

# 融入消费者环保意识的产品组合决策

韩庆兰(博士生导师), 刘亚梅

(中南大学商学院, 长沙 410083)

**【摘要】**本文针对企业来自资源环境及法规等方面的约束以及消费者环保意识日益增强对产品需求的影响,重新建立了产品组合决策模型。该模型引入了反映消费者环保意识的函数,建立了产品需求、绿色度和价格之间的函数关系,并考虑了资源约束和环境法规约束。最后通过一个算例验证了产品组合决策模型的有效性,并分析了消费者环保意识变化对产品组合决策的影响。

**【关键词】**消费者; 环保意识; 产品组合; 绿色度

## 一、引言

随着消费者环境意识的增强及环境法规的不断健全,对企业而言,环境问题已成为与经济并重的头等大事。因此,基于环境方面的考虑,许多经典的生产管理决策问题必须重新审视,特别是对环境有着重大影响的产品组合决策问题。

产品组合决策是指在一定的约束条件下,如何安排产品组合以实现企业收益最大的问题。对该问题的已有研究,可大致分为两类:基于约束理论(TOC)和作业成本法(ABC)。

Kee 和 Schmidt(2000)提出了基于产品组合理论和作业成本法的产品组合决策模型。Jerry Kreuze 和 Gale Newell(1994)提出了整合生命周期成本的作业成本法,较为详细地诠释了收益率分析的内涵,探讨了如何运用ABC法更加精确地将环境成本分摊到产品从而做出更准确的产品组合决策。这些研究主要侧重于环境成本的分配方法,而没有考虑资源和环境的约束问题。近年来,已有学者关注环境约束的产品组合决策问题,如 Letmathe 和 Balakrishnan(2005)提出了同时考虑资源约束和环境约束下的产品决策模型,该模型考虑最基本的排放阈值、排放税和排放交易三种环境法规,对这三种法规所形成的环境成本进行归集时,依据排放物而不是按产品,且没有讨论消费者环保意识对产品组合的影响。

综上所述,考虑环境因素的产品组合决策研究,主要集中于讨论环境成本的分配和相关环境法规对决策的影响,但很少有文献涉及消费者环保意识的影响。事实上,随着环境成本的出现,越来越多的消费者关注产品的环境性能。从20世纪90年代开始了一个绿色时代,据联合国统计署的数字,1999年全球绿色消费总量达3 000亿美元,有80%的荷兰人、90%德国人、89%的美国人在购物时

首先考虑消费品的环境标准,85%的瑞典人愿为环境清洁支付较高的价格,有80%的加拿大人愿多付出10%的成本。Yan Guodong(2010)等根据现有的数据预测中国公众环保意识的总体水平在未来将呈现加速增长的趋势,在2008~2017年进入加速增长期间,并在2019年达到一个更稳定的高水平。

因此,探讨消费者环保意识对产品组合决策既有理论价值又有应用意义。本文将消费者环保意识引入产品组合决策模型,同时考虑资源约束和环境法规约束,并通过算例中消费者对产品绿色度的敏感性数值的改变,探讨消费者环保意识对产品组合决策的影响,使得管理者能做出更有效的决策。

## 二、产品绿色度的界定及量化

产品的绿色度是衡量产品满足绿色特性的程度,具体指的是产品在其整个生命周期中对资源和能源的输入量、对环境的输出量及这些输入输出对环境友好程度的综合评价指标。在一些外文文献中,产品的绿色度往往是由产品组成部件的绿色性和工艺选择对排放影响两个属性所决定的。这种绿色度的测度只考虑制造过程这一阶段。实质上,产品的“绿色度”是从产品生命周期的各个阶段体现出来的,只有对整个产品生命周期的每一个阶段带来的全部环境影响进行综合分析,才能得出一个完整的绿色度。因此,本文从全生命周期的视角选用产品的环境生态指数来量化产品绿色度。

根据ISO14042生命周期影响评估原理,可以定量分析产品相关的环境特性。通过建立产品生命周期环境影响定量分析模型,对产品清单分析得出的环境相关数据,按照一定的环境机制,进行分类、组分和权重分析,得出产品系统的环境生态指数(Eco-Index, EI)。产品环境生态指数的计算过程如图1。

