

Research on Supply Chain Pricing Game Considering Quality Level under Different Business Objectives

Aimei Li, Fang Zhang*

School of Science, Tianjin Polytechnic University, Tianjin
Email: 2579844176@qq.com, *zhangfangsx@163.com

Received: Jul. 27th, 2018; accepted: Aug. 9th, 2018; published: Aug. 16th, 2018

Abstract

In order to solve the pricing problem of two-level supply chain composed of two competitive manufacturers and one retailer, the influence of quality level on pricing decision under different strategies is studied, and the pricing decision model of supply chain under different business objectives is constructed. The optimal pricing and optimal profit of the model are obtained by Stackelberg game, and the impact of quality level on wholesale price and retail price is numerically simulated. The results show that the wholesale price and retail price under the strategy of its own profit are higher than the wholesale price and retail price under the strategy of relative profit. Under the two strategies, two manufacturers' profit is higher under the strategy of their own profit and the retailer's profit under the strategy of relative profit is higher.

Keywords

Supply Chain, Pricing, Quality Level, Stackelberg Game, Relative Profit

不同经营目标下考虑质量水平的供应链定价博弈研究

李爱梅, 张 芳*

天津工业大学理学院, 天津
Email: 2579844176@qq.com, *zhangfangsx@163.com

收稿日期: 2018年7月27日; 录用日期: 2018年8月9日; 发布日期: 2018年8月16日

*通讯作者。

摘要

为了解决两个具有竞争关系的制造商和一个零售商构成的两级供应链的定价问题, 研究在不同策略下质量水平对定价决策的影响, 构建了不同经营目标下供应链的定价决策模型。运用Stackelberg博弈求出了该模型的最优定价与最优利润, 并数值模拟了质量水平对批发价、零售价的影响。结果表明: 以自身利润为经营目标策略下的批发价、零售价高于以相对利润为经营目标策略下的批发价、零售价; 两种策略下, 两制造商在以自身利润为经营目标策略下的利润较高, 而零售商在以相对利润为经营目标策略下的利润较高。

关键词

供应链, 定价, 质量水平, Stackelberg博弈, 相对利润

Copyright © 2018 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着科学技术的飞速发展, 市场竞争也越来越激烈, 产品的定价因为涉及到所有社会成员的利益而具有强烈的现实意义。企业根据想实现的经营目标来解决产品的定价问题, 有些企业的经营目标是实现自身利润最大化, T. Maiti [1]研究了在涉及回收的双向闭环供应链中各个经营者为实现自身利润最大如何决策定价的问题; 有些企业的经营目标是占有市场或者实现相对利润最大化, Ting Li [2]中一个制造商以市场份额(目的是占有市场)为经营目标。A. A. Elsadany [3]研究的是在相对利润最大化的基础上带有有限理性的古诺寡头博弈动力系统。另一方面, 由于竞争越来越激烈, 供应链(SC)的角色也承受了一些重大变化, 制造商不仅要满足零售商的需求, 还要保证供应产品的质量, 质量差的产品会影响公司的销售额。再者, 产品质量对于已经支付高价格的消费者同样重要, 他们期望高质量, 如果没有达到要求, 他们就会从竞争对手那里购买, 从而对制造商、零售商的效益产生影响。因此, 产品质量水平在供应链中是个很重要的因素。J. X. Chen等[4]研究了一个制造商和一个零售商在双渠道集中和分散两种决策下的价格与质量决策。Y. Xie等[5]研究了包含一个供应商和多个零售商的两级供应链的价格决策, 零售商尽自身最大努力水平使制造商进行质量提升。B. C. Giri [6]研究了多个制造商和一个零售商在两级供应链的价格和质量决策。

本文受以上文献启发, 研究不同经营目标下考虑质量水平的供应链定价博弈, 解决两个具有竞争关系的制造商和一个零售商构成的两级供应链的定价问题。运用 Stackelberg 博弈求出了该模型的最优定价与最优利润, 并进行比较, 最后数值模拟质量水平对批发价、零售价的影响。

2. 问题描述及符号

本文研究一个包含两个具有竞争关系的制造商(分别记作制造商 A 和制造商 B)和一个零售商的供应链, 制造商 A 和制造商 B 生产不同质量水平的同类产品。制造商 A 生产质量水平为 q_1 的产品, 制造商 B 生产质量水平为 q_2 的产品(其中 $0 < q_1, q_2 < 1$) [3], 并分别以批发价 w_1, w_2 批发给零售商, 零售商再以 p_1, p_2 的零售价销售给消费者。模型如图 1 所示。

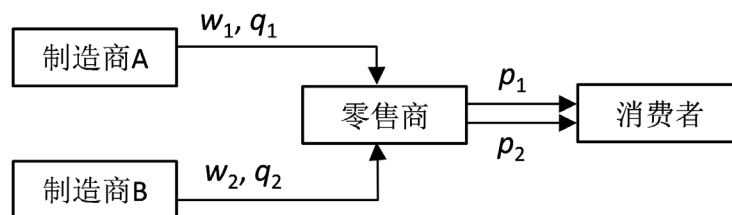


Figure 1. Competitive supply chain
图 1. 具有竞争关系的供应链

需求函数通常假设是线性的, Y. Xie [5]、张铁柱[7]及 J. Zhao [8]中需求函数为价格的线性形式; R. D. Banker [9]中需求函数为价格与质量的线性组合。本文假设产品的需求 d_i 是产品的质量水平 (q_i) 和零售价 (p_i) 的线性形式 ($i=1,2$), 市场需求函数设为:

$$d_1 = a_1 - \beta_1 p_1 + b_1 q_1 + \gamma_1 p_2 - b_0 q_2 \quad (1)$$

$$d_2 = a_2 - \beta_2 p_2 + b_2 q_2 + \gamma_2 p_1 - b_0 q_1 \quad (2)$$

这里 β_i 表示需求 d_i 对产品 i 的零售价的敏感系数, b_i 表示需求 d_i 对产品 i 的质量水平的敏感系数, 其中 $\beta_i > \gamma_i, b_i > b_0$ ($i=1,2$), 即产品 i 的需求受零售价 p_i 和质量水平 q_i 的影响大于受产品 j 的零售价 p_j 和质量水平 q_j 的影响 ($i, j=1,2; i \neq j$)。

