

随机产量下种植面积补贴对订单农业的影响

曹 裕, 闫渤文, 李青松*

(中南大学商学院, 长沙 410083)

摘要: 构建由风险中性公司和风险厌恶农户组成的供应链, 研究了考虑产量和价格随机下, 面积补贴对固定价格合约(FP), 市场价格合约(MP), 部分保障价格合约(PGP)这三类订单农业的影响. 研究发现政府面积补贴投入越大, 三种合约下农户和公司的期望收益均上升, PGP 合约下农户的期望收益最高而 MP 合约下则最低. 进一步分析农户风险厌恶和产量不确定性对农户的期望收益的影响发现, 农户风险厌恶程度越大其期望收益越高, 但产量不确定性越大则会降低其最优种植面积和投入努力程度, 进而使得农户收益降低. 研究结果证明了面积补贴对农户和公司双方均有利的结论, 但面积补贴会对价格产生负面影响并会导致农户的偷懒行为.

关键词: 面积补贴; 农户+公司; 订单农业; 风险厌恶; 随机产量

中图分类号: F224.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-5781(2022)06-0782-14

doi: 10.13383/j.cnki.jse.2022.06.005

Impact of planting area subsidy on contract agriculture under random yield

Cao Yu, Yan Bowen, Li Qingsong*

(Business School, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: This paper establishes a supply chain composed of a risk-neutral company and a risk-averse farmer. This paper considers the random yield and price, studies the effect of area subsidy on fixed price contract (FP), market price contract (MP), and partial-guaranteed-price contract (PGP). The study finds that the expected incomes of both the farmer and the company under the three contracts increase with the area subsidy. The farmer has the highest expected income under PGP contract and the lowest under MP contract. Further, the greater the risk aversion of the farmer, the higher his expected return. The greater the uncertainty of yield, the lower the optimal planting area and planting effort; as a result, the lower the farmer's income. The results prove that area subsidy is beneficial to both sides; however, it will lower the price and the farmer's planting effort.

Key words: area subsidy; farmer+company; contract agriculture; risk aversion; random yield

1 引 言

农业补贴政策一直是我国着力发展和扶持农业的重要手段之一. 2004 年以来, 粮食直补、农资综合补贴、良种补贴、农业机械购置补贴等惠农政策的实施为我国农业发展注入了巨大的财力, 对我国农业发展起

收稿日期: 2020-03-25; 修订日期: 2021-04-08.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71972182; 71802076); 湖南省自然科学基金资助项目(2019JJ50070); 中南大学创新驱动资助项目(2020CX05).

*通信作者

到了积极推动作用^[1-4]。然而,随着我国居民收入和消费水平的不断提高,农业产业结构升级已经跟不上城乡消费结构升级的步伐,出现了农业低端供给、资源错配等现象,其中一个原因在于我国农产品价格形成机制改革和农业补贴政策转型滞后^[5]。一方面,2020年中央农村工作会议明确提出了今后将进一步完善农业补贴政策,稳住粮食播种面积和产量,农业面积补贴政策将是直接影响粮食产量的一种激励手段,也是给政府提供的对农业进行有效调控的新思路。例如,在新冠肺炎疫情大环境下,为了保障对人民“米袋子”、“菜篮子”的充足供应,广西壮族自治区发布了对粮食生产者提供每亩50元至100元的种植面积补贴政策。另一方面,构建农户与企业构成的农产品供应链模式已成为实现小农户与现代农业发展有机衔接的重要方式,根据农业部对我国农业产业化经营模式的调查研究统计结果显示,“农户+公司”模式采用率位列第一^[6]。

面积补贴政策是否能真正达到提升农产品种植面积的预期目的,且在应用于订单农业的过程中又会伴随产生什么现象是本文需要探索的问题。本文从选取的三种国内外常见“农户+公司”订单农业模式入手,即固定价格(FP)合约、市场价格(MP)合约、部分保障价格(PGP)合约。在三种合约中,考虑随机的单位面积产量、风险中性的公司和风险厌恶的农户,主要回答如下三个问题:面积补贴对农户和公司的收益以及最优决策有何影响?该如何选择合约?农户不同风险厌恶程度、不同的产量波动性会使结果产生何种变化?

研究发现,政府补贴能促进农户增加种植面积,但会抑制农户种植努力投入。政府补贴还会使得公司付给农户的采购价格下降。进而本文比较不同订单合约下种植面积的影响发现,随着政府面积补贴投入的资金越大,三种合约中农户和公司的期望收益均上升,这验证了面积补贴的有效性。另外,农户在PGP合约中获得期望收益最高,MP合约中最低。在每种合约下,农户和公司的期望收益随着农户风险厌恶系数的增加而增加,农户的期望收益随着产出不确定程度的增加而降低。补贴的增加会提高农户种植面积和收购价格,但会使农户投入努力下降。

与本文相关的文献主要涉及订单农业和补贴政策这两个领域。第一,在订单农业领域,国内外的研究主要包括订单模式、风险偏好和供应链协调等方面。Tang等^[7]研究表明农户和农产品公司之前签订的部分保障价格合约对双方都有利。但在某些情况下,可能会出现保护定价合约中农户的收益低于无保护定价合约^[8]。叶飞等^[9]对“公司+农户”订单农业供应链进行研究表明农户的风险厌恶程度越高,期望收益不确定性也就越高,批发价格也会受到农户风险厌恶和期望收益不确定性的双重影响。而在这种情况下,如果使用分散决策会增加农户的损失^[10],而当用CVaR刻画其中一方为风险厌恶时,成本分担机制不能协调供应链^[11]。通过建立博弈模型研究了农户和公司在合约市场与组合市场下不同的决策特征,结果表明组合市场对公司和农户双方都是更优的选择。对于高度风险厌恶型农户来说,“农户+公司”供应链模式要优于“农户+市场”供应链模式,其供应链的整体效用也随紧迫程度的提高而增大^[12]。在“农户+公司”供应链结构中,成本分摊合同比批发价格合同更能使双方同时受益。另外,公司提供的购买价格合约在成本分担过程中比例存在单峰值的现象^[13]。非最优收购合约中出现的过度补贴情况不能完全消除市场价格波动,一定程度上这阻碍了农户获得最大收益^[14]。订单农业供应链模式需要不定期进行调整,才能维持可持续发展。通过对阿根廷巴塔哥尼亚的农场数据进行分析,调整机制可以使得供应链整体利润增加,同时给外部农业环境带来积极影响^[15]。Moon等^[16]发现当零售商公平指数增加时,收益共享和成本分担合约可以让订单双方实现双赢的结果。Yang等^[17]将金融衍生品中期权的概念引入订单农业供应链,但由于监管机制不够成熟,道德风险和信用风险仍然是不可忽视的重要问题。当农产品供应链中产量和需求均为随机变量时,收益共享合约可以较好地实现供应链协调^[18]。Huh等^[19]对印度Ganganagar地区的数据进行实证分析,指出了低市场价格不确定性的合约对农户的种植和销售决策有显著影响。第二,在补贴政策领域,学者们的研究主要集中在补贴的价值与对农业技术的影响等方面。农业补贴会使得公司的利润上升,对农户利润的影响取决于其风险厌恶程度,农户越厌恶风险,补贴越有利^[20]。但是,当丰收年发生几率很大时,政府不应提供补贴^[21]。陈美球等^[22]发现良种补贴对农户的先进农业技术使用有着显著影响。同时存在包括补贴在内的两种不同激励措施时,应考虑两者之间的“激励对冲效应”^[23]。Alizamir等^[24]发现价格损失保险补贴可以鼓励农户提升种植面积,农业风险保险补贴能驱使农户减少种植面积从而导致减产。Vitalis^[25]认为全球农业补贴改革应认真考虑

负面环境的影响和扭曲的经济影响,反倒是马来西亚取消农业补贴就带来了显著负面影响^[26],但发展中国家仍应该更合理地提供补贴,因为过多的财政补贴会给经济发展带来阻力^[27].以欧盟在1990年~2007年的经验为依据,在不同地区实施补贴政策对农业技术效率产生何种影响要取决于具体的国家或地区^[28].对化肥的补贴政策对种植后和收获时粮食价格的影响微乎其微,政治因素在化肥补贴的分配中起到了显著作用^[29].Lusk^[30]认为,取消农业保险保费补贴会降低农户的生产者剩余和消费者剩余.农业投入补贴可以提高低产出农户参与市场供应的程度,从这个角度来看,农业补贴政策可以提供更多的外部利益^[31].多数农业政策设计的原因都是农业产业具有不稳定性.Kirwan^[32]研究表明随着农场规模的缩小,补贴的意义越重大,越能减缓农场规模的收缩.在富裕地区的农业环境补贴应将目标着眼于促进种植品类多样性上,对贫困地区保护的补贴目标应首先放在改善当地种植环境上^[33].Minviel等^[34]发现对补贴的建模方式会影响观测结果.综上所述,对订单农业中与补贴结合的研究中,补贴类型多是以价格的形式进行补贴,将补贴落实在种植面积的研究寥寥.

