

考虑政府补贴的供应链低碳减排策略研究

赵路

(青岛科技大学经济与管理学院, 山东 青岛 266061)

摘要: 以一个投资低碳减排技术的制造商和零售商组成的二级供应链为研究对象,探究了不同补贴策略对供应链决策的影响。通过数值仿真发现,政府补贴低碳产品消费者策略下的低碳减排量、制造商和零售商利润均高于其他补贴策略,但该补贴策略较适合低碳减排产品投入市场初期时采用,因为有利于低碳减排产品的市场开拓。而从长期来看,政府补贴低碳减排技术策略下的评价指标体系绩效价格比最大,因而能更有力地推动企业投资低碳减排技术。

关键词: 低碳减排; 政府补贴; 供应链; Stackelberg 博弈

中图分类号: F252.24 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2024)08-0097-05

随着经济的快速发展,环境问题也日益凸显,低碳经济也开始越来越受政府和企业的重视。而企业对低碳减排技术的投资,会在一定程度上挤占其制造运营所需要的大量流动资金,这在很大程度上削弱了制造型企业对低碳减排技术的投资积极性,对节能减排工作的促进作用极为不利。因此,制定了许多政策来补偿制造型企业在进行低碳减排技术投资方面的成本,如税费优惠和财政补助等,其中,财政补助被认为是最有效率的一项优惠政策^[1]。

相关文献主要研究了政府补贴对供应链低碳减排的影响以及低碳供应链的运营决策和定价策略问题。关于政府补贴对供应链低碳减排的影响,Sheu 和 Chen^[2]研究了不同政府干预模式对绿色供应链的产品价格、绿色度以及利润等的影响;温兴琦等^[3]将消费者的绿色偏好考虑在内,比较政府投入成本补贴、生产成本补贴和绿色度补贴下的效果。曹裕等^[4]比较了无补贴策略、制造商补贴策略与消费者补贴策略对绿色供应链决策的不同影响,得出政府补贴有利于绿色供应链的发展。

还有部分学者从政府补贴对供应链成员以及社会福利等所带来的影响方面进行研究,韩同银等^[5]研究零售商公平关切下政府有无补贴情形时双渠道绿色供应链各主体利润及其最优决策等。也有政府补贴的研究围绕不同的补贴主体展开,狄卫民等^[6]比较了政府无补贴、补贴经销商、再制造商和制造商分别对再制造供应链成员运营决策的影响,

发现政府补贴能够提升供应链的再制造水平。

综上所述,目前文献多以低碳产品或低碳减排技术为补贴对象,鲜有学者考虑政府对低碳产品的消费者补贴,更少有研究将几种补贴策略进行综合分析。本文在现有研究的基础上,分别构建无政府补贴、政府补贴低碳减排技术、单位生产成本和低碳产品消费者四种博弈模型,通过对比四种模型下的低碳减排量、供应链成员利润以及评价指标体系绩效价格比,对不同政府补贴策略的影响进行探讨,为政府对低碳减排补贴的决策提供针对性建议。

1 问题描述与假设

以一个投资低碳减排技术的制造商和一个零售商组成的二级供应链为研究对象,其中投资低碳减排技术的制造商占据主导地位,零售商处于随从地位。首先,制造商对产品低碳减排量和批发价格进行决策,并将产品批发给零售商,然后零售商再决策向消费者销售的低碳减排产品价格。为减少碳排放,并促使供应链企业低碳转型,政府愿意为制造商的低碳减排技术给予补贴,还可以选择对制造商的单位生产成本或低碳产品消费者进行补贴,制造商和零售商在不同策略下均以自身利益最大化为目标做出相应决策。据以,提出以下假设。

H1: 制造商和零售商关于市场信息完全对称并且市场能够完全出清; H2: 低碳减排产品的市场需求函数为 $d_i = a - bp + \mu e$ ^[7]; H3: 制造商对低碳减排技术的一次性投入成本为 $C = \frac{ke^2}{2}$ ^[8-9]。

