

碳交易背景下社区生鲜平台供应链决策与协调研究

邹筱, 张佳琪, 李丹

(湖南工业大学 经济与管理学院, 湖南 株洲 412007)

摘要: 社区团购作为新零售的核心形式, 因满足了消费者对生鲜品质和便捷性的需求受到大众青睐, 但线上购买的增加所带来的高频运输也大幅提高了供应链的碳排放。为维持社区生鲜平台供应链低碳且稳定地发展, 本文基于1个社区电商平台、1个生鲜供应商和1个社区团长所组成的三级供应链, 研究自营物流模式下社区生鲜平台供应链各决策主体的利益关系, 分析该模式下各供应链主体的最优保鲜、订货与定价策略, 以及合作契约对供应链协调的影响, 探究其内生决策机制。研究发现: 随着碳交易价格的上升, 社区电商平台需要承担更大的碳减排责任, 系统利润会先降低后增加。在采用组合契约时, 只要两部收费契约的固定费用都控制在合理的区间内, 自营物流模式下的社区生鲜平台供应链系统就可以实现完美协调。

关键词: 碳交易; 生鲜产品; 社区团购; 供应链协调

中图分类号: F724.6; F252.1

文献标志码: A

Research on Supply Chain Decision Making and Coordination of Community Fresh Food Platforms in the Context of Carbon Trading

ZOU Xiao, ZHANG Jiaqi, LI Dan

(College of Economics and Management, Hunan University of Technology, Zhuzhou 412007, Hunan, China)

Abstract: Community group purchasing, as a core form of new retail, has been favored by the public for meeting consumer demand for fresh food quality and convenience, but the high-frequency transportation brought about by the increase in online purchasing has also significantly increased the carbon emissions of the supply chain. In order to maintain the low-carbon and stable development of the supply chain of the community fresh food platform, based on the three-level supply chain composed of a community e-commerce platform, a fresh food supplier and a community head, the interests of the decision-making bodies in the supply chain of the community fresh food platform under the self-managed logistics model is studied. The optimal preservation, ordering, and pricing strategies of each supply chain entity under this model is analyzed, as well as the impact of cooperation contracts on supply chain coordination, and its endogenous decision-making mechanism is explored. It is found that as the carbon trading price rises, the community e-commerce platform needs to assume greater responsibility for carbon emission reduction, and the system profit will first decrease and then increase. When adopting the combination contract, as long as the fixed costs of the two fee contracts are controlled within a reasonable interval, the supply chain system of the community fresh food platform under the self-managed logistics mode can achieve a perfect coordination.

Key words: carbon trading; fresh produce; community group purchasing; supply chain coordination

收稿日期: 2024-05-20

修回日期: 2024-10-10

基金项目: 湖南省教育厅科研基金资助重点项目“双碳目标下生鲜供应链多元协同机制与实现路径研究”(22A0405); 湖南省自然科学基金资助项目“基于价值共创的株洲市农产品平台供应链协同机制研究”(2022JJ50089)

第一作者: 邹筱 (1976—), 女, 湖南株洲人, 教授, 博士, 主要研究方向为物流与供应链管理。E-mail: 18670818072@163.com

通讯作者: 张佳琪 (2001—), 女, 湖南株洲人, 硕士研究生, 主要研究方向为企业物流与供应链管理。E-mail: zjq20012024@qq.com

2023 年,我国《第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》提出,要推动商贸流通创新、数字化、智能化改造,以适应人们对“线上+线下”相融合的新型零售模式的需求。新零售是一种基于大数据与人工智能技术的零售模式,其目的在于提高顾客的购物体验 and 提供更优惠的商品^[1]。而社区新零售模式的出现是对传统零售业态的革新,以解决传统零售模式所存在的问题,这其中就包含了民生消费中不可或缺的生鲜产品领域。2022 年 12 月,国务院办公厅印发的《“十四五”现代物流发展规划》中明确指出,要大力发展“生鲜电商+产地直发”等冷链物流新业态和新模式。

在国家政策与数字经济的推动下,社区团购模式得到快速发展。众多生鲜电商平台选择以社区为单位建立生鲜产品的“前置仓”,再由社区零售店以及社区团长完成生鲜产品的“最后一公里”,从而形成“线上购买,线下配送”的社区生鲜供应链。

但为了满足消费者对于新鲜、优质食品的需求,冷链物流需要保持高效运转,这不仅产生了大量的能源消耗,还大大增加了冷链设备的维护成本。这些因素共同作用,导致果蔬冷链的碳排放问题日益凸显,为了降低碳排放,国家出台了“碳限额”政策和“碳交易”制度,并在全国范围内积极推行。碳配额交易作为一种市场化的碳减排手段,在碳减排过程中成效显著,得到各国广泛认可和普及^[2-3]。

虽然政府与相关企业的一些措施在短时间内对于社区生鲜平台的发展有一定的促进作用,但随着新型冠状病毒感染实施“乙类乙管”方案的提出,政府补贴以及流量红利的停止,依据相关数据显示,2023 年我国生鲜电商行业融资总额同比下降 76%^[4]。

随着新零售行业的发展,业界关于社区团购供应链的研究也逐渐增多。在社区团购的优势分析方面,张侠丹(2021)^[5]探讨社区团购模式拓展下沉市场的竞争优势;辛晓海(2020)^[6]则以销定采、价格低廉、用户粘性高为主要优点对社区团购的优势进行了详细分析。在定价策略方面,Shui 等(2020)^[7]提出社区团购定价模型与冷链配送成本模型的协同优化机制;潘琳等(2022)^[8]认为,社区生鲜食品在其销售的全过程中存在着一个动态的价格阈值,使得供应商与零售商能够依据产品品质的动态变化特点,采用差异化的价格策略来提高自身的收益。在供应链协调方面,郑秋鹏等(2022)^[9]以团购平台主导的社区团购三级供应链为研究对象,对比集中决策和