本文假设质量提升成本函数为 $\frac{1}{2}k_i q_i^2$ ($i=1,2$), 二次式表示收益递减, 即产品质量从 87% 到 89% 的增长通常需要比从 85% 增长到 87% 更大的增量投资[9] [10] [11]。为了计算简便, 忽略其他与质量无关的生产成本, 这不会改变模型管理见解的主要结果[4]。

制造商 A 的利润为

$$\pi_{m1} = w_1 d_1 - \frac{1}{2} k_1 q_1^2 \quad (3)$$

制造商 B 的利润为

$$\pi_{m2} = w_2 d_2 - \frac{1}{2} k_2 q_2^2 \quad (4)$$

零售商的利润为

$$\pi_R = (p_1 - w_1) d_1 + (p_2 - w_2) d_2 \quad (5)$$

3. 模型求解与分析

考虑 Stackelberg 博弈, 制造商 A、B 是领导者, 零售商是跟随者。两个制造商采取两种不同的经营策略: 一, 制造商 A、B 同时决策批发价, 使自身利润最大化; 二, 制造商 A、B 同时决策批发价, 决策的目标是使相对利润最大化。在这两种策略下, 两个制造商首先公布产品的批发价, 零售商看到批发价之后再设定产品的零售价。

3.1. 以自身利润为经营目标

本节考虑两制造商的经营目标是使自身利润最大化的策略。在 Stackelberg 博弈下, 首先制造商 A、B 同时决策批发价 w_1, w_2 , 使自身利润 π_{m1}, π_{m2} 最大化, 然后零售商决策零售价 p_1, p_2 。

π_R 的 Hessian 矩阵为

$$H = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 \pi_R}{\partial p_1^2} & \frac{\partial^2 \pi_R}{\partial p_1 \partial p_2} \\ \frac{\partial^2 \pi_R}{\partial p_2 \partial p_1} & \frac{\partial^2 \pi_R}{\partial p_2^2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -2\beta_1 & 2\gamma_1 \\ 2\gamma_1 & -2\beta_2 \end{bmatrix} \quad (6)$$

因为 $-2\beta_1 < 0$, $\begin{vmatrix} -2\beta_1 & 2\gamma_1 \\ 2\gamma_1 & -2\beta_2 \end{vmatrix} = 4\beta_1\beta_2 - 4\gamma_1^2 > 0$ 。所以 Hessian 矩阵负定。此时零售商的利润是凹的并且存在唯一的最优解。

π_R 关于 p_1, p_2 的一阶偏导数

$$\begin{aligned} \frac{\partial \pi_R}{\partial p_1} &= A - 2p_1\beta_1 + 2p_2\gamma_1 + w_1\beta_1 - w_2\gamma_1 \\ \frac{\partial \pi_R}{\partial p_2} &= B - 2p_2\beta_2 + 2p_1\gamma_1 + w_2\beta_2 - w_1\gamma_1 \end{aligned}$$

其中 $A = a_1 + b_1q_1 - b_0q_2, B = a_2 - b_0q_1 + b_2q_2$ 。

由一阶导条件, 可得

$$p_1^o = \frac{\beta_2(A + w_1\beta_1) + \gamma_1(B - w_1\gamma_1)}{2(\beta_1\beta_2 - \gamma_1^2)} \quad (7)$$

$$p_2^o = \frac{\beta_1(B + w_2\beta_2) + \gamma_1(A - w_2\gamma_1)}{2(\beta_1\beta_2 - \gamma_1^2)} \quad (8)$$

将 p_1^o, p_2^o 代入(3), (4), 求解

$$\begin{cases} \frac{\partial \pi_{m1}}{\partial w_1} = \frac{1}{2}(A - 2w_1\beta_1 + w_2\gamma_1) = 0 \\ \frac{\partial \pi_{m2}}{\partial w_2} = \frac{1}{2}(B - 2w_2\beta_2 + w_1\gamma_1) = 0 \end{cases}$$

可得

$$w_1^o = \frac{2\beta_2A + \gamma_1B}{4\beta_1\beta_2 - \gamma_1^2} \quad (9)$$

$$w_2^o = \frac{2\beta_1B + \gamma_1A}{4\beta_1\beta_2 - \gamma_1^2} \quad (10)$$

将(9), (10)代入(7), (8)得

$$p_1^o = \frac{(6\beta_1\beta_2 - 3\gamma_1^2)\beta_2A + (5\beta_1\beta_2 - 2\gamma_1^2)\gamma_1B}{2(\beta_1\beta_2 - \gamma_1^2)(4\beta_1\beta_2 - \gamma_1^2)}$$

$$p_2^o = \frac{(5\beta_1\beta_2 - 2\gamma_1^2)\gamma_1A + (6\beta_1\beta_2 - 3\gamma_1^2)\beta_1B}{2(\beta_1\beta_2 - \gamma_1^2)(4\beta_1\beta_2 - \gamma_1^2)}$$

将 $p_1^o, p_2^o, w_1^o, w_2^o$ 代入(3)、(4)、(5)可得制造商最优利润、零售商最优利润:

$$\pi_{m1}^o = \frac{\beta_1(\gamma_1B + 2\beta_2A)^2 - k_1q_1^2(4\beta_1\beta_2 - \gamma_1^2)^2}{2(4\beta_1\beta_2 - \gamma_1^2)^2},$$

$$\pi_{m2}^o = \frac{\beta_2(\gamma_1 A + 2\beta_1 B)^2 - k_2 q_2^2 (4\beta_1 \beta_2 - \gamma_1^2)^2}{2(4\beta_1 \beta_2 - \gamma_1^2)^2},$$

$$\pi_R^o = \frac{(4\beta_1 \beta_2 + 5\gamma_1^2)(\beta_2 A^2 + \beta_1 B^2)\beta_1 \beta_2 + (16\beta_1 \beta_2 + 2\gamma_1^2)\beta_1 \beta_2 \gamma_1 AB}{4(\beta_1 \beta_2 - \gamma_1^2)(4\beta_1 \beta_2 - \gamma_1^2)^2}.$$

定理 1. 质量水平 q_i 对批发价 w_i , 零售价 p_i ($i=1,2$) 的影响如下:

1) 批发价 w_1^o 、零售价 p_1^o 随质量水平 q_1 的增加而增加。 w_2^o 在渠道参数满足 $0 < \frac{b_1 \gamma_1}{b_0 \beta_1} < 2$ ($\frac{b_1 \gamma_1}{b_0 \beta_1} > 2$)

时随 q_1 的增加而降低(增加)。 p_2^o 在渠道参数满足 $0 < \frac{b_1 \gamma_1}{b_0 \beta_1} < 1 + \frac{\beta_1 \beta_2 - \gamma_1^2}{5\beta_1 \beta_2 - 2\gamma_1^2}$ ($\frac{b_1 \gamma_1}{b_0 \beta_1} > 1 + \frac{\beta_1 \beta_2 - \gamma_1^2}{5\beta_1 \beta_2 - 2\gamma_1^2}$) 时随 q_1 的增加而降低(增加)。

2) 批发价 w_2^o 、零售价 p_2^o 随质量水平 q_2 的增加而增加。 w_1^o 在渠道参数满足 $0 < \frac{b_2 \gamma_1}{b_0 \beta_2} < 2$ ($\frac{b_2 \gamma_1}{b_0 \beta_2} > 2$)

时随 q_2 的增加而降低(增加)。 p_1^o 在渠道参数满足 $0 < \frac{b_2 \gamma_1}{b_0 \beta_2} < 1 + \frac{\beta_1 \beta_2 - \gamma_1^2}{5\beta_1 \beta_2 - 2\gamma_1^2}$ ($\frac{b_2 \gamma_1}{b_0 \beta_2} > 1 + \frac{\beta_1 \beta_2 - \gamma_1^2}{5\beta_1 \beta_2 - 2\gamma_1^2}$) 时随 q_2 的增加而降低(增加)。

证明:

$$(1) \because \frac{\partial w_1^o}{\partial q_1} = \frac{(\beta_2 b_1 - b_0 \gamma_1) + \beta_2 b_1}{4\beta_1 \beta_2 - \gamma_1^2} > 0;$$

$$\frac{\partial p_1^o}{\partial q_1} = \frac{(5\beta_1 \beta_2 - 2\gamma_1^2)(\beta_2 b_1 - b_0 \gamma_1) + b_1 \beta_2 (\beta_1 \beta_2 - \gamma_1^2)}{2(\beta_1 \beta_2 - \gamma_1^2)(4\beta_1 \beta_2 - \gamma_1^2)} > 0;$$

$$\text{当 } 0 < \frac{b_1 \gamma_1}{b_0 \beta_1} < 2 \text{ 时, } \frac{\partial w_2^o}{\partial q_1} = \frac{-2b_0 \beta_1 + b_1 \gamma_1}{4\beta_1 \beta_2 - \gamma_1^2} < 0,$$

$$\text{当 } \frac{b_1 \gamma_1}{b_0 \beta_1} > 2 \text{ 时, } \frac{\partial w_2^o}{\partial q_1} = \frac{-2b_0 \beta_1 + b_1 \gamma_1}{4\beta_1 \beta_2 - \gamma_1^2} > 0;$$

$$\text{当 } 0 < \frac{b_1 \gamma_1}{b_0 \beta_1} < 1 + \frac{\beta_1 \beta_2 - \gamma_1^2}{5\beta_1 \beta_2 - 2\gamma_1^2} \text{ 时,}$$

$$\frac{\partial p_2^o}{\partial q_1} = \frac{(5\beta_1 \beta_2 - 2\gamma_1^2)(b_1 \gamma_1 - b_0 \beta_1) - b_0 \beta_1 (\beta_1 \beta_2 - \gamma_1^2)}{2(\beta_1 \beta_2 - \gamma_1^2)(4\beta_1 \beta_2 - \gamma_1^2)} < 0,$$

$$\text{当 } \frac{b_1 \gamma_1}{b_0 \beta_1} > 1 + \frac{\beta_1 \beta_2 - \gamma_1^2}{5\beta_1 \beta_2 - 2\gamma_1^2} \text{ 时,}$$

$$\frac{\partial p_2^o}{\partial q_1} = \frac{(5\beta_1 \beta_2 - 2\gamma_1^2)(b_1 \gamma_1 - b_0 \beta_1) - b_0 \beta_1 (\beta_1 \beta_2 - \gamma_1^2)}{2(\beta_1 \beta_2 - \gamma_1^2)(4\beta_1 \beta_2 - \gamma_1^2)} > 0.$$

由此定理得证。

$$(2) \because \frac{\partial w_2^o}{\partial q_2} = \frac{(b_2 \beta_1 - b_0 \gamma_1) + \beta_2 b_1}{4\beta_1 \beta_2 - \gamma_1^2} > 0;$$

$$\frac{\partial p_2^o}{\partial q_2} = \frac{(5\beta_1 \beta_2 - 2\gamma_1^2)(b_2 \beta_1 - b_0 \gamma_1) + b_2 \beta_1}{4\beta_1 \beta_2 - \gamma_1^2} > 0;$$

$$\begin{aligned} &\text{当 } 0 < \frac{b_2\gamma_1}{b_0\beta_2} < 2 \text{ 时, } \frac{\partial w_1^o}{\partial q_2} = \frac{-2b_0\beta_2 + b_2\gamma_1}{4\beta_1\beta_2 - \gamma_1^2} < 0, \\ &\text{当 } \frac{b_2\gamma_1}{b_0\beta_2} > 2 \text{ 时, } \frac{\partial w_1^o}{\partial q_2} = \frac{-2b_0\beta_2 + b_2\gamma_1}{4\beta_1\beta_2 - \gamma_1^2} > 0; \\ &\text{当 } 0 < \frac{b_2\gamma_1}{b_0\beta_2} < 1 + \frac{\beta_1\beta_2 - \gamma_1^2}{5\beta_1\beta_2 - 2\gamma_1^2} \text{ 时,} \\ &\quad \frac{\partial p_1^o}{\partial q_2} = \frac{(5\beta_1\beta_2 - 2\gamma_1^2)(b_2\gamma_1 - b_0\beta_2) - b_0\beta_2(\beta_1\beta_2 - \gamma_1^2)}{2(\beta_1\beta_2 - \gamma_1^2)(4\beta_1\beta_2 - \gamma_1^2)} < 0, \\ &\text{当 } \frac{b_2\gamma_1}{b_0\beta_2} > 1 + \frac{\beta_1\beta_2 - \gamma_1^2}{5\beta_1\beta_2 - 2\gamma_1^2} \text{ 时,} \\ &\quad \frac{\partial p_1^o}{\partial q_2} = \frac{(5\beta_1\beta_2 - 2\gamma_1^2)(b_2\gamma_1 - b_0\beta_2) - b_0\beta_2(\beta_1\beta_2 - \gamma_1^2)}{2(\beta_1\beta_2 - \gamma_1^2)(4\beta_1\beta_2 - \gamma_1^2)} > 0. \end{aligned}$$

