

基于外包模式下产品包装生产模式选择

梁喜, 胡鑫

(重庆交通大学 经济与管理学院, 重庆 400074)

摘要: **目的** 包装废弃物容易对环境造成破坏, 为鼓励企业生产绿色包装, 促进包装循环使用, 推动资源再利用, 探究3种不同的包装生产方式对供应链决策的影响。**方法** 在由产品制造商、包装公司和零售商组成的供应链中, 引入单位外包价格、消费者对绿色包装的敏感系数、包装绿色度等参数, 对比分析自产包装、外包生产普通包装、外包生产绿色包装3种情形下供应链定价决策问题。**结果** 消费者绿色包装的敏感系数和自愿返还的废旧包装数量对供应链有积极作用; 外包生产绿色包装模式的零售价、需求量始终高于外包生产普通包装模式的; 当单位外包价格大于某一阈值时, 外包生产绿色包装模式的零售价、需求量、供应链各成员利润在3种模式中最高。**结论** 产品制造商将包装外包给包装公司有利于降低成本、分散风险, 获得更高利润, 此外提高消费者对绿色包装的认可也有利于供应链成员获利。

关键词: 供应链; 包装公司; 外包; 包装绿色度

中图分类号: TB485.3; F273 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2023)07-0277-09

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.07.032

Selection of Product Packaging Production Method in Outsourcing Mode

LIANG Xi, HU Xin

(School of Economics & Management, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China)

ABSTRACT: Packaging waste is easy to cause damage to the environment. The work aims to explore the impact of three different packaging production methods on supply chain decision-making, in order to encourage enterprises to produce green packaging, promote packaging recycling, and push forward reuse of resources. In the supply chain composed of product manufacturers, packaging companies and retailers, the parameters such as unit outsourcing price, consumers' sensitivity to green packaging and packaging greenness were introduced and the problems in supply chain pricing decision-making under the three cases of self-produced packaging, outsourced general packaging, and outsourced green packaging were compared and analyzed. Consumers' sensitivity to green packaging and the number of waste packaging voluntarily returned had a positive effect on the supply chain. The retail price and demand in outsourcing production mode of green packaging were always higher than those in outsourcing production mode of ordinary packaging. When the unit outsourcing price was greater than a certain threshold, the retail price, demand and profit of each member of the supply chain in the outsourcing production mode of green packaging were the highest among the three modes. The mode of product manufacturers outsourcing packaging to packaging companies is conducive to reducing costs, dispersing risks and obtaining higher profits. In addition, improving consumers' recognition of green packaging is also conducive to increasing the profits of supply chain members.

KEY WORDS: supply chain; packaging company; outsourcing; packaging greenness

环境问题已经成为了公众关注的问题之一。其中包装废弃物的管理、回收没有采取相应措施,给环境带来日益严重的污染和破坏。各类产品包装的生产消耗了大量资源,同时也产生了大量的废弃物。我国陆续出台了《关于促进绿色消费的指导意见》《2020年行业绿色环境保护工作要点》,落实绿色发展理念,促进绿色消费通过处理包装问题来保护生态环境受到了社会越来越多的关注。选择绿色包装将成为社会发展的必然趋势,产品包装是否为绿色包装将逐渐成为顾客选择商品的一个重要因素。越来越多的企业也开始关注绿色包装,苏宁物流成立绿色包装实验室,研究行业内包装管理新的方案技术,推出共享快递盒、冷链循环箱等绿色包装产品,打造绿色包装共享平台;伊利金典推出植物基梦幻盖产品,塑料开盖的原料由原来的石油基聚乙烯替换为源自甘蔗的植物基聚乙烯,实现了品牌的环保主张。在包装生产方面,越来越多的厂商选择将非核心的包装生产业务外包给专业、高效的外部资源,从而达到降低成本的目的。同时包装外包具有一定的绿色效益和技术特性,有助于缓解环境压力。基于上述背景,综合考虑包装生产模式和包装种类对供应链决策的影响,对完善包装供应链管理决策和外包生产、绿色包装应用场景具有一定的理论与现实指导意义。

在供应链包装环节研究方面, Monteiro 等^[1]认为有必要研究包装行业如何适应日益增长的市场需求,同时符合国际组织制定的全球环境要求和可持续发展目标。Adekunle 等^[2]认为可以通过提高回收率和鼓励环保行为的改变来减少包装废旧物。Sarah 等^[3]研究发现欧洲消费者评级的差异来源于包装的可回收性、生物降解性和再利用率等。刘亦晴^[4]认为产品的绿色环保包装、环保包装标识、环保包装材质能正面影响消费者。田立平等^[5]在非专利保护和专利保护 2 种模式下,研究快递包装回收的定价问题。李崇峰^[6]认为绿色包装属于物流企业绿色实践的一种方式,它可以通过循环利用来降低生产的成本,从而正面影响企业经营。安佩鑫等^[7]从设计伦理学的角度出发,认为共享包装有利于缓解环境污染和资源浪费问题。袁晓宝等^[8]认为传统包装材料会持续在市场中占领主要地位,但是随着绿色包装材料的深入研究,新型包装会成为市场主流。

在外包决策对供应链影响研究方面, Wang 等^[9]研究了由原始设备制造商和合同制造商组成的供应链,其中合同制造商为原始设备制造商的上游合作伙伴和下游竞争对手。Leng 等^[10]研究了几种典型的零部件加工外包订单协调的外包商-供应商博弈模型。Zhang 等^[11]研究了双渠道供应链中制造商保修服务的外包策略,建立了零售商承担服务、第三方承担服务,以及零售商和第三方同时承担服务这 3 种制造商外包服务模型。杨爱峰等^[12]研究了在政府征收碳税的背景下,制造商比较收取授权费、外包给第三

方 2 种模式下的废旧品的回收和再制造决策问题。王绪金等^[13]通过比较不同模式下的多层次供应链外包模型,得出最优选择策略。郑小雪等^[14]对第三方再制造情况下,制造商外包和零售商外包进行比较,并研究不同模式对消费者剩余和环境绩效的影响。

综上所述,在包装相关文献中,学者较多的是以综述的方式对绿色包装的应用进行研究,而较少考虑建立数学模型讨论产品包装对供应链决策的影响;在外包相关文献中,学者更多关注的是对设备生产、服务、产品再制造等方面的外包策略研究,较少考虑产品包装的外包问题,因此,本文以包装生产为背景,选取自产和外包 2 种常见的生产方式,引入不同包装成本的基础参数,并结合单位外包价格、包装绿色度等特定参数,构建自产包装、外包生产普通包装、外包生产绿色包装的 Stackelberg 模型,考虑外包生产和绿色包装对供应链定价决策的影响,为制造商和包装企业的生产、合作决策提供参考。