分散决策,通过设立“成本共担+收益共享”激励机制提升各主体收益并实现供应链协调;王夏阳等(2024)^[10]建立涉及社区团购平台、团长、消费者和实体超市的理论模型,研究社区团购平台在单一渠道市场和竞争渠道市场下选取团长和设置佣金比例的标准,为如何提高供应链协调和引导合理竞争提供政策指引。在风险分析方面,徐旭初等(2024)^[11]以网购平台淘菜菜为例,运用扎根理论和社会网络分析等方法,对社区团购农产品供应链的风险进行了研究,并建立了一个风险网络,评估风险关联程度,找出风险外溢路径。

在供应链协调与契约研究方面,由于供应链契约理论能够有效实现供应链的帕累托改进,提升供应链整体利润,近年来对供应链协调与契约的研究也得到广泛关注。在系统均衡方面,沈转霞(2024)^[12]构建了考虑营销努力的双渠道供应链动态博弈模型,并分析了系统均衡点的稳定性条件;在批发价格方面,王文隆(2021)^[13]、经有国(2021)^[14]以及王士娟^[15]分别对批发价格契约、数量折扣契约、两部收费契约等进行的深入研究;在产品订单量契约方面,张雨濛(2015)^[16]对弹性数量契约、最小订单量契约进行了研究,马雪丽(2021)^[17]对两部定价契约进行了探讨;在利润分配契约方面,范定祥(2021)^[18]对回收奖惩契约进行了研究、邱若臻(2021)^[19]对传统收益共享契约、成本分摊契约、双向分摊契约进行了分析。

针对碳配额交易的研究,姚凡军等(2024)^[20]探究消费者绿色偏好对不同决策的影响,发现消费者绿色偏好系数及碳交易价格负向影响制造商的广告策略;夏良杰等(2019)^[21]探究强制减排下供应链如何协调决策,得出净化率比较低的条件下,消费者绿色意识提升有助于提升供应链上下游的利润。以上学者主要探析碳配额交易下消费者绿色化意识的作用,还有学者基于供应链收益展开分析,如张令荣等(2023)^[22]分析碳配额交易下不同模式下制造商谎报决策对闭环供应链造成的影响;夏西强等(2022)^[23]探析不同的碳配额初始分配法下闭环供应链回收再制造博弈模型,得到碳配额一定程度内使供应链双方均获益。此外,部分学者探究了碳配额交易下企业减排策略,如 Zhao 等(2018)^[24]尝试探究碳交易机制下基于碳排放分配的均衡策略;Sh 等(2022)^[25]运用差额分析法来研究碳配额与碳交易价格对减排效果的影响,强调了历史排放法在实现有效减排方面的优势,为政策制定者提供了关于

碳定价机制的实证依据。

尽管社区团购模式在生鲜产品供应链管理中的应用日益广泛,但相关研究仍处于探索与发展阶段,对于社区生鲜平台供应链自营物流模式的研究相对不足。此外,现有研究的重点主要在于低碳供应链的协调运作和政策对供应链成员决策的影响,尤其关注供应链中各个节点间的博弈行为。而对社区平台低碳供应链的研究相对较少,对社区生鲜供应链中碳交易价格制定的相关研究还不够充分。

自营物流模式作为社区生鲜供应链中主要的物流模式之一,各供应链主体如何在该模式下进行决策以实现整体与个体利益的共同优化,是当下迫切需要解决的问题。结合碳交易系统的实施以及绿色可持续发展的目标,本文基于 1 个社区电商平台、1 个生鲜供应商和 1 个社区团长所组成的三级供应链,研究自营物流模式下社区生鲜平台供应链各决策主体的利益关系,分析该模式下各供应链主体的最优保鲜、订货与定价策略,以及合作契约对供应链协调的影响,探究其内生决策机制。

1 问题描述与假设

在社区生鲜平台供应链的自营物流模式下,对由 1 个社区电商平台、1 个生鲜供应商和 1 个社区团长所构建的三级供应链模型展开研究。在这个三级供应链模型中,社区电商平台利用技术手段在线发布生鲜产品信息,由社区团长向其周边消费者进行产品推广,为生鲜供应商提供售卖渠道。次日,平台依据社区团长提供的订单信息将对应的生鲜产品配送至社区团长处,再由社区团长完成最后的配送。

根据图 1 所示,首先生鲜产品供应商制定产品价格 p ,并通过社区团长将社区电商发布的产品信息传递给消费者进行下单。随后社区电商先完成生鲜产品的前端配送,最后由社区团长承担对消费者最后的配送以及售后服务。

整个过程中,社区电商平台会根据生鲜供应商和社区团长的决策对市场需求进行预测,以制定对供应商所收取的佣金费用 w 、向社区团长所支付的佣金费用 v 以及保鲜努力水平 e 。社区团长会根据社区电商所支付佣金费用 v 来决策单位服务成本 s ,并完成生鲜产品向消费者的交付。

在碳限额交易实施的政策背景下,为维持保鲜效率,需匹配冷冻、冷藏设备,社区电商平台为低碳责任的主要承担者,即该社区生鲜供应链的主要碳排放源于冷链配送^[26],在这种情况下,社区电商平

台被分到的碳排放限额是 C ,每个单位的碳交易价格是 g ,如果平台在物流和仓储过程中产生的碳排放大于 C ,那么多出限额的碳排放量就必须从政府那里购买。相反地,如果产生的碳排放量小于 C ,那么没有达到碳限额的部分则可在碳交易市场上销售。社区电商平台可以通过决策保鲜努力投入水平来控制碳排放。