收稿日期: 2024-01-16

作者简介: 赵路(1998—),男,山东菏泽人,硕士研究生,研究方向为物流与供应链管理。

表1 符号及其含义

符号	含义
i	$i=1$:无政府补贴; $i=2$:政府补贴低碳减排技术; $i=3$:政府补贴单位生产成本; $i=4$:政府补贴低碳产品消费者
a	低碳减排产品潜在市场规模
c	低碳减排产品的单位生产成本
b	需求的价格弹性系数
μ	消费者对低碳减排产品的偏好系数, $0 < \mu < 1$
k	制造商低碳减排技术投资成本系数, $0 < k < 1$
θ	政府补贴比例, $0 < \theta < 1$
d_i	低碳减排产品的市场需求
π_{m_i}	制造商利润
π_{r_i}	零售商利润
R_i	评价指标体系绩效价格比
e_i	制造商低碳减排量
w_i	低碳减排产品的批发价格
p_i	低碳减排产品零售价格

2 模型构建与求解

2.1 无政府补贴

在无政府补贴的情形下,首先,投资低碳减排技术的制造商决策低碳产品的批发价格和低碳减排量;然后,零售商决策低碳产品零售价格,并将该模型作为基准比较模型。此时,制造商和零售商利润函数的表达式分别如下:

$$\pi_{m1} = (w - c)(a - bp + \mu e) - \frac{ke^2}{2} \quad (1)$$

$$\pi_{r1} = (p - w)(a - bp + \mu e) \quad (2)$$

根据逆向归纳法, $\frac{\partial^2 \pi_{r1}}{\partial^2 p_1} = -2b < 0$, 令 $\frac{\partial \pi_{r1}}{\partial p_1} = 0$,

求得 $p_1 = \frac{a + bw_1 + \mu e_1}{2b}$, 将其代入式(1), 可以

求得 π_{m1} 关于 w_1 和 e_1 的海塞矩阵: $H_1 =$

$$\begin{bmatrix} -b & \frac{\mu}{2} \\ \frac{\mu}{2} & -k \end{bmatrix}, \text{由一阶主子式 } -b < 0, \text{二阶主子式}$$

$4bk - \mu^2 > 0$, 得海塞矩阵负定, 存在最优的低碳减排量和批发价格使得制造商获得最大收益。令

$\frac{\partial \pi_{m1}}{\partial w_1} = 0$ 和 $\frac{\partial \pi_{m1}}{\partial e_1} = 0$, 进而求得制造商低碳减排量、

制造商和零售商的利润分别为

$$e_1^* = \frac{(a - bc)\mu}{4bk - \mu^2} \quad (3)$$

$$\pi_{m1}^* = \frac{(a - bc)^2 k}{8bk - 2\mu^2} \quad (4)$$

$$\pi_{r1}^* = \frac{b(a - bc)^2 k^2}{(-4bk + \mu^2)^2} \quad (5)$$

推论 1: 当政府不补贴时, 有 $\frac{\partial e_1^*}{\partial k} < 0, \frac{\partial \pi_{m1}^*}{\partial k} < 0$,

$$\frac{\partial \pi_{r1}^*}{\partial k} < 0; \frac{\partial e_1^*}{\partial \mu} > 0, \frac{\partial \pi_{m1}^*}{\partial \mu} > 0, \frac{\partial \pi_{r1}^*}{\partial \mu} > 0。$$

由推论 1 可知, 消费者低碳减排产品偏好程度对制造商低碳减排量具有正向影响; 而制造商低碳减排技术的投资成本系数对其影响则为负向。这表明消费者对低碳减排成本的接受程度越高, 制造商越有动力进行低碳减排技术投资。但制造商低碳减排技术的投资成本系数越高, 对低碳减排技术的应用程度则越低。为保住原有市场规模, 制造商和零售商均选择降价销售, 进而导致自身利润下降。

