于项目的公共性特点,政府通常施加一定的政府规制以保护公众利益.对于冷库 PPP 项目,政府规制表现为:在购买模式下,政府设定收购价格的下限  $\underline{\omega}$ ;在租赁模式下,政府设定租赁费的上限  $\bar{r}$ .本部分针对政府规制存在情形下的农民、企业及政府决策展开分析.

在购买模式下,首先假设  $\underline{\omega} \geq \omega^* = \frac{\bar{P}_1 + s - k}{2}$ ,否则根据命题 2 的分析,收购价格规制将不会对企业决策产生影响.此时,企业利润变为  $\pi_f = (\bar{P}_1 + s - k - \underline{\omega}) \underline{\omega}$ ,农民利润变为  $\pi = \frac{1}{2} \underline{\omega}^2$ .如果政府对农民的种植量进行补贴,补贴额依然是  $\lambda$ ,那么社会福利函数可写为

$$W = (\bar{P}_1 + s - k - \underline{\omega}) \underline{\omega} + \frac{1}{2} (\underline{\omega} + \lambda)^2 - (1 + \beta) \lambda (\underline{\omega} + \lambda) \quad (36)$$

如果政府对企业的建设成本进行补贴,那么社会福利函数可写为

$$W = (\bar{P}_1 + s - k + \lambda - \underline{\omega}) \underline{\omega} + \frac{1}{2} \underline{\omega}^2 - (1 + \beta) \lambda \underline{\omega} \quad (37)$$

无论是对农民进行补贴还是对企业进行补贴,政府都需要同时决策  $\underline{\omega}$  和  $\lambda$ ,以最大化社会福利,即政府求解规划问题

$$\max_{\underline{\omega}, \lambda} W \quad \text{s. t. } \underline{\omega} \geq \frac{\bar{P}_1 + s - k}{2} \quad (38)$$

在租赁模式下,同样假设政府设定的最高租赁费满足  $\bar{r} \leq r^* = \frac{\bar{P}_1 + \bar{s} + k + cF(\bar{P}_2)}{2}$ ,否则根据命题 4 的分析,租赁费规制将不会对企业决策产生影响.此时,企业利润变为  $\pi_f = (\bar{r} - k - cF(\bar{P}_2)) (\bar{P}_1 + \bar{s} - \bar{r})$ ,农民的利润变为  $\pi^* = \frac{1}{2} \times (\bar{P}_1 + \bar{s} - \bar{r})^2$ .如果政府对农民的种植量进行补

贴,那么社会福利函数可写为

$$W = (\bar{r} - k - cF(\bar{P}_2)) (\bar{P}_1 + \lambda + \bar{s} - \bar{r}) + \frac{1}{2} (\bar{P}_1 + \lambda + \bar{s} - \bar{r})^2 - (1 + \beta) \lambda (\bar{P}_1 + \lambda + \bar{s} - \bar{r}) \quad (39)$$

如果政府对企业的建设成本进行补贴,那么社会福利函数可写为

$$W = (\bar{r} - k + \lambda - cF(\bar{P}_2)) (\bar{P}_1 + \bar{s} - \bar{r}) + \frac{1}{2} (\bar{P}_1 + \bar{s} - \bar{r})^2 - (1 + \beta) \lambda (\bar{P}_1 + \bar{s} - \bar{r}) \quad (40)$$

无论是对农民进行补贴还是对企业进行补贴,政府都需要同时决策  $\bar{r}$  和  $\lambda$  以最大化社会福利,即政府求解规划问题

$$\max_{\bar{r}, \lambda} W \quad \text{s. t. } \bar{r} \leq \frac{\bar{P}_1 + \bar{s} + k + cF(\bar{P}_2)}{2} \quad (41)$$

命题 6 1) 在购买模式下,最优的收费价格规制和补贴分别为  $\underline{\omega}^* = \bar{P}_1 + s - k$  和  $\lambda^* = 0$ ,此时,相应的企业利润、农民利润及社会福利分别为  $\pi_f^* = 0$ ,  $\pi^* = \frac{1}{2} (\bar{P}_1 + s - k)^2$  及  $W^* = \frac{1}{2} \times (\bar{P}_1 + s - k)^2$ ;