与本文研究相比,Tang等^[7]从成本最小化的角度研究了订单农业中农户和企业的决策问题.但现实中,无论是农户还是企业更多的还是从利润最大化的角度出发;叶飞等^[8]研究了三种合约下的订单决策,但没有考虑农产品产量随机这一固有特点;Peng等^[20]研究了农产品供应链中的价格补贴问题,但由于难以深入监管导致价格补贴中“骗补”、“套补”等现象时有发生,面积补贴则由于种植面积观测较为直观,此类现象相对较少.另外,价格补贴和面积补贴的出发点有着很大差异.价格补贴侧重于维持物价稳定,而面积补贴的政策本质上是为了鼓励农户生产,确保农产品种植面积和产量稳定.基于此,本文将种植面积补贴与市场中常见的三种“农户+公司”供应链订单农业模式相结合,包括FP合约、MP合约与PGP合约.根据现实情况将产量设定为随机,并将公司设置为风险中性、农户设置为风险厌恶.本研究使用条件风险价值(CVaR)方法衡量农户的风险厌恶程度,分析种植面积补贴对不同类型订单农业中种植面积、投入努力程度、收购价格,以及双方期望收益的影响,并进一步探索不同风险厌恶程度、不同产量波动性使结果产生的变化,通过数值分析的方法以收益最大化为出发点给农户以合约选择的建议.从宏观层面来看,这对我国政府相关部门在未来调整和改善农业政策有着极其重要的意义,并能为今后我国农业领域相关产业在面临订单形式低效的问题上提出对策;从微观角度出发,在政府提供补贴政策红利的时候,无论是农户还是公司均能根据自身情况做出最优决策从而最大程度增加收益.

2 不同“农户+公司”订单农业下决策模型

2.1 符号说明

研究使用的主要符号含义见表1.

表1 参数说明
Table 1 Parameter description

参数	符号说明	参数	符号说明
x	农户决策的种植面积	e	农户单位面积种植投入努力程度
g	公司固定收购农产品价格	P	农产品外部市场价格
Q	农户总生产数量	a	市场基础
b	农户对产量敏感系数	w	当地市场收购产品价格
w_h	农产品以高价格卖出的售价	w_l	农产品以低价格卖出的售价
ρ	农户以高价格销售产品的概率	θ	PGP合约中政府按固定价格收购比率
λ	政府提供的农户单位种植面积补贴	η	农户风险厌恶系数
α_0	农户购买原材料单位面积成本系数	α_1	农户种植面积成本系数
x_0	农户基本种植面积	α_2	农户努力投入程度系数
e_0	农户基本投入努力程度	y	单位面积产出, $y > 0$, 为连续随机变量
$h(\cdot)$	随机变量的密度函数	$H(\cdot)$	随机变量的分布函数

2.2 问题描述

考虑一个农户生产一种农产品, 一个下游公司对其进行采购, 并以此建立一个“农户+公司”的二级订单农业供应链模型, 供应链运作流程如下图1所示。

农户从上游供应商处采购原材料投入生产, 生产的初级农产品销售到下游公司, 然后公司将成品农产品销售到外部市场。假设 α_0 为原材料单位面积成本, x 为农户种植面积, 则农户从上游供应商处购买原材料的成本为 $\alpha_0 x$ 。假设 e 为农户单位面积种植努力程度, y 为单位面积产量, 是一个随机变量, 密度函数和分布函数分别表示为 $h(\cdot)$ 和 $H(\cdot)$, 均值为 μ , 方差为 σ^2 。最后, 公司以 P 的价格将农产品卖入市场, 假设外部市场价格函数为 $p = a - bxy$, 其中 a 表示市场基础, b 表示农户对产量敏感系数。结合文献[10, 13, 20]的设置, 将农户的总生产成本设置为种植面积和投入努力的形式, 即 $C(x, e) = \alpha_0 x + \alpha_1(x - x_0)^2 + \alpha_2(xe - xe_0)^2$, 并假设农户风险规避, 公司风险中性。其中 x_0 表示农户基本种植面积, α_1 表示农户种植面积增加的成本系数, e_0 表示农户基本种植努力, α_2 表示农户种植努力增加的成本系数, $\alpha_1(x - x_0)^2$ 表示种植过程成本, $\alpha_2(xe - xe_0)^2$ 表示农户种植努力成本。在农户投入生产之前, 公司向农户提供三种可供选择的合约。

1) 固定价格(FP)合约, 该合约中固定了公司从农户采购产品的价格, 农户自己决策与种植面积和投入努力相关的产量。假设 g 为 FP 合约中的固定收购价格。对于 FP 合约来说, 公司的收购成本为 gxy 。

2) 市场价格(MP)合约, 该合约中公司以初级农产品销售市场价格收购农户提供的初级农产品。 w 为 MP 合约中当地市场价格, 服从两点分布, 即对于农户来说, 有 ρ 的概率以 w_h 的价格销售产品, 具有 $1 - \rho$ 的概率以低价格 w_l 销售产品, 那么产品在初级农产品市场的期望销售价格可表示为 $\rho w_h + (1 - \rho)w_l$ 。对于 MP 合约来说, 公司的收购成本为 wxy 。

3) 部分保障价格(PGP)合约, 该合约是固定价格合约和市场价格合约的一般形式, 即公司并不完全固定农户产品的价格, 而是由农户自己来确定公司固定价格的比例和当年初级农产品市场价格的比例。对于 PGP 合约来说, 根据 Tang 等^[7]的研究, 农产品价格受到公司、市场和农户三方决定, 假设农户根据公司提供的价格选择一个固定比例 θ , 那么农产品最终收购价格表示为 $\theta g + (1 - \theta)w$ 。

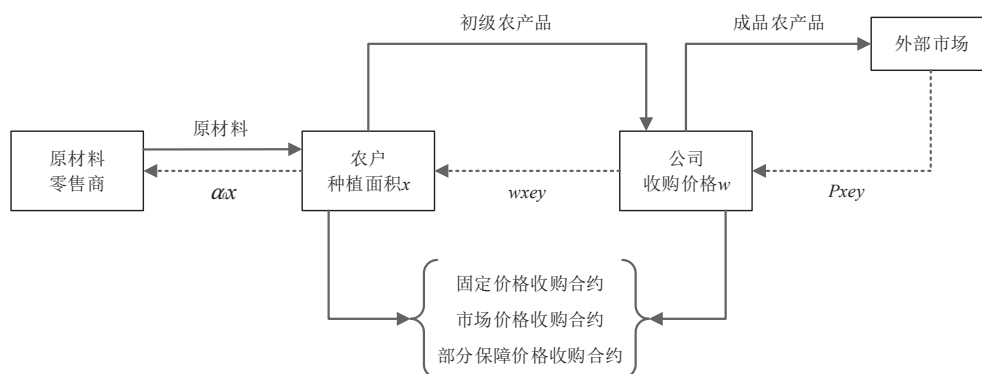


图1 基于面积补贴的“农户+公司”供应链运作流程图

Fig. 1 Flowchart of “farmer + company” supply chain operation based on area subsidy

2.3 按固定价格收购(FP)的“农户+公司”决策模型

农户和公司签订契约, 契约中确定一个固定收购价格 g (这个价格通常由公司决策)。当农户生产出成品后, 公司将以固定价格 g 收购农户生产的全部产品, 无论当时的当地市场价格 w 和外部市场价格 P 如何变化。对农户来说, 固定价格收购可以帮他们对冲农产品市场价格不景气的风险。缺点是, 当市场价格上升时, 农户无法从中受益。对公司来说, 这种订单模式可以帮他们对冲农产品价格上升的风险。当地批发市场价格 w 或外部市场价格 P 低于收购价格 g 时, 公司也不得不以 g 的价格对农户实施收购行为。

另外, 这种订单模式容易出现违约风险。若当地批发市场价格 w 远高于订单中约定的固定价格 g 时, 农户可能会违约, 转而将农产品直接卖入市场。相反地, 公司通常很难在较低的市场价格环境下通过违约受益。

这是由于对公司来说,良好的信誉和社会声誉要远比短期利润更为重要.

农户利润函数

$$\pi_f^{\text{FP}}(x, e) = gxe y + \lambda x - C(x, e), \quad (1)$$

其中 $gxe y$ 为农户销售收入, λx 为政府对农户提供的面积补贴, $C(x, e)$ 为农户生产过程中产生的总成本.