1 建模

1.1 模型描述

在产品制造商主导的供应链结构中,根据是否进行产品包装外包以及包装的种类,将模式分为自产包装模式(S 模式)、外包生产普通包装模式(O 模式)、外包生产绿色包装模式(G 模式)等 3 种,具体结构见图 1—3。

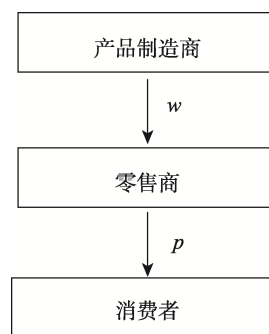


图 1 自产包装模式
Fig.1 Self-produced packaging mode

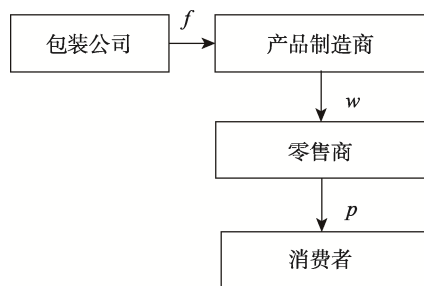


图 2 外包生产普通包装模式
Fig.2 Outsourcing production mode of ordinary packaging

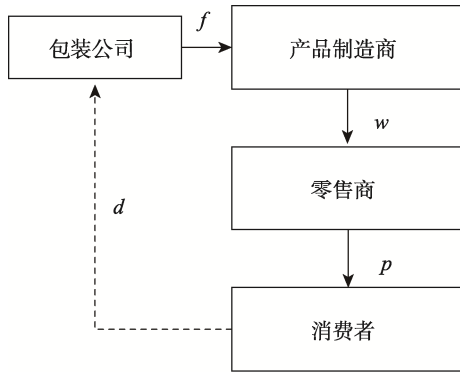


图 3 外包生产绿色包装模式
Fig.3 Outsourcing production
mode of green packaging

1) S 模式。产品制造商同时负责产品和包装的生产, 将包装后的产品批发给零售商, 零售商销售给消费者。

2) O 模式。产品制造商只负责产品的生产, 通过支付一定的外包费用, 将包装外包给包装公司生产, 包装公司生产普通包装。包装后的产品仍由产品制造商批发给零售商, 零售商将普通包装产品销售给消费者。

3) G 模式。产品制造商只负责产品的生产, 通过支付一定的外包费用, 将包装外包给包装公司生产, 包装公司通过回收废旧包装和绿色研发技术生产绿色包装, 此时政府对包装公司进行一定补贴。绿色包装产品仍由产品制造商批发给零售商, 零售商将绿色包装产品销售给消费者。

1.2 基本假设

1) w^i 表示产品的批发价, p^i 表示产品的零售价, 其中 i 分别表示 S 模型、O 模型、G 模型。

2) q_n 表示产品的包装为普通包装的市场需求函数, 即 $q_n = a - bp$; q_r 表示产品的包装为绿色包装的市场需求函数, 即 $q_r = a - bp + \beta g$ 。其中, $q_n > 0$, $q_r > 0$, a 表示市场总需求, b 表示市场需求对价格的敏感系数, β 表示消费者的绿色包装敏感系数, g 表示包装绿色度。

3) c_m 表示产品制造商生产包装的单位成本, c_n 表示包装公司生产普通包装的单位成本, c_r 表示包装公司生产绿色包装的单位成本, 假设 $c_m > c_n > c_r$ 。

4) 为了简化分析, 假设产品制造商生产产品的单位成本为 0。

5) f 表示产品制造商给包装公司的单位外包价格, 为保证包装公司的利润, 假设 $f - c_n > 0$, $f - c_r > 0$ 。

6) k 表示对绿色包装的研发努力系数。包装公司为了生产绿色包装, 需要加大对绿色生产技术的研发力度, 投入的金额与包装绿色度呈二次方关系, 假

设研发绿色包装的努力成本为 $\frac{1}{2}kg^2$ 。

7) s 表示政府对回收废旧包装的单位补贴。

8) θ_0 表示消费者自愿返还的废旧包装数量, θ_1 表示消费者对回收价格的敏感系数, d 表示包装公司的单位回收价格, $\theta_0 + \theta_1 d$ 表示包装公司的废旧包装回收量。

9) Π_m^i 、 Π_r^i 、 Π_t^i 分别表示制造商利润、零售商利润、包装公司利润, 其中 i 分别表示 S 模型、O 模型、G 模型。

2 模型决策

2.1 自产包装模式 (S 模型)

产品制造商先决定包装产品的批发价 w^s 然后零售商决定 p^s 。产品制造商和零售商的利润函数为:

$$\Pi_m^s = (w^s - c_m)q_n \quad (1)$$

$$\Pi_r^s = (p^s - w)q_n \quad (2)$$

根据逆向归纳法求解, 得最优解:

$$w^{s*} = \frac{bc_m + a}{2b} \quad (3)$$

$$p^{s*} = \frac{bc_m + 3a}{4b} \quad (4)$$

$$\Pi_m^{s*} = \frac{(-bc_m + a)^2}{8b} \quad (5)$$

$$\Pi_r^{s*} = \frac{(-bc_m + a)^2}{16b} \quad (6)$$

命题 1: 在产品制造商自产包装模式下, 有

$$\frac{\partial w^{s*}}{\partial c_m} > 0, \quad \frac{\partial p^{s*}}{\partial c_m} > 0, \quad \frac{\partial q_n^{s*}}{\partial c_m} < 0$$

$$\text{证明: } \frac{\partial w^{s*}}{\partial c_m} = \frac{bc_m + a}{2b} = \frac{1}{2} > 0, \quad \frac{\partial p^{s*}}{\partial c_m} = \frac{bc_m + 3a}{4b} = \frac{1}{4} > 0,$$

$$\frac{\partial q_n^{s*}}{\partial c_m} = \frac{-b}{4} < 0$$

命题 1 表明, 在产品制造商自产包装模式下, 产品制造商包装生产成本与批发价、零售价呈正相关, 说明增加包装成本有利于提高批发价、零售价。包装生产成本与需求量呈负相关, 说明当产品制造商生产包装的成本提高, 消费者的市场需求会降低。

2.2 外包生产普通包装模式 (O 模型)

