

碳约束下生鲜平台供应链包装回收决策与协调研究

doi:10.3969/j.issn.1674-7100.2023.04.001

邹筱^{1,2} 李丹^{1,2}

周欢^{1,2} 庞天赐^{1,2}

1. 湖南工业大学 商学院
湖南 株洲 412007

2. 湖南工业大学
湖南省包装经济研究基地
湖南 株洲 412007

摘要: 在政府限制企业碳排放背景下, 针对易腐蚀、难储存的生鲜品, 研究电商平台-供应商-TPLSP 三级供应链中保鲜努力水平、包装回收价格等最优决策。对比分析 TPLSP 在分散决策下采用与不采用包装回收策略时, 生鲜平台供应链的决策与系统效益, 并以其中效益较高的供应链系统集中模式为基准, 分析碳交易价格、新鲜度与回收价格偏好程度三者对供应链系统利润以及减排效果的影响, 构建数量折扣和两部收费相结合的优化契约。研究表明: 碳交易价格与消费者包装返还率呈正相关, 但不能提升生鲜品的市场需求; 在消费者的新鲜度偏好以及生鲜包装回收价格敏感度均较高时, 供应链系统有更高的经济效益; 当参数在合理范围内时, 通过数量折扣和两部收费组合契约可以实现供应链系统的协调优化。

关键词: 碳约束; 生鲜品; 包装回收; 供应链协调

中图分类号: F204; C936

文献标志码: A

文章编号: 1674-7100(2023)04-0001-12

引文格式: 邹筱, 李丹, 周欢, 等. 碳约束下生鲜平台供应链包装回收决策与协调研究 [J]. 包装学报, 2023, 15(4): 1-12.

1 研究背景

消费者对线上买菜的青睐以及冷链技术的不断进步, 催生出了许多提供生鲜品保鲜和配送服务的第三方物流服务商 (third party logistics provider, TPLSP)。为了保证生鲜品的品质, 防止生鲜品在贮存、运输过程中受损, TPLSP 必须对其进行有效包装。这就促使了包装需求量的快速增长。2020 年, 我国包装废弃物达到 1500 万 t, 碳排放总量达到 2395.84 万 t^[1], 但我国生鲜包装的售后回收率却不到 40%。若不进行有效控制, 预计 2025 年包装材料消耗量会

在 2018 年的基础上增长 3.38 倍^[2], 其污染会给环境带来巨大压力。为提高包装回收率, 减少碳排放, 我国启动了碳交易系统并积极推进碳交易政策的实施。与此同时, 许多企业推出了可回收快递包装, 如京东研发的循环快递箱 (青流箱), 并已在多个城市常态化使用。然而, 这些循环包装的回收成本较高, 导致其在物流终端的“最后一公里”回收不易, 难以真正实现循环利用。鉴于此, 研究在碳约束背景下生鲜包装回收的内生决策机制以及协调优化策略, 显得尤为重要, 有利于推进建设废弃物循环利用体系, 加快全社会进入碳约束时代的步伐。

收稿日期: 2023-05-07

基金项目: 湖南省自然科学基金资助项目 (2022JJ50089); 湖南省教育厅科学研究基金资助重点项目 (22A0405); 湖南工业大学包装经济与管理专项研究基金资助项目 (2022BZJG09); 湖南工业大学研究生科研创新基金资助项目 (CX2234)

作者简介: 邹筱 (1976-), 女, 湖南株洲人, 湖南工业大学教授, 博士, 硕士生导师, 主要研究方向为物流与供应链管理, E-mail: 7805463@qq.com

在生鲜电商供应链协调策略方面, 邹筱等^[3]设计“收益共享-双向成本分担”契约进行利润优化。

I. Moon等^[4]提出, 通过实行数量折扣契约, 可以鼓励制造商以超过边际成本的数量折扣实现利润最大化。王国利等^[5]发现, 当第三方物流服务商成本优势较高时, 采用数量折扣契约可以在提高保鲜努力水平的同时实现利润改进。Yang Q.等^[6]分析了新型O2O生鲜零售供应链的运营模式, 研究表明当收益共享因子较高时, 收益共享契约能实现供应链成员的利润优化。

随着低碳观念的深入以及碳政策的实施, 学界对供应链协调减碳展开了研究。在碳排放配额限制的背景下, 武丹等^[7]运用低碳偏好和碳交易政策相结合的方法, 对两级供应链博弈决策进行优化。Gan W. H.等^[8]提出了限额交易政策下制造商与零售商利润分配的方案。尚文芳等^[9]的研究发现, 假设初始排放量较高, 提高碳排放配额价格可以拉动低碳产品的需求增加。

为进一步减少碳排放量, 在快递包装及其回收激励机制方面, 张俊杰^[10]发现由于快递包装物的再利用价值不高, 相关厂商在寻求自身利益最大化的考量下, 缺乏回收的积极性。随后为提高包装回收率、降低碳排放量, 学者们先后提出了网络众包^[11]、政府补贴^[12]、税费优惠^[13]、分类回收^[14]等回收策略。何波等^[15]研究发现, 与电商平台相比, 采用回收策略的物流公司其快递包装盒回收率较高, 同时也获得较高的利润。吴秋晨、蒋琼等^[16-17]研究发现, 在溯源系统混合回收策略中, 当消费者偏好高于一定阈值时, 该策略回收量更高, 但会降低制造商的议价能力。

通过对上述文献的研究发现, TPLSP适合作为包装回收策略的实施者; 并且政府可以通过碳税、碳限额等措施提高TPLSP对快递包装物回收的积极性, 促进供应链实现节能减排。但鲜有研究将生鲜包装回收纳入碳限额政策下进行考虑。为响应政府号召, 提高生鲜包装循环利用率, 以回收策略为切入点, 通过构建电商平台-供应商-TPLSP三级供应链模型, 研究碳约束背景下保鲜努力水平与包装回收价格的最优决策, 以及回收价格敏感度与新鲜度偏好对系统利润、节能减排效果的影响。通过对比TPLSP在采用或不采用包装回收策略时各主体的决策与供应链系统利润, 阐明分散模型下平台供应链系统失衡的根

源, 并在此基础上设计数量折扣与两部定价组合契约, 以提高系统的经济和环境效益。

2 问题描述与基本假设

2.1 问题描述

由1个电商平台、1个生鲜品供应商和1个TPLSP所构建的三级供应链模型如图1所示。TPLSP负责将供应商提供的生鲜品配送给消费者, 同时制定生鲜品的物流服务价格 p_l 、包装回收价格 p_r 以及保鲜努力水平 e 。 p_r 和 e 共同影响生鲜产品的碳排放和新鲜程度, 进而对生鲜品的需求产生影响。供应商根据 e 、 p_r 和 p_l 来决定生鲜品供应价格 p_s 。电商平台通过技术手段在线发布生鲜品信息, 并根据TPLSP和供应商的决策, 对市场需求进行预测, 并基于此来确定每单位生鲜品所收取的佣金 w 。