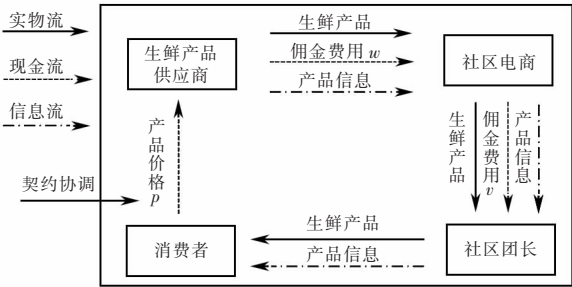


图 1 社区生鲜供应链自营物流模型

Fig. 1 Self-operated logistics model of community fresh supply chain

为了便于分析本文中的生鲜电商平台供应链系统以及方便建模,本研究作如下假设:

假设 1 生鲜产品的市场需求量会受到生鲜产品价格 p 、保鲜努力水平 e 以及服务水平 s 的影响,其中假设保鲜努力水平与需求呈正相关,需求与社区团长的服务水平成正相关。本文假设生鲜供应商的产品需求量为 q ,结合刘墨林、马雪丽^[27-28]与 Chen^[29]的需求模型,得到需求函数为 $q=a+ue+rs-p$,其中 a 、 u 和 r 分别为潜在市场规模、需求对新鲜度敏感度和需求对服务水平敏感度。

假设 2 假设由社区电商平台承担产品供应环节中付出的保鲜努力水平 e ,而前期推广、后期配送以及产品的售后服务等服务则由社区团长负责,为方便计算本研究中统称为服务水平 s 。本文采用二次成本函数来刻画产品的保鲜和服务成本,这一函数在目前的研究中得到了广泛的应用。因此有 $C(e)=be^2, b>0, e(0<e\leq 1), C(s)=hs^2, h>0, s(0<s\leq 1); b$ 为保鲜努力成本系数, h 为服务成本系数, $C(e)$ 表示保鲜努力水平为 e 时单位产品保鲜成本, $C(s)$ 表示服务水平为 s 时单位产品服务成本^[30]。

假设 3 由于生鲜产品在运输时使用的是以电能为主要动力的冷库或气调库,其碳排放系数一般是常数,因此,假设每单位生鲜产品的碳排放量仅受到保鲜努力水平的影响。那么,每单位生鲜品的碳排放就为 θe^2 ,其中 θ 为保鲜努力成本系数的近似值,有 $\theta\approx b^*$ 碳排放系数^[26]。

假设 4 假设自营物流模式中社区电商平台建立物流体系所需要的成本为 M , 供应商的供应成本、电商平台搭建信息平台以及社区团长门店的成本均为 0。

本文涉及的决策变量及参数的符号说明如表 1

表 1 参数及符号说明
Tab. 1 Description of parameters and symbols

符号	变量解释	符号	变量解释
a	潜在市场规模	c	碳限额
e	保鲜努力水平, $e \in (0, 1]$	g	碳交易价格
s	单位服务成本, $s \in (0, 1]$	r	需求对服务水平敏感度
w	单位佣金费用(供应商支付)	u	需求对新鲜度敏感度
v	单位佣金费用(社区电商支付)	b	保鲜努力成本系数
p	单位生鲜产品售价	θ	碳排放系数
q	生鲜产品市场需求量	h	服务成本系数
M	物流体系构建成本	π_j^i	j 模式下 i 的利润

2 模型建立与分析

2.1 分散式结构模型

在社区生鲜平台供应链中, 各个参与者通常采取分散式结构模型, 以各自的收益最大为目标来进行决策。社区电商平台为供应链的领导者, 由电商平台先决定最优佣金费用 w 以及保鲜努力成本 e 。然后, 生鲜供应商再制定生鲜产品的最优价格 p 。将模型简化为标准的两阶段博弈, 并通过逆向归纳法求解。

第一阶段, 由社区电商平台确定单位生鲜产品所收取与支付的最优佣金费用 w^d, v^d 、保鲜努力水平 e^d , 以实现利润最大化, 其利润函数如下:

$$\max \pi_M^d = (w^d - v^d - be^{d^2})q^d + g(C - \theta e^{d^2}q^d) - M$$

(1)

在博弈的第二阶段, 供应商确定最优的 p^d , 其最大化期望利润为:

$$\max \pi_S^d = (p^d - w^d)q^d$$

(2)

最后, 社区团长根据生鲜产品的数量以及社区电商平台所提供的佣金费用决策服务水平 s^d , 以达到自身期望利润的最大化, 此时有:

$$\max \pi_L^d = (v^d - hs^{d^2})q^d$$

(3)

通过计算可以得到定理 1。

定理 1

1) 在分散式模型的决策中, 社区电商平台最优保鲜努力、社区团长的最优服务水平的决策如下:

$$e^d = \begin{cases} 1 & g \leq \frac{u-2b}{2\theta} \\ \frac{u}{2(b+g\theta)} & g > \frac{u-2b}{2\theta} \end{cases}$$

(4)

所示。上标 $i \in \{d, c, w\}$, 分别表示分散决策、中心决策与组合契约下的最优决策; 下标 $j \in \{M, S, L\}$, 分别表示社区电商平台、生鲜供应商与社区团长的期望利润。

$$s^d = \begin{cases} 1 & r \geq 2h \\ \frac{r}{2h} & r < 2h \end{cases}$$

(5)