产品制造商先决定普通包装产品的批发价 w^o , 然后零售商决定零售价 p^o 。产品制造商、包装公司、零售商的利润函数为:

$$\Pi_m^o = (w^o - f)q_n \quad (7)$$

$$\Pi_t^o = (f - c_n)q_n \quad (8)$$

$$\Pi_r^O = (p^O - w^O)q_n \quad (9)$$

根据逆向归纳法求解, 得到最优解:

$$w^{O*} = \frac{bf + a}{2b} \quad (10)$$

$$p^{O*} = \frac{bf + 3a}{4b} \quad (11)$$

$$\Pi_m^{O*} = \frac{(-bf + a)^2}{8b} \quad (12)$$

$$\Pi_t^{O*} = \frac{(f - c_n)(-bf + a)^2}{4} \quad (13)$$

$$\Pi_r^{O*} = \frac{(-bf + a)^2}{16b} \quad (14)$$

命题 2: 在外包生产普通包装模式下, 有 $\frac{\partial w^{O*}}{\partial f} > 0$, $\frac{\partial p^{O*}}{\partial f} > 0$, $\frac{\partial q_n^{O*}}{\partial f} < 0$ 。

证明: $\frac{\partial w^{O*}}{\partial f} = \frac{bf + a}{2b} = \frac{1}{2} > 0$, $\frac{\partial p^{O*}}{\partial f} = \frac{bf + 3a}{4b} = \frac{1}{4} > 0$,

$$\frac{\partial q_n^{O*}}{\partial f} = \frac{-b}{4} < 0。$$

命题 2 表明, 在外包生产普通包装模式下, 包装的单位外包价格与普通包装产品的批发价、零售价呈正相关, 这是因为随着单位外包价格的提高, 产品制造商要通过提高批发价来保证自己的利益, 零售商随之提高零售价。单位外包价格与需求量呈负相关, 说明当单位外包价格增大时, 产品制造商需要支出更多成本, 需要通过降低产量才能保证自身利润, 单位外包价格的提高不利于产品的批发销售。

2.3 外包生产绿色包装模式 (G 模型)

产品制造商先决定绿色包装产品的批发价 w^G , 然后由包装公司决定包装绿色度 g^G 以及废旧包装的回收价格 d^G , 最后零售商决定产品的零售价 p^G 。产品制造商、包装公司、零售商的利润函数为:

$$\Pi_m^G = (w^G - f)q_r \quad (15)$$

$$\Pi_t^G = (f - c_r)q_r + (s - d^G)(\theta_0 + \theta_1 d^G) - \frac{1}{2}k(g^G)^2 \quad (16)$$

$$\Pi_r^G = (p^G - w^G)q_r \quad (17)$$

根据逆向归纳法求解, 得到最优解:

$$w^{G*} = \frac{(2bf + 2a)k + \beta^2(f - c_r)}{4kb} \quad (18)$$

$$p^{G*} = \frac{(2bf + 6a)k + 3\beta^2(f - c_r)}{8kb} \quad (19)$$

$$d^{G*} = \frac{s\theta_1 - \theta_0}{2\theta_1} \quad (20)$$

$$g^{G*} = \frac{\beta(f - c_r)}{2k} \quad (21)$$

$$\Pi_m^{G*} = \frac{\left[(-bf + a)k + \frac{\beta^2(f - c_r)}{2}\right]^2}{8k^2b} \quad (22)$$

$$\Pi_t^{G*} = \frac{s^2\theta_1^2 + \left[-bf^2 + (bc_r + a)f - ac_r + 2s\theta_0\right]\theta_1 + \theta_0^2}{4\theta_1} \quad (23)$$

$$\Pi_r^{G*} = \frac{\left[(-bf + a)k + \frac{\beta^2(f - c_r)}{2}\right]^2}{16k^2b} \quad (24)$$

命题 3: 在外包生产绿色包装模式下, 有 $\frac{\partial w^{G*}}{\partial f} > 0$, $\frac{\partial p^{G*}}{\partial f} > 0$, $\frac{\partial q_r^{G*}}{\partial f} < 0$, $\frac{\partial g^{G*}}{\partial f} > 0$, $\frac{\partial d^{G*}}{\partial f} = 0$ 。

证明: $\frac{\partial w^{G*}}{\partial f} = \frac{2kb + \beta^2}{4kb} > 0$, $\frac{\partial p^{G*}}{\partial f} = \frac{2kb + 3\beta^2}{8kb} > 0$,

$\frac{\partial q_r^{G*}}{\partial f} = \frac{-2kb + \beta^2}{8k} < 0$, $\frac{\partial g^{G*}}{\partial f} = \frac{\beta}{2k} > 0$, $\frac{\partial d^{G*}}{\partial f} = 0$ 。

命题 3 表明, 在外包生产绿色包装模式下, 包装的单位外包价格与绿色包装产品的批发价、零售价、包装绿色度呈正相关, 与需求量负相关。这是因为当单位外包价格提高, 产品制造商不得不通过提高产品批发价、降低生产量的方式来保证自身利润的最大化, 零售商随之提高零售价。包装公司的收益来源于外包, 当单位外包价格越高, 公司有更多的能力去提高包装的绿色度。废旧包装的回收价格与单位外包价格无关。

命题 4: 在外包生产绿色包装模式下, 有 $\frac{\partial w^{G*}}{\partial \beta} > 0$, $\frac{\partial p^{G*}}{\partial \beta} > 0$, $\frac{\partial q_r^{G*}}{\partial \beta} > 0$, $\frac{\partial g^{G*}}{\partial \beta} > 0$, $\frac{\partial d^{G*}}{\partial \beta} = 0$ 。

证明: 因为 $f - c_r > 0$, 则 $\frac{\partial w^{G*}}{\partial \beta} = \frac{(f - c_r)\beta}{2kb} > 0$,

$\frac{\partial p^{G*}}{\partial \beta} = \frac{3(f - c_r)\beta}{4kb} > 0$, $\frac{\partial q_r^{G*}}{\partial \beta} = \frac{\beta(f - c_r)}{4k} > 0$,

$\frac{\partial g^{G*}}{\partial \beta} = \frac{f - c_r}{2k} > 0$, $\frac{\partial d^{G*}}{\partial \beta} = 0$ 。

命题 4 表明, 在外包生产绿色包装模式下, 消费者绿色包装的敏感系数与批发价、零售价、需求量、包装绿色度呈正相关。当消费者对绿色包装的敏感系数提高时, 市场对绿色包装产品的需求增加, 制造商选择绿色包装支出成本增加, 会提高批发价来适应市场, 零售价也因此提高。同时消费者对绿色包装越在意, 包装公司越会受到鼓励, 加大对绿色包装的研发, 从而提高包装的绿色度。

命题 5: 在外包生产绿色包装模式下, 有 $\frac{\partial d^{G*}}{\partial \theta_0} < 0$, $\frac{\partial \Pi_p^{G*}}{\partial \theta_0} > 0$ 。

