

基于政府补贴分析的绿色供应链管理博弈模型^①

朱庆华, 窦一杰

(大连理工大学工商管理学院, 大连 116024)

摘要:建立了绿色供应链管理中考虑产品绿色度和政府补贴分析的三阶段博弈模型: 第一阶段为政府选择单位产品补贴系数, 第二阶段为采取不同绿色供应链管理策略的最终产品生产商确定各自的产品绿色度水平, 第三阶段为采取不同绿色供应链管理策略的最终产品生产商确定各自产品的价格. 通过数值仿真讨论了各种参数变化带来的影响, 所得结论对于绿色供应链管理中政府与供应链上最终产品生产商的决策具有参考价值和指导意义.

关键词:绿色供应链管理; 政府补贴; 绿色度; 博弈模型

中图分类号: F272 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-9807(2011)06-0086-10

0 引言

国际上日益严格的环保法规和来自公众的环保压力迫使供应链最终产品生产商(以下简称生产商)开始关注其上游供应商的环境绩效^[1-3], 实施绿色供应链管理^[4-7]. 比如, 欧盟在2006年实施的《电子电气设备中限制使用某些有害物质指令》(简称 RoHS 指令)和2007年实施的《化学品注册、评估、许可和限制》(简称 REACH 法规)使生产商高度重视供应链上游企业的有毒有害物质及高风险化学品的管理. 2009年12月, 全球第二大棕榈油消费企业联合利华迫于公众和 NGO 组织的压力, 终止了与为种植棕榈树而非法破坏印尼热带雨林的全球第二大棕榈油生产商金光集团的合作, 并承诺到2015年全面使用通过认证的可持续棕榈油^[8]. 惠普、松下等国际领先企业已广泛开展了绿色供应链管理实践, 并因此提升了自身的环保形象, 也带来了竞争优势^[2]. 但对我国多数生产商来说, 要实施有效的绿色供应链管理存在诸多制约^[9-10]: 一方面缺少资金和技术能

力; 另一方面由于中国消费者的环境偏好较低, 开展绿色供应链管理生产环保产品也难以赢得市场竞争优势. 所以, 中国政府要推动企业开展绿色供应链管理等领先的环保实践, 需要制定财政补贴等一系列“萝卜”政策(指补贴、减免税收、政府优先采购等激励措施)^[11-13]. 实际上, 我国政府已有行动. 比如, 2009年由国家发改委、工信部、财政部联合推动实施“节能产品惠民工程”, 即对能效等级1级或2级以上的十大类高效节能产品进行财政补贴, 以部分抵消节能产品生产商在技术研发及环保零部件采购等方面的投入, 国内许多生产商因此积极开展生态设计、绿色采购和与供应商的环保合作, 努力提高产品的节能水平. 在此背景下, 政府如何制定财政补贴政策以及供应链上最终产品生产商如何应对政府补贴政策做出相应经营决策成为政府与生产商面临的现实问题. 探究政府与生产商在绿色供应链管理中的博弈关系将有助于解决这一问题.

国内外已有一些文献探讨绿色供应链管理中政府和生产商间的博弈问题. 文献[3]分析了政

① 收稿日期: 2010-10-06; 修订日期: 2011-01-09.

基金项目: 国家杰出青年科学基金资助项目(71025002); 国家自然科学基金资助项目(71033004; 70772085); 教育部新世纪优秀人才支持计划资助项目(NCET-08-0082).

作者简介: 朱庆华(1970—), 女, 江苏太仓人, 教授, 博士生导师. Email: zhuqh@dlut.edu.cn

府及核心企业在不同策略下各自的成本和收益,考虑了政府的补贴与惩罚措施。文献[11]建立了完全信息下的古诺博弈模型,分析了政府(尤其是欧盟《关于报废电子电器设备指令》(WEEE指令))在逆向供应链管理中的作用。文献[14]针对食品安全供应链管理中的信息不对称问题,研究了政府主管部门与食品企业之间在面对食品安全的保护与监督方面存在的博弈关系。文献[15]设计了政府与企业与信息不对称情况下的激励和监督模型,分析了政府和企业逆向供应链管理的背景下如何订立优化合约,以及政府如何选择可行有效的监督力度。文献[16]建立了生产商和再制造商的二阶段博弈模型,通过对比政府给予再制造者补贴、给予生产者补贴、同时给予再制造者和生产者补贴这三种情形,分析了政府补贴在再制造活动中的重要作用。

以往的文献大多只将政府补贴作为博弈模型中一个参数,未对其进行详细研究。此外,政府与企业在环境实践方面的博弈,还受到消费者环境偏好、市场竞争环境等因素的影响。现有研究在利用博弈论建模过程中缺乏对政府补贴、产品绿色度、产品竞争和消费者的环境偏好等因素的综合分析。

鉴于此,本文系统考虑了政府补贴、产品竞争、产品绿色度、企业间不同的绿色供应链管理战略、消费者环境偏好等因素,建立了政府与两个竞争性生产商之间的三阶段博弈模型。探究了各种参数变化带来的影响,为政府及供应链生产商的绿色供应链管理决策提供支持。

1 模型建立

1.1 问题描述

市场上所销售产品需要满足法规规定的最低绿色度^②水平要求(绿色度水平用 g 表示,这里假设 g 越高表明绿色度水平越好)。比如,企业耗能

产品需要满足中国能效标识的等级5方可投入市场。采取不同绿色供应链管理战略的企业其产品的绿色度存在较大差异。市场上主要有两种绿色供应链管理战略:主动绿色供应链管理战略和被动绿色供应链管理战略。采取被动绿色供应链管理战略的生产商(设为生产商1)往往只注重实施企业内部环境管理措施。采取主动绿色供应链管理战略的生产商(设为生产商2)除了开展内部的环境管理措施外,还积极与上游供应商开展环保合作,包括采购绿色的环保零部件,对上游供应商在生产过程和原料采购等方面的要求和监管等。所以,采取主动绿色供应链管理战略的生产商2的产品绿色度水平比采取被动绿色供应链管理战略的生产商1的产品绿色度水平更高。我们称生产商2的产品为高绿色度产品,生产商1的产品为低绿色度产品。用 g 表示法规规定的绿色度水平最低要求。 g_1 和 g_2 分别表示生产商1和生产商2的产品绿色度水平。此外,由上面分析知:采取主动绿色供应链管理战略的生产商2其边际生产成本(用 c_2 表示)较采取被动绿色供应链管理战略的生产商1的边际生产成本(用 c_1 表示)更高。生产商1和生产商2的产品价格分别是 p_1 和 p_2 。