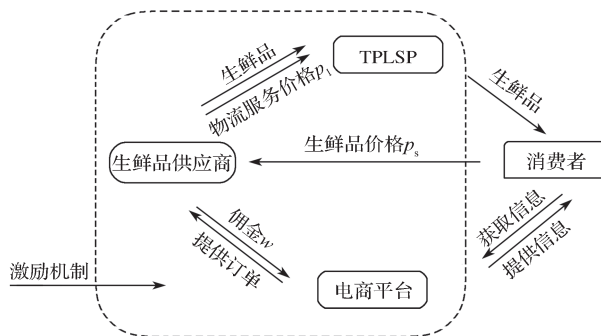


图1 生鲜平台供应链模型

Fig. 1 Fresh food platform supply chain model

在生鲜品的配送过程中, 为维持保鲜效率, 需匹配冷冻、冷藏设备以及专业的生鲜包装。其中包装主要包括保温包装箱、冷媒、填充物等产品^[18]。即该生鲜平台三级供应链的主要碳排放来源于生鲜包装与冷链配送^[19], 因此本文仅考虑TPLSP的碳排放问题。在碳限额交易实施的政策背景下, TPLSP为低碳责任的承担者, 此时每单位碳交易价格为 g , TPLSP所分配到的碳限额为 C 。当TPLSP在配送过程中产生的碳排放量高于 C 时, 多出额度需要向政府购买; 反之, 则可以在碳交易市场中出售。TPLSP可以通过决策包装回收价格以及保鲜努力投入水平, 来提升产品包装回收率, 从而达到控制碳排放的目的。

2.2 符号

本文所用符号及其意义如表1所示。

表 1 符号及其意义

Table 1 Symbols and meanings

符号	含义
p_l	单位产品物流服务价格
p_r	包装回收价格
p_s	单位生鲜品零售价格
r_0	单位包装碳排放量
$p_{\max}$	消费者期望回收价格
a	潜在市场规模
b	保鲜努力成本系数
C	碳限额
e	保鲜努力水平, $e \in (0,1]$
g	碳交易价格
h	需求对包装回收价格的敏感程度
q	生鲜品订销量
u	需求对新鲜度的敏感程度
w	电商平台所收取的佣金费用
y	消费者包装返还率
θ	碳排放成本系数的近似值
π	利润
上标 d	分散决策下 TPLSP 采用包装回收策略时的最优决策
上标 n	分散决策下 TPLSP 不采用包装回收策略时的最优决策
上标 c	集中决策模式下供应链的最优决策
上标 w	组合契约下冷链的最优决策
上标 *	最优取值
下标 S	供应商期望利润
下标 M	电商平台期望利润
下标 L	TPLSP 期望利润
下标 C	供应链系统利润

2.3 模型假设

根据现有研究, 目前适合回收再利用的生鲜快递包装主要以保温包装箱为主^[18], 以回收保温包装箱为例建立模型, 并作如下假设。

假设 1 生鲜品的市场需求量会受到保鲜努力水平、包装回收价格与产品价格的影响, 其中保鲜努力水平、包装回收价格与需求呈正相关。参考文献[20-21]可得生鲜品需求量与各影响因素之间的函数关系。采用包装回收策略时, $q=a+hp_r+ue-p_s$; 不采用包装回收策略时, $q=a+ue-p_s$ 。

假设 2 用二次成本函数描述保鲜成本^[19, 21-23], 保鲜努力水平为 e 时单位产品保鲜成本 $C(e)=be^2$, $b>0$ 。

假设 3 假设 TPLSP 采用统一的保温包装箱, 并以回收保温包装箱建立模型^[24]。引入消费者包装返还率 y , y 服从 $[0, 1]$ 上的均匀分布, 并受 TPLSP 制定的包装回收价格 p_r 的影响, 此时 y 的取值为

$$y = \begin{cases} 0, & p_r = 0; \\ \frac{p_r}{p_{\max}}, & 0 < p_r < p_{\max}; \\ 1, & p_r = p_{\max} \circ \end{cases} \quad (1)$$

式(1)表明, 当 $p_r=0$ 时, 由于存在麻烦成本, 消费者出于自身利益考虑会选择放弃返还包装, 物流公司不能获得回收资源, 包装返还率 $y=0$; 当 $0 < p_r < p_{\max}$ 时, 由于 y 服从 $[0, 1]$ 上的均匀分布, 此时物流公司获取的包装返还率 $y = \frac{p_r}{p_{\max}}$; 当包装回收价格 p_r 达到消费者期望回收价格 $p_{\max}$ 时, 消费者愿意返还所有包装箱, 此时包装返还率 $y=1$ 。

假设 4 由于生鲜品在运输过程中所用到的冷库或者气调库以电能消耗为主, 其碳排放系数通常为常数, 假设每单位生鲜品的碳排放量只受生鲜包装与保鲜努力水平共同影响, 此时每单位生鲜品的碳排放为 $\theta e^2 + r_0(1-y)$, 其中 $\theta \approx b \times$ 碳排放系数^[19]。

3 模型建立

3.1 分散决策下采用包装回收策略时供应链决策模型

实施碳限额政策虽然不能减少生鲜品本身所产生的碳排放, 但可以督促主要碳排放单位在符合低碳要求的前提下制定包装回收策略与决策。在分散决策模型下, 各主体以自身利益最大化为目标, 进行动态博弈决策。

博弈第一阶段, 供应商确定最优的 p_s^* , 其最大化期望利润为

$$\pi_S^d = (p_s^d - w^d - p_l^d)q^d = (p_s^d - w^d - p_l^d)(a + hp_r^d + ue^d - p_s^d) \circ \quad (2)$$

博弈第二阶段, 电商平台根据自己的利润确定单位生鲜品所收取的最优佣金费用 w^d , 以实现最大化期望利润

$$\pi_M^d = w^d q^d \circ \quad (3)$$

最后, TPLSP 根据配送服务的生鲜品总量决策 p_l^d 、 p_r^d 、 e^d , 以达到自身最大化期望利润

$$\pi_L^d = \left(p_l^d - b(e^d)^2 - yp_r^d \right) q^d - g \left(\left(\theta(e^d)^2 + r_0(1-y^d) \right) q^d - C \right) \circ \quad (4)$$

通过计算,可得命题1。

命题1 1) 在分散决策模型下,当 TPLSP 采用包装回收策略时,该生鲜平台供应链系统中 TPLSP 的包装回收价格与最优保鲜努力的决策如下:

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

$$p_r^{d*} = \begin{cases} \frac{hp_{\max} + gr_0}{2}, & g \leq \frac{u-2b}{2\theta} \text{ 且 } g < \frac{p_{\max}(2-h)}{r_0}; \\ \frac{hp_{\max} + gr_0}{2}, & \frac{u-2b}{2\theta} < g < \frac{p_{\max}(2-h)}{r_0}; \\ p_{\max}, & \frac{p_{\max}(2-h)}{r_0} \leq g \leq \frac{u-2b}{2\theta}; \\ p_{\max}, & g > \frac{u-2b}{2\theta} \text{ 且 } g \geq \frac{p_{\max}(2-h)}{r_0}. \end{cases}$$

$$y^{d*} = \begin{cases} \frac{hp_{\max} + gr_0}{2p_{\max}}, & g \leq \frac{u-2b}{2\theta} \text{ 且 } g < \frac{p_{\max}(2-h)}{r_0}; \\ \frac{hp_{\max} + gr_0}{2p_{\max}}, & \frac{u-2b}{2\theta} < g < \frac{p_{\max}(2-h)}{r_0}; \\ 1, & \frac{p_{\max}(2-h)}{r_0} \leq g \leq \frac{u-2b}{2\theta}; \\ 1, & g > \frac{u-2b}{2\theta} \text{ 且 } g \geq \frac{p_{\max}(2-h)}{r_0}. \end{cases}$$

2) 该生鲜平台供应链中的其他决策以及供应商、电商平台、TPLSP 的最优期望利润分别如下:

$$q^{d*} = \frac{a + hp_r^{d*} + b(e^{d*})^2}{8} - \frac{g(\theta(e^{d*})^2 + r_0 - y^{d*}r_0) - y^{d*}p_r^{d*}}{8},$$

$$p_s^{d*} = \frac{7a + 7hp_r^{d*} + 7e^{d*}u + b(e^{d*})^2}{8} + \frac{g(\theta(e^{d*})^2 + r_0 - y^{d*}r_0) + y^{d*}p_r^{d*}}{8},$$

$$p_1^{d*} = \frac{a + hp_r^{d*} + e^{d*}u + b(e^{d*})^2}{2} + \frac{g(\theta(e^{d*})^2 + r_0 - y^{d*}r_0) + y^{d*}p_r^{d*}}{2},$$

$$w^{d*} = \frac{a + hp_r^{d*} + e^{d*}u + b(e^{d*})^2}{4} - \frac{g(\theta(e^{d*})^2 + r_0 - y^{d*}r_0) - y^{d*}p_r^{d*}}{4},$$

$$\pi_s^{d*} = (q^{d*})^2,$$

$$\pi_M^{d*} = 2(q^{d*})^2,$$

$$\pi_L^{d*} = 4(q^{d*})^2 + gC,$$

$$\pi_C^{d*} = 7(q^{d*})^2 + gC.$$

证明略。

命题1表明:

1) 当 TPLSP 采用包装回收策略时,其保鲜努力决策 e^{d*} 主要受 u 、 b 、 θ 及 g 的影响;其包装回收价格决策 p_r^{d*} 主要受到 h 、 $p_{\max}$ 、 g 及 r_0 的共同影响。

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

TPLSP 出售剩余碳限额所带来的利润比通过提升产品新鲜度所带来的利润低, TPLSP 会选择维持产品新鲜度至最佳状态 ($e^{d*}=1$)。

a) 当 TPLSP 选择出售剩余碳限额所带来的利润比通过提升产品新鲜度所带来的利润高时,

($g \geq \frac{p_{\max}(2-h)}{r_0}$), TPLSP 会维持包装回收价格至最高水平 ($p_r^{d*}=p_{\max}$), 将生鲜品包装的碳排放量控制在最低限度。此时消费者包装的返还率 $y^{d*} = \frac{p_r^{d*}}{p_{\max}} = 1$, 单位包装碳排放量为 0。

b) 相反地, 当销售碳排放额的收入并非总是高于在市场上购买碳排放额所带来的利润时, TPLSP 会将包装回收价格减少至不再对边际收益产生影响

的水平, 即 $p_r^{d*} = \frac{hp_{\max} + gr_0}{2}$ 。此时, 消费者包装的

返还率 $y^{d*} = \frac{hp_{\max} + gr_0}{2p_{\max}}$ 。

3) TPLSP 进行碳交易带来的收入如果并非总是低于提升生鲜品新鲜度所带来的利润, 那么 TPLSP 为使其利润最大化, 对生鲜品的最佳新鲜度决策为

$e^{d*} = \frac{u}{2(b+g\theta)}$ 。同理, TPLSP 的包装回收价格决策

过程与 2) 中相同。

3.2 分散决策下不采用包装回收策略时供应链决策模型

令 w^n 、 p_s^n 、 q^n 为 TPLSP 不采用回收包装策略时佣金费用、生鲜品零售价和订货量, 有 $q=a+ue-p_s$ 。此时供应链系统各成员期望利润如下:

$$\pi_s^n = (p_s^n - w^n - p_l^n) q^n = (p_s^n - w^n - p_l^n)(a + ue^n - p_s^n), \quad (5)$$

$$\pi_M^n = w^n q^n, \quad (6)$$

$$\pi_L^n = (p_l^n - b(e^n)^2) q^n - g(\theta(e^n)^2 q^n - C). \quad (7)$$

参照命题 1 的推导方法(略), 可得命题 2。

命题 2 在分散决策模型下, 当 TPLSP 不采用包装回收策略时, 该生鲜平台供应链系统中保鲜努力的最优决策为: 若 $g \leq \frac{u-2b}{2\theta}$, 则 $e^{n*}=1$; 若 $g > \frac{u-2b}{2\theta}$, 则 $e^{n*} = \frac{u}{2(b+g\theta)}$ 。此时, 该系统中的其他决策及冷链成员的最优期望利润如下:

$$q^{n*} = \frac{a + e^{n*}u - b(e^{n*})^2 - g\theta(e^{n*})^2}{8},$$

$$p_s^{n*} = \frac{7a + 7e^{n*}u + b + g\theta(e^{n*})^2}{8},$$

$$p_l^{n*} = \frac{a + e^{n*}u + b(e^{n*})^2 + g\theta(e^{n*})^2}{2},$$

$$w^{n*} = \frac{a + e^{n*}u - b(e^{n*})^2 - g\theta(e^{n*})^2}{4},$$

$$\pi_s^{n*} = (q^{n*})^2,$$

$$\pi_M^{n*} = 2(q^{n*})^2,$$

$$\pi_L^{n*} = 4(q^{n*})^2 + gC,$$

$$\pi_C^{n*} = 7(q^{n*})^2 + gC。$$

分析命题 1 与命题 2 可得:

1) 若 $p_r^{d*} = p_{\max}$, 则 $\Delta q = p_{\max}(h-1) + gr_0$, $g > \frac{p_{\max}(2-h)}{r_0}$ 。由于 $gr_0 > p_{\max}(2-h)$, $gr_0 - p_{\max}(1-h) > gr_0 - p_{\max}(2-h) > 0$, 故 $\Delta q > 0$, 即 $q^{d*} > q^{n*}$ 。

2) 若 $p_r^{d*} = \frac{hp_{\max} + gr_0}{2}$, 则 $g < \frac{p_{\max}(2-h)}{r_0}$,

$$\Delta q = \frac{(hp_{\max} + gr_0)^2}{32p_{\max}} > 0, \text{ 即 } q^{d*} > q^{n*}。$$