证明: $\frac{\partial d^{G*}}{\partial \theta_0} = -\frac{1}{2\theta_1} < 0$, $\frac{\partial \Pi_p^{G*}}{\partial \theta_0} = \frac{s\theta_1 + \theta_0}{2\theta_1} > 0$ 。

命题5表明,在外包生产绿色包装模式下,消费者自愿返还包装数量与回收价格呈负相关,与包装公司利润呈正相关。这说明提高消费者的环保意识有助于节省包装公司的成本,并且有助于提高包装公司利润,激励包装公司进一步收集废旧包装,利用废旧包装再制造绿色包装。

命题6:在外包生产绿色包装模式下,有 $\frac{\partial w^{G^*}}{\partial c_r} < 0$, $\frac{\partial p^{G^*}}{\partial c_r} < 0$, $\frac{\partial q_r^{G^*}}{\partial c_r} < 0$, $\frac{\partial g^{G^*}}{\partial c_r} < 0$, $\frac{\partial d^{G^*}}{\partial c_r} = 0$ 。

证明: $\frac{\partial w^{G^*}}{\partial c_r} = -\frac{\beta^2}{4kb} < 0$, $\frac{\partial p^{G^*}}{\partial c_r} = -\frac{3\beta^2}{8kb} < 0$, $\frac{\partial q_r^{G^*}}{\partial c_r} = -\frac{\beta^2}{8k} < 0$, $\frac{\partial g^{G^*}}{\partial c_r} = -\frac{\beta}{2k} < 0$, $\frac{\partial d^{G^*}}{\partial c_r} = 0$ 。

命题6表明,在外包生产绿色包装模式下,包装公司生产绿色包装的成本与产品的批发价、零售价、需求量、包装绿色度呈负相关。这说明绿色包装成本的降低有利于促进绿色包装产品的销售,更受到市场的欢迎,提高包装的绿色度有利于降低包装的生产成本。

3 3种模式的比较

命题7:3种包装生产模式下,包装产品的批发单价大小关系如下。

当满足 $\{f > f_1, f > f_2\}$ 时, $w^{G^*} > w^{O^*} > w^{S^*}$; 当满足 $\{f < f_1, f > f_2\}$ 时, $w^{G^*} > w^{S^*} > w^{O^*}$; 当满足 $\{f < f_1, f < f_2\}$ 时, $w^{S^*} > w^{G^*} > w^{O^*}$ 。其中, $f_1 = c_m$, $f_2 = \frac{2kbc_m + \beta^2 c_r}{2kb + \beta^2}$ 。

证明:令 $w^{S^*} - w^{O^*} = -\frac{f - c_m}{2} = 0$, 当 $f > f_1$ 时, $w^{S^*} - w^{O^*} < 0$; 当 $f < f_1$ 时, $w^{S^*} - w^{O^*} > 0$ 。令 $w^{S^*} - w^{G^*} = \frac{-2kb(f - c_m) - \beta^2(f - c_r)}{4kb} = 0$, 当 $f > f_2$ 时, $w^{S^*} - w^{G^*} < 0$; 当 $f < f_2$ 时, $w^{S^*} - w^{G^*} > 0$ 。 $w^{O^*} - w^{G^*} = -\frac{\beta^2(f - c_r)}{4kb} < 0$ 。

命题7表明,当单位外包价格较低时,自产包装模式下的批发价最高,其次是外包生产绿色包装和外包生产普通包装。当单位外包价格大于某一阈值时,外包生产绿色包装的批发价最高。外包生产绿色包装的批发价高于外包生产普通包装的。这是因为绿色包装的生产需要研发成本,这在一定程度上增加了包装的成本,为了保证包装公司的利润,需要提高单位外包价格;为了保证产品制造商的利润,绿色包装产品的批发价会高于普通包装产品的。

命题8:3种包装生产模式下,包装产品的零售价大小关系如下。

当满足 $\{f > f_1, f > f_3\}$ 时, $p^{G^*} > p^{O^*} > p^{S^*}$; 当满足 $\{f < f_1, f > f_3\}$ 时, $p^{G^*} > p^{S^*} > p^{O^*}$; 当满足 $\{f < f_1, f < f_3\}$ 时, $p^{S^*} > p^{G^*} > p^{O^*}$ 。其中, $f_1 = c_m$, $f_3 = \frac{2kbc_m + 3\beta^2 c_r}{2kb + 3\beta^2}$ 。

证明:令 $p^{S^*} - p^{O^*} = -\frac{f - c_m}{2} = 0$, 当 $f > f_1$ 时, $p^{S^*} - p^{O^*} < 0$; 当 $f < f_1$ 时, $p^{S^*} - p^{O^*} > 0$ 。令 $p^{S^*} - p^{G^*} = \frac{-2kb(f - c_m) - 3\beta^2(f - c_r)}{8kb} = 0$, 当 $f > f_3$ 时, $p^{S^*} - p^{G^*} < 0$; 当 $f < f_3$ 时, $p^{S^*} - p^{G^*} > 0$ 。 $p^{O^*} - p^{G^*} = -\frac{3\beta^2(f - c_r)}{8kb}$, 因为 $f - c_r > 0$, 则 $p^{O^*} - p^{G^*} < 0$ 。

命题8表明,产品制造商具有主导权,当批发价变动,零售价也随之变动。当单位外包价格较低时,自产包装模式下的零售价最高,其次是外包生产绿色包装,最低的是外包生产普通包装。当单位外包价格较高时,外包生产绿色包装模式下零售价最高,其次是外包生产普通包装模式,最低的是自产包装模式。这说明,当单位外包价格过高时,企业所支出的成本已经很高了,只能提高产品价格来使自身利益最大化。

命题9:3种包装生产模式下,包装产品的销售数量大小关系如下。

若 $\beta^2 < 2kb$, 当满足 $\{f > f_1, f < f_4\}$ 时, $q_r^{G^*} > q_n^{S^*} > q_n^{O^*}$; 当满足 $\{f > f_1, f > f_4\}$ 时, $q_n^{S^*} > q_r^{G^*} > q_n^{O^*}$; 当满足 $\{f < f_1, f < f_4\}$ 时, $q_r^{G^*} > q_n^{O^*} > q_n^{S^*}$ 。

若 $\beta^2 > 2kb$, 当满足 $\{f > f_1, f < f_4\}$ 时, $q_n^{S^*} > q_r^{G^*} > q_n^{O^*}$; 当满足 $\{f > f_1, f > f_4\}$ 时, $q_r^{G^*} > q_n^{S^*} > q_n^{O^*}$; 当满足 $\{f < f_1, f > f_4\}$ 时, $q_r^{G^*} > q_n^{O^*} > q_n^{S^*}$ 。其中, $f_4 = \frac{2kbc_m - \beta^2 c_r}{2kb - \beta^2}$ 。