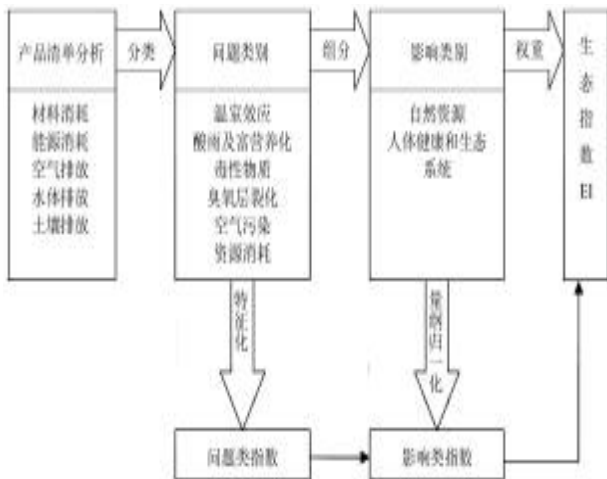


图1 产品生态指数计算过程

根据数理统计中多元统计分析原理,设V为清单分析结果的数据集合,  $V = \{v_1, \dots, v_n\}$ ; U表示环境问题类集合; IE表示环境影响类集合。

首先,按照一定的环境作用机制,将A中的数据分类到每个u类中,见式(1)和式(2)。

$$U = \{u_1, u_2, \dots, u_b\} \quad (1)$$

$$u_i = \{v_1^i, v_2^i, \dots, v_L^i\}, \quad v_l^i \in V \quad (2)$$

借助特征化因子对  $u_i$  类中每个数据进行特征化处理,其对应的特征化因子为  $\alpha_1^i$ ,将特征化后的数值相加得到该类问题的特征值指数  $u_{ic}^i$ 。

$$u_{ic} = \sum \alpha_1^i v_1^i \quad (3)$$

根据环境影响机制将具有共同环境影响特征的  $u_{ic}$  按组划分到环境影响类  $IE_i$  中。

$$IE = \{IE_1, IE_2, \dots, IE_K\} \quad (4)$$

$$IE_i = \{u_{1c}^i, u_{2c}^i, \dots, u_{pc}^i\}, u_{lc}^i \in u_{ic} \quad (5)$$

借助量纲归一化因子对  $IE_i$  类中每个数据作量纲归一化处理,其对应的量纲归一化因子为  $\beta_p^i$ ,将归一化后的数值相加得到该类的特征值指数  $IE_{ic}$ 。

$$IE_{ic} = \sum \beta_p^i u_{pc}^i \quad (6)$$

给  $IE_{ic}$  的权重赋值,计算环境生态指数(EI)。

$$EI = \sum w_i IE_{ic} \quad (7)$$

式中,  $\sum w_i = 1$  且  $0 \leq w_i \leq 1$ 。

某种产品的环境生态指数是一个大于1的数值。同时,产品的环境生态指数越高则产品的绿色度越低,当环境生态指数越接近于1时,说明产品的绿色度趋于最高

限,反之,则越差。因此,我们将量化产品的绿色度  $g_i$  表示为生态指数的倒数,见式(8)。

$$g_i = \frac{1}{EI_i} \quad (8)$$

消费者环保意识就是指消费者对环境问题的主观认识以及行为倾向,我们认为消费者对产品的绿色期望  $G_{iu}$ , 对产品绿色度的敏感性  $\rho_i$  都可反映消费者环保意识。因此,使用消费者的绿色期望  $G_{iu}$  及需求对产品绿色度的敏感性  $\rho_i$  来表示。

消费者环保意识越强对产品的绿色期望越高,同时对产品绿色度敏感性越强,迫使企业必须提高产品的绿色度。文中消费者环保意识由  $\rho_i(g_i - G_{iu})$  反映在需求和价格函数上,具体关系见式(16)和式(17)。