农户期望利润函数为

$$E[\pi_f^{\text{FP}}] = gxe\mu + \lambda x - C(x, e). \quad (2)$$

采用条件风险价值(CVaR)的方法衡量农户的风险厌恶行为. 根据 CVaR 的一般定义, 农户风险厌恶的目标函数为

$$\text{CVaR}_\eta[\pi_f^{\text{FP}}(x, e)] = \max_{v \in R} \left\{ v + \frac{1}{\eta} E [\min(\pi_f^{\text{FP}}(x, e) - v, 0)] \right\}, \quad (3)$$

其中 E 是期望算子, $\eta \in (0, 1]$ 表示农户的风险厌恶程度. η 越小, 农户风险偏好越小, 即风险厌恶程度越大, 即农户会更加在意承受的风险. 极端情况下, 当 $\eta = 1$ 时, 农户为风险中性. 此时, $\text{CVaR}_\eta[\pi_f^{\text{FP}}(x, e)]$ 降低到最低值, 与 $\pi_f^{\text{FP}}(x, e)$ 的期望相等. v 表示 η 在一定的条件下利润的可能上限值. 对于给定的价格 g , 农户需要决策最优种植面积 x 和努力程度 e 使得在 η 水平下 CVaR 达到最大化.

有下列结论.

命题 1 按固定价格收购合约下, 对于公司提供给农户的固定收购价格 g , 风险厌恶农户的最佳种植面积为 $x^*(g) = \frac{ge_0B + \lambda - \alpha_0 + 2\alpha_1x_0}{2\alpha_1}$, 最佳投入努力程度为 $e^*(g) = e_0 + \frac{gB}{2\alpha_2x^*}$, 其中 $B = \frac{1}{\eta} \int_0^{H^{-1}(\eta)} yh(y)dy$.

由命题 1 可知, 当公司给定农户固定收购价格的情况下, 农户的最优种植面积和最优投入努力程度受到风险厌恶程度、补贴、基础种植面积、基础投入努力程度以及总生产成本相关系数的影响. 显然, 在企业固定价格收购产品的条件下, 当补贴增加时, 农户种植面积增大, 但投入努力程度却下降. 由此说明, 虽然农户可以使得农户种植更多的面积, 但并不能让农户更加努力地去做种植, 反而会降低农户的努力程度.

公司利润函数为

$$\pi_e^{\text{FP}} = (P - g)xe y = (a - g)xe y - b(bxe y)^2. \quad (4)$$

公司期望利润函数为

$$E[\pi_e^{\text{FP}}] = (a - g)xe\mu - bx^2e^2(\mu^2 + \sigma^2). \quad (5)$$

命题 2 按固定价格收购合约下, 公司存在最优农产品采购价格

$$g^{\text{FP}*} = \frac{\alpha_2 \{-\alpha_2 e_0^3 \lambda N + \alpha_0 e_0 M + \alpha_1^2 [aB\mu - 2e_0(\alpha_2\mu + N)x_0] - \alpha_1 e_0 [\alpha_2(-abe_0 + \lambda)\mu + N(\lambda + 2\alpha_2 e_0^2 x_0)]\}}{B(\alpha_1 + \alpha_2 e_0^2)(\alpha_1 \alpha_2 \mu + M)},$$

其中 $M = \alpha_1 \alpha_2 \mu + \alpha_1 bB(\mu^2 + \sigma^2) + \alpha_2 bBe_0^2(\mu^2 + \sigma^2)$, $N = bB(\mu^2 + \sigma^2)$.

将命题 2 中的 $g^{\text{FP}*}$ 代入命题 1, 可得农户最优种植面积 $x^{\text{FP}*}$ 和最佳投入努力程度 $e^{\text{FP}*}$, 通过分析政府补贴和农户风险厌恶程度, 可得如下结论.

性质 1 $\frac{\partial g^{\text{FP}*}}{\partial \lambda} < 0$, $\frac{\partial x^{\text{FP}*}}{\partial \lambda} > 0$, $\frac{\partial e^{\text{FP}*}}{\partial \lambda} < 0$.

由性质 1 可以得知, 在固定价格收购合约下, 公司给农户的订购价格随着政府面积补贴的增加而减小, 这是由于种植面积补贴可以刺激批发市场的产品供给; 另一个原因是, 假设农户期望获得的收益一定的, 补贴可以起到抵消一部分收购价格的作用. 因此, 收购价格会下降. 当补贴数额提高时, 农户最优种植面积增大. 这是符合逻辑常识的, 验证了政府提供种植面积补贴初衷(增加某种农作物在当地的种植面积)的有效性. 基于上述分析和计算, 发现面积补贴有着与 Peng 等^[20]研究的价格补贴有着同样的弊端: 随着补贴数额的提高, 农户投入努力程度下降难以避免. 相比而言, 种植面积清晰可测, 在补贴核发上难度较低, 这降低了“骗

补”、“套补”事件发生的概率. 特别是以扩大种植面积稳住产量为目的的情况, 补贴到种植面积就更为直接, 因此面积补贴在上述两个方面更具优势.

将最优种植面积、投入努力程度和市场价格代入式(2)和式(5)可得农户最佳期望收益 $E[\pi_f^{FP*}]$ 和公司最佳期望收益 $E[\pi_e^{FP*}]$.

2.4 按市场价格收购(MP)的“农户+公司”决策模型

在按市场价格收购的订单农业中, 农户和公司签订契约, 契约中规定公司在农户成产过程完成后对农户生产的所有农产品以当地市场价格 w 进行收购, 加工后以外部市场价格 P 卖出. 对农户来说, 当市场行情变好、价格上涨时将获得更高收益, 但无法对冲市场不景气、市场价格下降的风险, 因此本文假设内部市场价格 w 随机, 期望价格为 $\bar{w} = \rho w_h + (1 - \rho)w_l$, 表示农户有 ρ 的概率按照高价格 w_h 销售产品, 有 $1 - \rho$ 的概率按照低价格 w_l 销售产品. 此时对公司来说则不需要做任何决策, 只需以当地批发市场价格对农户生产的全部农产品进行收购.

此时农户利润函数为

$$\pi_f^{MP}(x, e) = \bar{w}xey + \lambda x - C(x, e). \quad (6)$$

农户期望利润函数为

$$E[\pi_f^{MP}] = \bar{w}xey\mu + \lambda x - C(x, e). \quad (7)$$

根据 CVaR 的一般定义, 考虑到农户风险厌恶, 目标函数为

$$CVaR_\eta[\pi_f^{MP}(x, e)] = \max_{v \in R} \left\{ v + \frac{1}{\eta} E[\min(\pi_f(x, e) - v, 0)] \right\}. \quad (8)$$

有下列结论.

命题 3 对于公司以内部市场价格进行的收购行为, 风险厌恶农户的最佳种植面积为 $x^{MP*}(g) = \frac{e_0 \bar{w} B + \lambda - \alpha_0 + 2\alpha_1 x_0}{2\alpha_1}$, 最佳投入努力程度为 $e^{MP*} = e_0 + \frac{\bar{w} B}{2\alpha_2 x^{MP*}}$, 其中

$$B = \frac{1}{\eta} \int_0^{H^{-1}(\eta)} y h(y) dy, \bar{w} = \rho w_h + (1 - \rho)w_l.$$

由命题 3 可知, 当公司按内部市场价格收购的情况下, 农户的最优种植面积和最优投入努力程度受到风险厌恶程度、补贴、基础种植面积、基础投入努力程度以及总生产成本相关系数的影响, 关于市场价格、政府补贴和农户风险厌恶变化的影响变化有如下性质.

性质 2 $\frac{\partial x^{MP*}}{\partial \lambda} > 0$, $\frac{\partial e^{MP*}}{\partial \lambda} < 0$, $\frac{\partial x^{MP*}}{\partial \rho} > 0$, $\frac{\partial e^{MP*}}{\partial \rho} > 0$.

由性质 2 可知, 在市场价格收购合约下, 与固定价格收购合约相同, 补贴数额的增加会推动农户提高其种植面积. 有趣的是, 在这种情况下农户的投入努力程度会下降. 由于农户的精力是有上限的, 则可以得知, 农户对种植面积的更多投入会导致单位面积的投入努力程度下降. 农户以高价格卖出农产品的概率升高时, 农户的最优种植面积和投入努力程度都会增大. 这是由于农户的期望收益与期望产量直接相关, 而无论是种植面积的增大还是投入努力程度的提高都能对产量起到积极影响. 当农户能以高价格卖出农产品的概率增大时, 种植面积和投入努力程度都会上升. 这是由于农户会受到更高期望收益的刺激进而主动提高产量.

将 x^{MP*} , e^{MP*} 代入农户期望利润函数, 可得农户最优期望利润 $E[\pi_f^{MP*}]$.

对于公司以市场价格 $\bar{w}$ 进行的收购行为的条件, 公司期望利润函数为

$$E[\pi_e^{MP}] = (a - \bar{w})xey\mu - bx^2e^2(\mu^2 + \sigma^2), \quad (9)$$

将命题 3 中的 x^{MP*} 和 e^{MP*} 代入式(9), 可得到公司最优期望收益 $E[\pi_e^{MP*}]$.