证明:令 $q^{S^*} - q^{O^*} = \frac{b(f - c_m)}{4} = 0$, 当 $f > f_1$ 时, $q^{S^*} - q^{O^*} > 0$; 当 $f < f_1$ 时, $q^{S^*} - q^{O^*} < 0$ 。令 $q^{S^*} - q^{G^*} = \frac{2kb(f - c_m) - \beta^2(f - c_r)}{8k} = 0$, 若 $\beta^2 < 2kb$ 时, 当 $f < f_4$ 时, $q^{S^*} - q^{G^*} < 0$, 当 $f > f_4$ 时, $q^{S^*} - q^{G^*} > 0$; 若 $\beta^2 > 2kb$, 当 $f < f_4$ 时, $q^{S^*} - q^{G^*} > 0$; 当 $f > f_4$ 时, $q^{S^*} - q^{G^*} < 0$ 。 $q^{O^*} - q^{G^*} = -\frac{\beta^2(f - c_r)}{8k}$, $q^{O^*} - q^{G^*} < 0$ 。

命题9表明,外包生产普通包装模式下的需求量低于外包生产绿色包装模式,说明绿色包装产品能够吸引消费者,有利于增加市场的需求量。当单位外包价格高于某一阈值,此时单位外包价格过高,制造商为减少成本,会选择自产包装模式。

命题10:3种包装生产模式下,产品制造商利润关系如下。

当 $f < f_4$ 或 $f > f_6$ 时, $\Pi_m^{S^*} < \Pi_m^{G^*}$; 当 $f_4 < f < f_6$ 时, $\Pi_m^{S^*} > \Pi_m^{G^*}$; 当 $f < f_4$ 或 $f > f_6$ 时, $\Pi_m^{S^*} < \Pi_m^{G^*}$; 当 $f_4 < f < f_6$ 时, $\Pi_m^{S^*} > \Pi_m^{G^*}$; 当 $f < f_7$ 或 $f > f_8$ 时, $\Pi_m^{O^*} > \Pi_m^{G^*}$; 当 $f_7 < f < f_8$, $\Pi_m^{O^*} < \Pi_m^{G^*}$ 。

其中 $f_1 = c_m$, $f_4 = \frac{2kbc_m - \beta^2 c_r}{2kb - \beta^2}$, $f_5 = \frac{2a - bc_m}{b}$, $f_6 = \frac{-2bkc_m - \beta^2 c_r + 4ka}{2kb - \beta^2}$, $f_7 = c_r$, $f_8 = \frac{4ka - \beta^2 c_r}{4kb - \beta^2}$ 。

证明: 令 $\Pi_m^{S^*} - \Pi_m^{O^*} = \frac{\left[(-\frac{f}{2} - \frac{c_m}{2})b + a\right](f - c_m)}{4} = 0$,

当 $f < f_1$ 或 $f < f_5$ 时, $\Pi_m^{S^*} - \Pi_m^{O^*} < 0$; 当 $f < f_1 < f_5$ 时, $\Pi_m^{S^*} - \Pi_m^{O^*} > 0$ 。令 $\Pi_m^{S^*} - \Pi_m^{G^*} = \frac{\left\{\left[(-\frac{f}{2} - \frac{c_m}{2})b + a\right]k + \frac{\beta^2(f - c_r)}{4}\right\}\left[kb(f - c_m) - \frac{\beta^2(f - c_r)}{2}\right]}{4k^2b} = 0$,

当 $f < f_4$ 或 $f > f_6$ 时, $\Pi_m^{S^*} - \Pi_m^{G^*} < 0$; 当 $f_4 < f < f_6$ 时, $\Pi_m^{S^*} - \Pi_m^{G^*} > 0$ 。令 $\Pi_m^{O^*} - \Pi_m^{G^*} = -\frac{\beta^2\left[\left(\frac{f - c_r}{4}\right)\beta^2 + (-bf + a)k\right](f - c_r)}{8k^2b} = 0$, 当 $f < f_7$ 或 $f > f_8$ 时, $\Pi_m^{O^*} - \Pi_m^{G^*} > 0$; 当 $f_7 < f < f_8$, $\Pi_m^{O^*} - \Pi_m^{G^*} < 0$ 。

命题10表明,产品制造商的利润与单位外包价格、包装成本及消费者对绿色包装的偏好有关。当单位外包价格满足 $f < f_1$ 或 $f > f_5$ 、 $0 < f < f_4$ 或 $f > f_6$ 时,产品制造商选择外包生产包装;当 $f_1 < f < f_5$ 或 $f_4 < f < f_6$ 时,制造商选择自产包装。对包装的种类来说,当 $f < f_7$ 或 $f > f_8$ 时,产品制造商选择普通包装将获得更高的收益;当 $f_7 < f < f_8$ 时,产品制造商选择绿色包装。当单位外包价格在某一阈值范围内,外包生产绿色包装模式下制造商的利润能达到3种模式下的最高。

命题11:3种包装生产模式下,零售商利润大小关系如下。

当 $f < f_1$ 或 $f > f_5$, $\Pi_r^{S^*} < \Pi_r^{O^*}$; 当 $f_1 < f < f_5$, $\Pi_r^{S^*} > \Pi_r^{O^*}$; 当 $f < f_4$ 或 $f > f_6$, $\Pi_r^{S^*} < \Pi_r^{G^*}$; 当

$f_4 < f < f_6$, $\Pi_r^{S^*} > \Pi_r^{G^*}$; 当 $f < f_7$ 或 $f > f_8$, $\Pi_r^{O^*} > \Pi_r^{G^*}$; 当 $f_7 < f < f_8$, $\Pi_r^{O^*} < \Pi_r^{G^*}$ 。

证明: 令 $\Pi_r^{S^*} - \Pi_r^{O^*} = \frac{\left[(-\frac{f}{2} - \frac{c_m}{2})b + a\right](f - c_m)}{8} = 0$,

当 $0 < f < f_1$ 或 $f > f_5$, $\Pi_r^{S^*} - \Pi_r^{O^*} < 0$; 当 $f < f_1 < f_5$, $\Pi_r^{S^*} - \Pi_r^{O^*} > 0$ 。令 $\Pi_r^{S^*} - \Pi_r^{G^*} = \frac{\left[kb(f - c_m) - \frac{\beta^2(f - c_r)}{2}\right]\left\{\left[(-\frac{f}{2} - \frac{c_m}{2})b + a\right]k + \frac{\beta^2(f - c_r)}{4}\right\}}{8k^2b} = 0$,