2) 在租赁模式下,最优的租赁费规制水平和补贴分别为  $\bar{r}^* = k + cF(\bar{P}_2)$  和  $\lambda^* = 0$ ,此时,相应的企业利润、农民利润及社会福利分别为  $\pi_f^* = 0$ ,  $\pi^* = \frac{1}{2} (\bar{P}_1 + \bar{s} - k - cF(\bar{P}_2))^2$  及  $W^* = \frac{1}{2} \times (\bar{P}_1 + \bar{s} - k - cF(\bar{P}_2))^2$

命题 6 表明在最优的政府规制水平下,最优的政府补贴均为 0.分别将政府规制下的社会福利水平与政府补贴下的社会福利水平(命题 3 和命题 5)进行比较,可以进一步发现,政府规制在两种模式下都提高了社会福利,这意味着政府规制相较于政府补贴在提高社会福利方面是更为有效的政策工具.这是因为政府补贴只能通过影响企业对于收费价格或租赁费的决策来提高社会福利,而政府规制则直接将这两项决策转移到政府方.

### 4.2 季节性影响

蔬菜、水果等农产品的保鲜时间及市场价格受季节性因素影响较大,即使没有冷库贮存,冬季的农产品也具有较长的保鲜时间,在模型中可以表现为

较大的  $\alpha$ ; 无论是冬季的农产品还是夏季的农产品, 当有冷库贮存时, 甚至可以实现反季销售, 从而可以获得更高的市场价格, 在模型中表现为较大的  $\bar{P}_2$ . 本部分将分析  $\alpha$  和  $\bar{P}_2$  两个因素对模型结果的影响.

**命题 7** 在购买模式及租赁模式下,  $\alpha$  越大, 企业越难以参与到冷库建设中, 而且政府也越难以通过补贴设计来提高社会福利.

当  $\alpha$  足够大时, 即使没有冷库贮存, 农产品也具有较长的保鲜时间, 因此农民更倾向于自己进行农产品的市场销售, 而不是卖给企业或者租赁企业的冷库, 这也意味着只有当冷库的建设成本足够低时, 企业才会参与冷库建设, 从而也进一步缩小了政府补贴的作用空间.

当冷库的运营成本  $c$  足够小时  $\left( c < \min_{\bar{P}_2} \frac{f(\bar{P}_2)}{F(\bar{P}_2)} \right)$ , 命题 8 给出  $\bar{P}_2$  对企业参与及政府补贴作用的影响.

**命题 8** 在购买模式及租赁模式下, 均存在  $\underline{\alpha}$  和  $\bar{\alpha}$  ( $\underline{\alpha} < \bar{\alpha}$ ), 使得

1) 当  $\alpha \leq \underline{\alpha}$  时,  $\bar{P}_2$  越大, 企业越愿意参与到冷库建设中, 而且政府也越容易通过补贴设计来提高社会福利;

2) 当  $\alpha \geq \bar{\alpha}$  时,  $\bar{P}_2$  越大, 企业越难以参与到冷库建设中, 而且政府也越难以通过补贴设计来提高社会福利.

命题 8 表明,  $\bar{P}_2$  对企业参与意愿及政府补贴的影响依赖于  $\alpha$  的大小, 具体而言, 当  $\alpha$  足够小时, 也即当农产品的保鲜时间较短时, 农民越倾向于将农产品卖给企业或者租用企业的冷库进行农产品的销售, 因此, 第二阶段的价格越高, 冷库的作用也就越明显, 从而企业也越愿意参与到冷库的建设中, 这也使得政府补贴的设计更为容易; 而当  $\alpha$  足够大时, 根据命题 7 的分析, 农民倾向于自己进行农产品的销售, 而且第二阶段的价格越高, 这种倾向性也就越明显, 从而使得企业不愿意参与到冷库建设中, 也缩小了政府补贴的作用空间.