2.5 部分保障价格收购合约(PGP)的“农户+公司”决策模型

农户和公司签订契约, 契约中约定公司将决策一个提供给农户的固定保障价格 g . 比率 θ 的农产品将以固定保障价格 g 卖出给公司, 而剩余部分比率 $1 - \theta$ 的农产品将由公司按市场价格收购. PGP 合约

某种程度上来说是固定价格收购(FP) 合约与市场价格收购(MP)合约的一种组合, 此时农产品收购价格为 $\theta g + (1 - \theta)w$. 其中 $\theta \in (0, 1)$. 这种契约形式的好处是, 无论是农户还是公司, 都可以保障自己的部分收益, 并且保留赚取另一部分更多收益的可能性.

农户期望利润函数为

$$E[\pi_f^{\text{PGP}}(x, e)] = [\theta g + (1 - \theta)\bar{w}]xe\mu + \lambda x - C(x, e). \quad (10)$$

考虑农户风险厌恶, 函数表达式为

$$\text{CVaR}_\eta[\pi_f^{\text{PGP}}(x, e)] = \max_{v \in R} \left\{ v + \frac{1}{\eta} E_{\min}[\pi_f^{\text{PGP}}(x, e) - v, 0] \right\}. \quad (11)$$

有下列结论.

命题 4 对于部分价格保障收购合约来说, 农户收到的收购报价由一部分固定价格和另一部分批发市场价格组合而成. 因此, 风险厌恶农户的最佳种植面积为 $x^{\text{PGP}^*}(g) = \frac{1}{2\alpha_1} \{[\theta g + (1 - \theta)\bar{w}]e_0 B + \lambda - \alpha_0 + 2\alpha_1 x_0\}$, 最佳投入努力程度为 $e^{\text{PGP}^*}(g) = e_0 + \frac{[\theta g + (1 - \theta)\bar{w}]B}{2\alpha_2 x^{\text{PGP}^*}(g)}$, 其中 $\bar{w} = \rho w_h + (1 - \rho)w_l$, $B = \frac{1}{\eta} \int_0^{H^{-1}(\eta)} y h(y) dy$.

由命题 4 可知, 农户的最佳种植面积和最优投入努力程度受到风险厌恶程度、政府补贴、批发市场平均价格、合同中固定价格、按固定价格收购的比率、基础种植面积和投入努力程度以及成本相关系数的影响. 其中, 农户最佳种植面积和努力程度随着公司价格的增加而增大 ($\frac{\partial x^{\text{PGP}^*}(g)}{\partial g} > 0$, $\frac{\partial e^{\text{PGP}^*}(g)}{\partial g} > 0$), 表明公司价格的提升可以激励农户种植更多的面积和努力程度. 政府补贴会提高农户种植面积, 却会降低投入努力程度 ($\frac{\partial x^{\text{PGP}^*}(g)}{\partial \lambda} > 0$, $\frac{\partial e^{\text{PGP}^*}(g)}{\partial \lambda} < 0$). 当合约中固定价格高于批发市场平均价格时, 固定比率对农户的种植面积和投入努力程度起到积极作用 ($\frac{\partial x^{\text{PGP}^*}(g)}{\partial \theta} > 0$, $\frac{\partial e^{\text{PGP}^*}(g)}{\partial \theta} > 0$); 当固定价格低于批发市场平均价格时, 固定比率与种植面积和努力程度呈现显著负相关 ($\frac{\partial x^{\text{PGP}^*}(g)}{\partial \theta} < 0$, $\frac{\partial e^{\text{PGP}^*}(g)}{\partial \theta} < 0$).

公司利润函数为

$$\pi_e^{\text{PGP}}(g) = \{(a - bxe y) - [\theta g + (1 - \theta)w]\} xey. \quad (12)$$

公司期望利润函数为

$$E[\pi_e^{\text{PGP}}(g)] = (a - \bar{w})xe\mu - (g - \bar{w})\theta xey - b(xe)^2(\mu^2 + \sigma^2). \quad (13)$$

命题 5 公司提供的部分保障价格合约中, 最优固定收购价格为 $g^{\text{PGP}^*} = \frac{2\alpha_1\alpha_2(J-KI)}{(\alpha_1+\alpha_2)\theta B(\theta+K)}$, 其中 $J = \frac{[a-(1-\theta)\bar{w}](\alpha_1+\alpha_2)\theta B}{2\alpha_1\alpha_2}$, $I = \frac{(\alpha_1+\alpha_2)B(1-\theta)\bar{w}}{2\alpha_1\alpha_2} + \frac{e_0}{2\alpha_1}(\lambda - \alpha_0 + 2\alpha_1 x_0)$, $K = \frac{b(\mu^2+\sigma^2)(\alpha_1+\alpha_2)\theta B}{\alpha_1\alpha_2} + \theta\mu$, 满足条件 $J - KI > 0$.

将命题 5 中的 g^{PGP^*} 代入命题 4, 可得农户最优种植面积 x^{PGP^*} , 最佳投入努力程度 e^{PGP^*} , 通过分析市场平均价格、政府面积补贴、风险厌恶程度和农户固定比率对其影响得到如下性质.

性质 3 1) $\frac{\partial g^{\text{PGP}^*}}{\partial \lambda} < 0$;

2) 当 $(\alpha_1 + \alpha_2)(\theta + K)B > \alpha_2 K$ 时, $\frac{\partial x^{\text{PGP}^*}}{\partial \lambda} > 0$, 当 $(\alpha_1 + \alpha_2)(\theta + K)B < \alpha_2 K$ 时, $\frac{\partial x^{\text{PGP}^*}}{\partial \lambda} < 0$;

3) 当 $\theta\alpha_2 K g^{\text{PGP}^*} > 2\alpha_1\alpha_2\eta(e_0 K x^{\text{PGP}^*} + J - KI)$ 时, $\frac{\partial e^{\text{PGP}^*}}{\partial \lambda} > 0$, $\theta\alpha_2 K g^{\text{PGP}^*} < 2\alpha_1\alpha_2\eta$, 当 $(e_0 K x^{\text{PGP}^*} + J - KI)$ 时, $\frac{\partial e^{\text{PGP}^*}}{\partial \lambda} < 0$;

4) 当 $\frac{2}{\theta(\theta+K)} \left[\frac{\alpha_1\alpha_2\eta(J-KI)}{(\alpha_1+\alpha_2)B} + \frac{z_2(\theta)}{\theta+K} \right] > \bar{w}$ 时, $\frac{\partial x^{\text{PGP}^*}}{\partial \theta} > 0$, 当 $\frac{2}{\theta(\theta+K)} \left[\frac{\alpha_1\alpha_2\eta(J-KI)}{(\alpha_1+\alpha_2)B} + \frac{z_2(\theta)}{\theta+K} \right] < \bar{w}$ 时, $\frac{\partial x^{\text{PGP}^*}}{\partial \theta} < 0$.

由性质 3 可知, 当政府提高补贴力度时会导致农户增产, 进而增加市场供给, 使得公司收购价格下降; 补贴对种植面积、投入努力程度的影响则由保障价格比率、成本系数、产量不确定性以及价格敏感程度等因素决定; 保障价格比率对种植面积的影响主要受批发市场价格的影响, 存在一个临界值, 使得该比率增大时产生积极或消极的影响. 这说明一味的增加补贴并不一定能达到政府希望增加种植面积的目的, 而要具体情

况具体分析, 深入考虑其他因素的影响. 根据这一观点, 在分析补贴对农户投入努力程度的影响时也得到了相同的结果. 与已有的研究相比, 本文在 Peng 等^[20]的研究基础上引入了 PGP 合约, 并在叶飞等^[8]关于订单农业以及 Tang 等^[7]关于 PGP 合约的研究上加入了更符合实际情况的设置, 包括随机的价格和产量与以利润最大化为目标的研究方向.

3 数值分析

本节将分析面积补贴、农户风险厌恶程度和单位面积产量不确定性等其它参数对农户和公司相关决策变量的影响. 结合 Ye 等^[10]和 Peng 等^[20]数值分析部分参数的设置, 本文参数取值设置如下: 市场基础 $a = 5$, 农户对产量的敏感系数 $b = 1.0 \times 10^{-6}$, 政府单位面积补贴 $\lambda = 10$, 农户风险厌恶系数 $\eta = 0.5$, 农户以高价格销售产品到初级农产品市场的概率 $\rho = 0.75$, 农户以高价格销售产品到初级农产品市场的价格 $w_h = 2.5$, 农户以低价格销售产品到初级农产品市场的价格 $w_l = 1.8$, PGP 合约中政府按固定价格收购比例 $\theta = 0.7$, 农户基本种植面积 $x_0 = 30$, 农户基本投入努力程度 $e_0 = 20$, 农户购买原材料单位面积成本系数 $\alpha_0 = 200$, 农户种植面积成本系数 $\alpha_1 = 8$, 农户投入努力程度系数 $\alpha_2 = 5 \times 10^{-5}$. 为了便于分析, 不妨假设农户单位面积产出服从均匀分布 $[1 - \delta, 1 + \delta]$, 即均值为 1, 方差为 $\frac{\delta^2}{3}$, 为了分析产量不确定性对农户和公司决策的影响, 不妨选取产量波动区间 $\delta = 0.7$, 由于波动区间的变化直接影响波动性(方差)的变化, 因此本节以分析 δ 的变化来代替产量不确定性的变化对决策的影响.