定理得证。

3.2. 以相对利润为经营目标

本节考虑以相对利润为经营目标的策略。一个行业的公司不仅追求提高自己的业绩，而且还希望超越竞争对手的公司，这种行为的例子非常普遍，例如：电视观众评级竞争和啤酒厂、汽车制造商、便利店连锁店和手机运营商的市场份额竞争等等[12]。因此，相对利润最优是一些企业追求的目标[13] [14] [15]，参与者的相对利润可定义为其绝对利润与其他剩余参与者平均利润的差[3]。制造商 A 的相对利润记为 Π_1 ，制造商 B 的相对利润记为 Π_2 ，两制造商的相对利润分别为：

$$\Pi_1 = \pi_{m1} - \pi_{m2} \tag{11}$$

$$\Pi_2 = \pi_{m2} - \pi_{m1} \tag{12}$$

两制造商通过选取适当的 w_1, w_2 使相对利润最大，之后零售商决策最优零售价 p_1, p_2 。由(6)式可知，零售商存在唯一最优解(7)，(8)。将(7)，(8)代入(11)，(12)，求解：

$$\begin{cases} \frac{\partial \Pi_1}{\partial w_1} = \frac{1}{2}(A - 2w_1\beta_1) = 0 \\ \frac{\partial \Pi_2}{\partial w_2} = \frac{1}{2}(B - 2w_2\beta_2) = 0 \end{cases}$$

可得

$$w_1^r = \frac{A}{2\beta_1} \tag{13}$$

$$w_2^r = \frac{B}{2\beta_2} \tag{14}$$

其中 $A = a_1 + b_1q_1 - b_0q_2 > 0, B = a_2 - b_0q_1 + b_2q_2 > 0$ ，保证 w_1^r, w_2^r 有意义。

相应的，可得零售价的最优解：

$$p_1^r = \frac{(3\beta_1\beta_2 - \gamma_1^2)A + 2\beta_1\gamma_1B}{4\beta_1(\beta_1\beta_2 - \gamma_1^2)}$$

$$p_2^r = \frac{(3\beta_1\beta_2 - \gamma_1^2)B + 2\beta_2\gamma_1A}{4\beta_2(\beta_1\beta_2 - \gamma_1^2)}$$

将 p_1^r , p_2^r , w_1^r , w_2^r 代入(3)、(4)、(5)及(11)、(12), 可得制造商利润、零售商最优利润及制造商最优相对利润:

$$\begin{aligned}\pi_{m1}^r &= \frac{\beta_2 A^2 + \gamma_1 AB - 4k_1 q_1^2 \beta_1 \beta_2}{8\beta_1 \beta_2}, \\ \pi_{m2}^r &= \frac{\beta_1 B^2 + \gamma_1 AB - 4k_2 q_2^2 \beta_1 \beta_2}{8\beta_1 \beta_2}, \\ \pi_r^r &= \frac{(\beta_1 \beta_2 + 3\gamma_1^2)(\beta_2 A^2 + \beta_1 B^2) + 2\gamma_1(3\beta_1 \beta_2 + \gamma_1^2)AB}{16\beta_1 \beta_2(\beta_1 \beta_2 - \gamma_1^2)}, \\ \Pi_1^r &= \frac{\beta_2 A^2 - \beta_1 B^2 - 4\beta_1 \beta_2(k_1 q_1^2 - k_2 q_2^2)}{8\beta_1 \beta_2}, \\ \Pi_2^r &= \frac{\beta_1 B^2 - \beta_2 A^2 - 4\beta_1 \beta_2(k_2 q_2^2 - k_1 q_1^2)}{8\beta_1 \beta_2}.\end{aligned}$$

定理 2. 批发价 w_i^r 、零售价 p_i^r 均随着质量水平 q_i 的增加而增加, 而批发价 w_i^r 随着 q_j 的增加而降低。

零售价 p_i^r 在渠道参数满足 $\frac{b_j \gamma_1}{b_0 \beta_j} > 1 + \frac{\beta_1 \beta_2 - \gamma_1^2}{2\beta_1 \beta_2}$ ($0 < \frac{b_j \gamma_1}{b_0 \beta_j} < 1 + \frac{\beta_1 \beta_2 - \gamma_1^2}{2\beta_1 \beta_2}$) 时随着 q_j 的增加而增加(降低) ($i, j=1, 2; i \neq j$)。

证明:

$$\because \frac{\partial w_1^r}{\partial q_1} = \frac{b_1}{2\beta_1} > 0; \frac{\partial p_1^r}{\partial q_1} = \frac{2\beta_1(\beta_2 b_1 - \gamma_1 b_0) + b_1(\beta_1 \beta_2 - \gamma_1^2)}{4\beta_1(\beta_1 \beta_2 - \gamma_1^2)} > 0;$$

$$\frac{\partial w_2^r}{\partial q_2} = \frac{b_2}{2\beta_2} > 0; \frac{\partial p_2^r}{\partial q_2} = \frac{2\beta_2(\beta_1 b_2 - \gamma_1 b_0) + b_2(\beta_1 \beta_2 - \gamma_1^2)}{4\beta_2(\beta_1 \beta_2 - \gamma_1^2)} > 0;$$

$$\frac{\partial w_1^r}{\partial q_2} = \frac{-b_0}{2\beta_1} < 0; \frac{\partial w_2^r}{\partial q_1} = \frac{-b_0}{2\beta_2} < 0;$$

$$\text{当 } \frac{b_1 \gamma_1}{b_0 \beta_1} > 1 + \frac{\beta_1 \beta_2 - \gamma_1^2}{2\beta_1 \beta_2} \text{ 时, } \frac{\partial p_2^r}{\partial q_1} = \frac{2\beta_2(\gamma_1 b_1 - \beta_1 b_0) - b_0(\beta_1 \beta_2 - \gamma_1^2)}{4\beta_2(\beta_1 \beta_2 - \gamma_1^2)} > 0,$$