### 4.3 特许期决策

在以上分析中, 隐含假设项目的特许期为给

定, 因此在模型构建中并没有明确给出特许期参数, 本部分将研究政府最优的特许期决策  $T$ , 其中特许期定义为项目建设期与企业运营期之和. 假设冷库项目的建设期为  $T_0$ , 项目的设计寿命为  $\bar{T}$ , 则  $T_0 \leq T \leq \bar{T}$ . 为了讨论的方便, 只考虑两种模式下不存在政府补贴的情形, 事实上, 当考虑政府补贴时, 特许期决策结果并不会产生实质上的改变. 此外, 为了方便利用以上分析的结果, 假设农产品在两个阶段的销售决策以及农产品的种植决策都发生在运营期间的每一年, 而且项目的建设成本也折算到项目运营期间的各年.

在购买模式下, 当项目移交后, 政府将在给定的项目容量下重新制定农产品收购价格  $\omega_g$ . 根据引理 2,  $\omega_g$  应当满足  $\omega_g \geq h$ . 用  $Q_f$  和  $Q_g$  分别代表农民在企业和政府运营期间的种植量决策. 根据命题 2 的证明, 企业只有在情形 2 下才会参与到冷库建设中, 因此, 只需要考虑该情形下的特许期决策即可. 根据该情形下的企业运营期间的利润函数, 进一步考虑到政府的运营成本均来自于税收收入, 可以写出政府运营期间每年的利润函数  $\pi_g = \bar{P}_1 Q_g + s_g v - (1 + \lambda) \omega_g Q_g$ , 其中  $s_g = \int_0^{\bar{P}_2 - (1+\lambda)c} (\bar{P}_2 - (1 + \lambda)c - x) f(x) dx$ . 由于政府运营期间农民每年的利润为  $\pi = \omega_g Q_g - \frac{1}{2} Q_g^2$ , 从而政府运营期间每年的社会福利函数为  $W_g = \bar{P}_1 Q + s_g v - \lambda \omega_g Q - \frac{1}{2} Q^2$ . 因此, 政府通过决策  $\omega_g$  及  $T$  以最大化项目全生命周期的社会福利, 即

$$\max_{\omega_g, T_0 \leq T \leq \bar{T}} W = (\bar{P}_1 Q_f + sv - kv - \frac{1}{2} Q_f^2) T + \left( \bar{P}_1 Q_g + s_g v - \lambda \omega_g Q_g - \frac{1}{2} Q_g^2 \right) (\bar{T} - T) \quad (42)$$

在租赁模式下, 当项目移交后, 政府将在给定的项目容量下重新制定冷库的租赁价格  $r_g$ . 根据推论 2,  $r_g$  应当满足  $r_g \leq \bar{P}_1 + \bar{s} - h$ . 同样, 根据企业运营期间的利润函数, 进一步考虑到政府的运营成本均来自于税收收入, 可以写出政府运营期间每年的利润函数  $\pi_g = (r - (1 + \lambda) c F(\bar{P}_2)) v$ . 由于政府运营期间每年农民的利润为  $\pi = h Q_g + tv - rv - \frac{1}{2} Q_g^2$ , 从而政府运营期间每年的社会福

利函数为

$$W_g = hQ_g + \bar{t}v - (1 + \lambda) cF(\bar{P}_2) v - \frac{1}{2} Q_g^2 \quad (43)$$

因此, 政府通过决策  $\omega_g$  及  $T$  以最大化项目全生命周期的社会福利, 即

$$\begin{aligned} \max_{r_g, T_0 \leq T \leq \bar{T}} W = & \left( hQ_g + \bar{t}v - kv - cF(\bar{P}_2) v - \frac{1}{2} Q_g^2 \right) T + \\ & \left( hQ_g + \bar{t}v - (1 + \lambda) cF(\bar{P}_2) v - \frac{1}{2} Q_g^2 \right) \times \\ & (\bar{T} - T) \end{aligned} \quad (44)$$

命题 9 在购买模式及租赁模式下, 均存在  $\bar{\lambda}$ , 使得: 当  $\lambda \leq \bar{\lambda}$  时, 最优的特许期满足  $T^* = T_0$ ; 否则当  $\lambda > \bar{\lambda}$  时, 最优的特许期满足  $T^* = \bar{T}$ .