2.2 政府补贴低碳减排技术

在政府补贴低碳减排技术的情形下, 决策顺序与无政府补贴时一致, 此时, 零售商和制造商利润函数的表达式分别如下:

$$\pi_{m2} = (w - c)(a - bp + \mu e) - \frac{(1 - \theta)ke^2}{2} \quad (6)$$

$$\pi_{r2} = (p - w)(a - bp + \mu e) \quad (7)$$

同样根据逆向归纳法, $\frac{\partial^2 \pi_{r2}}{\partial^2 p_2} = -2b < 0$, 令

$\frac{\partial \pi_{r2}}{\partial p_2} = 0$, 求得 $p_2 = \frac{a + bw_2 + \mu e_2}{2b}$, 将其代入

式(6), 可以求得 π_{m2} 关于 w_2 和 e_2 的海塞矩阵:

$$H_2 = \begin{bmatrix} -b & \frac{\mu}{2} \\ \frac{\mu}{2} & -k(1 - \theta) \end{bmatrix}, \text{由一阶主子式 } -b < 0,$$

二阶主子式 $4bk(1 - \theta) - \mu^2 > 0$, 得海塞矩阵负定, 存在最优的低碳减排量和批发价格使得制造商获得最大收益。令 $\frac{\partial \pi_{m2}}{\partial w_2} = 0$ 和 $\frac{\partial \pi_{m2}}{\partial e_2} = 0$, 进而求得制

造商低碳减排量、制造商和零售商的利润分别为

$$e_2^* = \frac{-a\mu + bc\mu}{4bk(-1 + \theta) + \mu^2} \quad (8)$$

$$\pi_{m2}^* = \frac{(a - bc)^2 k(-1 + \theta)}{2[4bk(-1 + \theta) + \mu^2]} \quad (9)$$

$$\pi_{r2}^* = \frac{b(a - bc)^2 k^2 (-1 + \theta)^2}{[4bk(-1 + \theta) + \mu^2]^2} \quad (10)$$

推论 2: 当政府采用补贴低碳减排技术策略时,

有 $\frac{\partial e_2^*}{\partial \theta} > 0, \frac{\partial \pi_{m2}^*}{\partial \theta} > 0, \frac{\partial \pi_{r2}^*}{\partial \theta} > 0$ 。

由推论 2 可知, 政府低碳减排技术补贴比例对制造商低碳减排量、制造商和零售商利润均具有正向影响。并且随着政府对低碳减排技术补贴比例的增加, 制造商对低碳减排技术的投入力度会逐渐增大, 这也进一步说明了政府进行补贴对制造商投入低碳减排技术有促进作用, 同时也会增加制造商和零售商的获利能力。

2.3 政府补贴单位生产成本

在政府补贴单位生产成本的情形下,决策顺序仍与无政府补贴时一致,此时,零售商和制造商利润函数的表达式分别如下:

$$\pi_{m3} = [\omega - (1-\theta)c](a - bp + \mu e) - \frac{ke^2}{2} \quad (11)$$

$$\pi_{r3} = (p - \omega)(a - bp + \mu e) \quad (12)$$

同样根据逆向归纳法, $\frac{\partial^2 \pi_{r3}}{\partial^2 p_3} = -2b < 0$, 令

$$\frac{\partial \pi_{r3}}{\partial p_3} = 0, \text{ 求得 } p_3 = \frac{a + b\omega_3 + \mu e_3}{2b}, \text{ 将其代入}$$

式(11),可以求得 π_{m3} 关于 ω_3 和 e_3 的海塞矩阵:

$$\mathbf{H}_3 = \begin{bmatrix} -b & \frac{\mu}{2} \\ \frac{\mu}{2} & -k \end{bmatrix}, \text{ 由一阶主子式 } -b < 0, \text{ 二阶主}$$