综上可得 $q^{d*} > q^{n*}$, $\pi_s^{d*} > \pi_s^{n*}$, $\pi_M^{d*} > \pi_M^{n*}$, $\pi_L^{d*} > \pi_L^{n*}$, 从而有定理 1。

定理 1 $\theta^{d*} = \theta^{n*}$, $q^{d*} > q^{n*}$, $\pi_s^{d*} > \pi_s^{n*}$, $\pi_M^{d*} > \pi_M^{n*}$, $\pi_L^{d*} > \pi_L^{n*}$ 。

该定理说明, 与 TPLSP 不采用包装回收策略相比, 采用包装回收策略后, TPLSP 的保鲜努力决策不变。即虽然增加了包装回收成本, 但由于消费者的包装返还率提高, 节能减排效果升高, 从而促使生鲜品需求提升, 供应商、TPLSP 和电商平台的利润会得到提高。

3.3 集中决策下电商平台-供应商-TPLSP 决策模型

集中决策模式下, 电商平台与供应商从系统利润最大化的角度出发, 统一进行包装回收价格、保鲜及定价决策等。根据上文分析, 分散决策下 TPLSP 采用包装回收策略会有更高的系统利润, 因此下文主要对集中决策下 TPLSP 采用包装回收策略时进行讨论。由于将供应链系统视为同一主体进行考虑, TPLSP 的物流服务费 p_l 与电商平台的信息服务费 w 不会对系统利润产生影响, 此时生鲜平台供应链总利润为

$$\pi_s^c = p_s^c q^c - (b(e^c)^2 + y^c p_r^c) q^c - g((\theta(e^c)^2 + r_0 - r_0 y^c) q^c - C)。$$

为了实现 π_s^c 最大化, 在验证了 π_s^c 关于 e^c 、 p_r^c 和 q^c 的联合凹性后, 整理可得命题 3。

命题 3 集中决策下 TPLSP 采用包装回收策略后, 该生鲜平台供应链的包装回收价格、保鲜努力以及消费者包装返还率如下:

1) 若 $g \leq \frac{u-2b}{2\theta}$, 则 $e^{c*}=1$, 而且

a) 当 $g \geq \frac{p_{\max}(2-h)}{r_0}$, 有

$$p_r^{c*} = p_{\max},$$

$$y^{c*} = 1;$$

b) 当 $g < \frac{p_{\max}(2-h)}{r_0}$, 有

$$p_r^{c*} = \frac{hp_{\max} + gr_0}{2},$$

$$y^{c*} = \frac{hp_{\max} + gr_0}{2p_{\max}}。$$

2) 若 $g > \frac{u-2b}{2\theta}$, 则 $e^{c*} = \frac{u}{2(b+g\theta)}$, 而且

a) 当 $g \geq \frac{p_{\max}(2-h)}{r_0}$, 有

$$p_r^{c*} = p_{\max},$$

$$y^{c*} = 1;$$

b) 当 $g < \frac{p_{\max}(2-h)}{r_0}$, 有

$$p_r^{c*} = \frac{hp_{\max} + gr_0}{2},$$

$$y^{c*} = \frac{hp_{\max} + gr_0}{2p_{\max}}.$$

TPLSP 在采用包装回收策略时, 生鲜平台供应链中的最优订货量和系统期望利润如下:

$$q^{c*} = \frac{a + hp_r^{c*} + e^{c*}u - b(e^{c*})^2}{2} - \frac{g(\theta(e^{c*})^2 + r_0 - y^{c*}r_0) - y^{c*}p_r^{c*}}{2},$$

$$p_s^{c*} = \frac{a - hp_r^{c*} + e^{c*}u + b(e^{c*})^2}{2} + \frac{g(\theta(e^{c*})^2 + r_0 - y^{c*}r_0) + y^{c*}p_r^{c*}}{2},$$

$$\pi_c^{c*} = (q^{c*})^2 + gC.$$

对比命题 1 与命题 3 可得定理 2。

定理 2 $e^* = e^{c*} = e^{d*}$, $p_r^* = p_r^{c*} = p_r^{d*}$,
 $y^* = y^{c*} = y^{d*}$, $q^* = q^{c*} = 4q^{d*}$,

$$\pi_c^{c*} = (q^{c*})^2 + gC = 16(q^{d*})^2 + gC > \pi_c^{d*}.$$

该定理说明: 集中决策下, TPLSP 的保鲜努力和包装回收价格决策与分散模型下相同, 消费者的包装返还率也一致; 但此时生鲜品的需求量远高于分散模型下的需求量, 即使生鲜品的零售价降低, 平台供应链系统的总利润得到增加。原因在于分散决策模式下提高了物流服务成本 p_1 和平台信息价格 w , 使供应商的定价决策偏离了最优, 从而影响了供应链各成员的利润。

3.4 采用回收策略下各变量影响分析

3.4.1 外生变量对决策变量的影响

定理 3 1) g 的提高, $e^* = e^{c*} = e^{d*}$, $q^* = q^{c*} =$

$4q^{d*}$ 都呈非增长趋势, $p_r^* = p_r^{c*} = p_r^{d*}$, $y^* = y^{c*} = y^{d*}$ 与 g 呈正向相关; π_s^{d*} 与 π_m^{d*} 随着 q^* 的降低而减少。

2) u 的变化对 p_r^{d*} 与 y 没有影响; 但随着 u 的提高, e^* 、 q^* 均呈增长趋势, 即 π_s^{d*} 、 π_m^{d*} 、 π_l^{d*} 以及 π_c^{c*} 随着 u 的增加而得到提升。

3) h 的变化对 e^* 没有影响; 随着 h 的增加, p_r^* 与 y^* 、 q^* 均呈增长趋势。

证明略。

该定理表明:

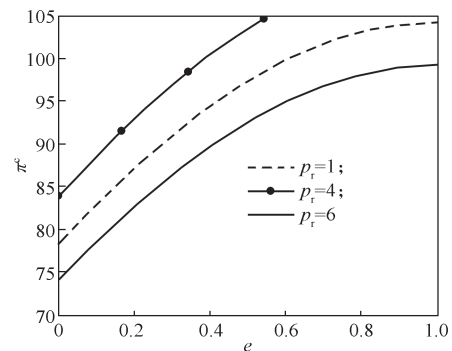
1) 碳交易价格的增加, 会促使 TPLSP 降低保鲜水平, 增加包装回收价格, 有利于提高消费者的包装返还率, 提高减排程度; 但生鲜品的需求量会随之降低, 不利于生鲜供应链中供应商与电商平台利润的提高。

2) 消费者新鲜度偏好提高, 会提升 TPLSP 保鲜努力水平, 从而使生鲜品需求量增加, 有利于生鲜平台供应链中各成员利润的提升; 但不能促进 TPLSP 提升生鲜品包装的回收价格, 对生鲜品的减碳也没有直接产生影响。