### 三、模型

#### (一)基本假设

本文是在充分考虑消费者环保意识的条件下所构建的产品组合决策模型。模型假定企业生产计划期(如12个月)内生产I种不同类型的产品满足市场需求,且每种产品在生产过程中的资源消耗和污染物的排放量均是由生产工艺流程所决定的。本文将从资源、环境和市场需求三种情形下考虑产品组合决策问题。

1. 资源假设。假设生产单位产品  $i(i=1, \dots, I)$  所耗用资源  $j(j=1, \dots, J)$  的数量为  $A_{ji}$ , 产品  $i$  在生产计划期内的产量为  $x_i$ , 则生产所有产品所消耗资源  $j$  的数量为  $r_j = \sum_{i=1, \dots, I} A_{ji} x_i$ , 所有产品消耗生产性资源的总成本为  $\sum_{j=1, \dots, J} C_j r_j$ 。

此处的资源J是指各种生产资源的集合,即  $J = (\text{原材料、人工、资金、机器工时})$ 。因企业所获取的资源是有限的,故产品组合受资源约束,见式(9)。

$$r_j = \sum_{i=1, \dots, I} A_{ji} x_i \leq R_j, j=1, \dots, J \quad (9)$$

#### 2. 需求、价格假设。

(1) 价格是绿色度的函数。较多学者在研究产品的价格与其绿色度之间的关系强调产品的价格随其绿色度的增加而增加。事实上,许多公司使用产品的绿色性作为营销的论点来证明一些环保产品的高价格。欧盟的“官方调查机构”“欧洲晴雨表”表明,与2005年31%的欧洲客户相比,2008年有75%愿意购买环保产品,即使它们的价格高一点。因此,我们可以假定产品的价格随产品绿色度的增加而增加,见公式(10)。

$$P_i = P_{i0} \times [1 + \mu_i (g_i - G_{iu})] \quad (10)$$

公式(10)中  $P_{i0}$  为产品  $i$  的基本价格,  $P_i$  为产品  $i$  的实际价格,  $g_i$  是产品  $i$  的绿色度,  $G_{iu}$  是消费者对产品  $i$  的绿色期望,  $\mu_i$  为价格对产品绿色度的敏感因子,见式(11)。

$$\mu_i = \frac{\partial P_i}{\partial g_i} \quad (11)$$

(2)需求是关于绿色度和价格的函数。一些学者指出产品的环境属性已成为当今消费市场影响客户购买决定的最重要因素之一,市场的结构正在从根本上改变。因此,我们认为产品需求受市场结构的影响,对于普通消费者而言,需求主要是受价格的影响。而对于绿色消费者而言,需求主要是受产品的绿色度影响。综合以上两个方面的考虑,可得出产品的需求公式(12)。

$$D_i = D_{i0} \times [1 + \rho_i (g_i - G_{iu})] - \sigma_i P_i \quad (12)$$

式(12)中 $D_{i0}$ 为产品 $i$ 的潜在需求量; $D_i$ 为产品 $i$ 的实际需求量; $\rho_i$ 是需求对产品绿色度的敏感因子,见式(13); $\sigma_i$ 是需求对价格的敏感因子,见式(14)。

$$\rho_i = \frac{\partial D_i}{\partial g_i} \quad (13)$$

$$\sigma_i = \frac{\partial D_i}{\partial P_i} \quad (14)$$

由式(11)、(13)和(14)可得式(15):

$$\mu_i = \frac{\partial P_i}{\partial g_i} = \frac{\partial P_i}{\partial D_i} \times \frac{\partial D_i}{\partial P_i} = \frac{\rho_i}{\sigma_i} \quad (15)$$

将式(15)代入式(10)得到价格函数(16):

$$P_i = P_{i0} \times [1 + \frac{\rho_i}{\sigma_i} (g_i - G_{iu})] \quad (16)$$

将式(16)代入式(12)得到需求函数(17):

$$D_i = (D_{i0} - \sigma_i P_{i0}) + (D_{i0} - P_{i0}) \rho_i (g_i - G_{iu}) \quad (17)$$