子式 $4bk - \mu^2 > 0$, 得海塞矩阵负定,存在最优的低碳减排量和批发价格使得制造商获得最大收益。

令 $\frac{\partial \pi_{m3}}{\partial \omega_3} = 0$ 和 $\frac{\partial \pi_{m3}}{\partial e_3} = 0$, 进而求得制造商低碳减排量、制造商和零售商的利润分别为

$$e_3^* = \frac{[a + bc(-1 + \theta)]\mu}{4bk - \mu^2} \quad (13)$$

$$\pi_{m3}^* = \frac{k[a + bc(-1 + \theta)]^2}{8bk - 2\mu^2} \quad (14)$$

$$\pi_{r3}^* = \frac{bk^2[a + bc(-1 + \theta)]^2}{(-4bk + \mu^2)^2} \quad (15)$$

推论 3: 当采用政府补贴单位生产成本策略时,

$$\text{有 } \frac{\partial e_3^*}{\partial \theta} > 0, \frac{\partial \pi_{m3}^*}{\partial \theta} > 0, \frac{\partial \pi_{r3}^*}{\partial \theta} > 0.$$

由推论 3 可知,政府给予制造商单位生产成本补贴对制造商低碳减排量、制造商和零售商的利润均具有正向影响。这也表明,政府对制造商单位生产成本进行补贴不仅有利于供应链主体,而且还能让消费者以较低的价格购买到低碳水平更高的产品,即供应链主体和消费者存在共赢的可能。

同时,这也是对推论 2 的进一步验证。

2.4 政府补贴消费者

在政府补贴消费者的情形下,消费者购买单位低碳减排产品仅需要支付 $(1-\theta)p_4$ 的价格,此时的市场需求 $d_4 = a - (1-\theta)bp_4 + \mu e_4$ 。而决策顺序仍与无政府补贴时一致,此时,制造商和零售商利润函数的表达式分别如下:

$$\pi_{m4} = (\omega - c)[a - (1-\theta)bp + \mu e] - \frac{ke^2}{2} \quad (16)$$

$$\pi_{r4} = (p - \omega)[a - (1-\theta)bp + \mu e] \quad (17)$$

再次根据逆向归纳法, $\frac{\partial^2 \pi_{r4}}{\partial^2 p_4} = -2b(1-\theta) < 0$,

$$\text{令 } \frac{\partial \pi_{r4}}{\partial p_4} = 0, \text{ 求得 } p_4 = \frac{a + b(1-\theta)\omega_4 + \mu e_4}{2b(1-\theta)}, \text{ 将其}$$

代入式(6),可以求得 π_{m4} 关于 ω_4 和 e_4 的海塞矩阵:

$$\mathbf{H}_4 = \begin{bmatrix} -b(1-\theta) & \frac{\mu}{2} \\ \frac{\mu}{2} & -k \end{bmatrix}, \text{ 由一阶主子式 } -b < 0,$$

二阶主子式 $4bk(1-\theta) - \mu^2 > 0$, 得海塞矩阵负定,存在最优的低碳减排量和批发价格使得制造商获得最大收益。

令 $\frac{\partial \pi_{m4}}{\partial \omega_4} = 0$ 和 $\frac{\partial \pi_{m4}}{\partial e_4} = 0$, 进而求得制造商低碳减排量、制造商和零售商的利润分别为

$$e_4^* = \frac{[a + bc(1-\theta)]\mu}{4bk(-1+\theta) + \mu^2} \quad (18)$$

$$\pi_{m4}^* = \frac{k[a + bc(-1+\theta)]^2}{2[4bk(1-\theta) + \mu^2]} \quad (19)$$

$$\pi_{r4}^* = \frac{bk^2[a + bc(-1+\theta)]^2(1-\theta)}{[4bk(-1+\theta) + \mu^2]^2} \quad (20)$$

推论 4: 当政府采用补贴消费者策略时,有

$$\begin{cases} \frac{\partial e_4^*}{\partial \theta} > 0, & 4ak - c\mu^2 > 0 \\ \frac{\partial e_4^*}{\partial \theta} = 0, & 4ak - c\mu^2 = 0; \quad \frac{\partial \pi_{m4}^*}{\partial \theta} > 0, \frac{\partial \pi_{r4}^*}{\partial \theta} > 0. \\ \frac{\partial e_4^*}{\partial \theta} < 0, & 4ak - c\mu^2 < 0 \end{cases}$$