命题 9 表明两种模式下的政府最优特许期都依赖于补贴成本, 具体而言, 当补贴成本足够小时, 最优的特许期为项目建设期, 即政府只应当授予企业建设阶段的任务, 而当补贴成本足够大时, 最优的特许期为项目生命周期, 即政府应当授予企业永久运营期. 这是因为, 当补贴成本足够小时, 政府可以随意设定收购价格或者租赁价格, 通过改变农民的种植决策以最大化其运营期间的社会福利. 而当补贴成本足够大时, 政府在其运营期间的任何支出都会引发巨大的社会成本, 从而使其运营期间的社会福利低于企业运营期间的社会福利. 之前的文献通常强调政府和企业运营成本的差异对特许期决策的影响<sup>[38, 39]</sup>, 而命题 9 则识别出一个影响政府特许期决策的另一个重要因素, 即政府的补贴成本.

## 5 算 例

为了使本研究主要的分析结果更为直观, 本部分对企业在购买模式和租赁模式下参与冷库建设的影响以及政府在两种模式下的最优补贴设计进行数值模拟和分析.

1) 购买模式. 假设  $P_1$  服从  $[0, 10]$  上的均匀分布, 从而  $f(\cdot) = \frac{1}{10}$ ,  $F(\cdot) = \frac{x}{10}$ , 以及  $\bar{P}_1 = 5$ .

由于农产品延后销售通常能获得更高的市场价格, 因此假设  $\bar{P}_2 = 10$ . 如果农产品没有在第一阶段全部售出, 并且剩余的农产品也没有在冷库中

贮存, 那么只有一定比例  $\alpha$  的农产品能够在第二阶段保留下来并继续销售, 假设  $\alpha = 0.8$ . 如果剩余农产品在冷库中进行贮存, 那么每单位农产品所产生的冷库运营成本为  $c = 2$ . 在以上假设下, 购买模式下的农民利润和社会福利如图 1 所示, 需要指出的是, 在农民自建冷库的情形下, 社会福利只包括农民利润, 因此该情形下的社会福利曲线与农民利润曲线重合. 从图上可以看出, 当不存在政府补贴时, 相比于农民自建冷库的情形, 企业只有在冷库的建设成本更低时才愿意参与到冷库建设中, 而且企业参与冷库建设会降低农民的利润以及社会福利, 从而验证了命题 2. 图 2 进一步给出购买模式下政府的补贴设计, 图 2 表明只有当政府补贴的社会成本以及冷库建设成本较低时, 政府才能够通过政府补贴实现社会福利增加, 而且政府应当补贴企业, 从而验证了命题 3.