2) 该社区生鲜供应链中的其他决策以及供应商、社区电商平台的最优期望利润分别如下:

$$q^d = \frac{a + e^d u + rs^d + e^{d^2}(b + g\theta) - hs^{d^2}}{8}$$

(6)

$$p^d = \frac{7(a + e^d u + rs^d) + e^{d^2}(b + g\theta) + hs^{d^2}}{8}$$

(7)

$$w^d = \frac{3(a + e^d u + rs^d) + hs^{d^2} + e^{d^2}(b + g\theta)}{4}$$

(8)

$$v^d = \frac{a + e^d u + rs^d + hs^{d^2} - e^{d^2}(b + g\theta)}{2}$$

(9)

$$\pi_S^d = q^{d^2}, \pi_L^d = 4q^{d^2}, \pi_M^d = 2q^{d^2} + gC - M.$$

定理 1 表明:

1) 当社区电商平台采用自营物流模式时, 其保鲜努力决策 e^d 主要受 u, b, θ 及 g 的影响; 社区团长的服务水平 s^d 主要受到 r 以及 h 的共同影响。

2) 当碳交易价格 g 取较低值时($g \leq \frac{u-2b}{2\theta}$),

这时与销售多余的碳配额相比, 电商平台通过提高产品的新鲜度能够获得更高的利润。所以, 电商平台会选择将农产品保持在新鲜度最佳的状态, 即($e^d = 1$)。反之, 社区电商平台制定的最优新鲜度决策为 $e^d =$

$$\frac{u}{2(b+g\theta)}.$$

3) 对于社区团长而言, 当消费者对服务水平敏感程度较高且大于 2 倍社区团长的服务成本时, 社

区团长提高服务水平所带来的利润提升会高于其所付出的服务成本。因此,社区团长会选择维持最佳的服务水平,即($s^d = 1$)。相反,社区团长制定的最优服务水平决策为 $\frac{r}{2h}$ 。

2.2 集中式结构模型

本文以集中式结构模型为基准,研究生鲜产品供应商在社区平台供应链中的协调优化机制。在集中式结构模型下,将供应链中社区电商平台、生鲜供应商以及社区团长视为一个整体,以达到整体利润的最大化为协调目标。社区生鲜平台供应链总利润函数如下:

$$\pi^c = p^c q^c - b e^{c^2} q^c - h s^{c^2} q^c + g(C - \theta e^{c^2} q^c) - M \tag{10}$$

为了让 π^c 实现最大化,在验证了 π^c 关于 e^c 、 s^c 和 q^c 的联合凹性后,整理可以得到定理 2;

定理 2:

1) 在集中式模型的决策中,社区电商平台最优保鲜努力、社区团长的最优服务水平的决策如下:

$$e^c = \begin{cases} 1 & g \leq \frac{u-2b}{2\theta} \\ \frac{u}{2(b+g\theta)} & g > \frac{u-2b}{2\theta} \end{cases} \tag{11}$$

$$s^c = \begin{cases} 1 & r \geq 2h \\ \frac{r}{2h} & r < 2h \end{cases} \tag{12}$$

2) 该社区生鲜平台供应链中的其他决策以及供应链系统的最优期望利润分别如下:

$$q^c = \frac{a + e^c u + r s^c - h s^{c^2} - e^{c^2} (b + g\theta)}{2} \tag{13}$$

$$p^c = \frac{a + e^c u + r s^c + h s^{c^2} + e^{c^2} (b + g\theta)}{2} \tag{14}$$

$$\pi^c = q^{c^2} + gC - M.$$

2.3 自营物流模式下各变量影响分析

对比定理 1 与定理 2 中生鲜产品社区生鲜平台供应链的最优结果,可以得到引理 1。

引理 1:

$$e^c = e^d, s^d = s^c, q^c = 4q^{d*}.$$

引理 1 说明:集中式决策下社区电商平台的保鲜努力水平、社区团长的服务水平与分散式结构模型下相同,但生鲜产品的需求量远高于分散决策下的需求量,即使生鲜品的零售价降低,平台供应链的系统总利润也会得到增加。这是由于分散式的决策方式会导致物流服务成本、平台信息价格的提高和供应链运作效率的降低,使供应商的定价行为偏离

最优,进而影响到供应链中各个成员的利益。

引理 2:

1) g 的提高, $e^c = e^d, q^c = 4q^d$ 都呈非增长趋势, s^d 不受 g 变化的影响。

2) u 的变化对 s^d 没有影响,但随着 u 的提高, e^d, q^d 均呈增长趋势。

3) h 的变化对 e^d 没有影响,但与 s^d 呈负相关;

同时 i) 当 $g < \frac{u-2b}{2\theta}$, 且 $r \geq 2h$ 时, h 与 q^d 呈负相关;

ii) 当 $g > \frac{u-2b}{2\theta}$ 且 $r \geq 2h$ 时, h 与 q^d 呈正相关;

iii) 当 $g < \frac{u-2b}{2\theta}$ 且 $e \geq 2h$ 以及 $g > \frac{u-2b}{2\theta}$ 且 $r < 2h$ 时, h 的持续增加,会使得 q^d 先增加后减少。

该引理可以说明:

1) 碳交易价格上升,使得社区电商平台在减少碳排放方面有更多的责任。为达到经济利益的均衡,社区电商平台为减少承担碳减排责任时的利润损失,可能会采取降低保鲜努力水平的措施。

2) 在消费者对产品新鲜度的敏感度提高时,社区电商平台将会提高其保鲜努力水平,使生鲜产品的需求量的增长,这将有助于生鲜产品需求的稳定增长,从而能够让供应链中的每个成员都获得更大的收益,但是供应链的减碳并没有直接产生影响;

3) 服务成本系数对供应链需求会受碳交易价格 g 、需求对新鲜度敏感程度 u 、保鲜努力成本系数 b 以及服务成本系数 h 等诸多因素的影响。当社区团长所付出的服务成本系数提升时,供应链的保鲜努力水平的决策不会受到影响。