当 $0 < f < f_4$ 或 $f > f_6$, $\Pi_r^{S^*} - \Pi_r^{G^*} < 0$; 当 $f_4 < f < f_6$, $\Pi_r^{S^*} - \Pi_r^{G^*} > 0$ 。令 $\Pi_r^{O^*} - \Pi_r^{G^*} = -\{\beta^2(f - c_r)(-4bfk + \beta^2 f - \beta^2 c_r + 4ak)\}/64k^2b$, 当 $f < f_7$ 或 $f > f_8$, $\Pi_r^{O^*} - \Pi_r^{G^*} > 0$; 当 $f_7 < f < f_8$, $\Pi_r^{O^*} - \Pi_r^{G^*} < 0$ 。

命题11表明,当单位外包价格满足 $f < f_1$ 或 $f > f_5$ 、 $f < f_4$ 或 $f > f_6$ 时,外包生产包装模式下零售商利润最高;当 $f_1 < f < f_5$ 或者 $f_4 < f < f_6$ 时,自产包装模式下零售商利润最高。当 $f < f_7$ 或 $f > f_8$ 时,外包生产绿色包装模式下零售商利润最高;当 $f_7 < f < f_8$ 时,外包生产普通包装模式下零售商利润最高。

命题12:在生产普通包装、生产绿色2种包装生产模式下,包装公司利润大小关系为当 $f < f_9$, $\Pi_l^{O^*} < \Pi_l^{G^*}$; 当 $f > f_9$, $\Pi_l^{O^*} > \Pi_l^{G^*}$ 。

其中 $f_9 = \frac{-s^2\theta_l^2 + [2s\theta_0 + (c_n - c_r)a]\theta_l + \theta_0^2}{\theta_l b(c_n - c_r)}$ 。

证明: $\Pi_l^{O^*} - \Pi_l^{G^*} = \{-s^2\theta_l^2 + [-2s\theta_0 - (c_n - c_r)(-bf + a)]\theta_l - \theta_0^2\}/4\theta_l = 0$, 当 $f < f_9$, $\Pi_l^{O^*} - \Pi_l^{G^*} < 0$; 当 $f > f_9$, $\Pi_l^{O^*} - \Pi_l^{G^*} > 0$ 。

命题12表明,外包费用是包装公司利润的来源,当单位外包价格小于某一阈值时,包装公司增加对绿色包装的研发去生产绿色包装,从而获得政府补贴,此时选择生产绿色包装利润更高。当单位外包价格大于某一阈值时,包装公司已经获得较高收益,会选择生产普通包装。

4 算例分析

为了验证前文的研究结果,本节通过数值算例分析单位外包价格、消费者绿色包装的敏感系数对供应链成员利润的影响。参考文献[14-15]的参数设定,并根据本文实际情况,做了适当调整,假设 $a=100$, $b=2$, $k=1$, $s=6$, $c_m=30$, $c_n=20$, $c_r=10$, $\theta_0=10$, $\theta_1=2$ 。

在分析单位外包价格对供应链成员的影响时,假定 $\beta=0.5$, 所得结果见图4—8。

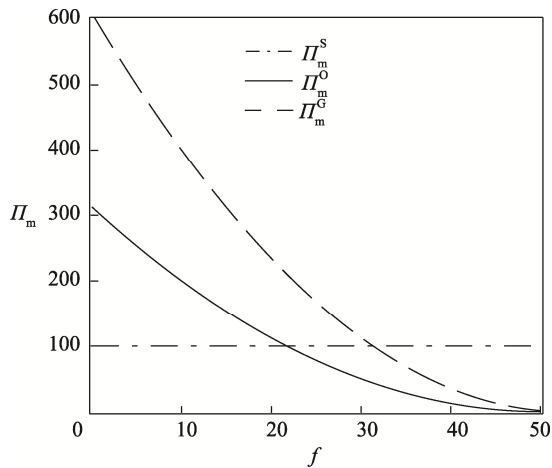


图 4 单位外包价格对产品制造商利润的影响
Fig.4 Impact of unit outsourcing price on the profit of product manufacturer

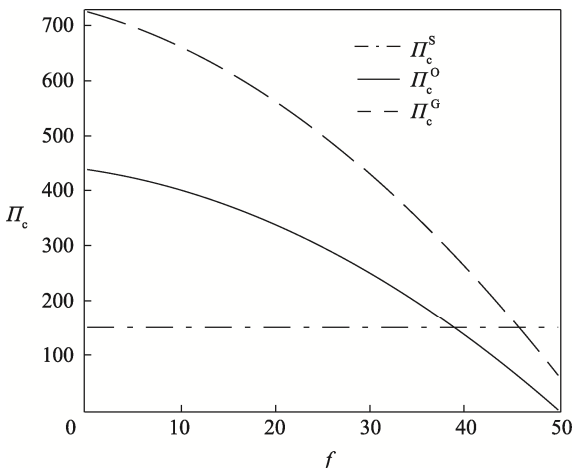


图 7 单位外包价格对总利润的影响
Fig.7 Impact of unit outsourcing price on total profit

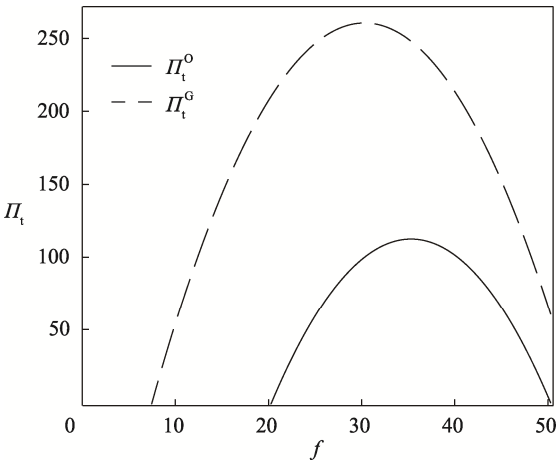


图 5 单位外包价格对包装公司利润的影响
Fig.5 Impact of unit outsourcing price on the profit of packaging company