从前文中我们已知消费者的环保意识通过 $\rho_i (g_i - G_{iu})$ 反映在需求和价格函数上。从式(16)和式(17)中,可以看出消费者环保意识会影响到其对不同绿色水平产品的意愿支付价格和需求。当其他条件不变时,企业产品绿色度越高,消费者会增加对该产品意愿支付价格和需求;反之,则会降低对该产品的意愿支付价格和需求。

(3)需求约束。企业生产什么产品及生产多少不仅受到各种资源的约束,同时也受到外部需求的约束。通常情况下,企业生产各产品的最大销售量会受到市场最大需求量的限制,即产品销售量不得超过市场需求量,其约束条件式(18)为:

$$x_i \leq D_i, i=1, \dots, I \quad (18)$$

**3. 环境的法规假设。**本文所考虑的环境相关的法规主要是排放税金、排放交易和阈值三种。

(1)排放税金。排放税金是指根据污染物的排放量征收的税金。假设企业生产单位产品 $i(i=1, \dots, I)$ 所产生排放物 $m(m=1, \dots, M)$ 的数量为 $\epsilon_{mi}$ ,那么生产全部产品所产生排放物 $m$ 的总排放量 $e_m$ ,见式(19):

$$e_m = \sum_{(i=1, \dots, I)} \epsilon_{mi} x_i, m=1, \dots, M \quad (19)$$

单位排放物 $m(m=1, \dots, N)$ 的罚金为 $Q_m$ ,那么企业生产全部产品的排放税金为 $\sum_{(m=1, \dots, N)} Q_m e_m$ 。

(2)排放交易。排放交易是指允许某些污染物进行相

应额度的交易,最常见的就是碳排放交易。 $Q_m^+$ 为购买可交易排放物 $m(m=N+1, \dots, M)$ 的单价; $Q_m^-$ 为出售可交易排放物 $m(m=N+1, \dots, M)$ 的单价; $e_m^+$ 为可接受排放物 $m$ 的购买量; $e_m^-$ 为可接受排放物 $m$ 的出售量。那么,企业生产全部产品所需购买可交易污染物 $m(m=N+1, \dots, M)$ 的成本为 $\sum_{(m=N+1, \dots, M)} Q_m^+ e_m^+$ ,出售可交易污染物 $m(m=N+1, \dots, M)$ 的收入为 $\sum_{(m=N+1, \dots, M)} Q_m^- e_m^-$ 。

(3)阈值。排放阈值是指某些污染物的排放量绝对不能超过的临界值。本文假设 $E_m$ 为受限排放物 $m$ 的最大排放量( $m=1, \dots, N$ ),基于排放阈值相关的法规,污染物排放量的约束条件式(20)为:

$$e_m \leq E_m, m=1, \dots, N \quad (20)$$

可交易的排放物也要受排放总量的限制,只不过其实际排放量与规定的允许排放量之间存在差额,即交易的排放量。 $E_m^T$ 为可交易排放物 $m(m=N+1, \dots, M)$ 的允

许排放的数量。式(21)体现了这一约束关系:

$$e_m^+ + e_m^- - e_m^+ = E_m^T, m=N+1, \dots, M \quad (21)$$

## (二)建模

企业进行产品组合策略研究的目标是利润最大化。利润是总收入与总成本的差额。在本模型中,总收入包括销售产品收入( $\sum_{(i=1, \dots, I)} P_i x_i$ )和出售碳排放许可获取收入 $\sum_{(i=N+1, \dots, I)} Q_m^- e_m^-$ 两部分,总成本由生产资源成本 $\sum_{(j=1, \dots, J)} C_j x_j$ 、环境税金 $\sum_{(m=1, \dots, N)} Q_m e_m$ 和购买可交易排放津贴成本 $\sum_{(m=N+1, \dots, M)} Q_m^+ e_m^+$ 构成。因此,目标函数见式(22)。

$$\pi = \sum_i P_i x_i - \sum_j C_j x_j - \sum_{(m=1, \dots, N)} Q_m e_m + \sum_{(m=N+1, \dots, M)} Q_m^- e_m^- - \sum_{(m=N+1, \dots, M)} Q_m^+ e_m^+ \quad (22)$$