3 合作优化策略

根据上述模型以及均衡解的分析,发现分散决策下订货量较低的主要原因在于产品在流通过程中增加了物流成本与平台服务成本。现有研究成果表明,将单一数量折扣契约模型引入社区电商平台三级供应链中是难以实现供应链所有成员的帕累托改进的。同时,虽然数量折扣契约可以提高系统的整体利益,但却会对部分供应链成员的利益造成较大损害^[28]。针对这一问题,本文以集中式结构模型为基准模型,运用数量折扣契约与两部收费契约进行组合,对该社区生鲜平台供应链系统进行协调。

3.1 组合契约的构建

在该契约下,社区生鲜平台供应链系统各成员的期望利润如下:

$$\max \pi_s^w = (p_s^w - w^w) q^w = (p_s^w - w^w)(a + u e^w +$$

$$rs^w - p_s^w) \quad (15)$$

$$\max_M \pi_M^d = (w^w - v^w - be^{w^2})q^w + g(C - \theta e^{w^2}q^w) - \quad (16)$$

$$\max \pi_L^w = (v^w - hs^{w^2})q^w \quad (17)$$

为使系统协调后的总利润与集中式结构模型下的利润相同,实现该社区生鲜平台供应链的协调优化,通过计算可以得到定理 3。

定理 3:

1) 在分散式模型的决策中,该社区生鲜平台供应链系统中,社区电商平台最优保鲜努力、社区团长的最优服务水平的决策如下:

$$e^w = \begin{cases} 1 & g \leq \frac{u-2b}{2\theta} \\ \frac{u}{2(b+g\theta)} & g > \frac{u-2b}{2\theta} \end{cases} \quad (18)$$

$$s^w = \begin{cases} 1 & r \geq 2h \\ \frac{r}{2h} & r < 2h \end{cases} \quad (19)$$

2) $\pi_C^w = \pi_C^c$, 且 $\pi_S^w = 48q^{d^2}$, $\pi_M^w = 32q^{d^2} + gC - M$, $\pi_L^w = -32q^{d^2}$ 。

对比定理 1、定理 2 与定理 3,可以发现,通过数量折扣契约进行协调后,虽然系统的总利润能够达到集中式决策下的系统总利润,且生鲜供应商与社区电商平台的利润得到了大幅提升,但数量折扣契约的应用是建立在大幅度降低社区团长利润的基础上,即社区商会大幅降低社区团长佣金费用。故该契约未能充分考虑到社区团长的利益,不利于该社区生鲜平台供应链的长期稳定发展,社区团长不会接受该数量折扣契约。

3.2 两部收费契约协调

鉴于以上数量折扣契约的应用结果,通过组合契约的引入以实现该社区生鲜平台供应链的完美协调。在定理 3 的基础上加入两部收费契约。在两部收费契约下,由于社区团长的利益受损,供应商和社区电商需向社区团长平台缴纳一定量的固定费用 T_1 , T_2 来保证其利润。

当 T_1 和 T_2 满足以下条件时, $\pi_S^w - T_1 \geq \pi_S^d$, $\pi_M^w - T_2 \geq \pi_M^d$, $\pi_L^w + T_1 + T_2 \geq \pi_L^d$, 能够实现供应链的完美协调。整理后可以得到定理,如下。

定理 3-4: 当 T_1 与 T_2 满足以下条件时,该社区生鲜供应链系统实现完美协调: $[\underline{T}_1, \bar{T}_1] = [6q^{d^2}, 47q^{d^2}]$; $[\underline{T}_2, \bar{T}_2] = [36q^{d^2} - T_1, 30q^{d^2}]$ 。

其中 $\underline{T}_1$ 和 $\bar{T}_1$ 分别表示 T_1 的下限和上限,同理 $\underline{T}_2$ 和 $\bar{T}_2$ 分别表示 T_2 的下限和上限。

这一定理表明,当两部收费契约的参数都在控制在一个合理的区间之内时,自营物流模式下的社区生鲜平台供应链系统可以实现完美协调。

4 数值仿真分析

为更有效地验证结果的可靠性以及探究在数学建模过程中尚未发现的一些规律,参考已有研究中生鲜供应链协调仿真数据^[20,23],采用 Matlab 软件进行数值仿真,直观地体现了生鲜平台供应链系统利润在集中式和分散式结构模型下的差异以及各变量对平台供应链利润的影响。结合实际,在可行域内,各参数设置如下: $a=10$, $u=4$, $h=4$, $b=2$, $\theta=1$, $r=4$, $C=1$ 。

4.1 决策变量对利润的影响

为更清晰地描述保鲜努力水平 e 以及服务水平 s 对自营物流模式下集中式结构模型以及分散式结构模型利润的影响,作图 2。

如图 2 所示,在保鲜努力水平 e 和服务水平 s 相同的情况下,集中式决策下的系统利润明显高于分散式决策下的利润。同时,随着社区电商平台投入的保鲜努力水平 e 的提高,两种模式下的利润都呈先上升后下降的趋势。随着社区团长投入的服务水平 s 的提高,两种模式下的利润均为先提升后降低的趋势。综上,保鲜努力水平和服务水平在自营物流模式中的分散式与集中式结构模型中均存在峰值,可以侧面验证定理 1 与定理 2 中 e 与 s 的最优决策结果。