$$\text{当 } 0 < \frac{b_1 \gamma_1}{b_0 \beta_1} < 1 + \frac{\beta_1 \beta_2 - \gamma_1^2}{2\beta_1 \beta_2} \text{ 时, } \frac{\partial p_2^r}{\partial q_1} = \frac{2\beta_2(\gamma_1 b_1 - \beta_1 b_0) - b_0(\beta_1 \beta_2 - \gamma_1^2)}{4\beta_2(\beta_1 \beta_2 - \gamma_1^2)} < 0;$$

$$\text{当 } \frac{b_2 \gamma_1}{b_0 \beta_2} > 1 + \frac{\beta_1 \beta_2 - \gamma_1^2}{2\beta_1 \beta_2} \text{ 时, } \frac{\partial p_1^r}{\partial q_2} = \frac{2\beta_1(\gamma_1 b_2 - \beta_2 b_0) - b_0(\beta_1 \beta_2 - \gamma_1^2)}{4\beta_1(\beta_1 \beta_2 - \gamma_1^2)} > 0,$$

$$\text{当 } 0 < \frac{b_2 \gamma_1}{b_0 \beta_2} < 1 + \frac{\beta_1 \beta_2 - \gamma_1^2}{2\beta_1 \beta_2} \text{ 时, } \frac{\partial p_1^r}{\partial q_2} = \frac{2\beta_1(\gamma_1 b_2 - \beta_2 b_0) - b_0(\beta_1 \beta_2 - \gamma_1^2)}{4\beta_1(\beta_1 \beta_2 - \gamma_1^2)} < 0.$$

定理得证。

比较两种经营策略, 可得以下定理:

定理 3. 以自身利润为经营目标策略下的批发价 w_i^o 、零售价 p_i^o 高于以相对利润为经营目标策略下的批发价 w_i^r 、零售价 p_i^r ($i=1,2$)。

证明:

$$w_1^o - w_1^r = \frac{2\beta_1\gamma_1 B + \gamma_1^2 A}{2\beta_1(4\beta_1\beta_2 - \gamma_1^2)} > 0,$$

$$w_2^o - w_2^r = \frac{2\beta_2\gamma_1 A + \gamma_1^2 B}{2\beta_2(4\beta_1\beta_2 - \gamma_1^2)} > 0,$$

$$p_1^o - p_1^r = \frac{2\beta_1\gamma_1 B + \gamma_1^2 A}{4\beta_1(4\beta_1\beta_2 - \gamma_1^2)} > 0,$$

$$p_2^o - p_2^r = \frac{2\beta_2\gamma_1 A + \gamma_1^2 B}{4\beta_2(4\beta_1\beta_2 - \gamma_1^2)} > 0.$$

$$\therefore w_i^o > w_i^r, p_i^o > p_i^r (i=1,2)$$

定理得证。

定理 4. 以自身利润为经营目标策略下的制造商的最优利润 π_{mi}^o 高于以相对利润为经营目标策略下的制造商的最优利润 π_{mi}^r 。零售商的最优利润则相反, 即 $\pi_R^o < \pi_R^r$ ($i=1,2$)。

证明:

$$\pi_{m1}^o - \pi_{m1}^r = \frac{4\beta_1^2\beta_2 B^2\gamma_1^2 + (\beta_2 A^2 + \gamma_1 AB)(8\beta_1\beta_2 - \gamma_1^2)\gamma_1^2}{8\beta_1\beta_2(4\beta_1\beta_2 - \gamma_1^2)^2} > 0;$$

$$\pi_{m2}^o - \pi_{m2}^r = \frac{4\beta_1\beta_2^2 A^2\gamma_1^2 + (\beta_1 B^2 + \gamma_1 AB)(8\beta_1\beta_2 - \gamma_1^2)\gamma_1^2}{8\beta_1\beta_2(4\beta_1\beta_2 - \gamma_1^2)^2} > 0;$$

$$\pi_R^o - \pi_R^r = -\frac{[32\beta_1^2\beta_2^2 + 2\gamma_1^2(4\beta_1\beta_2 - \gamma_1^2)]AB\gamma_1^2 + (20\beta_1\beta_2 + 3\gamma_1^2)(\beta_2\gamma_1 A^2 + \beta_1\gamma_1 B^2)\gamma_1^2}{16\beta_1\beta_2(4\beta_1\beta_2 - \gamma_1^2)^2} < 0;$$

定理得证。

4. 数值模拟

本节基于实际的竞争, 选择一些对应的参数值。利用数值模拟来表明两种策略下, 质量水平对批发价、零售价的影响。

图 2 表明批发价 w_1^o, w_1^r 随着质量水平 q_1 的增加而增加。当渠道参数满足 $0 < \frac{b_1\gamma_1}{b_0\beta_1} < 2$ 时, w_2^o, w_2^r 均随着 q_1 的增加而减少, 但 w_2^o 减少的幅度小。当渠道参数满足 $\frac{b_1\gamma_1}{b_0\beta_1} > 2$ 时, w_2^o 随着 q_1 的增加而增加, w_2^r 随着 q_1 的增加而减少。

图 3 表明零售价 p_1^o, p_1^r 随着质量水平 q_1 的增加而增加。当渠道参数满足 $\frac{b_1\gamma_1}{b_0\beta_1} > 1 + \frac{\beta_1\beta_2 - \gamma_1^2}{2\beta_1\beta_2}$ 时, p_2^o, p_2^r 均随着 q_1 的增加而增加, 但 p_2^o 增加的幅度大。当渠道参数满足 $0 < \frac{b_1\gamma_1}{b_0\beta_1} < 1 + \frac{\beta_1\beta_2 - \gamma_1^2}{5\beta_1\beta_2 - 2\gamma_1^2}$ 时, p_2^o, p_2^r 均