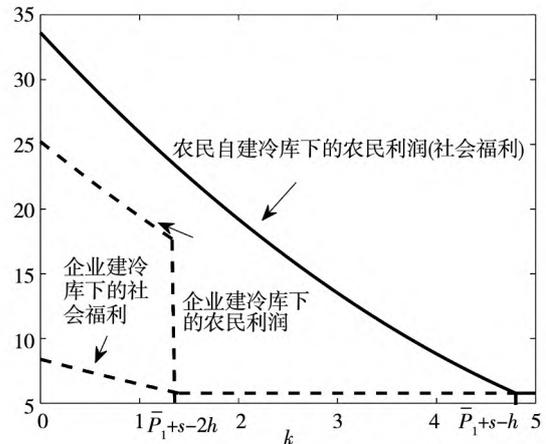


图 1 购买模式下的农民利润及社会福利

Fig. 1 Farmer profit and social welfare under the buying model

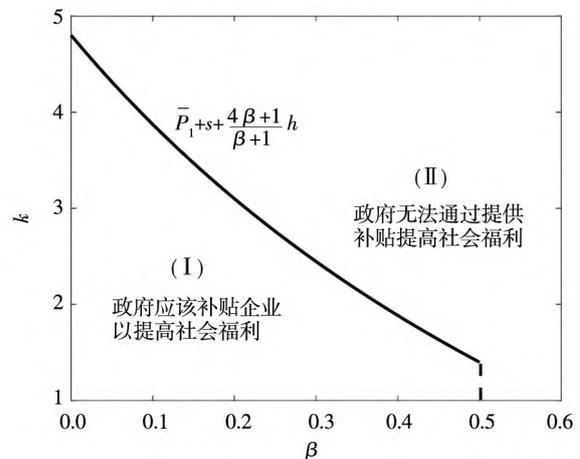


图 2 购买模式下的政府补贴设计

Fig. 2 Government subsidy design under the buying model

2) 租赁模式. 该模式下的参数表达式以及参数取值与购买模式相同,图3比较了租赁模式和购买模式下的农民利润和社会福利. 相比于农民自建冷库的情形,购买模式降低了农民利润和社会福利,图3表明租赁模式会进一步降低农民利润和社会福利,从而验证了命题4. 图4进一步给出租赁模式下的政府补贴设计,图4仍然表明只有当政府补贴的社会成本和冷库的建设成本较低时,政府补贴才能够提高社会福利,进一步从图4可以看出,当建设成本较低时,政府既可以补贴企业也可以补贴农民,而当建设成本较高时,政府只应当补贴企业,从而验证了命题5.

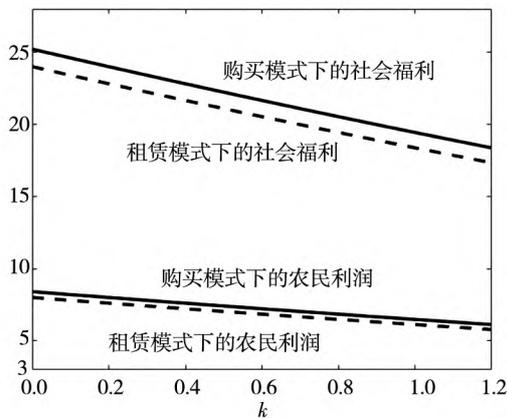


图3 租赁模式下的农民利润及社会福利

Fig.3 Farmer profit and social welfare under the rental model

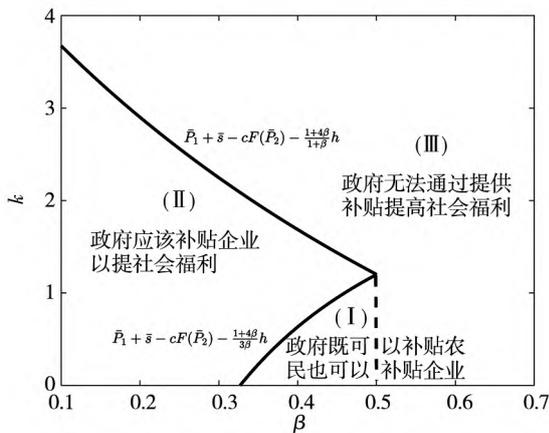


图4 租赁模式下的政府补贴设计

Fig.4 Government subsidy design under the rental model

## 6 结束语

为了使蔬菜、水果等农产品能够长时间贮存,越来越多的农村地区开始修建冷库. 本研究首先对农民自建冷库的理想情形进行分析,在该情形下,农民能同时协调农产品的种植决策、冷库的建设决策以及农产品的销售决策. 但是在实践中,农民通常面临着资金约束的问题,PPP模式正逐渐被应用到冷库建设中. 本研究考察并比较了企业参与冷库PPP项目的两种运营模式,即购买模式和租赁模式. 研究发现,相比于农民自建冷库的情形,无论采用何种运营模式,只有当冷库的建设成本足够低时,企业才愿意参与到冷库建设中,并且由于企业和农民目标的异质性,两种运营模式都导致了较低的社会福利. 为了吸引企业的参与并提高社会福利,进一步对两种模式下的政府补贴设计进行了研究,研究发现,只有当补贴的社会成本以及冷库的建设成本较低时,政府才可以有效地使用补贴来提高社会福利. 研究还发现,两种模式下政府进行补贴的方式有所不同,具体而言,在购买模式下,政府只应当对企业进行补贴,而在租赁模式下,当建设成本较高时,政府只应当对企业进行补贴,而当建设成本较低时,政府既可以补贴企业也可以补贴农民. 关于两种模式之间的比较,研究发现租赁模式导致更低的农民利润和社会福利,而且政府在租赁模式下更难通过政府补贴来提高社会福利.