市场上消费者的环境偏好存在差异。有的消费者是激进环保主义者,对高绿色度产品宁愿支付很高的价格;有的消费者则对产品绿色度的高低不关心。用 θ 表示消费者对产品的环境满意度,这也表达了消费者的不同类型。消费者每增加一个单位的满意度愿意支付一定的费用 k (k 为消费者环境偏好支付系数)。

政府为鼓励生产商开发更加绿色的产品,推动节能减排工作,往往对绿色度超过某个水平的产品直接补贴(如2009年开始推行的“节能产品惠民工程”对能效等级1级或2级以上的节能产品进行补贴)。政府确定的绿色度水平补贴下限为 g 。现实中政府对产品补贴的多少往往与绿色度水平有关。比如,2009年2月份出台的《节能与

② 已有许多文献(比如文献[17-18])探讨“绿色度”的概念及其评价指标体系。现有文献中“绿色度”一词多是描述产品的有毒有害物质含量、产品零部件的可回收性、使用能耗水平和使用材料量等水平,是从整个生命周期角度衡量产品绿色环保的程度。实际操作中,在目前没有国家权威的绿色度评价标准的情况下,可以用能效标识、碳标签等简单的等级指标来表示产品绿色度水平。为方便起见,假定绿色度为连续的,比如不同的连续的能效比数值或碳标签数值对应一个绿色度水平。

新能源汽车示范推广财政补助资金管理暂行办法》规定了不同节能率的汽车享受不同的补助标准:节油率在5% - 40%的混合动力汽车每辆补助0.4万元 - 4.5万元;而节油率100%的汽车最高补助可达每辆25万元. 设 r_i 为政府确定的单位产品补贴系数($i = 1, 2$). 设 $r_i = t(g_i - g)$ (t 为单位产品补贴系数调整因子), $0 \leq r_i, t \leq 1$.

$$r_i = \begin{cases} t(g_i - g) & g_i > g \\ 0 & g_i \leq g \end{cases} \quad i = 1, 2$$

本文所研究的问题即是,在绿色供应链管理中,考虑政府补贴、消费者环境偏好、产品竞争、产品绿色度等因素的情况下,建立政府与采取不同绿色供应链管理战略的最终产品生产商间的三阶段博弈模型:

第一阶段:政府确定单位产品补贴系数.

第二阶段:生产商1和生产商2选择自己产品的绿色度水平.

第三阶段:生产商1和生产商2选择各自产品的价格.

1.2 模型假设

在不改变问题本质的条件下,对一些复杂的条件加以简化,对模型作如下假设:

1) 政府的收益为社会总福利,设为消费者剩余、企业收益之和,再减去政府对企业的补贴.

2) 市场为双寡头市场,双寡头(生产商1和生产商2)采取不同的绿色供应链管理战略. 生产商1采取被动绿色供应链管理战略,生产商2采取主动绿色供应链管理战略.

3) 生产商1和生产商2均达到或超过政府规定的产品绿色度水平的最低要求. 并且,生产商2的产品绿色度水平不低于政府确定的绿色度水平补贴下限;生产商1的产品绿色度则低于政府的绿色度水平补贴下限.

4) 生产商1和生产商2采取绿色供应链管理措施促进产品绿色度水平的提高,需要付出相应的研发成本 μ_1 和 μ_2 , 如开展生态设计,选择环境友好的原材料,与供应商环保合作等. 假设研发成本与绿色度提升水平成二次方关系^③, 即 $\mu_i =$

$\beta_i(g_i - g_0)^2 (i = 1, 2), \beta_i (i = 1, 2)$, 为研发成本系数.

5) 生产商1和2采取绿色供应链管理措施促进产品绿色度水平提高的同时也随之带来边际生产成本一定程度的下降(设 ε 为成本降低率). 比如能源和材料的节约提升了产品的绿色度水平,也直接导致生产成本的降低. 生产商1和生产商2所降低的成本分别是 $\varepsilon_1(g_1 - g_0)$ 和 $\varepsilon_2(g_2 - g_0)$.

6) 消费者对产品的环境满意度 θ 服从均匀分布. 即 $\theta \sim [\underline{\theta}, \bar{\theta}]$. $\underline{\theta}$ 表示消费者购买高绿色度产品和低绿色度产品没有差异. $\bar{\theta}$ 表示消费者具有极高的环境满意度,极端倾向于购买高绿色度产品. 则当 $p_1 + k(\theta - \underline{\theta}) + p_2 t(g_2 - g) = p_2$ 时, θ 类型的消费者才愿意购买高绿色度产品. 即存在一个 θ^* , 该类型的消费者对于购买高绿色度产品和低绿色度产品没有差异. 则

$$\theta^* = \frac{p_2 - p_1 - p_2 t(g_2 - g)}{k} + \underline{\theta} \quad (1)$$

7) 假设市场容量为1,高绿色度产品市场需求量为 q_2 , 低绿色度产品市场需求量为 $q_1 = 1 - q_2$.

1.3 模型参数

对本模型涉及的参数作如下汇总:

p_1, p_2 : 生产商1和生产商2的产品价格.