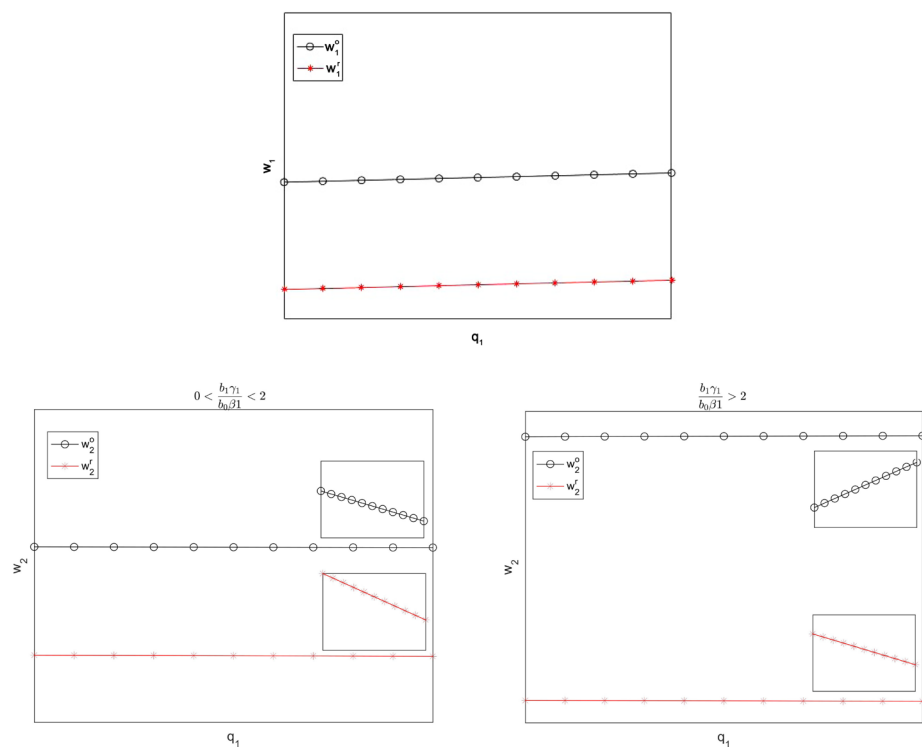


Figure 2. The effect of q_1 on wholesale prices. (The small image is an enlarged view of the figure)
图 2. q_1 对批发价的影响(小图是该图的放大显示)

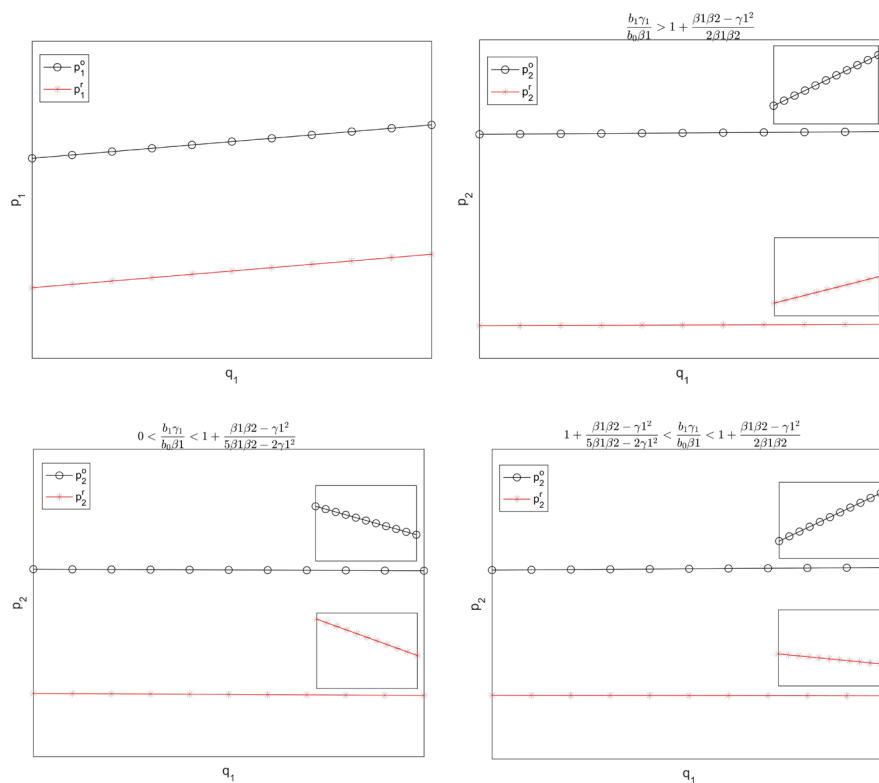


Figure 3. The effect of q_1 on retail prices
图 3. q_1 对零售价的影响

随着 q_1 的增加而减少, 但 p_2^o 减少的幅度小。当渠道参数满足 $1 + \frac{\beta_1\beta_2 - \gamma_1^2}{5\beta_1\beta_2 - 2\gamma_1^2} < \frac{b_1\gamma_1}{b_0\beta_1} < 1 + \frac{\beta_1\beta_2 - \gamma_1^2}{2\beta_1\beta_2}$ 时, p_2^o 随着 q_1 的增加而增加, p_2^r 随着 q_1 的增加而减少。

图 4 表明批发价 w_2^o, w_2^r 随着质量水平 q_2 的增加而增加。当渠道参数满足 $0 < \frac{b_2\gamma_1}{b_0\beta_2} < 2$ 时, w_1^o, w_1^r 均随着 q_2 的增加而减少, 但 w_1^o 减少的幅度小。当渠道参数满足 $\frac{b_2\gamma_1}{b_0\beta_2} > 2$ 时, w_1^o 随着 q_2 的增加而增加, w_1^r 随着 q_2 的增加而减少。

图 5 表明零售价 p_2^o, p_2^r 均随着质量水平 q_2 的增加而增加。当渠道参数满足 $\frac{b_2\gamma_1}{b_0\beta_2} > 1 + \frac{\beta_1\beta_2 - \gamma_1^2}{2\beta_1\beta_2}$ 时, p_1^o, p_1^r 均随着 q_2 的增加而增加, 但 p_1^o 增加的幅度大。当渠道参数满足 $0 < \frac{b_2\gamma_1}{b_0\beta_2} < 1 + \frac{\beta_1\beta_2 - \gamma_1^2}{5\beta_1\beta_2 - 2\gamma_1^2}$ 时, p_1^o, p_1^r 均随着 q_2 的增加而减少, 但 p_1^o 减少的幅度小。当渠道参数满足 $1 + \frac{\beta_1\beta_2 - \gamma_1^2}{5\beta_1\beta_2 - 2\gamma_1^2} < \frac{b_2\gamma_1}{b_0\beta_2} < 1 + \frac{\beta_1\beta_2 - \gamma_1^2}{2\beta_1\beta_2}$ 时, p_1^o 随着 q_2 的增加而增加, p_1^r 随着 q_2 的增加而减少。