本研究在对农产品冷库PPP项目的运营模式进行分析时没有完全借鉴传统PPP项目的分析框架,而是在考虑政府和企业之间博弈的同时也考虑了农民的种植和销售决策,这是因为如果假设农民的决策为外生,那么企业可以通过在购买模式下决策批发价格或者在租赁模式下决策租赁费使得农民只能获得保留收益,损害了农民利益,而当农民的决策为内生时,本研究结果表明农民可以获得正利润. 因此,作为本研究的第一个政策启示,建议政府在进行运营模式选择以及补贴设计时,为了保护农民利益,不仅仅需要考虑其对企业决策的影响,而且也需要考虑其对农民决策的影响;其次,本研究结果表明购买模式相比于租

赁模式导致更高的农民、企业利润以及社会福利, 这表明购买模式帕累托优于租赁模式, 这也意味着当两种运营模式均可选择时, 政府应当倾向于选择购买模式; 最后, 在传统 PPP 项目下, 政府通常默认补贴对象为企业从而聚焦于补贴水平的确定, 但在农产品冷库 PPP 项目这一特殊情境下, 政府在进行补贴水平决策前应首先确定补贴对象, 本研究给出了政府在不同运营模式下对企业或对农民进行补贴的边界条件, 该条件表明冷库的建设成本以及补贴成本是政府选择是否补贴以及补贴对象的两个关键影响因素, 从而为政府科学进行补贴设计提供了决策支持。

对本研究模型及结论的扩展可以从两个方面进行: 第一, 本研究只是分析比较了农产品冷库 PPP 项目中两种常见的运营模式, 即购买模式和

租赁模式, 而在实践中还存在很多其他帮助农民进行冷库建设的模式, 如政府投资 - 企业运营 - 农民租赁或者政府向农民提供低息或无息贷款等, 通过比较更多的模式可以得到更丰富的结论, 也可以为政府制定政策提供更多的启示; 第二, 为了突出主要结论, 本研究假设农民建设和运营冷库的成本与企业相同, 但在实践中, 企业相比于农民通常拥有更先进的技术以及管理经验, 这意味着企业在建设和运营冷库方面可能存在更多的成本优势, 而且企业建设和运营冷库还能通过对农产品进行初加工产生价值增值效应或者通过吸引当地农民就业产生溢出效应, 未来的研究可以进一步将企业的成本优势以及价值增值或溢出效应考虑在内, 从而可以更全面地对两种模式进行比较分析。

#### 参考文献:

- [1] Paty B K, Shalendra S. Public Private Partnership in Agril. Marketing: A Case of PUNE District, Maharashtra [R]. Jaipur Rajasthan: National Institute of Agricultural Marketing, 2010.
- [2] Mandri-Perrott C, Bisbey J. How to Develop Sustainable Irrigation Projects with Private Sector Participation [R]. Washington D. C.: The World Bank, 2003.
- [3] Federgruen A, Lall U, Simsek A S. Supply chain analysis of contract farming [J]. *Manufacturing & Service Operations Management*, 2019, 21(2): 361 - 378.
- [4] Hu M, Liu Y, Wang W. Socially beneficial rationality: The value of strategic farmers, social entrepreneurs, and for-profit firms in crop planting decisions [J]. *Management Science*, 2019, 65(8): 3654 - 3672.
- [5] Chen Y J, George S J, Shen Z J. Training, production, and channel separation in ITC's e-Choupal network [J]. *Production and Operations Management*, 2013, 22(2): 348 - 364.
- [6] Tang C S, Sodhi M S, Formentini M. An analysis of partially-guaranteed-price contracts between farmers and agri-food companies [J]. *European Journal of Operational Research*, 2016, 254(3): 1063 - 1073.
- [7] Niu B, Jin D, Pu X. Coordination of channel members' efforts and utilities in contract farming operations [J]. *European Journal of Operational Research*, 2016, 255(3): 869 - 883.
- [8] 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 [J]. *管理科学学报*, 2012, 15(1): 66 - 76.  
Ye Fei, Lin Qiang, Mo Ruijun. Contract-farming supply chain coordination mechanism based on B-S model [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2012, 15(1): 66 - 76. (in Chinese)
- [9] Uppari B S, Popescu I, Netessine S. Selling off-grid light to liquidity-constrained consumers [J]. *Manufacturing & Service Operations Management*, 2019, 21(2): 308 - 326.
- [10] Yi Z, Wang Y, Chen Y. Financing an agricultural supply chain with a capital-constrained smallholder farmer in developing economies [J]. *Production and Operations Management*, 2021, 30(7): 2102 - 2121.
- [11] Levi R, Singhvi S, Zheng Y. Economically motivated adulteration in farming supply chains [J]. *Management Science*, 2020, 66(1): 209 - 226.
- [12] Lee H, Shen Z J. Supply chain and logistics innovations with the belt and road initiative [J]. *Journal of Management Science and Engineering*, 2020, 5(2): 77 - 86.