由推论 4 可知,只有在 $4ak - c\mu^2 > 0$ 时,政府补贴消费者才会正向影响制造商低碳减排量。所以要使制造商更多的对低碳减排技术进行投资,就需要积极拓宽低碳减排产品的市场潜在规模,而政府补贴消费者对低碳减排产品的市场需求规模拓宽有一定的推动作用。因此,这也说明政府补贴消费者能够从需求端入手,有效拉动消费者对低碳减排产品的需求,进而提高制造商投资低碳减排技术的积极性。

2.5 评价指标体系绩效价格比分析

为评价不同政府补贴情形下,政府补贴对消费者的影响,Dai 等^[10]引入评价指标体系绩效价格比 $R = \frac{e}{p}$, 即产品低碳减排量与零售价格的比率。对于消费者而言,产品的低碳水平越高,零售价格越低,则产品的性价比就会越高,消费者也就更倾向于购买。通过计算,四种不同模型的绩效价格比分别为

$$R_1 = \frac{(a - bc)\mu}{3ak + bck - c\mu^2} \quad (21)$$

$$R_2 = \frac{(-a + bc)\mu}{3ak(-1+\theta) + c[bk(-1+\theta) + \mu^2]} \quad (22)$$

$$R_3 = \frac{[a + bc(-1 + \theta)]\mu}{3ak - c(-1 + \theta)(bk - \mu^2)} \quad (23)$$

$$R_4 = \frac{[a + bc(1 - \theta)]\mu}{-3ak + c[bk(-1 + \theta) + \mu^2]} \quad (24)$$

推论 5: 政府补贴对各模型绩效价格比的影响: 有

$$\frac{\partial R_2}{\partial \theta} > 0, \frac{\partial R_3}{\partial \theta} > 0, \begin{cases} \frac{\partial R_1}{\partial \theta} > 0, & 4ak - c\mu^2 > 0 \\ \frac{\partial R_1}{\partial \theta} = 0, & 4ak - c\mu^2 = 0 \\ \frac{\partial R_1}{\partial \theta} < 0, & 4ak - c\mu^2 < 0 \end{cases} \quad (25)$$

由推论 5 可知, 政府对制造商进行低碳减排技术补贴和单位生产成本补贴均有利于消费者, 政府的补贴力度越大, 低碳减排产品绩效价格比越高, 产品的性价比也就越高, 消费者受益也就越多。在政府补贴消费者策略下, 只有当 $4ak - c\mu^2 > 0$ 时, 政府补贴消费者才会正向影响评价指标体系绩效价格比, 所以要使供应链中的制造企业和消费者实现双赢, 就需要积极拓宽低碳减排产品的市场需求规模, 而政府补贴消费者也对低碳减排产品的市场需求规模拓宽有一定的推动作用, 这也说明政府补贴消费者有让企业和消费者实现双赢的可能, 这与推论 5 中的结论一致。

3 数值分析

利用数值分析软件 Mathematica 分析四种模型中政府补贴比例对制造商的低碳减排量、评价指标体系绩效价格比、制造商利润和零售商利润的影响; 根据模型所具有的现实意义, 并参考相关研究中的赋值思路对参数进行设定^[11-12], 假设 $a = 100$, $b = 1$, $k = 0.2$, $c = 20$, $\mu = 0.6$, 如图 1~图 4 所示。

由图 1 可知, 在政府采用补贴消费者策略时制造商的低碳减排率最高, 其次是补贴低碳减排技术, 再次是补贴单位产品生产成本, 而且这三种补贴策略均大于无政府补贴策略下的制造商的低碳减排率。并且随着政府补贴力度增强制造商的低碳减排率也相应提高。由此可见, 政府补贴可以有效鼓励制造商实施低碳减排。

由图 2 可知, 政府补贴低碳减排技术时评价指标体系绩效价格比最大, 其次是政府补贴消费者, 再次是政府补贴单位生产成本, 并且三种补贴策略均大于无政府补贴下的评价指标体系绩效价格比, 而随着政府补贴力度的逐渐加大, 评价指标体系绩效价格比也在不断增大。这也意味着, 政府补贴不仅能够让制造企业更好地进行低碳减排, 而且还能让消费者受益。