3) 随着包装回收价格敏感度的提升, TPLSP 会提高包装回收价格使减排效果得到改善, 同时生鲜品的需求稳健提升, 进而可以提高供应链各成员的经济效益, 但 h 不会对 TPLSP 的保鲜努力决策产生影响。

3.4.2 决策变量在不同模式下的影响分析

为更清晰准确地描述采用包装回收策略时, 决策变量 e 和 p_r 在集中式与分散式情况下的差异以及对系统利润的影响, 进行赋值分析。令 $u=6$, $h=0.8$, $b=2$, $g=1$, $\theta=1$, $r_0=1.55$, $p_{\max}=6$, $C=15$ 。当 p_r 取值分别为 1, 4, 6 时, 系统利润 π^c 、 π^d 与保鲜努力水平 e 的关系曲线如图 2 所示; 当 e 取值分别为 0.3, 0.6, 1.0 时, 系统利润 π^c 、 π^d 与包装回收价格 p_r 的关系曲线如图 3 所示^[1, 25]。



a) π^c 与 e 的关系

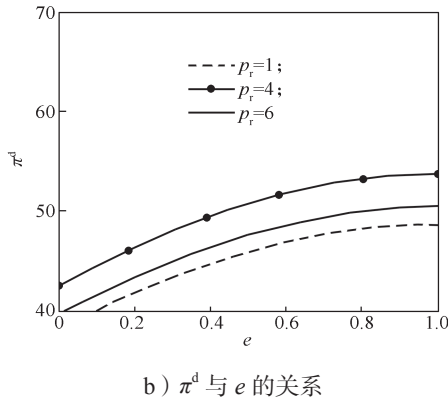
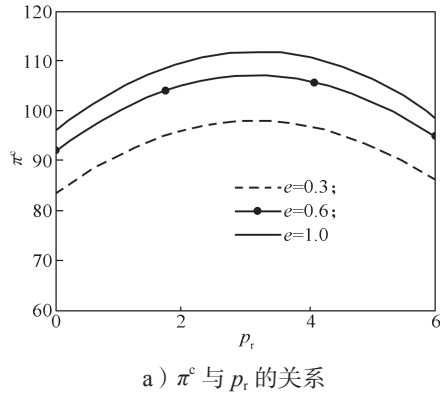
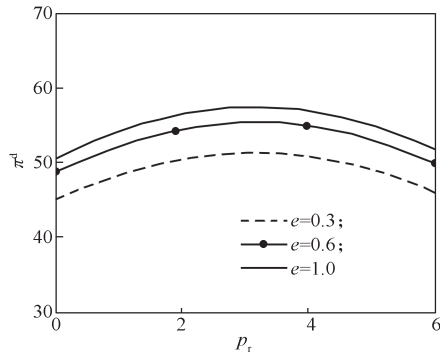


图2 p_r 分别为 1, 4, 6 时 π^c 、 π^d 与 e 的关系

Fig. 2 The relation between π^c 、 π^d and e when $p_r=1, 4, 6$



a) π^c 与 p_r 的关系



b) π^d 与 p_r 的关系

图3 e 分别为 0.3, 0.6, 1.0 时 π^c 、 π^d 与 p_r 的关系

Fig. 3 The relation between π^c 、 π^d and p_r when $e=0.3, 0.6, 1.0$

从图2和图3可以清晰地看出,在保鲜努力水平 e 和包装回收价格 p_r 相同的情况下,采取集中决策时所获得的系统利润明显高于以分散决策时的。随着TPLSP投入的保鲜努力水平 e 的提高,两种模式下的利润都呈上升趋势。然而,随着包装回收价格 p_r 逐步提高,两种模式下的系统利润 π^c 、 π^d 均呈先增加后下降的趋势。

4 组合契约机制设计与协调

上述集中与分散结构模型中供应链系统利润以及均衡指标的比较分析结果表明,分散决策模式下订货量较低的主要原因在于增加了产品的在流通过程中的物流服务成本与平台信息成本。

参考已有的研究成果可知,在三级供应链中引入单一数量折扣契约模型,难以实现供应链所有成员的帕累托改进。数量折扣契约可协调系统的总收益,但会严重损害TPLSP的利益^[25]。为解决这一问题,运用数量折扣契约与两部收费契约进行组合,以集中模型为基准模型对该生鲜平台供应链系统进行协调。

4.1 数量折扣契约

为协调该生鲜平台三级供应链,首先考虑数量折扣契约设计。电商平台和TPLSP以设定批发价格 w^w 和保鲜服务价格 p_l^w 的方式,引导供应商将订货量提高到集中决策模式下的水平。

冷链系统各成员的期望利润如下:

$$\pi_s^w = (p_s^w - w^w - p_l^w)q^w = (p_s^w - w^w - p_l^w)(a + hp_r^w + ue^w - kp_s^w), \quad (8)$$

$$\pi_M^d = w^w q^w, \quad (9)$$

$$\pi_L^w = (p_l^w - b(e^w)^2 - y^w p_r^w)q^w - g\left(\left(\theta(e^w)^2 - r_0 y^w\right)q^w - C\right). \quad (10)$$

为使系统协调后的总利润与集中式模型下的利润相同,实现该三级生鲜平台供应链的协调优化,此时数量折扣契约的相关参数制定条件见命题4。

命题4 数量折扣契约中相关参数的设置如下:

1) 若 $g \leq \frac{u-2b}{2\theta}$, 则 $e^{w*} = 1$, 而且

a) 当 $g \geq \frac{p_{\max}(2-h)}{r_0}$, 有

$$p_r^{w*} = p_{\max},$$

$$y^{w*} = 1,$$

$$p_l^{w*} = 2(g\theta + b) - a - u - \frac{(hp_{\max} + gr_0)^2}{2p_{\max}};$$

b) 当 $g < \frac{p_{\max}(2-h)}{r_0}$, 有

$$p_r^{w*} = \frac{hp_{\max} + gr_0}{2},$$

$$y^{w*} = \frac{hp_{\max} + gr_0}{2p_{\max}},$$

$$w^{w*} = a + u - b - \theta g + \frac{hgr_0}{4} + \frac{h(hp_{\max} + gr_0)}{8} + \frac{g^2 r_0^2}{4p_{\max}},$$

$$p_1^{w*} = 2(g\theta + b) - a - u - \frac{(hp_{\max} + gr_0)^2}{2p_{\max}}.$$

2) 若 $g > \frac{u-2b}{2\theta}$, 则 $e^{w*} = \frac{u}{2(b+g\theta)}$, 而且

a) 当 $g \geq \frac{p_{\max}(2-h)}{r_0}$, 有

$$p_1^{w*} = p_{\max},$$

$$y^{w*} = 1,$$

$$w^{w*} = a + \frac{u^2}{2(b+g\theta)} - \left(\frac{u}{2(b+g\theta)} \right)^2 (b + \theta g) + \frac{hgr_0 + hp_{\max}}{4} + \frac{g^2 r_0^2}{4p_{\max}},$$

$$p_1^{w*} = 2 \left(\frac{u}{2(b+g\theta)} \right)^2 (g\theta + b) - a - \frac{u^2}{2(b+g\theta)} - \frac{(hp_{\max} + gr_0)^2}{2p_{\max}};$$

b) 当 $g < \frac{p_{\max}(2-h)}{r_0}$, 有

$$p_r^{w*} = \frac{hp_{\max} + gr_0}{2},$$

$$y^{w*} = \frac{hp_{\max} + gr_0}{2p_{\max}},$$

$$w^{w*} = a + \frac{u^2}{2(b+g\theta)} - (b + \theta g) \left(\frac{u}{2(b+g\theta)} \right)^2 + \frac{hgr_0}{4} + \frac{h(hp_{\max} + gr_0)}{8} + \frac{g^2 r_0^2}{4p_{\max}},$$

$$p_1^{w*} = 2 \left(\frac{u}{2(b+g\theta)} \right)^2 (g\theta + b) - a - \frac{u^2}{2(b+g\theta)} - \frac{(hp_{\max} + gr_0)^2}{2p_{\max}}.$$