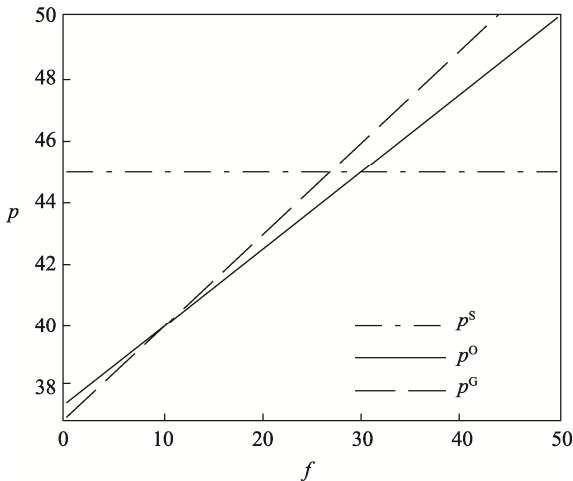


图 8 单位外包价格对零售价的影响
Fig.8 Impact of unit outsourcing price on retail price

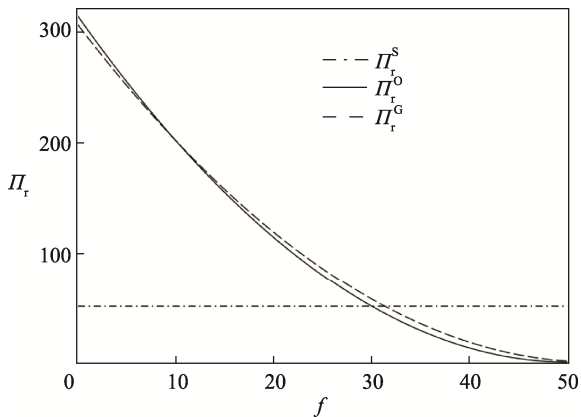


图 6 单位外包价格对零售商利润的影响
Fig.6 Impact of unit outsourcing price on the profit of retailer

由图 4 可知, 自产包装模式下产品制造商利润不受单位外包价格影响, 不管是外包生产普通包装模式还是外包生产绿色包装模式, 产品制造商的利润都随着单位外包价格的增加而减少。外包生产绿色包装模式下, 产品制造商利润受单位外包价格的影响程度最高, 其次是外包生产普通包装模式, 再次是自产包装模式。当单位外包价格小于一定阈值时, 产品制造商利润存在的关系为 G 模式>O 模式>S 模式。

由图 5 可知, 外包生产普通包装模式和外包生产绿色包装模式下的包装公司利润随着单位外包价格的增加, 先增加后减少, 当单位外包价格低于某一阈值时, 单位外包价格的增加能够提高包装公司的利润, 但当单位外包价格超过某一阈值后, 过高的单位外包价格会导致零售价过高, 使需求量降低。包装公司利润始终存在的关系为 G 模式>O 模式。

由图 6 可知, 自产包装模式下零售商利润不受单

位外包价格的影响,而在外包生产普通包装模式和外包生产绿色包装模式下,零售商的利润随单位外包价格的增加而减少。在小于某一阈值范围内,零售商利润存在的关系为 G 模式>O 模式>S 模式。

由图 7 可知,在外包生产普通包装模式和外包生产绿色包装模式下,供应链总利润随着单位外包价格的增加而减少,且单位外包价格对外包生产绿色包装模式总利润的影响程度最高。当单位外包价格小于某一阈值时,供应链总利润存在的关系为 G 模式>O 模式>S 模式。

由图 8 可知,单位外包价格会影响外包生产普通包装和外包生产绿色包装模式下的零售价,零售价随单位外包价格的增加而增加。当单位外包价格较低时,外包生产普通包装模式下的零售价高于外包生产绿色包装模式的;当单位包装价格大于某一阈值时,外包生产绿色包装模式下的零售价高于外包生产普通包装,但低于自产包装模式;当单位外包价格足够大时,外包生产绿色包装模式下的零售价最高。

在分析消费者绿色包装的敏感系数对供应链成员利润的影响时,假定 $f=25$, 所得结果见图 9—11。

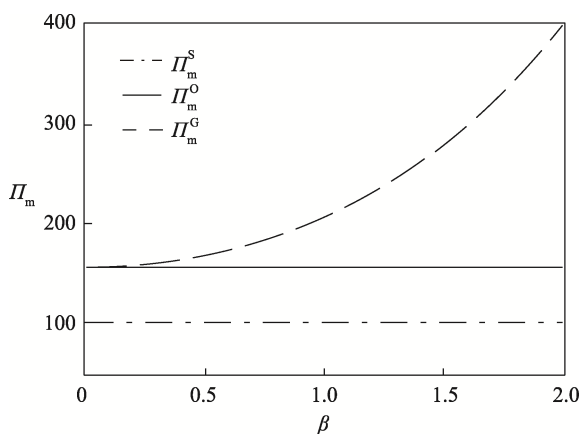


图 9 消费者绿色包装的敏感系数对产品制造商利润的影响

Fig.9 Impact of consumers' sensitivity to green packaging on the profit of product manufacturer

由图 9—10 可知,在自产包装模式和外包生产普通包装模式下,消费者绿色包装的敏感系数不影响产品制造商、零售商的利润。当存在消费者绿色包装敏感系数的情况下,外包生产绿色包装模式下产品制造商和零售商的利润始终随着系数的增加而增加。在此条件下,供应链总利润均能满足以下关系: G 模式>O 模式>S 模式,且在外包生产绿色包装模式下利润增长率最高。

由图 11 可知,外包生产绿色包装模式下供应链的总利润随着消费者绿色包装的敏感系数的增加而增加,且在 3 种模式中利润达最大,其次是外包生产普通包装模式,最后是自产包装模式。

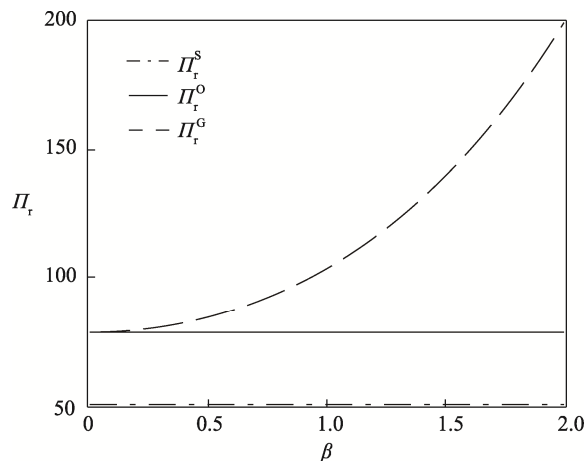


图 10 消费者绿色包装的敏感系数对零售商利润的影响

Fig.10 Impact of consumers' sensitivity to green packaging on the profit of retailer