3.1 政府面积补贴对农户利润的影响

图 2 和图 3 描绘了不同 η 下和不同 δ 下 λ 对农户收益的影响

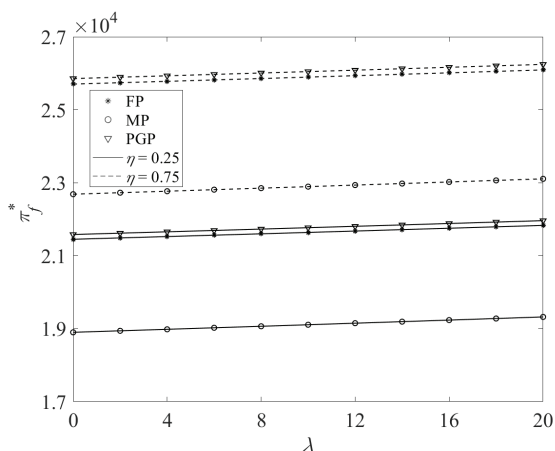


图 2 不同 η 下 λ 对农户收益的影响

Fig. 2 Impact of λ on farmer's return under different η

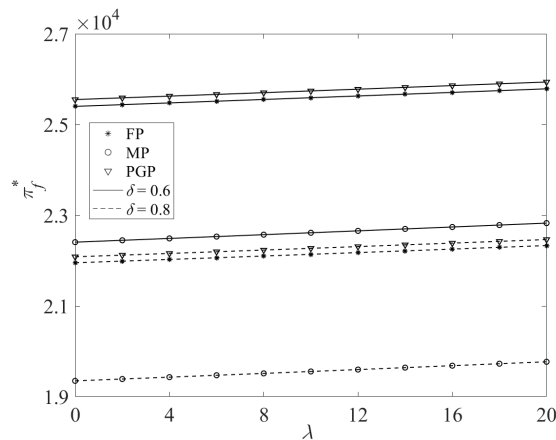


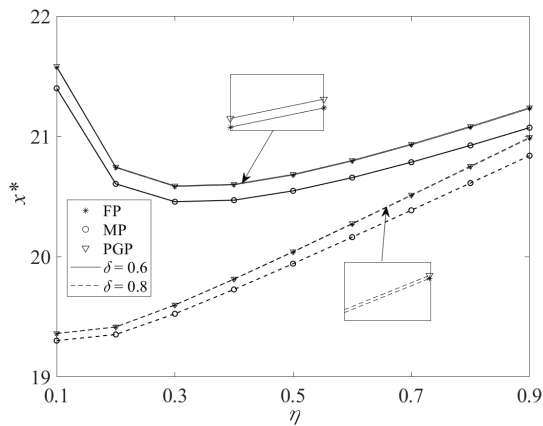
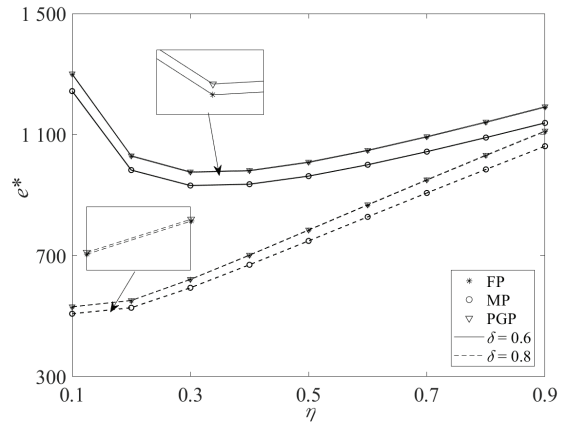
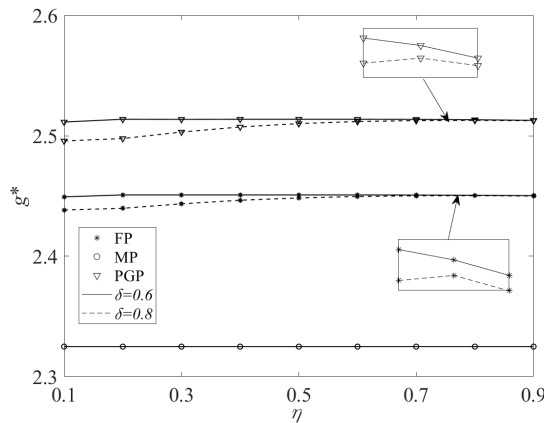
图 3 不同 δ 下 λ 对农户收益的影响

Fig. 3 Impact of λ on farmer's return under different δ

由图 2、图 3 可知, 随着政府补贴力度的加大, 三种合约农户的期望收益都是上升的. 通过比较三种合约下农户的期望收益发现, 农户选择 PGP 合约能带来最高的期望收益, 次优选择为 FP 合约, MP 合约带来的期望收益最低. 进一步地, 当农户更加厌恶风险或产量不确定性更大时, 在同一种合约中农户的期望收益会下降. 产生这种情况的原因是要获取收益往往伴随着承担风险. 承担更小的风险虽然会减小不确定性带来的损失, 但同时也失去了提高收益的可能性. 过于风险厌恶将会导致农户减少收益, 而产出又存在较大的不确定性, 因而只有在部分保障价格合约下, 农户既不显得太保守也不显得过于冒险, 因此此时的期望收益是最好的. 而不管农户风险厌恶程度或者产量不确定性如何, 随着政府面积补贴的增大对农户的收益总是增加的, 这一点能够说明面积补贴政策的有效性.

3.2 农户风险厌恶程度和产量不确定性对最优决策影响

图 4、图 5 和图 6 分别描绘不同 δ 下 η 对农户的种植面积、投入努力的影响和对公司收购价格的影响,

图4 不同 δ 下 η 对农户种植面积的影响Fig. 4 Impact of η on farming area under different δ 图5 不同 δ 下 η 对农户投入努力的影响Fig. 5 Impact of η on farmer's effort under different δ 图6 不同 δ 下 η 对公司收购价格的影响Fig. 6 Impact of η on company purchase price under different δ

由图4、图5可知,产量不确定性越大,农户最优种植面积、投入努力程度就越小,这是由于更大的产量不确定性会增加农户在种植过程中面临的潜在不确定性.农户风险厌恶程度对其二者的影响并不是线性的.基于文章对农户风险厌恶的设定,农户有着风险承受能力低的特点.因此,要讨论农户风险厌恶程度对最优种植面积和投入努力程度的影响需要考虑实际的产量不确定性.随着农户愈来愈接近风险中性,不同波动性市场下最优种植面积、最优投入努力程度都会更加接近.出现这种现象的原因是,在政府提供补贴的情况下,更倾向于风险中性的农户不那么在意所处市场的不确定性到底如何,做决策的动机完全源自于自身.尽管产量不确定性会有差异,但对农户来说在预计的种植面积、投入努力、产量和收益都会变得更加趋近于确定值.反之,更厌恶风险的农户在决策时要更多地考虑所处市场和种植过程中可能发生的不确定性,由此导致在不同情况下最优决策有更大的差异.

由图6可知,在MP合约下,公司采购价格不受产量的不确定性和农户风险厌恶程度影响.产量不确定性越大,公司收购价格越小.FP合约和PGP合约中,农户风险厌恶程度对公司收购价格产生的作用受产量不确定性的影响.其中,相同产量不确定性下FP合约的收购价格大于PGP合约的收购价格.总体而言,随着农户风险厌恶程度的减轻,收购价格呈现上升的趋势,产量不确定性对收购价格的影响会变得更加轻微.一种可能的原因是当农户产量较为稳定时(产量波动小),如果农户风险厌恶程度高反而使得农户减少农产品的种植,从而减少了产量,使得整个市场产量偏低,因而公司想要采购一定量的产品将不得不提升采购价格.而当产量不确定性增加到一定程度时,风险厌恶程度低的农户虽然种植了更多的产品,但是可能产品产量不及风险厌恶程度高时的农户种植产品产量,因而企业将不得不提升产品价格.