从而可以得到:

$$\pi_c^{w*} = \pi_c^{c*},$$

$$\pi_M^{w*} = 16(q^{d*})^2,$$

$$\pi_s^{w*} = 32(q^{d*})^2,$$

$$\pi_L^{w*} = -32(q^{d*})^2 + gC.$$

证明略。

对比命题 1、命题 3 与命题 4, 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决策下的系统总利润, 但数量折扣契约的应用是建立在大幅度降低 TPLSP 服务价格的基础上, 这会严重损害 TPLSP 的利润, 故 TPLSP 不会接受该契约。因此, 需要加入两部定价与其进行组合契约, 以实现该生鲜平台供应链的协调。

4.2 两部收费契约协调

在命题 4 的基础上加入两部收费契约, 使得电商平台、供应商和 TPLSP 的利润均高于分散决策模式下的。由于数量折扣契约会导致 TPLSP 利益受损, 为此, 在数量折扣契约的基础上, 加入两部收费契约, 供应商和电商平台需向 TPLSP 缴纳一定量的固定费用 T_1 、 T_2 来保证其利润。

T_1 、 T_2 需满足的条件如下:

$$\pi_s^{w*} - T_1 \geq \pi_s^{d*},$$

$$\pi_M^{w*} - T_2 \geq \pi_M^{d*},$$

$$\pi_L^{w*} + T_1 + T_2 \geq \pi_L^{d*}.$$

此时, 能够实现供应链的完美协调。整理上述条件后可得:

$$6(q^{d*})^2 \leq T_1 \leq 15(q^{d*})^2, \quad 36(q^{d*})^2 - T_1 \leq T_2 \leq 30(q^{d*})^2,$$

并且 $T_1 + T_2 \geq 36(q^{d*})^2$ 。

为更清晰准确地体现碳交易价格 g 对固定费用的影响, 令固定费用边界分别为:

$$Y_1 = \pi_s^{w*} - \pi_s^{d*} - T_1 \geq 0,$$

$$Y_2 = \pi_M^{w*} - \pi_M^{d*} - T_2 \geq 0,$$

$$Y_3 = \pi_L^{w*} - \pi_L^{d*} + T_1 + T_2 \geq 0.$$

$$a + hp_r + eu - be^2 - g \left(\theta e^2 - \frac{p^2}{p_{\max}} r_0 \right) - \frac{p_r^2}{p_{\max}}$$

将 $q^{d*} = \frac{a + hp_r + eu - be^2 - g \left(\theta e^2 - \frac{p^2}{p_{\max}} r_0 \right) - \frac{p_r^2}{p_{\max}}}{8}$ 代入

Y_1 、 Y_2 、 Y_3 得

$$Y_1 = 15 \frac{a + hp_r + eu - be^2 - g \left(\theta e^2 - \frac{p_r}{p_{\max}} r_0 \right) - \frac{p_r^2}{8p_{\max}^2}}{8},$$

$$Y_2 = 30 \frac{a + hp_r + eu - be^2 - g \left(\theta e^2 - \frac{p_r}{p_{\max}} r_0 \right) - \frac{p_r^2}{8p_{\max}^2}}{8},$$

$$Y_3 = 9 \frac{a + hp_r + eu - be^2 - g \left(\theta e^2 - \frac{p_r}{p_{\max}} r_0 \right) - \frac{p_r^2}{8p_{\max}^2}}{8}.$$

令 $u=6$, $h=0.8$, $b=2$, $g=1$, $\theta=1$, $r_0=1.55$,

$p_{\max}=6$, $C=15$ [1, 25], $g \in (0, 4.65)$, 此时 $\frac{u-2b}{2\theta}=1$,

$\frac{p_{\max}(2-h)}{r_0} \approx 4.65$, 从而有:

$$e = \begin{cases} 1, & g \leq 1; \\ \frac{u}{2(b+g\theta)}, & g > 1. \end{cases}$$

$$p_r = \frac{hp_{\max} + gr_0}{2}, \quad g < 4.65.$$

依据上述分类情况得到固定费用边界 Y_1 、 Y_3 与 g 的关系曲线如图 4 所示, 固定费用边界 Y_2 、 Y_3 与 g 的关系曲线如图 5 所示。图中阴影部分为固定费用的取值范围。

从图 4 可以看出, 边界 Y_1 与边界 Y_3 所形成的范围即为固定费用 T_1 的可取范围, 随着碳交易价格的提高其逐渐减小, 并且相较边界 Y_3 , 边界 Y_1 的下降速率更快。

从图 5 可以看出, 边界 Y_2 与边界 Y_3 所形成的范围即为固定费用 T_2 的可取范围, 随着碳交易价格的提高其逐渐变小, 并且相较边界 Y_3 , 边界 Y_2 有更快的下降速率。

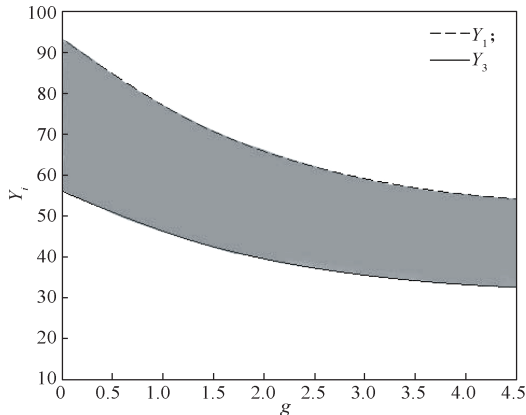


图 4 Y_1 、 Y_3 与 g 的关系

Fig. 4 The relationship between Y_1 、 Y_3 and g

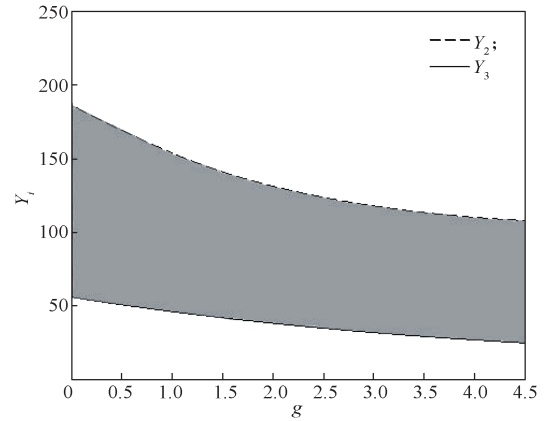


图 5 Y_2 、 Y_3 与 g 的关系

Fig. 5 The relationship between Y_2 、 Y_3 and g

综合图 4 与图 5 可知, 当碳交易价格逐渐升高时, 固定费用边界 Y_1 、 Y_2 、 Y_3 均呈下降趋势。由于 $Y_0 > 0$, TPLSP 需要在 $T_1 \in [6(q^{d*})^2, 15(q^{d*})^2]$ 、