通过上述分析,将前面式子整理后建立模型如下式(23)~(28)。

$$\begin{aligned} \text{Max } \pi = & \sum_i P_i \times \left[ 1 + \frac{\rho_i}{\sigma_i} (g_i - G_{iu}) \right] x_i - \\ & \sum_j C_j \sum_{(i=1, \dots, I)} A_{ji} x_i - \sum_{(m=1, \dots, N)} Q_m \sum_{(i=1, \dots, I)} \epsilon_{mi} x_i + \\ & \sum_{(m=N+1, \dots, M)} Q_m^- e_m^- - \sum_{(m=N+1, \dots, M)} Q_m^+ e_m^+ \end{aligned} \quad (23)$$

$$\text{s.t. } r_j = \sum_{i=1, \dots, I} A_{ji}x_i \leq R_j, j=1, \dots, J \quad (24)$$

$$x_i \leq D_i = (D_{i0} - \sigma_i P_{i0}) + (D_{i0} - P_{i0}) \rho_i (g_i - G_{iu}), i=1, \dots, I \quad (25)$$

$$e_m = \sum_{(i=1, \dots, I)} \varepsilon_{mi} x_i \leq E_m, m=1, \dots, M \quad (26)$$

$$e_m^+ + e_m^- - e_m^+ = E_m^T, m=N+1, \dots, M \quad (27)$$

$$x_i \geq 0, x_i = \text{int}; e_m^- \geq 0; e_m^+ \geq 0 \quad (28)$$

目标式(23)表示利润最大化,式(24)表示资源约束,式(25)表示需求约束,式(26)、(27)表示环境法规约束,式(28)表示各决策变量的取值情况。

#### 四、算例

##### (一)数值算例

本文通过引入一个数值算例对现实情况进行模拟分析。假定某企业生产12(I=12)种产品,所有产品消耗的资源种类J=5,每种产品消耗各种资源的数量 $A_{ji}$ 见表1。

表 1

产品种类	排放物的量 $\varepsilon_{mi}$					资源的消耗 $A_{mi}$				
	m=1	m=2	m=3	m=4	m=5	j=1	j=2	j=3	j=4	j=5
i=1	4	10	6	4	2	3	1	20	30	50
i=2	3	20	7	3	1	3	1	20	30	50
i=3	2	1	1	1	1	3	1	10	30	50
i=4	5	15	5	5	1	4	2	50	40	50
i=5	3	50	4	16	4	10	6	80	100	50
i=6	8	100	4	7	2	9	10	60	80	50
i=7	10	50	5	7	3	8	4	60	70	50
i=8	20	280	7	15	4	10	10	100	100	50
i=9	4	40	5	1	2	3	1	30	30	50
i=10	5	40	6	7	2	3	2	60	40	50
i=11	12	50	6	2	2	5	3	60	50	50
i=12	10	40	6	9	6	7	6	70	90	50

为了简化模型的计算突出重点,此处资源所获取的最大量 $R_j = \infty$ 。生产所有产品产生的排放物种类数 $m=5$ ,排放物1和排放物5受阈值约束, $E_1=60\ 000, E_5=50\ 000$ ;排放物1~4是不可交易的,相应的环境税金分别为 $Q_m = \{0, 0, 0, 1\}$  ( $m=1, 2, 3, 4$ ),排放物5是可交易的,其可交易的购买价格为 $Q_5^+ = 5$ ,可交易的出售价格为 $Q_5^- = 4$ 。

每种产品在生产过程中所产生的排放物的量 $\varepsilon_{mi}$ 见表1。

表 3

	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$	$x_{10}$	$x_{11}$	$x_{12}$
$\rho_i=0.25$	1 476	2 350	7 810	2 889	0	0	0	0	887	2 017	279	0
$\rho_i=0$	1 440	2 260	0	2 800	1 560	1 918	0	0	859	2 000	0	0
	0.553 5	0.583 7	0.635 0	0.556 8	0.306 1	0.443 5	0.412 2	0.122 4	0.558 0	0.480 3	0.497 8	0.270 7