4.2 碳限额变化的影响

为更清晰地体现碳交易价格 g 在自营物流模式下集中式结构模型以及分散式结构模型中对利润的影响,作图 3、图 4。

从图 3 可以清晰地看出,碳交易价格 g 的提升对集中式结构模型和分散式结构模型的影响趋势相似, π^c 与 π^d 均会先降低后升高。当碳交易价格达到一定程度时,出售碳限额所带来的利润会大于付出保鲜努力时农产品带来的利润,此时社区电商平台会更倾向于销售碳限额。此外,随着碳交易价格的提升,集中式结构模型下的系统利润逐渐接近分散式结构模型下的利润,形成一个切点。这是因为随着碳交易价格的提升,两种结构模型下的社区电商平台都更倾向于降低保鲜努力水平,以获得更多剩余的碳限额在市场上交易,获取更高的经济收益。然而,这也意味着消费者可能无法获得新鲜的农产品,不利于供应链可持续发展。

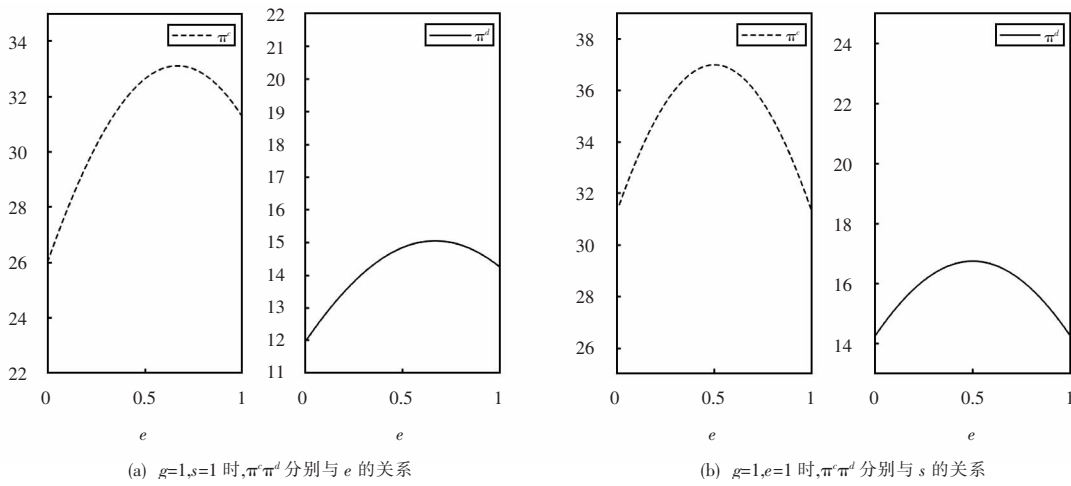


图 2 π^c, π^d 分别与 e 与 s 的关系
Fig. 2 π^c, π^d is related to e and s respectively

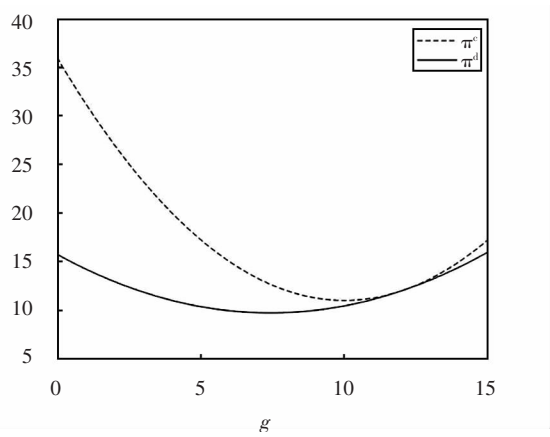


图 3 当 $s=1, e=1$ 时, π^c, π^d 与 g 的关系
Fig. 3 When $s=1, e=1$, the relation between π^c, π^d and g

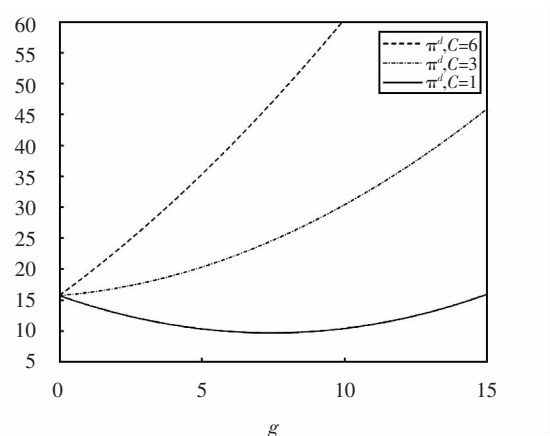


图 4 当 $s=1, e=1, C$ 分别为 1, 3, 6 时, π^d 与 g 的关系
Fig. 4 When $s=1, e=1$, The relationship between π^d and g when C is 1, 3 and 6 respectively

从图 4 可以发现, 当政府所给的碳限额都较低时, 碳交易价格 g 的增长会使得分散结构下社区生鲜供应链的系统利润先降低后增加。当政府所给的

碳限额都较高时, 碳交易价格 g 与分散结构下社区生鲜供应链的系统利润呈正相关。这是因为较高的碳限额与碳交易价格能够激励社区电商平台更愿意出售其过剩的碳排放权, 从而达到减少排放的目的。然而, 设置过高的碳排放限额可能导致社区电商平台不受限制地增加碳排放, 而过高的碳交易价格可能诱使市场参与者采取投机行为, 将碳排放权作为主要交易商品, 进而偏离了碳限额政策旨在实现的减排目标, 对长期可持续发展产生负面影响。