θ : 消费者对产品的环境满意度,代表消费者的类型,服从均匀分布: $\theta \sim [\underline{\theta}, \bar{\theta}]$. $\underline{\theta}$ 表示该消费者购买高绿色度产品和低绿色度产品没有差异. $\bar{\theta}$ 表示具有极高的环境满意度,极端倾向于购买高绿色度产品. 消费者每增加一个单位的满意度,愿意支付一定的费用.

k : 消费者环境偏好支付系数,表示消费者对产品每增加一个单位的环境满意度,愿意支付的费用.

g : 产品的绿色度水平. g_0 表示法规规定的最低绿色度要求, g_1 和 g_2 分别表示生产商1和2的产品绿色度水平. $g_1, g_2 \geq g_0$.

g : 政府确定的绿色度水平补贴下限. 假设 $g_2 \geq g \geq g_1$.

③ 这里借鉴了技术管理中经典的AJ模型^[19]对研发成本函数的标准假设:研发成果与研发投入成二次方关系.

t : 单位产品的补贴系数调整因子. r 为政府确定的单位产品补贴系数, $r = t(g - \underline{g})$. 则政府对生产商 2 每一单位产品的补贴数目为 $p_2 r_2 = p_2 t(g_2 - \underline{g})$.

q_1, q_2 : 生产商 1 和生产商 2 的市场需求量, 有 $q_1 + q_2 = 1$.

c_1, c_2 : 生产商 1 和生产商 2 的边际生产成本, $c_2 \geq c_1$.

$\varepsilon_1, \varepsilon_2$: 生产商 1 和生产商 2 提升产品绿色度同时带来的成本降低率.

U_1, U_2 : 消费者购买生产商 1 产品和生产商 2 产品分别带来的效用.

π_1, π_2, π_c : 分别为生产商 1, 生产商 2 和政府的收益函数.

1.4 模型建立

购买生产商 1 产品的消费者的效用为

$$U_1 = \int_{\underline{\theta}}^{\theta^*} \frac{k(\theta - \underline{\theta}) - p_1}{\theta - \underline{\theta}} d\theta = \frac{p_2^2(1 - t(g_2 - \underline{g}))^2}{2k(\theta - \underline{\theta})} + \frac{3p_1^2 - 4p_1 p_2(1 - t)(g_2 - \underline{g})}{2k(\theta - \underline{\theta})} \quad (2)$$

购买生产商 2 产品的消费者的效用为

$$U_2 = \int_{\theta^*}^{\bar{\theta}} \frac{k(\theta - \underline{\theta}) - p_2 + p_2 t(g_2 - \underline{g})}{\theta - \underline{\theta}} d\theta = \frac{k(\bar{\theta} - \underline{\theta})}{2} - p_2(1 - t(g_2 - \underline{g})) + \frac{p_2^2(1 - t(g_2 - \underline{g}))^2 - p_1^2}{2k(\theta - \underline{\theta})} \quad (3)$$

高绿色度产品市场需求量为 q_2 , 低绿色度产品市场需求量为 $q_1 = 1 - q_2$, 有

$$q_2 = 1 \times \int_{\theta^*}^{\bar{\theta}} \frac{1}{\theta - \underline{\theta}} d\theta = 1 - \frac{\theta^* - \underline{\theta}}{\theta - \underline{\theta}} = 1 - \frac{p_2 - p_1 - p_2 t(g_2 - \underline{g})}{k(\theta - \underline{\theta})} = 1 + \frac{p_1}{k(\theta - \underline{\theta})} - \frac{1 - t(g_2 - \underline{g})}{k(\theta - \underline{\theta})} p_2 = a - b p_2 \quad (4)$$

则

$$a = 1 + \frac{p_1}{k(\theta - \underline{\theta})} \quad (5)$$

$$b = \frac{1 - t(g_2 - \underline{g})}{k(\theta - \underline{\theta})} \quad (6)$$

生产商 1 和生产商 2 的收益函数分别为

$$\pi_1 = (p_1 - c_1 + \varepsilon_1(g_1 - g_0))(1 - q_2) - \beta_1(g_1 - g_0)^2 \quad (7)$$

$$\pi_2 = [p_2 - c_2 + \varepsilon_2(g_2 - g_0) + p_2 t(g_2 - \underline{g})] \times q_2 - \beta_2(g_2 - g_0)^2 \quad (8)$$

政府的收益函数为社会总福利, 即消费者总效用、两生产商的收益之和, 减去政府对产品的补贴.

$$\pi_c = U_1 + U_2 + \pi_1 + \pi_2 - p_2 t(g_2 - \underline{g}) q_2 \quad (9)$$

2 模型求解

通过逆向归纳法对模型进行求解.

2.1 第三阶段: 两生产商选择各自的最优价格

对 π_1 和 π_2 分别求 p_1 和 p_2 的一阶导数, 得

$$p_1^* = \frac{(1 - t(g_2 - \underline{g}))}{2} p_2^* + \left(\frac{c_1 - \varepsilon_1(g_1 - g_0)}{2} \right) \quad (10)$$

$$p_1^* = \frac{k(\bar{\theta} - \underline{\theta}) + 2(c_1 - \varepsilon_1(g_1 - g_0))}{3} + \frac{(1 - t(g_2 - \underline{g}))(c_2 - \varepsilon_2(g_2 - g_0))}{3(1 + t(g_2 - \underline{g}))} \quad (11)$$

$$p_2^* = \frac{2k(\bar{\theta} - \underline{\theta}) + c_1 - \varepsilon_1(g_1 - g_0)}{3(1 - t(g_2 - \underline{g}))} + \frac{2c_2 - 2\varepsilon_2(g_2 - g_0)}{3(1 + t(g_2 - \underline{g}))} \quad (12)$$

观察式(10) 易得结论 1.

结论 1 低绿色度产品的生产商 1 其采取环保措施带来的成本节约率 ε_1 越高, 且其边际生产成本 c_1 越低, 则低绿色度产品和高绿色度产品的价格差异越大.

现实生活中, 采取被动绿色供应链管理战略的企业往往注重那些既经济又环保的措施, 比如合理减少包装物等, 这些措施常会导致 ε_1 越来越大, 且 c_1 越来越小, 则低绿色度产品和高绿色度产品价格差异越来越大, 其结果是两个生产商专注在各自的细分市场: 生产商 1 靠价廉取胜, 生产商 2 则靠较高的产品环保水平赢得客户.