表 4

	利润	收入	资源成本	环境成本	污染物				
					$m_1$	$m_2$	$m_3$	$m_4$	$m_5$
$\rho_i=0.25$	3 054 148	14 862 882	11 236 270	188 938	60 000	243 471	65 609	50 599	22 296
$\rho_i=0$	2 037 035	15 978 700	13 730 550	211 115	60 000	485 760	68 667	79 785	23 734

由于企业生产的产品一般是同类产品,此处假定消费者对同类产品绿色度的期望值和敏感度是相同的,且不考虑同类产品之间的替代效应,其实际中应该是通过市场调研结合LCA来获取,消费者购买量对企业产品绿色度的敏感性 $\rho_i=0.25$  ( $i=1, \dots, 12$ ),消费者对企业产品绿色度的期望是 $G_{iu}=0.45$  ( $i=1, \dots, 12$ )。同时为了简化算例,此处消费者需求对价格的敏感度也是一样的, $\sigma_i=0.2$  ( $i=1, \dots, 12$ )。

产品的绿色度是采用SimaPro中EI99的有关数据,代入公式(1)~(8)计算出 $g_i$  ( $i=1, \dots, 12$ ),见表2。

产品的基本价格 $P_{i0}$  ( $i=1, \dots, 12$ )和潜在需求 $D_{i0}$  ( $i=1, \dots, 12$ )见表2。

表 2

产品种类	$D_{i0}$	$P_{i0}$	$g_i$	产品种类	$D_{i0}$	$P_{i0}$	$g_i$
i=1	1 600	800	0.553 5	i=7	5 000	1 600	0.412 2
i=2	2 400	700	0.583 7	i=8	6 500	2 600	0.122 4
i=3	7 500	500	0.635 0	i=9	1 000	700	0.558 0
i=4	3 000	1 000	0.556 8	i=10	2 200	1 000	0.480 3
i=5	2 000	2 200	0.306 1	i=11	1 000	1 300	0.497 8
i=6	4 000	2 300	0.443 5	i=12	1 800	1 800	0.270 7

将以上数据代入式(23)~(28),用Excel的混合整数规划求解得到结果见表3和表4。

当 $\rho_i=0$ 时,即不考虑消费者环保意识,同理可得相应的最优解见表3和表4。

从结果中我们可以看出前者所获取的利润大于后者,而且前者的资源成本和环境成本及排放物的排放量均有所减少,同时前者中绿色度高的产品的产量也比后者高。因此,产品组合决策应该考虑消费者环保意识。

##### (二)敏感性分析

下面将利用图形来判断消费者需求对企业产品绿色度敏感性 $\rho_i$ 对产品组合决策及利润的影响效应。

图2中横轴是按产品绿色度由低到高排列的产品类别*i*,深度轴是消费者对产品绿色度的敏感因子 $\rho_i$ ,纵轴是按模型求解的最佳产品产量 $x_i$ 。从图2中我们可以看出随着消费者需求对产品绿色度敏感性的增强,绿色度高的产品产量增加,绿色度低的产品产量降低。根据前文可知,利润等于收入减去资源成本和环境成本。

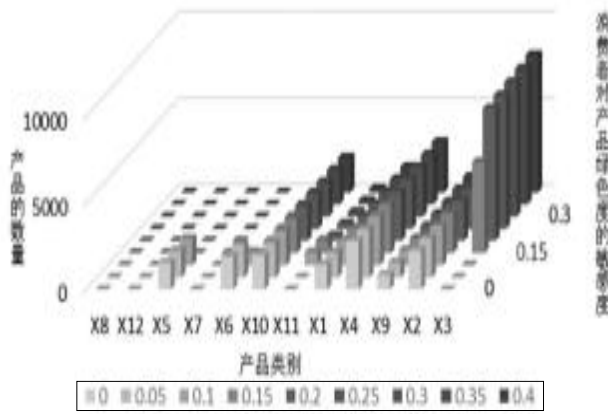


图2

由图3可以看出,企业的最大利润随着消费者需求对产品绿色度敏感性的增加而增加。当 $\rho_i$ 处于0到0.15之间时,随着 $\rho_i$ 的增加收入处于下降的趋势,这是因为此时 $\sigma_i$ 大于 $\rho_i$ ,需求减少且其下降幅度大于价格增加的幅度,加之资源成本的降低;当 $\rho_i$ 处于0.2到0.4之间时,随着 $\rho_i$ 的增加收入处于上升的趋势,这是因为此时 $\sigma_i$ 小于或等于 $\rho_i$ ,需求和价格均增加,加之资源成本趋于平稳,而环境成本所占的比重比较小。