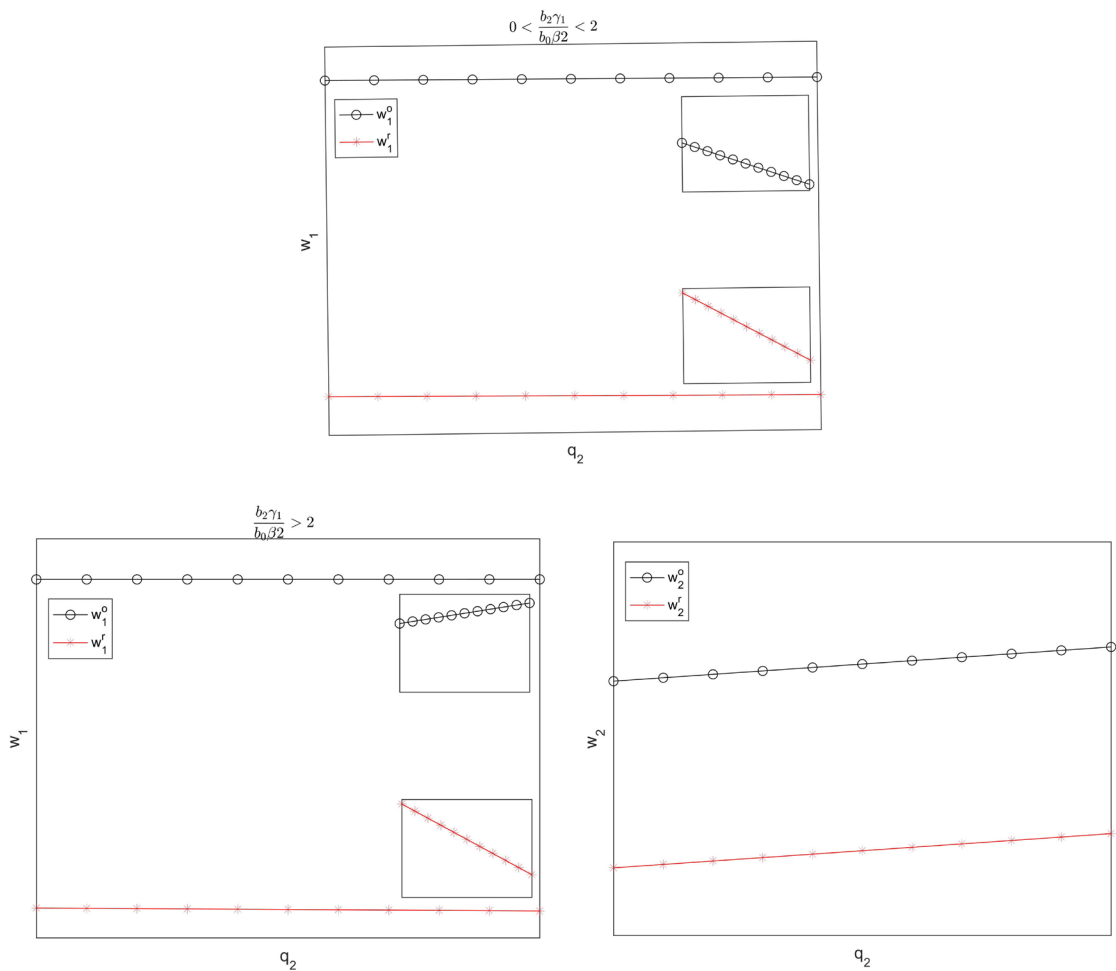


Figure 4. The effect of q_2 on wholesale prices
图 4. q_2 对批发价的影响

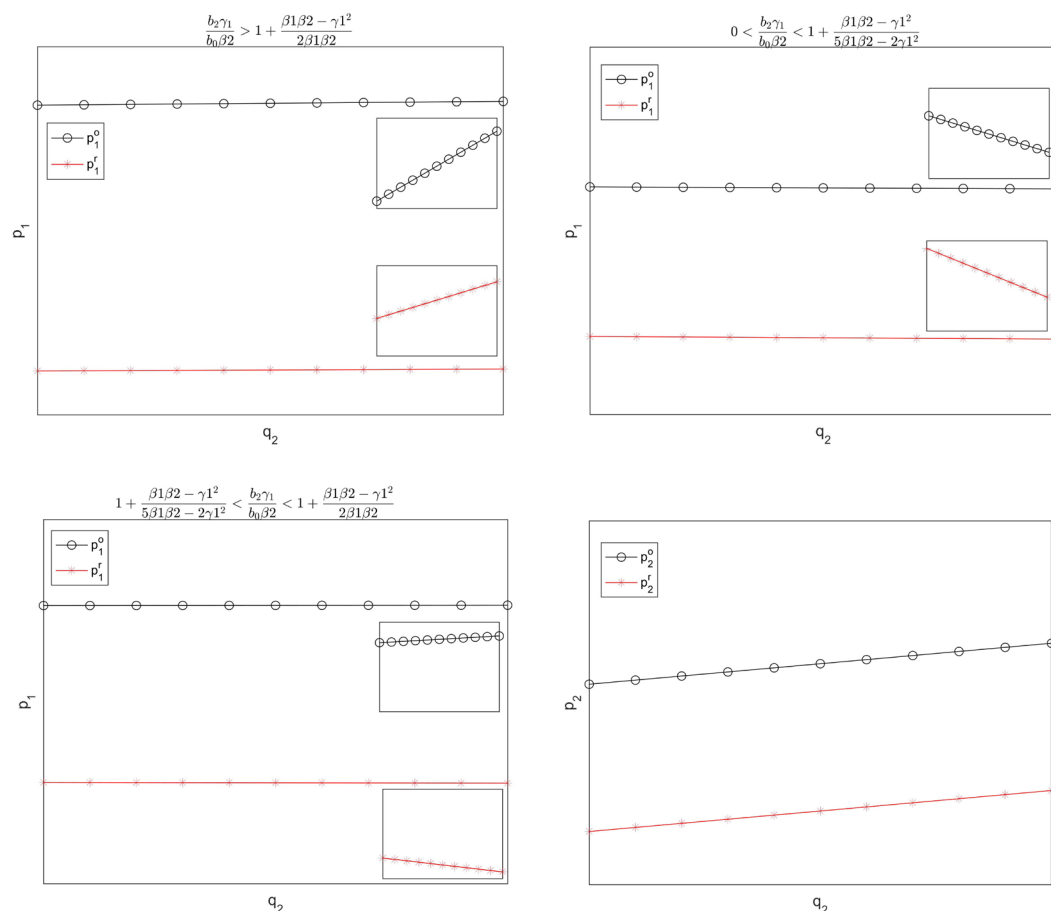


Figure 5. The effect of q_2 on retail prices
图 5. q_2 对零售价的影响

5. 结论与展望

本文主要研究不同经营目标下考虑质量水平的供应链定价问题。两个制造商和一个零售商参与供应链，制造商同时决策各自的批发价，零售商决策产品的零售价并向市场上的消费者销售产品，产品需求受零售价与质量水平的共同影响。考虑制造商 Stackelberg 博弈，比较两制造商以自身利润为经营目标和以相对利润为经营目标两种策略，结果表明：以自身利润为经营目标策略下的批发价、零售价以及两制造商的利润均高于以相对利润为经营目标策略下的值，零售商的利润则相反，即以相对利润为经营目标策略下的零售商的利润高于以自身利润策略下的零售商的利润。

本文研究的是在确定性需求下，质量水平为定值情况下的模型。可以延伸考虑质量水平为决策变量的情况或者考虑随机需求。此外，具有相同或不同定价策略的多零售商情况也可被视为当前工作的延伸。

参考文献

- [1] Maiti, T. and Giri, B.C. (2017) Two-Way Product Recovery in a Closed-Loop Supply Chain with Variable Markup under Price and Quality Dependent Demand. *International Journal of Production Economics*, **183**, 259-272. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.09.025>
- [2] Li, T. and Ma, J.H. (2015) Complexity Analysis of Dual-Channel Game Model with Different Managers' Business Objectives. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, **20**, 199-208. <https://doi.org/10.1016/j.cnsns.2014.05.012>

- [3] Elsadany, A.A. (2017) Dynamics of a Cournot Duopoly Game with Bounded Rationality Based on Relative Profit Maximization. *Applied Mathematics and Computation*, **294**, 253-263. <https://doi.org/10.1016/j.amc.2016.09.018>
- [4] Chen, J.X., et al. (2017) Price and Quality Decisions in Dual-Channel Supply Chains. *European Journal of Operational Research*, **259**, 935-948. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.11.016>
- [5] Xie, Y., Tai, A.H., Ching, W.K., et al. (2016) Pricing Strategy for a Two-Echelon Supply Chain with Optimized Return Effort Level. *International Journal of Production Economics*, **182**, 185-195. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.08.026>
- [6] Giri, B.C., Chakraborty, A. and Maiti, T. (2015) Quality and Pricing Decisions in a Two-Echelon Supply Chain under Multi-Manufacturer Competition. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, **78**, 1927-1941. <https://doi.org/10.1007/s00170-014-6779-2>
- [7] 张铁柱, 刘志勇, 滕春贤, 等. 基于二层规划的供应链定价决策研究[J]. *控制与决策*, 2005, 20(9): 992-995.