3.3 敏感性分析

本节主要分析成本系数变化和农户初始种植面积以及投入努力对最优决策的影响, 根据农户以高价格销售产品到初级农产品市场的概率 $\rho = 0.75$, 农户以高价格销售产品到初级农产品市场的价格 $w_h = 2.5$, 以及农户以低价格销售产品到初级农产品市场的价格 $w_l = 1.8$, 可以计算出初级农产品市场的期望价格为 $\bar{w} = 2.325 0$. 则任意一个参数的变化对农户和企业最优决策以及最优利润影响结果如下表 2 和表 3.

表 2 成本系数、农户初始种植面积和投入努力对农户和企业最优决策影响

Table 2 Impact of cost coefficients, farmers' initial planting area and input effort on the optimal decision-making of the farmer and company

		x^{FP*}	x^{MP*}	x^{PGP*}	$e^{FP*} \times 10^3$	$e^{MP*} \times 10^3$	$e^{PGP*} \times 10^3$	g^{FP*}	g^{PGP*}
x_0	-20 %	14.320 1	14.200 9	14.325 6	1.246 3	1.189 4	1.248 9	2.458 5	2.524 6
	0	20.312 6	20.200 9	20.318 1	0.881 6	0.842 1	0.883 5	2.450 1	2.512 5
	20 %	26.305 0	26.200 9	26.310 5	0.683 0	0.653 8	0.684 5	2.441 6	2.500 4
e_0	-20 %	20.955 0	20.823 7	20.967 1	0.857 1	0.823 5	0.860 2	2.438 2	2.501 5
	0	20.312 6	20.200 9	20.318 1	0.881 6	0.842 1	0.883 5	2.450 1	2.512 5
	20 %	20.741 7	20.616 1	20.751 2	0.865 0	0.829 5	0.867 7	2.442 3	2.505 2
α_0	-20 %	22.809 4	22.700 9	22.814 9	0.786 1	0.751 6	0.787 9	2.446 6	2.507 4
	0	20.312 6	20.200 9	20.318 1	0.881 6	0.842 1	0.883 5	2.450 1	2.512 5
	20 %	17.815 7	17.700 9	17.821 2	1.003 7	0.958 2	1.005 9	2.453 6	2.517 5
α_1	-20 %	17.893 6	17.751 1	17.902 3	0.999 1	0.955 6	1.001 7	2.452 7	2.518 5
	0	20.312 6	20.200 9	20.318 1	0.881 6	0.842 1	0.883 5	2.450 1	2.512 5
	20 %	21.925 8	21.834 1	21.929 6	0.817 6	0.780 6	0.819 1	2.448 3	2.508 5
α_2	-20 %	20.314 2	20.200 9	20.318 6	1.097 7	1.047 6	1.099 6	2.451 9	2.513 3
	0	20.312 6	20.200 9	20.318 1	0.881 6	0.842 1	0.883 5	2.450 1	2.512 5
	20 %	20.309 6	20.200 9	20.316 2	0.737 1	0.705 1	0.739 0	2.446 8	2.509 5

表 3 成本系数、农户初始种植面积和投入努力对农户和企业最优利润影响

Table 3 Impact of cost coefficients, farmers' initial planting area and input effort on the optimal return of the farmer and company

		$\pi_f^{FP*} \times 10^4$	$\pi_f^{MP*} \times 10^4$	$\pi_f^{PGP*} \times 10^4$	$\pi_e^{FP*} \times 10^4$	$\pi_e^{MP*} \times 10^4$	$\pi_e^{PGP*} \times 10^4$
x_0	-20 %	2.498 8	2.201 6	2.513 0	4.503 1	4.489 1	4.503 2
	0	2.394 9	2.115 5	2.409 1	4.533 2	4.520 8	4.533 2
	20 %	2.290 9	2.029 4	2.305 1	4.563 3	4.552 5	4.563 3
e_0	-20 %	2.399 0	2.145 0	2.422 9	4.568 0	4.557 0	4.568 1
	0	2.394 9	2.115 5	2.409 1	4.533 2	4.520 8	4.533 2
	20 %	2.397 8	2.135 1	2.418 2	4.556 2	4.544 7	4.556 2
α_0	-20 %	2.476 6	2.204 6	2.490 8	4.545 7	4.534 0	4.545 7
	0	2.394 9	2.115 5	2.409 1	4.533 2	4.520 8	4.533 2
	20 %	2.323 2	2.036 3	2.337 4	4.520 6	4.507 6	4.520 7
α_1	-20 %	2.416 3	2.131 4	2.434 0	4.521 0	4.507 8	4.521 1
	0	2.394 9	2.115 5	2.409 1	4.533 2	4.520 8	4.533 2
	20 %	2.380 6	2.104 8	2.392 4	4.541 3	4.529 4	4.541 3
α_2	-20 %	3.089 1	2.736 0	3.103 3	5.630 8	5.615 1	5.630 8
	0	2.394 9	2.115 5	2.409 1	4.533 2	4.520 8	4.533 2
	20 %	1.929 2	1.701 8	1.943 4	3.799 3	3.789 3	3.799 3

由表 2 可知, 1) 农户基本种植面积越大, 农户的单位面积投入努力程度则越小, 公司的收购价格也越小; 2) 随着农户的基本投入努力程度的增大, 农户种植面积先减小再增大, 投入努力程度先增大再减小, 收购价格先增大再减小; 3) 农户购买原材料单位面积成本系数上升时, 对种植面积、投入努力和收购价格都有积极影响; 4) 农户种植面积成本系数越大, 最优种植面积和最优收购价格都会提高, 而最优投入努力程度下降; 5) 农户投入努力程度系数上升时, 最优种植面积、投入努力、收购价格都会下降。

由表3可知, 1) 对农户来说, 基本种植面积、购买原材料单位面积成本系数、种植面积成本系数和投入努力程度系数的上升都会导致期望收益的下降; 2) 对公司而言, 农户基本种植面积和种植面积成本系数的上升会使得公司期望收益上升, 而随着农户购买原材料单位面积成本系数和种植面积成本系数的提高, 公司期望收益都会下降. 3) 随着农户基本投入努力程度的提高, 农户和公司的期望利润均呈现先减小再增大的变化趋势.

4 结束语

本文主要研究了政府面积补贴政策对“农户+公司”供应链订单农业的影响. 在政府提供的种植面积补贴背景下, 对“农户+公司”二级供应链中的固定价格、市场价格和部分保障价格三种合约进行建模分析. 种植面积补贴无疑对公司和农户都是有利的, 在合约选择上可能要求双方放弃部分自身利益才能达到总收益最大. 种植面积补贴在给农户带来收益的同时也滋生了农户种植不努力的行为, 因此在设计和实施农业种植面积补贴政策时, 除了要考虑具体种植农产品产量的波动性、农户的风险厌恶程度外, 也应当在政策中包含对激励农户提高单位面积投入努力的条款从而纠正农户“偷懒”的行为. 可以将种植面积补贴政策与其他农业政策相结合构建联合补贴机制, 从而进一步提升补贴政策的效率.

除此之外, 我国农村仍有部分地区以小农经济为主, 在种植面积上有着一定限制, 如何考虑补贴对这种情形的意义和影响? 这些都是今后需要深入研究的方向.

参考文献:

- [1] 钟甫宁, 顾和军, 纪月清. 农民角色分化与农业补贴政策的收入分配效应——江苏省农业税减免、粮食直补收入分配效应的实证研究. 管理世界, 2008(5): 65–70.
Zhong F N, Gu H J, Ji Y Q. The differentiation of the peasants' roles, and the effect of the agricultural subsidy policy on income distribution. Management World, 2008(5): 65–70. (in Chinese)
- [2] 周应恒, 赵文, 张晓敏. 近期中国主要农业国内支持政策评估. 农业经济问题, 2009, 30(5): 4–11.
Zhou Y H, Zhao W, Zhang X M. Evaluation on China's recent domestic agriculture support policies. Issues in Agricultural Economy, 2009, 30(5): 4–11. (in Chinese)
- [3] 黄季焜, 王晓兵, 智华勇, 等. 粮食直补和农资综合补贴对农业生产的影响. 农业技术经济, 2011(1): 4–12.
Huang J K, Wang X B, Zhi H Y, et al. Direct subsidies for grain and comprehensive subsidies for agricultural production material and their impact on agricultural production. Journal of Agrotechnical Economics, 2011(1): 4–12. (in Chinese)
- [4] 王欧, 杨进. 农业补贴对中国农户粮食生产的影响. 中国农村经济, 2014(5): 20–28.
Wang O, Yang J. Effects of agricultural subsidy on grain production of farmers in China. Chinese Rural Economy, 2014(5): 20–28. (in Chinese)
- [5] 姜长云, 杜志雄. 关于推进农业供给侧结构性改革的思考. 南京农业大学学报(社会科学版), 2017, 17(1): 1–10.
Jiang C Y, Du Z X. Thoughts on promoting structural reform of agricultural supply side. Journal of Nanjing Agricultural University (Social Science Edition), 2017, 17(1): 1–10. (in Chinese)
- [6] 高阔, 甘筱青. “公司+农户”模式: 一个文献综述(1986–2011). 经济问题探索, 2012(2): 109–115.
Gao K, Gan X Q. “Company + farmer” model: A literature review (1986–2011). Inquiry into Economic Issues, 2012(2): 109–115. (in Chinese)
- [7] Tang C S, Sodhi M M S, Formentini M. An analysis of partially-guaranteed-price contracts between farmers and agri-food companies. European Journal of Operational Research, 2016, 254(3): 1063–1073.
- [8] 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)
- [9] 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 & Practice, 2011, 31(3): 450–460. (in Chinese)