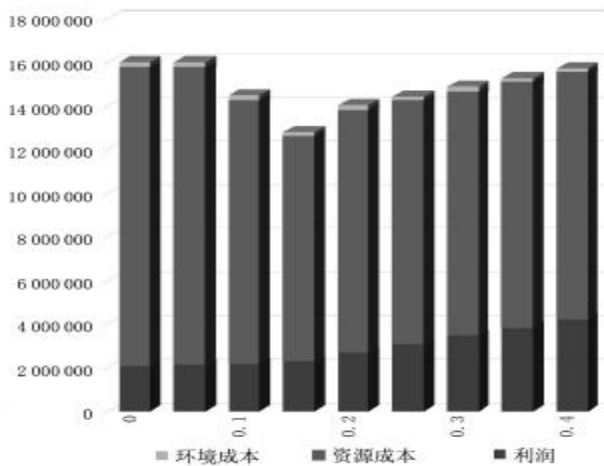


图3

同时,从图4中我们可以看出各五种排放物的排放量随着敏感性的提高,刚开始减排的速度较快,慢慢地趋于平稳,这可能由于其他的约束条件导致当敏感性达到一定水平时其排放量趋于稳定。

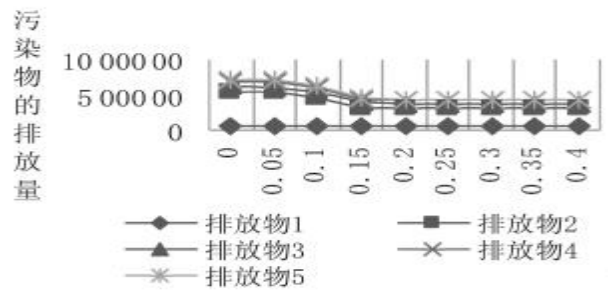


图4

从上述分析结果中,我们可知随着消费者环保意识的增强,企业在产品组合决策时不仅要考虑资源约束和环境约束,还要考虑消费者的环保意识。同时,企业也可以通过绿色营销的手段来增强消费者的环保意识,从而达到增加利润和实现环境保护的双赢的目的。

### 五、结束语

本文结合企业面临的实际问题(如何适应资源环境及法规等约束,同时又要关注消费者环保意识增强对产品需求的变化),研究了引入消费者环保意识的产品组合问题,提出由消费者绿色期望及对产品绿色度的敏感性两个指标来衡量消费者环保意识。

我们发现,与以往的产品组合模型相比,该产品组合模型得到的利润较大,污染物的排放量较小,即经济性和环境性均较好。对绿色度敏感因子的敏感性分析表明,增加消费者需求对产品绿色度的敏感性有助于提高企业经济性和环境性。然而实际中产品需求量还受到竞争对手行为的影响,这种情况下的产品组合问题需进一步研究。

### 主要参考文献

Robert Kee, Charles Schmidt. A comparative analysis of utilizing activity-based costing and the theory of constraints for making product-mix decisions[J]. International Journal of Production Economics, 2000(1).

Kreuze, Jerry G, Newell, Gale E.. ABC and Life-cycle costing for environmental expenditures [J]. Management Accounting, 1994(2).

王能民,孙林岩,汪应洛.绿色供应链管理[M].北京:清华大学出版社,2005.

祝爱民,薛兵,徐朋波.绿色度的测度方法及配置问题研究[J].统计与决策,2007(23).

陶建宏,王京芳,张蓉.基于LCIA的产品“绿色度”评价方法及应用[J].软科学,2005(3).

韩天雯,杜建国.价值观、环保意识与消费者绿色购买行为关系研究[J].商业时代,2014(10).

【基金项目】国家自然科学基金项目“基于生命周期成本理论的知识库构建及应用研究”(编号:71172101)