观察式(11) 和(12) 易得结论 2.

结论 2 消费者的环境支付意愿 k 越高, 低绿色度产品和高绿色度产品的价格均增大.

消费者环境支付意愿提高,表明消费者环保意识的提高,在这种情况下,两个生产商均受益.

进一步分析式(11)和(12)可得结论3.

结论3 政府确定的最低绿色度数值(即市场准入值) g_0 越大,低绿色度产品和高绿色度产品的价格均增大.

证明 由式(11)和(12)可以得到

$$\frac{\partial p_1^*}{\partial g_0} = \frac{2\varepsilon_1}{3} + \frac{\varepsilon_2(1-t(g_2-g))}{3(1+t(g_2-g))} > 0 \quad (13)$$

$$\frac{\partial p_2^*}{\partial g_0} = \frac{\varepsilon_1}{3(1-t(g_2-g))} + \frac{2\varepsilon_2}{3(1+t(g_2-g))} > 0 \quad (14)$$

因此,随着 g_0 的增大, p_1^* 和 p_2^* 均增大.

证毕.

这表明,在其他条件(如全行业的平均技术水平等指标)不变情况下,政府若提高产品的市场准入值,结果只能带来市场上所有产品(包括高绿色度和低绿色度产品)的价格提高.所以,政府对市场准入值的设定应慎重.

将 p_1^* 和 p_2^* 代入式(4)得

$$q_1^* = \frac{k(\bar{\theta} - \underline{\theta}) - c_1 + \varepsilon_1(g_1 - g_0)}{3k(\bar{\theta} - \underline{\theta})} + \frac{(1-t(g_2-g))(c_2 - \varepsilon_2(g_2 - g_0))}{3k(\bar{\theta} - \underline{\theta})(1+t(g_2-g))} \quad (15)$$

$$q_2^* = \frac{2k(\bar{\theta} - \underline{\theta}) + c_1 - \varepsilon_1(g_1 - g_0)}{3k(\bar{\theta} - \underline{\theta})} - \frac{(1-t(g_2-g))(c_2 - \varepsilon_2(g_2 - g_0))}{3k(\bar{\theta} - \underline{\theta})(1+t(g_2-g))} \quad (16)$$

由式(15)、(16)得结论4.

结论4 政府设定的产品最低绿色度要求(即市场准入值) g_0 若发生变化,会引起两生产商市场份额的变化.并且,这种变化与成本节约率 $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ 的比值有关联.这种关联关系如下

当 $\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} > \frac{1-t(g_2-g)}{1+t(g_2-g)}$ 时, g_0 越大,低绿色度

产品生产商市场份额 q_1^* 越小,高绿色度产品生产商市场份额 q_2^* 越大; g_0 越小,低绿色度产品生产商市场份额 q_1^* 越大,高绿色度产品生产商市场份

额 q_2^* 越小.

当 $\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} < \frac{1-t(g_2-g)}{1+t(g_2-g)}$ 时, g_0 越大,低绿色度

产品生产商市场份额 q_1^* 越大,高绿色度产品生产商市场份额 q_2^* 越小; g_0 越小,低绿色度产品生产商市场份额 q_1^* 越小,高绿色度产品生产商市场份额 q_2^* 越大.

当 $\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = \frac{1-t(g_2-g)}{1+t(g_2-g)}$ 时, g_0 无论怎样变动,

两生产商市场份额 q_1^* 和 q_2^* 均不变.

证明 令 $\frac{\partial q_1^*}{\partial g_0} < 0$ 和 $\frac{\partial q_2^*}{\partial g_0} > 0$,均有

$$\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} > \frac{1-t(g_2-g)}{1+t(g_2-g)};$$

令 $\frac{\partial q_1^*}{\partial g_0} = 0$ 和 $\frac{\partial q_2^*}{\partial g_0} = 0$,均有

$$\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = \frac{1-t(g_2-g)}{1+t(g_2-g)};$$

令 $\frac{\partial q_1^*}{\partial g_0} > 0$ 和 $\frac{\partial q_2^*}{\partial g_0} < 0$,均有 $\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} <$

$\frac{1-t(g_2-g)}{1+t(g_2-g)}$.易得结论4. 证毕.

以上是公式推导得出的理论结论.实际上,生产商1的成本节约率 ε_1 往往大于生产商2的成本节约率 ε_2 ,原因很简单:生产商1是被动绿色供应链管理战略采取者,特别注重那些带来直接经济效益的内部环保措施(如原材料和包装物的减量化措施),这样就有 $\varepsilon_1 \geq \varepsilon_2$.进而,有

$$\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} \geq 1 \geq \frac{1-t(g_2-g)}{1+t(g_2-g)}.$$

所以,根据结论4,政府提高市场准入值 g_0 ,往往会给高绿色度产品的市场份额带来提高,这对采取主动绿色供应链管理战略生产高绿色度产品的生产商2是有利的.