由图 3 可知, 当政府补贴比例小于某一阈值时, 在政府补贴消费者的情形下制造商的利润最高, 但当政府补贴比例超过这一阈值时, 政府进行低碳减排技术补贴使得制造商的利润超越政府补贴消费者情形下的制造商利润, 但两种补贴策略下的制造

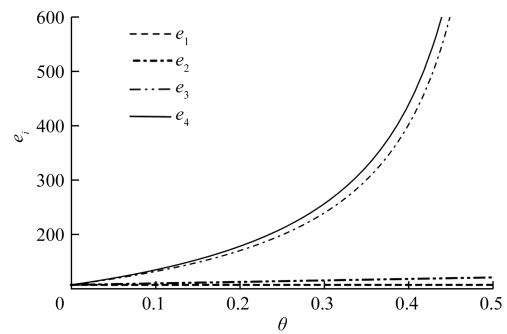


图 1 政府补贴比例对制造商低碳减排量的影响

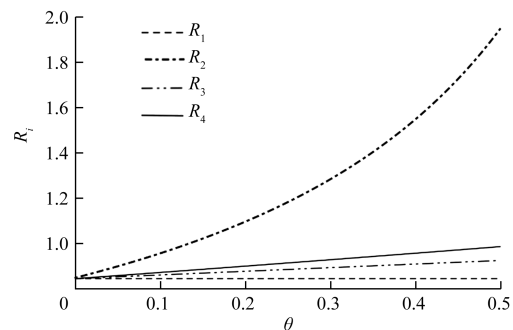


图 2 政府补贴比例对评价指标体系绩效价格比的影响

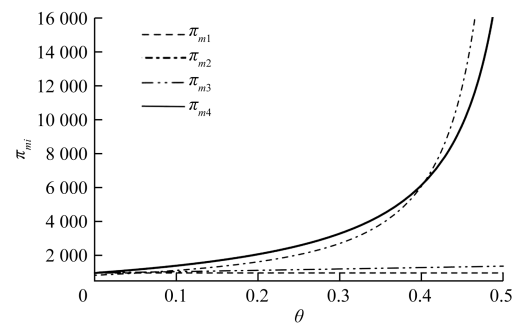


图 3 政府补贴比例对制造商利润的影响

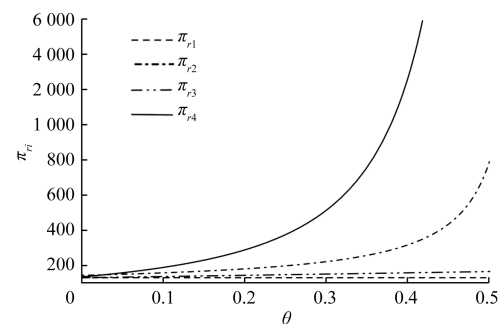


图 4 政府补贴比例对零售商利润的影响

商利润均高于政府补贴单位产品策略下的制造商利润,而且三种补贴策略下的制造商利润均高于无政府补贴情形时。由此也可以看出,政府补贴不仅有利于制造商进行低碳减排,还能使制造商更好的获利,同时也证明了政府补贴对推动制造企业进行低碳减排生产的可行性。

由图 4 可知,三种补贴策略下的零售商利润均高于无政府补贴时,并且随着政府补贴力度加大零售商的利润也随之增加,这也进一步说明政府补贴总能直接或间接使供应链成员企业获利增加。

因此,通过对比四种情形下的低碳减排量、评价指标体系绩效价格比、制造商和零售商利润图像,可以看出政府以任一方式进行补贴对企业和消费者来说受益均高于无政府补贴时,所以政府补贴对促进制造型企业进行低碳减排技术投入和低碳产品的市场开拓均有利。