$T_2 \in [36(q^{d*})^2 - T_1, 30(q^{d*})^2]$ 范围内获取相应的固定费用。即 T_1 、 T_2 需在两边界汇聚而成的阴影部分时, 才能实现该生鲜平台供应链中各主体的利润优化, 从而使电商平台-供应商-TPLSP 的合作机制长久有效地运作下去。

5 结论

在碳限额背景下, 本研究从电商平台-供应商-TPLSP 三级生鲜平台供应链进行考虑, 研究保鲜努力以及包装回收价格对生鲜市场需求的综合影响。通过对比 TPLSP 包装回收策略实施前后供应链系统的利润与减碳效果, 分析了保鲜努力水平、包装回收价格等重要因素对平台供应链的决策与利润的影响。最后构建了数量折扣与两部收费的组合契约模型, 实现了三级供应链的 pareto 改进, 可得如下结论:

1) 在碳约束的背景下, TPLSP 应该采用包装回收策略。这是因为该策略能够通过提升生鲜包装的回收价格, 达到促进市场需求以及改善减碳效果的目的, 同时平台供应链各成员也能获得更多的经济效益; 政府可以适当增加碳减排补贴给 TPLSP, 以降低平台供应链中采用包装回收策略的成本, 从而激励 TPLSP 提升减排效果。

2) 在采用包装回收策略时, 生鲜包装回收价格以及保鲜努力水平在分散与集中模式下均相同。但由

于在集中决策模式下没有物流服务成本与平台信息成本,使生鲜产品的市场销售价格降低,促进了市场需求量增加,提高了生鲜平台供应链的系统利润。

3) 在增加碳交易价格时,生鲜供应商、电商平台利润会受到损害,而TPLSP会提高包装回收价格并且降低保鲜努力投入进行对冲,不利于经济效益的提升。政府可以在提高碳交易价格以控制企业碳排放量的同时,考虑给予物流公司一定的价格补贴,缓解企业碳排放压力,以维持生鲜品的市场需求量以及各成员利润。

4) 在消费者对生鲜品的新鲜度偏好以及包装回收价格敏感度较高时,TPLSP会提高保鲜努力水平以及回收价格。此时,生鲜平台供应链经济效益得以提升,减排效果也可以得到改善。为此,TPLSP可以通过网络等方式向消费者宣传低碳环保知识,同时介绍新鲜农产品的好处以及如何辨别新鲜的农产品。

5) 在该生鲜平台三级供应链中加入数量折扣与两部定价的组合契约,可以实现供应链各成员的pareto改进。

因此,依据本文研究结果,可以在该三级供应链中建立组合契约,在降低物流服务成本的同时,电商平台与供应商为TPLSP提供一定的补助金,以实现生鲜平台供应链协调与优化。

本文未考虑生鲜品回收过程中产生的碳排放,并且只讨论了保温包装箱的回收策略。后续研究可在此基础上将回收过程纳入该生鲜平台供应链中进行考虑。

参考文献:

- [1] 郑克俊, 邹小平. 废旧快递包装回收最优激励策略研究[J]. 包装工程, 2022, 43(23): 305-314.
ZHENG Kejun, ZOU Xiaoping. Optimal Incentive Strategy of Waste Express Packaging Recycling[J]. Packaging Engineering, 2022, 43(23): 305-314.
- [2] 张恒瑄, 毛琛博, 邢梓晗. 我国冷链物流包装现状及发展对策探析[J]. 市场周刊, 2022, 35(2): 46-48.
ZHANG Hengxuan, MAO Chenbo, XING Zihan. Current Situation and Development Countermeasures of Cold Chain Logistics Packaging in China[J]. Market Weekly, 2022, 35(2): 46-48.
- [3] 邹筱, 庞天赐, 周欢. 双向收益共享成本分担契约下生鲜农产品供应链优化研究[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2021, 43(11): 122-130.
- ZOU Xiao, PANG Tianci, ZHOU Huan. Study on Supply Chain Optimization of Fresh Agricultural Products Under the Two-Way Benefit Sharing & Cost Sharing Contract[J]. Journal of Southwest University (Natural Science Edition), 2021, 43(11): 122-130.
- [4] MOON I, JEONG Y J, SAHA S. Investment and Coordination Decisions in a Supply Chain of Fresh Agricultural Products[J]. Operational Research, 2020, 20(4): 2307-2331.
- [5] 王国利, 马晨欣, 周学君. 考虑成本优势的生鲜供应链保鲜及外包决策[J]. 系统工程学报, 2023, 38(1): 101-120.
WANG Guoli, MA Chenxin, ZHOU Xuejun. Decisions of Freshness-Keeping and Outsourcing Strategies Considering the Cost Advantage in a Fresh Product Supply Chain[J]. Journal of Systems Engineering, 2023, 38(1): 101-120.
- [6] YANG Q, XIONG L, LI Y F, et al. Contract Coordination of Fresh Agri-Product Supply Chain Under O2O Model[J]. Sustainability, 2022, 14(14): 8771.
- [7] 武丹, 杨玉香. 考虑消费者低碳偏好的供应链减排微分博弈模型研究[J]. 中国管理科学, 2021, 29(4): 126-137.
WU Dan, YANG Yuxiang. Study on the Differential Game Model for Supply Chain with Consumers' Low Carbon Preference[J]. Chinese Journal of Management Science, 2021, 29(4): 126-137.
- [8] GAN W H, PENG L Q, LI D Y, et al. A Coordinated Revenue-Sharing-Based Pricing Decision Model for Remanufactured Products in Carbon Cap and Trade Regulated Closed-Loop Supply Chain[J]. IEEE Access, 2019, 7: 142879-142893.
- [9] 尚文芳, 张冰倩, 张智勇. 考虑有偿配额和碳交易的供应链碳减排决策研究[J]. 管理现代化, 2022, 42(6): 1-7.
SHANG Wenfang, ZHANG Bingqian, ZHANG Zhiyong. Research on Carbon Emission Reduction Decision of Supply Chain Considering Paid Quota and Carbon Trading[J]. Modernization of Management, 2022, 42(6): 1-7.
- [10] 张俊杰. 网购时代下快递环保包装解决策略[J]. 包装工程, 2015, 36(20): 96-99.
ZHANG Junjie. Solution Strategy of the Express Environmental Protection in the Online Shopping Era[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(20): 96-99.
- [11] 李正军, 李恒. 政府管理下网络众包的快递包装回收模式创新[J]. 包装工程, 2018, 39(21): 133-138.
LI Zhengjun, LI Heng. Innovation of Express Package