结合式(7)和式(8),得式(17)和(18),

$$\pi_1^* = (p_1^* - c_1 + \varepsilon_1(g_1 - g_0))(1 - q_2^*) - \beta_1(g_1 - g_0)^2 \quad (17)$$

$$\pi_2^* = [p_2^* - c_2 + \varepsilon_2(g_2 - g_0) + p_2^* t(g_2 - g)]q_2^* - \beta_2(g_2 - g_0)^2 \quad (18)$$

则

$$\pi_c^* = U_1 + U_2 + \pi_1^* + \pi_2^* - p_2^* t(g_2 - g)q_2^* \quad (19)$$

2.2 第二阶段：两生产商选择各自的最优绿色度水平

最大化 π_1^* 和 π_2^* ，分别对式(17)和(18)求 g_1 和 g_2 的一阶导数，得

$$g_1^* = g_0 + \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_1^2 - 9\beta_1 k(\theta - \theta)} \times [c_1 - k(\bar{\theta} - \theta) - \frac{(1-t)(g_2 - \underline{g})(c_2 - \varepsilon_2(g_2 - g_0))}{1+t(g_2 - \underline{g})}] \quad (20)$$

$$g_2^* \text{ 满足 } \frac{2t(2k(\bar{\theta} - \theta) + c_1 - \varepsilon_1(g_1 - g_0)) + \varepsilon_2}{3(1-t(g_2^* - \underline{g}))^2} \times (q_2^* - 2\beta_2(g_2^* - g_0)) = 0 \quad (21)$$

2.3 第一阶段：政府确定单位产品补贴系数

为计算方便，将补贴下限 \underline{g} 固定，只求补贴系数调整因子 t 的最优值 t^* 。然后再进一步确定补贴系数值 r_2^* 。

最大化 π_c^* ，对 π_c^* 求 t 的一阶导数，可得 t^* 满足

$$\begin{aligned} & \frac{2(g_2^* - \underline{g})(c_2 - \varepsilon_2(g_2^* - g_0))}{3(1+t^*(g_2^* - \underline{g}))^2} \times (2 - (1-t \times \\ & (g_2^* - \underline{g}))p_2^* + c_1 - \varepsilon_1(g_1^* - g_0)) + \\ & \frac{-2(g_2^* - \underline{g})(c_2 - \varepsilon_2(g_2^* - g_0))}{3(1+t^*(g_2^* - \underline{g}))^2} \times q_1^* + \\ & \frac{-2(g_2^* - \underline{g})(c_2 - \varepsilon_2(g_2^* - g_0))(p_1^* - c_1 + \varepsilon_1(g_1^* - g_0))}{3k(\bar{\theta} - \theta)(1+t^*(g_2^* - \underline{g}))^2} + \\ & \left(\frac{(g_2^* - \underline{g})(2k(\bar{\theta} - \theta) + c_1 - \varepsilon_1(g_1^* - g_0))}{3(1-t^*(g_2^* - \underline{g}))^2} + \right. \\ & \left. \frac{2(g_2^* - \underline{g})(c_2 - \varepsilon_2(g_2^* - g_0))}{3(1+t^*(g_2^* - \underline{g}))^2} \times q_2^* + \right. \\ & \left. \frac{2(g_2^* - \underline{g})(c_2 - \varepsilon_2(g_2^* - g_0))(p_2^* - c_2 + \varepsilon_2(g_2^* - g_0))}{3k(\bar{\theta} - \theta)(1+t^*(g_2^* - \underline{g}))^2} \right) \\ & = 0 \end{aligned} \quad (22)$$

3 算例分析

考虑到所列式子的复杂性，采用 Matlab 软件 (R2009b) 作为计算工具对各个公式求近似解。针对消费者环境偏好支付系数 k 、政府进行补贴的绿色度水平下限 \underline{g} 的变化及带来的影响进行分析，以期得到有益结论为政府相关部门及供应链最终产品生产商的决策提供参考。

3.1 消费者环境偏好支付系数 k 变化的影响分析

由表1知，随着消费者环境偏好支付系数 k 的增大，政府确定的单位产品补贴系数调整因子 t 、生产商1所生产的低绿色度产品的市场份额 q_1 、低绿色度产品和高绿色度产品的均衡价格比 p_1/p_2 、两生产商的均衡产量的比值 q_1/q_2 以及两生产商的均衡收益比 π_1/π_2 都有减小的趋势；两类产品的价格 p_1 和 p_2 、生产商2高绿色度产品的市场份额 q_2 、两生产商1和2的收益 π_1 与 π_2 及社会总福利 π_c 、生产商2产品的绿色度水平 g_2 、政府对生产商2高绿色度产品的补贴系数 r_2 都呈增大的趋势；生产商1低绿色度产品的绿色度水平 g_1 略有减小。

表1 对消费者环境偏好支付系数 k 的数值分析 ($c_1 = 2; c_2 = 3; \beta_1 = \beta_2 = 1; \bar{\theta} = 7; \underline{g} = 1; g_0 = 1; \underline{g} = 2; \varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0.5$)

Table 1 The variation of k and its effects

k	t	p_1	p_2	q_1	q_2	g_1	g_2
0.5	0.525 1	3.144 9	4.322 4	0.392 5	0.607 5	1.065 4	2
0.6	0.443 1	3.345 4	4.722 7	0.382 6	0.617 4	1.063 8	2
0.7	0.386	3.545 7	5.122 9	0.375 5	0.624 5	1.062 6	2.000 1
0.8	0.344 2	3.736 7	5.528 6	0.368 2	0.631 8	1.061 4	2.012 9
0.9	0.315 3	3.904	5.956 8	0.358 1	0.641 9	1.059 7	2.063 3
1	0.293 4	4.074 6	6.395	0.350 6	0.649 4	1.058 4	2.115 4
1.1	0.275 8	4.249 4	6.840 3	0.345 2	0.654 8	1.057 5	2.165 8
1.2	0.261 1	4.427 7	7.291	0.341 1	0.658 9	1.056 9	2.213 9
1.3	0.248 5	4.609	7.745 5	0.338 1	0.661 9	1.056 3	2.259 5
1.4	0.237 6	4.792 5	8.203 1	0.335 8	0.664 2	1.056	2.302 8
1.5	0.228	4.978	8.662 8	0.334	0.666	1.055 7	2.343 8
k	π_1	π_2	π_c	p_1/p_2	q_1/q_2	π_1/π_2	r_2
0.5	0.457 931	0.107 10	-1.795 19	0.727 58	0.646 091	4.275 412	0
0.6	0.522 885	0.372 29	-1.500 59	0.708 36	0.619 695	1.404 49	0
0.7	0.588 245	0.637 95	-1.204 5	0.692 12	0.601 281	0.922 078	3.86E-05
0.8	0.646 987	0.907 08	-0.914 75	0.675 88	0.582 779	0.713 257	0.004 44
0.9	0.688 948	1.184 94	-0.647 74	0.655 38	0.557 875	0.581 418	0.019 958
1	0.734 182	1.463 37	-0.383 81	0.637 15	0.539 883	0.501 704	0.033 858
1.1	0.783 111	1.742 03	-0.120 85	0.621 23	0.527 184	0.449 538	0.045 728
1.2	0.834 555	2.022 00	0.142 29	0.607 28	0.517 681	0.412 736	0.055 849
1.3	0.888 417	2.302 14	0.405 52	0.595 04	0.510 802	0.385 909	0.064 486
1.4	0.943 988	2.583 26	0.669 33	0.584 23	0.505 571	0.365 424	0.071 945
1.5	1.000 851	2.865 35	0.934 04	0.574 64	0.501 502	0.349 294	0.078 386