- [8] Zhao, J., Hou, X., Guo, Y., et al. (2017) Pricing Policies for Complementary Products in a Dual-Channel Supply Chain. *Applied Mathematical Modelling*, **49**, 437-451. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2017.04.023>
- [9] Banker, R.D., Khosla, I. and Sinha, K.K. (1998) Quality and Competition. *Management Science*, **44**, 1179-1192. <https://doi.org/10.1287/mnsc.44.9.1179>
- [10] Tsay, A.A. and Agrawal, N. (2000) Channel Dynamics under Price and Service Competition. *Manufacturing and Service Operations Management*, **2**, 372-391. <https://doi.org/10.1287/msom.2.4.372.12342>
- [11] Moorthy, K.S. (1988) Product and Price Competition in a Duopoly. *Marketing Science*, **7**, 141-168. <https://doi.org/10.1287/mksc.7.2.141>
- [12] Gibbons, R. and Murphy, K.J. (1990) Relative Performance Evaluation for Chief Executive Officers. *Industrial & Labor Relations Review*, **43**, 30S-51S. <https://doi.org/10.1177/001979399004300303>
- [13] Hattori, M. and Tanaka, Y. (2014) Incentive for Adoption of New Technology in Duopoly under Absolute and Relative Profit Maximization. *Economics Bulletin*, **34**, 2051-2059.
- [14] Matsumura, T., Matsushima, N. and Cato, S. (2013) Competitionveness and R&D Competition Revisited. *Economic Modelling*, **31**, 541-547. <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2012.12.016>
- [15] Tanaka, Y. (2013) Irrelevance of the Choice of Strategic Variables in Duopoly under Relative Profit. *Economics & Business Letters*, **2**, 75. <https://doi.org/10.17811/eb1.2.2.2013.75-83>

符号

- a_i : 产品 i 的基本市场规模 ($i = 1, 2$)
- β_i : 自身价格敏感系数 ($i = 1, 2$)
- b_i : 自身质量水平敏感系数 ($i = 1, 2$)
- γ_1 : 两种产品之间的品牌渠道的交叉价格敏感性
- b_0 : 两种产品之间的品牌渠道的质量水平敏感性
- d_i : 产品 i 的需求 ($i = 1, 2$)
- w_i : 单位产品 i 的批发价 ($i = 1, 2$)
- p_i : 单位产品 i 的零售价 ($i = 1, 2$)
- k_i : 产品 i 的质量提升成本系数 ($i = 1, 2$)
- q_i : 产品 i 的质量水平 ($i = 1, 2$)
- π_{m1} : 制造商 A 的利润
- π_{m2} : 制造商 B 的利润
- Π_1 : 制造商 A 的相对利润
- Π_2 : 制造商 B 的相对利润

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2163-1476，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：orf@hanspub.org