- [10] Ye F, Lin Q, Li Y. Coordination for contract farming supply chain with stochastic yield and demand under CVaR criterion. *Operational Research*, 2020, 20: 369–397.
- [11] 凌六一, 胡中菊, 郭晓龙, 等. 单一市场和组合市场下的“公司加农户”交易模式. *系统管理学报*, 2012, 21(3): 289–294.
Ling L Y, Hu Z J, Guo X L, et al. Analysis of “company plus farmer” business model under single market and combined market. *Journal of Systems & Management*, 2012, 21(3): 289–294. (in Chinese)
- [12] 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)
- [13] 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.
- [14] Hu M, Liu Y, Wang W. Socially beneficial rationality: The value of strategic farmers, social entrepreneurs, and for-profit firms in crop planting decisions. *Management Science*, 2019, 65(8): 3654–3672.
- [15] de Zegher J F, Iancu D A, Lee H L. Designing contracts and sourcing channels to create shared value. *Manufacturing & Service Operations Management*, 2017, 21(2): 271–289.
- [16] Moon I, Jeong Y J, Saha S. Investment and coordination decisions in a supply chain of fresh agricultural products. *Operational Research*, 2020, 20: 2307–2331.
- [17] Yang L, Tang R, Chen K. Call, put and bidirectional option contracts in agricultural supply chains with sales effort. *Applied Mathematical Modelling*, 2017, 47: 1–16.
- [18] Zhao X, WU F. Coordination of agri-food chain with revenue-sharing contract under stochastic output and stochastic demand. *Asia Pacific Journal of Operational Research*, 2011, 28(4): 487–510.
- [19] Huh W T, Lall U. Optimal crop choice, irrigation allocation, and the impact of contract farming. *Production and Operations Management*, 2013, 22(5): 1126–1143.
- [20] Peng H, Pang T. Optimal strategies for a three-level contract-farming supply chain with subsidy. *International Journal of Production Economics*, 2019, 216: 274–286.
- [21] 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)
- [22] 陈美球, 钟太洋, 吴月红. 农业补贴政策对农户耕地保护行为的影响研究. *农林经济管理学报*, 2014, 13(1): 14–23.
Chen M Q, Zhong T Y, Wu Y H. Effect of agricultural subsidy policy on farmers’ behavior to protect cultivated land. *Journal of Agro-Forestry Economics and Management*, 2014, 13(1): 14–23. (in Chinese)
- [23] 刘慧慧, 黄 涛, 雷 明. 废旧电器电子产品双渠道回收模型及政府补贴作用研究. *中国管理科学*, 2013, 21(2): 123–131.
Liu H H, Huang T, Lei M. Dual-channel recycling model of waste electrical and electronic equipment and research on effects of government subsidy. *Chinese Journal of Management Science*, 2013, 21(2): 123–131. (in Chinese)
- [24] Alizamir S, Irvani F, Mamani H. An analysis of price vs. revenue protection: Government subsidies in the agriculture industry. *Management Science*, 2018, 65(1): 32–49.
- [25] Vitalis V. Agricultural subsidy reform and its implications for sustainable development: The New Zealand experience. *Environmental Sciences*, 2007, 4(1): 21–40.
- [26] Solaymani S, Aghamohammadi E, Falahati A, et al. Food security and socio-economic aspects of agricultural input subsidies. *Review of Social Economy*, 2019, 77(3): 271–296.
- [27] Kailiang W, Wenjun L. Theory and model of agricultural insurance subsidy. *Chinese Journal of Population Resources and Environment*, 2007, 5(4): 42–48.
- [28] Latruffe L, Bravo-Ureta B E, Carpentier A, et al. Subsidies and technical efficiency in agriculture: Evidence from European dairy farms. *American Journal of Agricultural Economics*, 2017, 99(3): 783–799.
- [29] Takeshima H, Liverpool-Tasie L S O. Fertilizer subsidies, political influence and local food prices in sub-Saharan Africa: Evidence from Nigeria. *Food Policy*, 2015, 54: 11–24.
- [30] Lusk J L. Distributional effects of crop insurance subsidies. *Applied Economic Perspectives and Policy*, 2016, 39(1): 1–15.
- [31] Sibande L, Bailey A, Davidova S. The impact of farm input subsidies on maize marketing in Malawi. *Food Policy*, 2017, 69: 190–206.
- [32] Kirwan B E. US farm dynamics and the distribution of US agricultural subsidies. *Applied Economics Letters*, 2017, 24(3): 207–209.

- [33] Merckx T, Pereira H M. Reshaping agri-environmental subsidies: From marginal farming to large-scale rewilding. *Basic and Applied Ecology*, 2015, 16(2): 95–103.
- [34] Minviel J J, Latruffe L. Effect of public subsidies on farm technical efficiency: A meta-analysis of empirical results. *Applied Economics*, 2017, 49(2): 213–226.

作者简介:

曹 裕(1985—), 女, 湖南益阳人, 博士, 教授, 研究方向: 企业管理, 食品供应链管理, Email: xiaoyu19850409@163.com;
 闫渤文(1994—), 男, 蒙古族, 内蒙古赤峰人, 博士生, 研究方向: 企业管理, Email: bowen1101@yeah.net;
 李青松(1986—), 男, 陕西汉中, 博士生, 研究方向: 供应链管理, Email: qingsonglismile@163.com.

附录

命题 1 证明

令 $z(x, e, v) = v + \frac{1}{\eta} E[\min(\pi_f(x, e) - v, 0)]$, 需求解问题 $CVaR_\eta[\pi_f^{FP}(x, e)] = \max_{v \in R} [z(x, e, v)]$, 首先求解 v .

将 $\pi_f^{FP}(x, e)$ 表达式代入 $z(x, e, v)$ 中, 则有

$$z(x, e, v) = v + \frac{1}{\eta} E[\min(gxe y + \lambda x - C(x, e) - v, 0)] = v + \frac{1}{\eta} \int_0^A [gxe y + \lambda x - C(x, e) - v] h(y) dy.$$

其中 $A = \frac{-\lambda x + C(x, e) + v}{gxe}$, 又知 $\frac{\partial z(x, e, v)}{\partial v} = 1 - \frac{1}{\eta} H(A)$, $\frac{\partial^2 z(x, e, v)}{\partial v^2} = -\frac{1}{\eta} \frac{1}{gxe} h(A) < 0$.

因此 $z(x, e, v)$ 是关于 v 的凸函数, 则有 $\frac{\partial z(x, e, v)}{\partial v} = 0$, 可得 $v^* = gxe H^{-1}(\eta) + \lambda x - C(x, e)$, 则

$$z(x, e, v^*) = v^* - \frac{1}{\eta} \int_0^{\frac{v^* - \lambda x + C(x, e)}{gxe}} [v^* + C(x, e) - \lambda x] dH(y) = gxe B + \lambda x - C(x, e),$$

其中 $B = \frac{1}{\eta} \int_0^{H^{-1}(\eta)} y h(y) dy$.

对 x 分别求一阶导数和二阶导数可得

$$\begin{aligned} \frac{\partial z(x, e, v^*)}{\partial x} &= geB + \lambda - \alpha_0 - 2\alpha_1(x - x_0) - 2\alpha_2x(e - e_0)^2, & \frac{\partial^2 z(x, e, v^*)}{\partial x^2} &= -2\alpha_1 - 2\alpha_2(e - e_0)^2 < 0; \\ \frac{\partial z(x, e, v^*)}{\partial e} &= gxB - 2\alpha_2x^2(e - e_0), & \frac{\partial^2 z(x, e, v^*)}{\partial e^2} &= -2\alpha_2x^2 < 0, & \frac{\partial^2 z(x, e, v^*)}{\partial x \partial e} &= gB - 4\alpha_2x(e - e_0), \end{aligned}$$

令 $\frac{\partial z(x, e, v^*)}{\partial x} = 0$, $\frac{\partial z(x, e, v^*)}{\partial e} = 0$, 可得 $\hat{x} = \frac{1}{2\alpha_1} [gBe_0 + \lambda - \alpha_0 + 2\alpha_1x_0]$, $\hat{e} = e_0 + \frac{gB}{2\alpha_2\hat{x}}$.