消费者环境偏好支付系数 k 越大,意味着消费者愿意为高绿色度产品支付更高的费用,也表明了消费者环保意识的提升.此时,市场上的企业都会受益(p_1 与 p_2 , π_1 与 π_2 都增大),但生产高绿色度产品的生产商 2(采取主动绿色供应链管理战略者)更受消费者青睐,也更加有利可图,市场份额和收益较生产商 1 增加更快(k 越大, q_1/q_2 和 π_1/π_2 均持续减少),社会总福利也随之增大(π_c 增大).生产商 2 也越发地进一步增大产品的绿色度水平(g_2 持续增加).此时,两类产品的价格差异有增大的趋势(p_1/p_2 变小),说明采取不同绿色供应链管理战略的企业各自专注于自己的细分市场,而非大打价格战.另外,随着 k 的增加,虽然补贴系数调整因子 t 越来越小,但是生产商 2 的产品绿色度水平 g_2 持续增加,而同时政府的补贴下限维持不变($g = 2$),在这种情况下,政府的单位产品补贴系数 r_2 将会增加(由 $k = 0.5$ 时的 0 达到 $k = 1.5$ 时的 7.8%).

综上,随着消费者环保意识不断提升,消费者环境支付意愿持续增加.

1) 政府确定的补贴系数调整因子逐步降低.

2) 两生产商的产品价格均提高,但高绿色度产品的价格提高更快.

3) 高绿色度产品生产商(主动绿色供应链管理战略采取者)市场份额得以增加.

4) 两生产商收益均增加,但高绿色度产品生产商(主动绿色供应链管理战略采取者)收益增加速度更快.

5) 社会总福利不断增大.

3.2 政府补贴下限 g 变化的影响分析

由表 2 可知,随着政府补贴下限 g 的增大,两类产品的价格 p_1 和 p_2 、两类产品的市场份额以及价格比、市场份额比均变化不大(两类产品的市场价格略有降低);单位产品补贴系数调整因子 t 不断增大,但单位产品补贴系数呈减小趋势(由 $g = 2$ 供应链管理战略的生产商 1 其收益影响不大(略有减小),但采取主动绿色供应链管理战略的生产商 2 的收益大大减少,甚至达到亏损的状态(当 $g = 3$ 时);同时,采取被动绿色供应链管理战略的生产商 1 其产品绿色度水平 g_1 略有下降.

由此有,随着政府确定的补贴下限的提高,

1) 政府的补贴系数调整因子逐渐提高.

2) 高绿色度产品的市场份额略有增加,但影响不大.

3) 采取被动绿色供应链管理战略企业的产品绿色度略有下降,但不明显;采取主动绿色供应链管理战略企业的产品绿色度提升相对较大.

4) 采取被动绿色供应链管理战略企业收益略有下降,但采取主动绿色供应链管理战略企业收益下降明显.

5) 采取主动绿色供应链管理战略企业的市场份额略有增加,但不明显.

表 2 产品绿色度水平补贴下限 g 的数值分析 ($k = 1.5$; $c_1 = 2; c_2 = 3; \beta_1 = \beta_2 = 1; \theta = 7; \underline{\theta} = 1; g_0 = 1; \varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 0.35$)

Table 2 The variation of g and its effects

g	t	p_1	p_2	q_1	q_2	g_1	g_2
2	0.232 2	5.009 2	8.905 7	0.335 9	0.664 1	1.039 2	2.422 3
2.1	0.245 2	5.006 5	8.873 4	0.335 6	0.664 4	1.039 2	2.489 2
2.2	0.258 7	5.003 7	8.839 9	0.335 3	0.664 7	1.039 1	2.558 1
2.3	0.272 7	5.000 8	8.805 4	0.334 9	0.665 1	1.039 1	2.629
2.4	0.287 4	4.997 7	8.769 8	0.334 6	0.665 4	1.039	2.701 8
2.5	0.302 6	4.994 6	8.733 3	0.334 3	0.665 7	1.039	2.776 4
2.6	0.318 4	4.991 4	8.695 9	0.333 9	0.666 1	1.039	2.852 6
2.7	0.334 8	4.988 1	8.657 6	0.333 5	0.666 5	1.038 9	2.930 4
2.8	0.351 8	4.984 7	8.618 5	0.333 1	0.666 9	1.038 9	3.009 6
2.9	0.369 3	4.981 2	8.578 5	0.332 7	0.667 3	1.038 8	3.090 2
3	0.387 4	4.977 6	8.537 9	0.332 3	0.667 7	1.038 8	3.172 1
g	π_1	π_2	π_c	p_1/p_2	q_1/q_2	π_1/π_2	r_2
2	1.013	2.809 5	0.726 61	0.562 4	0.505 7	0.360 8	0.098
2.1	1.012 0	2.593 4	0.529 7	0.564 2	0.505 11	0.390 2	0.095 4
2.2	1.010 2	2.360 9	0.317 3	0.566 0	0.504 4	0.427 8	0.092 6
2.3	1.008 0	2.112 17	0.089 11	0.567 9	0.503 5	0.477 2	0.089 7
2.4	1.006 0	1.845 5	-0.155 9	0.569 8	0.502 8	0.545 1	0.086 7
2.5	1.004 1	1.561 2	-0.418 2	0.571 9	0.502 1	0.643 1	0.083 6
2.6	1.001 8	1.259 6	-0.697 4	0.573 9	0.501 2	0.795 3	0.080 4
2.7	0.999 5	0.999 7	-0.994 4	0.576 1	0.500 3	1.063 6	0.077 1
2.8	0.997 2	0.601 3	-1.309 3	0.578 3	0.499 4	1.658 2	0.073 7
2.9	0.994 8	0.243 8	-1.642 8	0.580 6	0.498 5	4.079 5	0.070 2
3	0.992 4	-0.132 6	-1.994 9	0.583 0	0.497 6	-7.480 3	0.066 6