- Recovery Mode Based on Network Crowdsourcing Under Government Management[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(21): 133-138.
- [12] 胡觉亮, 钱聪丽, 韩曙光. 政府奖惩机制下的快递包装回收问题研究[J]. 浙江理工大学学报(社会科学版), 2019, 42(3): 223-231.
- HU Jueliang, QIAN Congli, HAN Shuguang. Research on Express Packaging Recovery Under the Government Reward-Punishment Mechanism[J]. Journal of Zhejiang Sci-Tech University (Social Sciences Edition), 2019, 42(3): 223-231.
- [13] 欧阳恋群, 黄帝, 丁建勋. 环境税费政策下快递包装材料回收利用的最优决策及社会福利分析[J]. 运筹与管理, 2021, 30(4): 54-60.
- OUYANG Lianqun, HUANG Di, DING Jianxun. Optimal Decisions on the Cycle Utilization of Express Packaging Materials and Social Welfare Analysis under Environmental Tax Policy[J]. Operations Research and Management Science, 2021, 30(4): 54-60.
- [14] 夏西强, 路梦圆, 陈彪, 等. 分类回收费用承担模式对回收渠道影响及协调机制研究[J]. 中国管理科学, 2022, DOI: 10.16381/j.cnki.issn1003-207x.2022.0881.
- XIA Xiqiang, LU Mengyuan, CHEN Biao, et al. Research on the Impact of the Classification Recycling Expenses Bearing Mode on the Recovery Channels and the Coordination Mechanism[J]. Chinese Journal of Management Science, 2022, DOI: 10.16381/j.cnki.issn1003-207x.2022.0881.
- [15] 何波, 段雪苇. 可重复利用的快递包装回收模式研究[J]. 包装学报, 2021, 13(5): 27-34.
- HE Bo, DUAN Xuewei. Research on Recycling Mode of Reusable Express Packaging[J]. Packaging Journal, 2021, 13(5): 27-34.
- [16] 吴秋晨, 贾俊秀, 吴涛. 溯源供应链系统的回收模式选择[J]. 工业工程与管理, 2023, 28(2): 19-30.
- WU Qiuchen, JIA Junxiu, WU Tao. Selection of Recycling Modes of a Supply Chain with Traceability[J]. Industrial Engineering and Management, 2023, 28(2): 19-30.
- [17] 蒋琼, 王勇, 刘名武. 回收模式相异下消费者偏好对制造商合作策略的影响[J/OL]. 计算机集成制造系统, [2022-10-12]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.5946.TP.20221011.1435.008.html>.
- JIANG Qiong, WANG Yong, LIU Mingwu. Effects of Consumer Preference on the Cooperative Strategy of the Manufacturer Under Different Recycling Modes [J/OL]. Computer Integrated Manufacturing Systems, [2022-10-12]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.5946.TP.20221011.1435.008.html>.
- [18] 刘芳卫, 杨立颖, 徐晓晴. 生鲜农产品冷链包装的研究思考[J]. 绿色包装, 2021(9): 34-38.
- LIU Fangwei, YANG Liying, XU Xiaoqing. Research on Cold Chain Packaging of Fresh Agricultural Products[J]. Green Packaging, 2021(9): 34-38.
- [19] 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/OL]. 中国管理科学, [2021-09-26]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2835.g3.20210926.1435.004.html>.
- MA Xueli, ZHAO Ying, BAI Qingguo, et al. Optimal Strategies and Coordination of Three-echelon Cold Chain of Fresh Products Considering Freshness-keeping and Carbon Abatement[J/OL]. Chinese Journal of Management Science, [2021-09-26]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2835.g3.20210926.1435.004.html>.
- [20] 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.
- LIU Molin, DAN Bin, MA Songxuan. Optimal Strategies and Coordination of Fresh E-Commerce Supply Chain Considering Freshness-Keeping Effort and Value-Added Service[J]. Chinese Journal of Management Science, 2020, 28(8): 76-88.
- [21] BAI Q G, GONG Y M, JIN M Z, 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.
- [22] MA X L, XU J T, PENG W L, et al. Optimal Freshness and Carbon Abatement Decisions in a Two-Echelon Cold Chain[J]. Applied Mathematical Modelling, 2021, 96: 834-859.
- [23] 梁喜, 张余婷. 基于消费者偏好的低碳双渠道供应链定价与减排策略[J]. 运筹与管理, 2020, 29(12): 107-117.
- LIANG Xi, ZHANG Yuting. Dual-Channel Supply Chain Pricing Decision and Emission Reduction Policies Based on Consumer Preference to Low Carbon[J]. Operations Research and Management Science, 2020, 29(12): 107-117.
- [24] HEYDARI J, GOVINDAN K, JAFARI A. Reverse and Closed Loop Supply Chain Coordination by Considering Government Role[J]. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2017, 52: 379-398.
- [25] 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.

MA Xueli, WANG Shuyun, JIN Hui, et al.
Coordination and Optimization of Three-Echelon
Agricultural Product Supply Chain Considering
Freshness-Keeping Effort and Quantity/Quality

Elasticity[J]. Chinese Journal of Management Science,
2018, 26(2): 175–185.

(责任编辑: 邓光辉)

Research on Packaging Recycling Decision and Coordination of Fresh Food Platform Supply Chain under Carbon Constraint

ZOU Xiao^{1,2}, LI Dan^{1,2}, ZHOU Huan^{1,2}, PANG Tianci^{1,2}

(1. College of Business, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China;

2. Hunan Packaging Economy Research Base, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

Abstract: In the context of government restrictions on carbon emissions of enterprises, the optimal decisions such as preservation effort level and packaging recycling price in the three-level supply chain of e-commerce platform-supplier -TPLSP were studied on fresh food products that are easily corrodible and difficult to store. The decision-making and system benefits of fresh food supply chain were compared and analyzed with TPLSP adopting packaging recycling strategy or without under decentralized decision-making. The effects of carbon trading price, freshness degree and recycling price preference degree on supply chain system profits and emission reduction effects were analyzed based on the centralized mode of supply chain system with higher efficiency to construct an optimized contract combining quantity discounts and two-part fees. The results show that the carbon trading price is positively correlated with the packaging return rate of consumers, while it does not increase the market demand for fresh products. When consumers' preference of freshness and price sensitivity of fresh food packaging recycling are high, the supply chain system has higher economic benefits. When the parameters are within a reasonable range, the coordination and optimization of supply chain system can be realized through quantity discount and two-part fee combination contract.

Keywords: carbon constraint; fresh food; packaging recycling; supply chain coordination