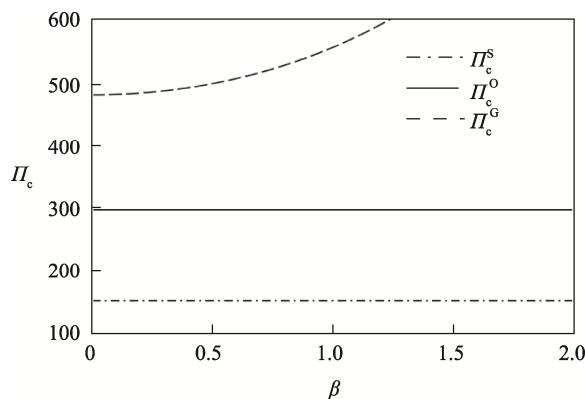


图 11 消费者绿色包装的敏感系数对供应链总利润的影响

Fig.11 Impact of consumers' sensitivity to green packaging on the total profit of supply chain

5 结语

本文针对自产和外包 2 种常见的生产模式下,考虑产品包装的生产和种类问题,引入不同包装成本、单位外包价格、包装绿色度等参数,构建了供应链模型。主要研究表明:提高包装的单位外包价格、包装的生产成本,虽然能增加产品价格和包装绿色度,但是不利于消费者买到实惠的商品;单位回收价格与消费者自愿返还数量有关,与单位外包价格和消费者绿色包装的敏感系数无关;消费者绿色包装的敏感系数的增加有助于提高产品的价格、包装绿色度、需求量;消费者自愿返还包装数量的增加有利于降低回收价和提高包装公司利润;外包生产绿色包装模式的批发价、零售价、需求量始终高于外包生产普通包装模式;当单位外包价格大于某一阈值时,外包生产绿色包装模式的批发价、零售价、需求量、供应链各成员利润为 3 种模式中最高;当产品制造商选择自产包装

时,包装成本的增加会提高产品批发价,但是会降低产品需求量。因此,产品制造商需要合理控制包装成本,当产品制造商决定外包时,为了更高的批发价和需求量会选择外包生产绿色包装。

本文从包装生产的角度,研究外包策略和绿色包装对供应链定价决策和模式选择的影响,但未考虑包装的不同生产模式对社会、环境的影响。在之后的研究中可以进行多角度的扩展,例如考虑包装生产模式带来的社会福利、环境效益等。

参考文献:

- [1] MONTEIRO J, SILVA F J G, RAMOS S F, et al. Eco-Design and Sustainability in Packaging: A Survey[J]. *Procedia Manufacturing*, 2019, 38: 1741-1749.
- [2] OKE A, OSOBAJO O, OBI L, et al. Rethinking and Optimising Post-Consumer Packaging Waste: A Sentiment Analysis of Consumers' Perceptions towards the Introduction of a Deposit Refund Scheme in Scotland[J]. *Waste Management*, 2020, 118: 463-470.
- [3] SARAH O, MARA S, ANDREA M, et al. Food Packaging and Sustainability-Consumer Perception vs. Correlated Scientific Facts: A Review[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2021, 298: 1-14.
- [4] 刘亦晴. 绿色环保包装对绿色消费行为的影响研究[J]. *生态经济*, 2018, 34(3): 122-125
LIU Yi-qing. Research on the Impact of Green Packaging on Green Consumption Behavior[J]. *Ecological Economy*, 2018, 34(3): 122-125
- [5] 田立平, 李璐璐, 李东宁, 等. 专利保护下快递包装回收再制造模式分析[J]. *数学的实践与认识*, 2020, 50(3): 121-130.
TIAN Li-ping, LI Lu-lu, LI Dong-ning, et al. Analysis of Recycling and Remanufacturing Mode of Express Packaging under Patent Protection[J]. *Journal of Mathematics in Practice and Theory*, 2020, 50(3): 121-130.
- [6] 李崇峰. 绿色实践对物流企业经营绩效的影响分析——基于供应链视角[J]. *商业经济研究*, 2021(10): 103-106.
LI Chong-feng. Analysis on the Impact of Green Practice on the Operating Performance of Logistics Enterprises—Based on the Perspective of Supply Chain[J]. *Commercial Times*, 2021(10): 103-106.
- [7] 安佩鑫, 孟凯宁, 廖莹. 设计伦理视域下的共享快递包装设计[J]. *包装工程*, 2022, 43(8): 239-246.
AN Pei-xin, MENG Kai-ning, LIAO Ying. Shared Express Package Design from the Perspective of Design Ethics[J]. *Packaging Engineering*, 2022, 43(8): 239-246.
- [8] 袁晓宝, 刘雅婷, 陈妮, 等. 绿色包装材料研究进展[J]. *包装工程*, 2022, 43(7): 87-94.
YUAN Xiao-bao, LIU Ya-ting, CHEN Ni, et al. Research Progress on Green Packaging Materials[J]. *Packaging Engineering*, 2022, 43(7): 87-94.
- [9] WANG Y, NIU B, GUO P. On the Advantage of Quantity Leadership When Outsourcing Production to a Competitive Contract Manufacturer[J]. *Production and Operations Management*, 2013, 22(1): 104-119.
- [10] LENG J, JIANG P, ZHENG M. Outsourcer-Supplier Coordination for Parts Machining Outsourcing under Social Manufacturing[J]. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 2017, 231(6): 1078-1090.
- [11] ZHANG Y, HE Z, HE S, et al. Manufacturer Warranty Service Outsourcing Strategies in a Dual-Channel Supply Chain[J]. *International Transactions in Operational Research*, 2020, 27(6): 2899-2926.
- [12] 杨爱峰, 王佳琦, 胡小建. 碳税机制下的第三方再制造问题研究[J]. *软科学*, 2017, 31(12): 134-139.
YANG Ai-feng, WANG Jia-qi, HU Xiao-jian. Study on the Third-Party Remanufacturing Problem under Carbon Tax Mechanism[J]. *Soft Science*, 2017, 31(12): 134-139.
- [13] 王绪金, 马骋. 多层供应链外包模式的选择及其协调[J]. *中国管理科学*, 2019, 27(8): 151-161.
WANG Xu-jin, MA Cheng. Selection and Coordination of Outsourcing Mode in Multi-Tier Supply Chain[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2019, 27(8): 151-161.
- [14] 郑小雪, 刘志. 第三方再制造外包模式选择与协调研究[J]. *控制与决策*, 2020, 35(9): 2261-2268.
ZHENG Xiao-xue, LIU Zhi. Selection and Coordination of Third-Party Remanufacturing Outsourcing Modes[J]. *Control and Decision*, 2020, 35(9): 2261-2268.
- [15] 梁喜, 魏承莉. 第三方再制造商回收规模效应对闭环供应链利润的影响[J]. *数学的实践与认识*, 2020, 50(17): 285-296.
LIANG Xi, WEI Cheng-li. The Impact of Third Party Remanufacturer Recycling Scale Effect on the Profit of Closed-Loop Supply Chain[J]. *Mathematics in Practice and Theory*, 2020, 50(17): 285-296.

责任编辑: 曾钰婵