4 结束语

本文综合考虑了政府补贴、产品绿色度水平、产品竞争、消费者环境偏好等因素,建立了政府与采取不同绿色供应链管理战略的生产商间的三阶段博弈模型,并且针对模型进行了理论分析,又通过算例作进一步的详细分析,我们有如下建议:

针对政府:要努力培育提高消费者的环保意识,这可能在短期内“吃力不讨好”,但却是使各方共赢的长远之计。要对消费者环境偏好支付系数进行跟踪调研,与企业界、学术界合作通过调研访谈,分析消费者环境偏好支付系数值及其动态变化,为政府部门与供应链生产商提供相关信息参照。要科学制定补贴下限:在高绿色度产品生产企业的边际生产成本较高及消费者环保意识较低的情况下,政府应适当调低补贴下限,以保证采取主动绿色供应链管理战略的生产商有利可图和产生尽可能大的社会总福利;当消费者环保意识进一步提升,且因市场份额扩大带来规模经济效应促使高绿色度产品边际生产成本进一步降低时,政府可以考虑提高补贴下限。正如2010年5月出台的《关于调整高效节能空调推广财政补贴政策的通知》即规定2010年6月1日起2级能效空调将不再享受财政补贴,将节能空调补贴下限提高到了1级能效空调。要科学制定市场准入水平:政府应综合考虑行业环保技术成熟度、市场需求、企业的承受能力等多方面的因素确定市场准入水平。我国空调行业在2009年国家“节能产品惠民工程”的政策推动下逐步实现高效空调的规模化

生产,市场上4级5级空调也逐渐面临淘汰,在此情况下,国家于2010年3月才顺势发布新的《房间空气调节器能效限定值及能效等级》强制性国家标准,该标准提高了空调产品的能效准入门槛,原来的3级成为空调销售的入门级。

针对采取主动绿色供应链管理战略的生产商:随着消费者意识的不断提升,应逐步加大环保研发力度,并充分发挥营销的作用,突出强化自己的绿色环保形象,以与竞争对手形成差别化竞争优势;但在消费者意识较低时,不宜大量投资提高产品绿色度,而应积极与上下游企业开展合作以尽可能降低绿色研发成本和环保零部件的采购成本,从而减少绿色度提升所需的投入^[20-22]。国内海尔等生产商即将供应商能否加入自己的设计研发阶段作为筛选评价供应商的重要因素,海尔变频节能空调等产品的推出即是变频压缩机供应商加入海尔设计阶段共同研发带来的成果,这种与供应商紧密环保合作的做法大大降低了海尔的研发和采购成本。

针对采取被动绿色供应链管理战略的生产商:消费者环保意识不断提高的情况下,应该保持产品的绿色度,适当提高价格。在政府调高补贴下限时,应当保持产品的绿色度,适当调低价格。

需要说明的是,本模型假定博弈各方处在完全信息的条件下,不完全信息的情况将是以后模型改进的方向。另外,消费者每增加一个环境满意度愿意支付一定的费用 k ,假设 k 是固定的,实际上 k 可能是变动的;而消费者环境满意度我们假设为服从均匀分布,实际上也可能是其他分布类型。这些都是将来可能的研究方向。

参考文献:

- [1] Zhu Q H, Sarkis J, Geng Y. Green supply chain management in China: Pressures, practices and performance[J]. International Journal of Operations and Production Management, 2005, 25(5): 449-468.
- [2] Sarkis J. Greening the Supply Chain[M]. Berlin: Springer, 2006.
- [3] 朱庆华, 窦一杰. 绿色供应链中政府与核心企业进化博弈模型[J]. 系统工程理论与实践, 2007, 12(12): 85-89.
Zhu Qinghua, Dou Yijie. An evolutionary model between governments and core-enterprises in green supply chains[J]. Systems Engineering: Theory & Practice, 2007, 12(12): 85-89. (in Chinese)
- [4] Hall J. Environmental supply chain dynamics[J]. Journal of Cleaner Production, 2000, 8(6): 455-471.