4 结论与建议

从制造商低碳减排量、制造商和零售商利润来看,政府对消费者进行补贴是最好的一种方式,但此种补贴方式较适合低碳减排产品在投入市场初期时采用,这样不仅能够有效促进制造企业进行低碳减排,而且还有利于低碳减排产品的市场开拓。但从长期来看,政府补贴低碳减排技术是较好的一种方式,因为此种补贴方式下评价指标体系绩效价格比最大,这不仅有利于制造企业进行低碳减排,还有利于消费者受益,是一种良性的补贴方式。

针对研究结论提出以下建议:在低碳减排产品投入市场初期可以对消费者进行补贴,以此来拓宽低碳减排产品的市场规模。但在低碳减排产品具有一定市场规模后便转向对制造商低碳减排技术进行补贴,这样不仅能够有效促进制造商进行低碳减排,而且还能让消费者长久受益。因此,政府应

对低碳减排技术和低碳产品消费者进行合理补贴。

参考文献

- [1] LUO M. To fully launch new march on constructing beautiful china by pursuing green, low-carbon and circular development [J]. Environmental Protection, 2021, 49 (6): 9-11.
- [2] SHEU J B, CHEN Y J. Impact of government financial intervention on competition among green supply chains [J]. International Journal of Production Economics, 2012, 138(1): 201-213.
- [3] 温兴琦,程海芳,蔡建湖,等. 绿色供应链中政府补贴策略及效果分析[J]. 管理学报, 2018, 15(4): 625-632.
- [4] 曹裕,寻静雅,李青松. 基于不同政府补贴策略的供应链绿色努力决策比较研究[J]. 运筹与管理, 2020, 29(5): 108-118.
- [5] 韩同银,刘丽,金浩. 考虑政府补贴和公平关切的双渠道绿色供应链决策研究[J]. 中国管理科学, 2022, 30(4): 194-204.
- [6] 狄卫民,徐文君,夏西强. 基于经销商再制造的闭环供应链政府补贴策略及效果分析[J]. 运筹与管理, 2021, 30 (2): 102-109.
- [7] 朱桂菊,游达明. 基于微分对策的绿色供应链生态研发策略与协调机制[J]. 运筹与管理, 2017, 26(6): 62-69.
- [8] 张夏然,王自然,蓝传晓等. 供应商资金约束下考虑政府补贴的供应链绿色生产决策研究[J]. 管理学报, 2022, 19(2): 280-288.
- [9] 张令荣,王健,彭博. 内外部碳配额交易路径下供应链减排决策研究[J]. 中国管理科学, 2020, 28(11): 145-154.
- [10] DAI R, ZHANG J X, TANG W S. Cartelization or cost-sharing?: comparison of cooperation modes in a green supply chain[J]. Journal of Cleaner Production, 2017, 156: 159-173.
- [11] 夏西强,徐春秋. 政府碳税与补贴政策对低碳供应链影响的对比研究[J]. 运筹与管理, 2020, 29 (11): 112-120.
- [12] 尚文芳,滕亮亮. 考虑政府补贴和销售努力的零售商主导型绿色供应链博弈策略[J]. 系统工程, 2020, 38 (2): 40-50.

Research on Supply Chain Low Carbon Emission Reduction Strategies Considering Government Subsidies

ZHAO Lu

(College of Economics and Management, Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266061, Shandong, China)

Abstract: Focusing on a secondary supply chain consisting of a manufacturer and retailer investing in low-carbon emission reduction technology, the impact of different subsidy strategies on supply chain decision-making was explored. Through numerical simulation, it is found that the low-carbon emission reduction, manufacturer and retailer profits under the government subsidy low-carbon product consumer strategy are higher than other subsidy strategies. However, this subsidy strategy is more suitable for the early stage of low-carbon emission reduction products entering the market, as it is conducive to the market development of low-carbon emission reduction products. In the long run, the performance price ratio of the evaluation index system under the government subsidy strategy for low-carbon emission reduction technology is the highest, which can more effectively promote enterprises to invest in low-carbon emission reduction technology.

Keywords: low carbon emissions reduction; government subsidies; supply chain; stackelberg game