- [13] Sodhi M S , Tang C S. Supply-chain research opportunities with the poor as suppliers or distributors in developing countries [J]. *Production and Operations Management* , 2014 , 23( 9) : 1483 – 1494.
- [14] 王明喜 , 李明 , 郭冬梅 , 等. 碳排放权的非对称拍卖模型及其配置效率 [J]. *管理科学学报* , 2019 , 22( 7) : 34 – 51.  
Wang Mingxi , Li Ming , Guo Dongmei , et al. An asymmetric auction model of carbon emission rights and its allocation efficiency [J]. *Journal of Management Sciences in China* , 2019 , 22( 7) : 34 – 51. ( in Chinese)
- [15] 张新华 , 甘冬梅 , 黄守军 , 等. 考虑收益下限的火力发电商碳减排投资策略 [J]. *管理科学学报* , 2019 , 22( 11) : 69 – 81.  
Zhang Xinhua , Gan Dongmei , Huang Shoujun , et al. Investment strategy of carbon emission reduction of coal-fired power firms considering revenue floors [J]. *Journal of Management Sciences in China* , 2019 , 22( 11) : 69 – 81. ( in Chinese)
- [16] 鞠晴江 , 鞠鹏 , 代文强 , 等. 新能源汽车补贴政策与保有量影响研究: 单位补贴、销售奖励与产品差异化 [J]. *管理科学学报* , 2021 , 24( 6) : 102 – 116.  
Ju Qingjiang , Ju Peng , Dai Wenqiang , et al. Adoption of new energy vehicles under subsidy policies: Unit subsidies , sales incentives and product differentiation [J]. *Journal of Management Sciences in China* , 2021 , 24( 6) : 102 – 116. ( in Chinese)
- [17] 高颖 , 张水波 , 冯卓. PPP项目运营期间需求量下降情形下的补偿机制研究 [J]. *管理工程学报* , 2015 , 29( 2) : 93 – 102.  
Gao Ying , Zhang Shuibao , Feng Zhuo. PPP projects: A study of compensation mechanism with unmet demand [J]. *Journal of Industrial Engineering and Engineering Management* , 2015 , 29( 2) : 93 – 102. ( in Chinese)
- [18] 吴孝灵 , 周晶 , 洪巍. 基于有效运营期的 BOT项目特许权期决策模型 [J]. *系统工程学报* , 2011 , 26( 3) : 373 – 378.  
Wu Xiaoling , Zhou Jing , Hong Wei. Decision-making model on BOT project's concession period based on an efficient operational period [J]. *Journal of Systems Engineering* , 2011 , 26( 3) : 373 – 378. ( in Chinese)
- [19] 宋波 , 徐飞. 不同需求状态下公司合作制项目的定价机制 [J]. *管理科学学报* , 2011 , 14( 8) : 86 – 96.  
Song Bo , Xu Fei. Analysis on the pricing mechanism of public-private partnership project with different market demand level [J]. *Journal of Management Sciences in China* , 2011 , 14( 8) : 86 – 96. ( in Chinese)
- [20] Song J , Song D , Zhang D. Modeling the concession period and subsidy for BOT waste-to-energy incineration projects [J]. *Journal of Construction Engineering and Management* , 2015 , 141( 10) : 04015033.
- [21] Feng Z , Zhang S B , Gao Y. Modeling the impact of government guarantees on toll charge , road quality and capacity for Build-Operate-Transfer ( BOT) road project [J]. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* , 2015 , 78: 54 – 67.
- [22] Feng Z , Zhang S B , Gao Y , et al. Subsidizing and pricing private toll roads with noncontractible service quality: A relational contract approach [J]. *Transportation Research Part B: Methodological* , 2016 , 91: 466 – 491.
- [23] Wang F , Xiong M , Niu B , et al. Impact of government subsidy on BOT contract design: Price , demand , and concession period [J]. *Transportation Research Part B: Methodological* , 2018 , 110: 137 – 159.
- [24] Rong A , Akkerman R , Grunow M. An optimization approach for managing fresh food quality throughout the supply chain [J]. *International Journal of Production Economics* , 2011 , 131: 421 – 429.
- [25] Chen X , Pang Z , Pan L. Coordinating inventory control and pricing strategies for perishable products [J]. *Operations Research* , 2014 , 62: 284 – 300.
- [26] Fu K , Gong X , Liang G. Managing perishable inventory systems with product returns and remanufacturing [J]. *Production and Operations Management* , 2019 , 28: 1366 – 1386.
- [27] Feng L , Zhang J , Tang W. Optimal control of production and remanufacturing for a recovery system with perishable items [J]. *International Journal of Production Research* , 2013 , 51: 3977 – 3994.
- [28] Nahmias S. *Perishable Inventory Systems* [M]. New York: Springer , 2011.
- [29] Gupta S , Dawande M , Janakiraman G , et al. Distressed selling by farmers: Model , analysis , and use in policy-making [J]. *Production and Operations Management* , 2017 , 26: 1803 – 1818.
- [30] Tang C , Sodhi M , Formentini M. An analysis of partially-guaranteed-price contracts between farmers and agri-food compa-