- [5] Koplin J, Seuring S, Mesterharm M. Incorporating sustainability into supply management in the automotive industry: The case of the Volkswagen AG[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2007, 15(11-12): 1053-1062.
- [6] Vachon S, Klassen R D. Environmental management and manufacturing performance: The role of collaboration in the supply chain[J]. *International Journal of Production Economics*, 2008, 111(2): 299-315.
- [7] Bowen F E, Cousins P D, Lamming R C, et al. The role of supply management capabilities in green supply[J]. *Production and Operations Management*, 2001, 10(2): 174-189.
- [8] Zhu Q H, Dou Y J, Sarkis J. A portfolio-based analysis for green supplier management using the analytical network process [J]. *Supply Chain Management: An International Journal*, 2010, 15(4): 306-319.
- [9] Zhu Q H, Sarkis J. Relationships between operational practices and performance among early adopters of green supply chain management practices in Chinese manufacturing enterprises[J]. *Journal of Operations Management*, 2004, 22(3): 265-289.
- [10] Zhu Q H, Sarkis J. The moderating effects of institutional pressures on emergent green supply chain practices and performance[J]. *International Journal of Production Research*, 2007, 45(18-19): 4333-4355.
- [11] Hammond D, Beullens P. Closed-loop supply chain network equilibrium under legislation [J]. *European Journal of Operational Research*, 2007, 183(2): 895-908.
- [12] Albared L, Lozano J M, Tencati A, et al. The changing role of governments in corporate social responsibility: Drivers and responsibilities [J]. *Business Ethics: A European Review*, 2008, 17(4): 347-363.
- [13] Steurer R. The role of government in corporate social responsibility: Characterizing public policies on CSR in Europe [J]. *Policy Sciences*, 2010, 43(1): 49-72.
- [14] 李艳波, 刘松先. 信息不对称下政府主管部门与食品企业的博弈分析[J]. *中国管理科学*, 2006, 14: 197-200.
Li Yanbo, Liu Songxian. A game analysis between director departments of government and food corporations in information asymmetry[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2006, 14: 197-200. (in Chinese)
- [15] 张保银, 汪波, 吴煜. 基于循环经济模式的政府激励与监督问题[J]. *中国管理科学*, 2006, 14(1): 136-141.
Zhang Baoyin, Wang Bo, Wu Yu. Incentive and monitor problems of government based on cycle economy pattern[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2006, 14(1): 136-141. (in Chinese)
- [16] Mitra S, Webster C. Competition in remanufacturing and the effect of government subsidies[J]. *International Journal of Production Economics*, 2008, 111: 287-298.
- [17] 刘红旗, 陈世兴. 产品绿色度的综合评价模型和方法体系[J], *中国机械工程*, 2000, 11(9): 1013-1016.
Liu Hongqi, Chen Shixing. Integrated assessment model and method of product green degree[J]. *China Mechanical Engineering*, 2000, 11(9): 1013-1016. (in Chinese)
- [18] 王桂萍, 贾亚洲, 周广文. 基于模糊可拓层次分析法的数控机床绿色度评价方法及应用[J]. *机械工程学报*, 2010, (3): 141-147.
Wang Guiping, Jia Yazhou, Zhou Guangwen. Evaluation method and application of CNC Machine Tool's green degree based on fuzzy-EAHP [J]. *Journal of Mechanical Engineering*, 2010, (3): 141-147. (in Chinese)
- [19] D'Aspremont C, Jacquemin A. Cooperative and noncooperative R&D in duopoly with spillovers[J]. *American Economic Review*, 1988, 78(5): 1133-1137.
- [20] 叶飞, 徐学军. 供应链伙伴特性、伙伴关系与信息共享的关系研究[J]. *管理科学学报*, 2009, 12(4): 115-128.
Ye Fei, Xu Xuejun. Empirical study on relationship among supply chain partner character, partnership and information sharing level [J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2009, 12(4): 115-128. (in Chinese)
- [21] 葛泽慧, 胡奇英. 上下游企业间的研发协作与产销竞争共存研究[J]. *管理科学学报*, 2010, 13(4): 12-22+56.
Ge Zehui, Hu Qiyang. Collaborative R&D and competitive production in a supply chain[J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2010, 13(4): 12-22+56. (in Chinese)
- [22] 鲁其辉, 朱道立. 供应链中产品与信息质量改进的战略联盟策略研究[J]. *管理科学学报*, 2010, 13(10): 79-88.
Lu Qihui, Zhu Daoli. Research on strategic alliances strategy of quality and information improvement in supply chains[J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2010, 13(10): 79-88. (in Chinese)

A game model for green supply chain management based on government subsidies

ZHU Qing-hua, DOU Yi-jie

School of Business Management, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China

Abstract: This paper establishes a three-stage game model by considering products' green degree and government subsidies. The first stage is that the government determines the subsidies coefficient; the second stage is that manufacturers with various green strategies in supply chains determine their own products' green degree; The third stage is that manufacturers in supply chains determine their own products' prices. Further, a numerical case is presented to test the effects of the variation of different factors. The results provide insights into the decision-making of governments and companies.

Key words: green supply chain management; government subsidies; green degree; game model

(上接第34页)

下面,要证明当且仅当该特定的越库转运问题存在着一个目标函数值不大于 $2wD$ 的可行解的时候,对应的 3-Partition 问题存在可行解.

首先,假设该特定的越库转运问题存在着一个目标函数值不大于 $2wD$ 的可行解,那么可以证明这个可行解是最优解.因为只有当所有顾客的需求都得到满足,并且无任何货物在转运过程中在越库中停留的条件下,目标函数值才等于 $2wD$. 否则,由于每条路径上的单位运输成本都为 1,而越库内单位时间单位库存成本以及单位惩罚成本都为 3,因此只要有货物无法运达顾客手中或者停留在库存中,目标函数值都将大于 $2wD$. 也就是说 $2wD$ 是该特定问题的目标值下界,因此这个可行解就是最优解. 经过以上分析,可知最优解满足以下两个条件:(1) 无惩罚费用,顾客需求全部被满足;(2) 无任何库存费用,即所有的货物

都是通过越库直接转运给顾客,没有停留. 此外,由于该越库问题有单次运输约束,因此可以得到以下结论,对于供应商 j ($j = 1, 2, \dots, w$) 运到越库的货物量 D ,都是直接转运给了顾客子集 T_j ,即 $\sum_{i \in T_j} d_i = D$. 因为 $D/4 < d_i < D/2$ ($i \in T$), 可得 $|T_j| = 3$. 因此, T_1, T_2, \dots, T_w 就是 3-Partition 问题的一个可行解.

其次,假设 T_1, T_2, \dots, T_w 是 3-Partition 问题的一个可行解,那么将供应商 j 的总货量 D 来满足顾客 i ($i \in T_j$) 的需求 ($j = 1, 2, \dots, w$), 供应商通过路径 $(j, j+1)$ 将货物运往越库,而越库通过路径 $(j+1, j+2)$ 及时将货物运往顾客 i ($i \in T_j$). 很容易证明该方案是该越库转运问题的一个可行解,并且目标函数值等于 $2wD$. 证毕.