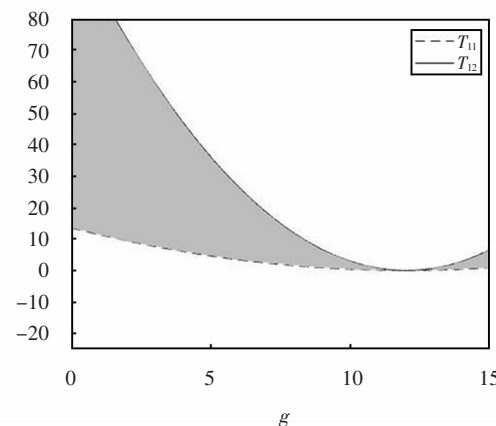


图 5 g 与 $\underline{T}_1, \bar{T}_1$ 的关系
Fig. 5 The relationship of g to $\underline{T}_1, \bar{T}_1$

4.3 两部收费契约数值仿真分析

为更清晰地体现碳交易价格 g 对两部定价组合契约边界取值范围的影响, 依据定理 4, 可以得到生鲜供应商固定费用的取值范围: $[\underline{T}_1, \bar{T}_1] = [6q^{d^2}, 47q^{d^2}]$; 生鲜电商平台的固定费用取值范围: $[\underline{T}_2, \bar{T}_2] = [36q^{d^2} - T_1, 30q^{d^2}]$, 将 $a=10, u=4, h=4, b=2, \theta=1, r=4, C=1$ 代入后, 可以得到图 5 以及图 6。

从图 5 与图 6 可以发现, 随着碳交易价格 g 的

增加,边界 T_1 与 $\bar{T}_1$ 、边界 T_2 与 $\bar{T}_2$ 所围成的阴影部分面积先逐渐减少至 0,随后再快速增长。这说明了在碳交易价格 g 较低或较高时,生鲜供应商与电商平台的固定费用会有更大的取值范围,能够更好地满足社区团长利润的损失,从而达到社区生鲜供应链的协调与优化。

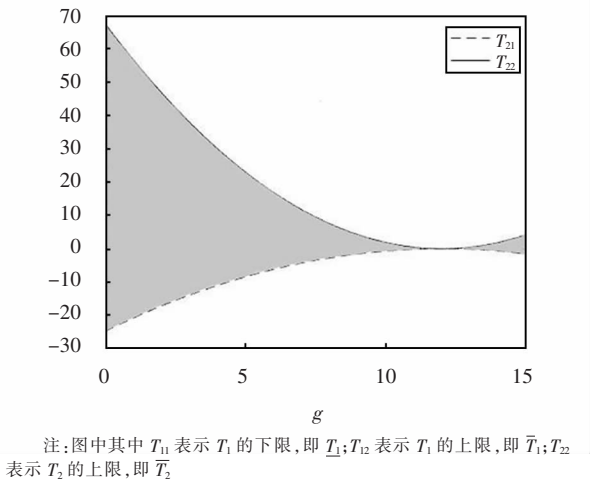


图 6 g 与 T_2 、 $\bar{T}_2$ 的关系

Fig. 6 The relationship of g to T_2 , $\bar{T}_2$

5 研究结论与展望

1) 随着碳交易价格的上升,社区电商平台需要承担更大的碳减排责任,系统利润会先降低后增加。当碳交易价格达到一定程度时,出售碳限额所带来的利润会大于付出保鲜努力时农产品带来的利润,此时社区电商平台会更倾向于降低保鲜努力水平,销售碳限额来保证自身利润。同时随着碳交易价格的提升,集中式结构模型下的系统利润逐渐接近于分散式结构模型下的利润,形成一个切点。这是因为随着碳交易价格的提升,两种结构模型下的社区电商平台都更倾向于降低保鲜努力水平,以获得更多剩余的碳限额在市场上交易,获取更高的经济收益。但生鲜电商平台不能一味地追求利润,应该要注意平衡生鲜产品保鲜努力水平和碳排放量,使消费者尽可能获得新鲜、品质高的产品,保证供应链的可持续发展。

2) 对于社区团长而言,当消费者对服务水平敏感程度较高时,社区团长提高服务水平所带来的利润提升会高于其所付出的服务成本,社区团长会选择维持最佳的服务水平;当消费者对服务水平敏感程度降低到一定水平时,社区团长会降低自身的服务水平来保证利润。社区团长可以通过采取及时配送和交付、收集消费者的反馈意见和建议、定期组织

社区活动等一系列措施来提高自身的服务水平,提高消费者满意度,从而提高供应链口碑,增加购买量。

3) 采取集中式决策时社区生鲜平台供应链的总利润明显高于分散决策时的利润,集中式决策下生鲜品的需求量也远高于分散式模型下的需求量。这是由于分散式的决策方式会导致物流服务成本、平台信息价格的提高和供应链运作效率的降低,使供应商的定价行为偏离最优,进而影响到供应链中各个成员的利益。供应链成员为维护自身和供应链整体利益,可通过建立供应链数据平台、建立互信机制、共同制定风险管理策略等措施加强合作,减少成本,实现供应链的高效运作。

4) 在采用组合契约时,只要两部收费契约的固定费用都在控制在一个合理的区间之内,自营物流模式下的社区生鲜平台供应链系统就可以实现完美协调。且在碳交易价格较低或较高时,生鲜供应商与电商平台的固定费用会有更大的取值范围,能够更好地满足社区团长利润的损失,从而达到社区生鲜供应链的协调与优化。在供应链采用两部定价组合契约时,社区电商和供应链应该根据市场情况合理调节基于社区团长的固定费用,维护社区团长的利益,促进长期合作。

本研究在考虑碳限额对供应链决策的影响时,假设政府的环保政策和碳排放政策是固定的。然而,实际上,这些政策是可能变化的,且企业的决策行为也可能对政策产生反馈。未来的研究可以建立动态的模型,分析政策变动和企业响应之间的相互作用,以及这些变动如何影响供应链的最优决策。此外,本研究在建立与分析模型时主要关注了服务成本和保鲜努力水平因素,但在绿色供应链的背景下,还应考虑物流活动的环境影响。未来的研究可以引入更全面的影响因素,如碳足迹、能源消耗等,来综合研究不同物流模式下的社区生鲜平台供应链对环境效益产生的影响。

参考文献:

[1] BALMASEDA M A, SMITH G C, HAINES K, et al. Historical reconstruction of the Atlantic Meridional Overturning Circulation from the ECMWF operational ocean reanalysis [J]. Geophysical Research Letters, 2007, 34(23): 123615.