判断二阶海森矩阵 $\mathbf{X} = \begin{bmatrix} -2\alpha_1 - 2\alpha_2(e - e_0)^2 & gB - 4\alpha_2x(e - e_0) \\ gB - 4\alpha_2x(e - e_0) & -2\alpha_2x^2 \end{bmatrix}$ 满足正定要求, 因此 $\hat{x}$ 和 $\hat{e}$ 为 FP 合约下的最优解. 证毕.

命题 2 证明

将命题 1 中 $x^*(g)$ 和 $e^*(g)$ 代入公司期望利润函数式(5)可得 $E[\pi_e^{FP}(g)] = (a - g)x^*e^*\mu - bx^{*2}e^{*2}(\mu^2 + \sigma^2)$, 上式对 g 求一阶导数可得

$$\frac{\partial E[\pi_e^{FP}(g)]}{\partial g} = -\frac{-\alpha_0 Me_0\alpha_2 + Ne_0^3(\lambda + F)\alpha_2^2 + \alpha_1^2 VN + \mu\alpha_2(Bg_f + V - aB) + \alpha_1\alpha_2e_0(\mu(\lambda - aBe_0 + 2F)\alpha_2 + N(\lambda + F + Ve_0))}{2\alpha_1^2\alpha_2^2},$$

其中 $V = Bg + 2e_0x_0\alpha_2$, $F = Bge_0$, 又知 $\frac{\partial^2 E[\pi_e^{FP}(g)]}{\partial g^2} = -\frac{B(\alpha_1 + e_0^2\alpha_2)(N\alpha_1 + Ne_0^2\alpha_2 + 2\mu\alpha_1\alpha_2)}{2\alpha_1^2\alpha_2^2} < 0$. 因此令 $\frac{\partial E[\pi_e^{FP}(g)]}{\partial g} = 0$, 则可得命题 2 结论. 命题 3 和 命题 4 的证明与命题 1 和命题 2 证明方法相同, 在此不再详述. 证毕.

性质 1 证明

$$\begin{aligned} \frac{\partial g^{FP*}}{\partial \lambda} &= -\frac{\alpha_1 e_0 [\mu + bB(\mu^2 + \sigma^2)]}{B(\alpha_1 + e_0^2\alpha_2)(\alpha_1\alpha_2\mu + M)} < 0, \\ \frac{\partial x^{FP*}}{\partial \lambda} &= \frac{B}{2\alpha_1} \left[\frac{(\alpha_1 + e_0^2\alpha_2)(\alpha_1\alpha_2\mu + M) - \alpha_1 e_0^2 [\mu + bB(\mu^2 + \sigma^2)]}{B(\alpha_1 + e_0^2\alpha_2)(\alpha_1\alpha_2\mu + M)} \right] > 0, \\ \frac{\partial e^{FP*}}{\partial \lambda} &= \frac{B}{2\alpha_2 x^{FP*2}} \left[\frac{\partial g^{FP*}}{\partial \lambda} x^{FP*2} - \frac{\partial x^{FP*}}{\partial \lambda} g^{FP*} \right], \end{aligned}$$

由于 $\frac{\partial g^{\text{FP}^*}}{\partial \lambda} < 0$, $\frac{\partial x^{\text{FP}^*}}{\partial \lambda} > 0$, 因此 $\frac{\partial e^{\text{FP}^*}}{\partial \lambda} < 0$.

证毕.

性质 2 证明

$$\frac{\partial x^{\text{MP}^*}}{\partial \lambda} = \frac{1}{2\alpha_1} > 0,$$

$$\frac{\partial e^{\text{MP}^*}}{\partial \lambda} = -\frac{\bar{w}B\alpha_1}{(\lambda + \bar{w}Be_0 - \alpha_0 + 2x_0\alpha_1)^2\alpha_2} < 0,$$

$$\frac{\partial x^{\text{MP}^*}}{\partial \rho} = \frac{B(w_h - w_l)e_0}{2\alpha_1} > 0,$$

$$\frac{\partial e^{\text{MP}^*}}{\partial \rho} = \frac{B(w_h - w_l)\alpha_1(\lambda - \alpha_0 + 2x_0\alpha_1)}{(\lambda + B\rho w_h e_0 + Bw_l e_0 - B\rho w_l e_0 - \alpha_0 + 2x_0\alpha_1)^2\alpha_2} > 0.$$

证毕.

命题 5 证明

令 $z(x, e, v) = v + \frac{1}{\eta} E_{\min}[\pi_f(x, e) - v, 0] = v + \frac{1}{\eta} \int_0^A \{[\theta g + (1 - \theta)\bar{w}]xey + \lambda x - c(x, e) - v\}h(y)dy$, 其中 $A = \frac{-\lambda x + C(x, e) + v}{[\theta g + (1 - \theta)\bar{w}]xe}$. 由于 $\frac{\partial z(x, e, v)}{\partial v} = 1 - \frac{1}{\eta} H(A)$, 即 $\frac{\partial z(x, e, v)}{\partial v^2} = -\frac{1}{\eta} \frac{1}{[\theta g + (1 - \theta)\bar{w}]xe} h(A) < 0$.

令 $\frac{\partial z(x, e, v)}{\partial v} = 0$, 可推导出 $v^* = [\theta g + (1 - \theta)\bar{w}]xeH^{-1}(\eta) + \lambda x - C(x, e)$, 则 $z(x, e, v^*) = \frac{1}{\eta} \int_0^{H^{-1}(\eta)} [\theta g + (1 - \theta)\bar{w}]xeyh(y)dy + \lambda x - C(x, e)$.

令 $\frac{\partial z(x, e, v^*)}{\partial x} = 0$, $\frac{\partial z(x, e, v^*)}{\partial e} = 0$, 则有 $x^* = \frac{1}{2\alpha_1} \left\{ \frac{[\theta g + (1 - \theta)\bar{w}]B}{e_0\eta} + \lambda - \alpha_0 + 2\alpha_1 x_0 \right\}$, $e^* = e_0 + \frac{[\theta g + (1 - \theta)\bar{w}]B}{2\alpha_2 x^* \eta}$, 其中 $B = \int_0^{H^{-1}(\eta)} yh(y)dy$.

证毕.

性质 3 证明

$$1) \frac{\partial g^{\text{PGP}^*}}{\partial \lambda} = \frac{2\alpha_1\alpha_2\eta}{(\alpha_1 + \alpha_2)\theta B(\theta + K)} \left(-K \frac{\partial I}{\partial \lambda} \right) < 0;$$

2) $\frac{\partial x^{\text{PGP}^*}}{\partial \lambda} = \frac{1}{2\alpha_1} \left(\frac{\theta}{e_0\eta} \frac{\partial g^{\text{PGP}^*}}{\partial \lambda} + 1 \right) = \frac{1}{2\alpha_1} \left(1 - \frac{\alpha_2 K}{(\alpha_1 + \alpha_2)(\theta + K)B} \right)$, 则当 $(\alpha_1 + \alpha_2)(\theta + K)B > \alpha_2 K$ 时, $\frac{\partial x^{\text{PGP}^*}}{\partial \lambda} > 0$, 反之, $\frac{\partial x^{\text{PGP}^*}}{\partial \lambda} < 0$;

3) $\frac{\partial e^{\text{PGP}^*}}{\partial \lambda} = \frac{B\theta}{2\alpha_2\eta(x^{\text{PGP}^*})^2} \left(x^{\text{PGP}^*} \frac{\partial g^{\text{PGP}^*}}{\partial \lambda} - g^{\text{PGP}^*} \frac{\partial x^{\text{PGP}^*}}{\partial \lambda} \right)$, 经判断, 当 $\theta\alpha_2 K g^{\text{PGP}^*} > 2\alpha_1\alpha_2\eta(e_0 K x^{\text{PGP}^*} + J - KI)$ 时, $\frac{\partial e^{\text{PGP}^*}}{\partial \lambda} > 0$, 反之, $\frac{\partial e^{\text{PGP}^*}}{\partial \lambda} < 0$;

4) $\frac{\partial x^{\text{PGP}^*}}{\partial \theta} = \frac{1}{2\alpha_1 e_0 \eta} \left(g - \bar{w} + \theta \frac{\partial g^{\text{PGP}^*}}{\partial \theta} \right) = \left(\frac{2\alpha_1\alpha_2\eta(J - KI)}{(\alpha_1 + \alpha_2)\theta B(\theta + K)} + \frac{2z_2(\theta)}{\theta(\theta + K)^2} - \bar{w} \right)$, 则当 $\frac{2}{\theta(\theta + K)} \left[\frac{\alpha_1\alpha_2\eta(J - KI)}{(\alpha_1 + \alpha_2)B} + \frac{z_2(\theta)}{\theta + K} \right] > \bar{w}$ 时, $\frac{\partial x^{\text{PGP}^*}}{\partial \theta} > 0$, 反之, $\frac{\partial x^{\text{PGP}^*}}{\partial \theta} < 0$.

证毕.