- nies [J]. *European Journal of Operational Research* ,2016 ,254( 3) : 1063 – 1073.
- [31] Federgruen A , Lall U , Simsek S. Supply chain analysis of contract farming [J]. *Manufacturing & Service Operations Management* ,2019 ,21( 2) : 361 – 378.
- [32] Alizamir S , Irvani F , Mamani H. An analysis of price vs. revenue protection: Government subsidies in the agriculture industry [J]. *Management Science* ,2019 ,51( 1) : 18 – 29.
- [33] Guda H , Dawande M , Janakiraman G , et al. An economic analysis of agricultural support prices in developing economies [J]. *Production and Operations Management* ,2021 ,30( 9) : 3036 – 3053.
- [34] Kemahlioglu-Ziya E. Contracting for capacity under renegotiation: Partner preferences and the value of anticipating renegotiation [J]. *Production and Operations Management Society* ,2015 ,24( 2) : 237 – 252.
- [35] Thaler R. Mental accounting matters [J]. *Journal of Behavioral Decision Making* ,1999 ,12( 3) : 183 – 206.
- [36] Qiu L , Wang S. BOT projects: Incentives and efficiency [J]. *Journal of Development Economics* ,2011 ,94: 127 – 138.
- [37] Auriol E , Picard P. A theory of BOT concession contracts [J]. *Journal of Economic Behavior & Organization* ,2013 ,89: 187 – 209.
- [38] Niu B , Zhang J. Price , capacity and concession period decisions of Pareto-efficient BOT contracts with demand uncertainty [J]. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* ,2013 ,53: 1 – 14.
- [39] Zhang Y , Feng Z , Zhang S , et al. The effects of service level on BOT transport project contract [J]. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* ,2018 ,118: 184 – 206.

## The operating model and government subsidy in PPP agricultural cold storage projects

*FENG Zhuo , SONG Jin-bo , HU Xiang-pei*

School of Economics and Management , Dalian University of Technology , Dalian 116024 , China

**Abstract:** This paper analyzes and compares two common operating models for PPP agricultural cold-storage projects: The buying model and the rental model. The findings show that the firm is willing to participate into the PPP projects only if the construction cost is sufficiently small under either operating model. Moreover , both the buying model and the rental model lead to lower farmers' profit and social welfare. In order to improve social welfare of the two operating models , this paper further investigates the design of government's optimal subsidy. It is found that government subsidy can improve social welfare under certain conditions. Boundary conditions under which the government should subsidize the firm or the farmer are given. Regarding the comparison between the buying model and the rental model , it is found that the rental model leads to lower farmers' profit and social welfare , and it is more difficult for the government to employ subsidy to improve social welfare under the rental model. This paper offers theoretical support for the government to choose operating models for agricultural cold-storage PPP projects and to design the subsidy.

**Key words:** cold storage; PPP; operating model; government subsidy