[2] LIN B, HUANG C. Analysis of emission reduction effects of carbon trading: market mechanism or government intervention? [J]. Sustainable Production and Consumption,

2022(33):28-37.

[3] DONG Z,XIA C,FANG K,et al. Effect of the carbon emissions trading policy on the co-benefits of carbon emissions reduction and air pollution control[J]. Energy Policy,2022(165):112998.

[4] 网经社. 2023 年度中国生鲜电商 & 社区团购市场数据报告[EB/OL]. (2024-4-23)[2024-6-3]. <https://www.100ec.cn/zt/2023sxsqscbg>.

[5] 张侠丹. 社区团购业务模式探究[J]. 新经济,2021(11):82-87.

[6] 辛晓海. 社区团购运营模式及优化策略研究[J]. 全国流通经济,2020(7):15-16.

[7] SHUI W,LI M. Integrated pricing and distribution planning for community group purchase of fresh agricultural products[J]. Sci. Program. ,2020,2020(1):8839398.

[8] 潘琳,徐夏静,周荣庭. 博弈视角下社区生鲜食品供应链双渠道动态定价研究 [J]. 中国管理科学,2024,32(7):300-310.

[9] 王夏阳,陈思琦,郑茵予. 考虑渠道竞争的社区团购新零售问题研究[J]. 管理工程学报,2024,38(5):104-117.

[10] 郑秋鹏,杨洪吉,范芳凯. 保鲜努力信息不对称下社区团购三级供应链激励机制[J]. 商业研究,2022(5):82-93.

[11] 徐旭初,杨威. 社区团购农产品供应链的风险识别与风险网络结构分析——以淘菜菜为例[J]. 中国流通经济,2024,38(3):56-66.

[12] 沈转霞,吕卫东,王倩. 考虑具有营销努力的双渠道供应链动态均衡[J]. 兰州交通大学学报,2024,43(3):104-115.

[13] 王文隆,王福乐,张涑贤. 考虑低碳努力的双渠道供应链协调契约研究[J]. 管理评论,2021,33(4):315-326.

[14] 经有国,刘震,秦开大. 考虑市场波动的制造商双渠道三级供应链系统协调[J]. 系统科学学报,2020,28(3):96-100.

[15] 王士娟,刘林忠. 参考价格效应下两期绿色供应链定价和协调[J]. 兰州交通大学学报,2024,43(2):138-147.

[16] 张雨濛,王震. 多级双渠道供应链的联合契约研究[J]. 中国管理科学,2015,23(S1):537-542.

[17] 马雪丽,赵颖,柏庆国,等. 考虑保鲜努力与碳减排努力的生鲜品三级冷链最优决策与协调 [J]. 中国管理科学,2023,31(9):52-61.

[18] 范定祥,李重莲,宾厚. 双渠道闭环供应链的正向销售与逆向回收契约协调研究[J]. 经济与管理,2021,35(1):85-92.

[19] 邱若臻,初晓晶,孙月. 价格和交货期敏感需求下基于鲁棒优化的双渠道供应链决策模型[J]. 中国管理科学,2023,31(9):114-126.

[20] 姚凡军,肖汉,高野,等. 碳配额交易政策下考虑消费者偏好和成员行为的供应链微分博弈研究[J]. 中国管理科学,2024,32(1):231-241.

[21] 夏良杰,柳慧,张萌,等. 强制减排规制下基于碳减排利润增量分享契约的供应链协调研究[J]. 运筹与管理,2019,28(5):92-98,107.

[22] 张令荣,刘笑言,王锋,等. 碳配额交易政策下闭环供应链谎报决策与协调研究[J]. 管理工程学报,2023,37(4):196-205.

[23] 夏西强,路梦圆,郭磊. 碳交易下碳配额分配方式对制造/再制造影响研究[J]. 系统工程理论与实践,2022,42(11):3001-3015.

[24] ZHAO S,SHI Y,XU J. Carbon emissions quota allocation based equilibrium strategy toward carbon reduction and economic benefits in China's building materials industry [J]. Journal of Cleaner Production, 2018(189):307-325.

[25] SHI B,LI N,GAO Q,et al. Market incentives,carbon quota allocation and carbon emission reduction: Evidence from China's carbon trading pilot policy [J]. Journal of Environmental Management, 2022(319):115650.

[26] 马雪丽,赵颖,柏庆国,等. 考虑保鲜努力与碳减排努力的生鲜品三级冷链最优决策与协调 [J]. 中国管理科学,2023,31(9):52-61.

[27] 刘墨林,但斌,马崧萱. 考虑保鲜努力与增值服务的生鲜电商供应链最优决策与协调[J]. 中国管理科学,2020,28(8):76-88.

[28] 马雪丽,王淑云,金辉,等. 考虑保鲜努力与数量/质量弹性的农产品三级供应链协调优化[J]. 中国管理科学,2018,26(2):175-185.

[29] CHEN R R,ROMA P. Group buying of competing retailers[J]. Production and Operations Management, 2011,20:181-197.

[30] BAI Q,GONG Y,JIN M,et al. Effects of carbon emission reduction on supply chain coordination with vendor-managed deteriorating product inventory[J]. International Journal of Production Economics,2019,208:83-99.

(责任编辑:张 哲)