

Research on Optimized Contract Models of Waste Cooking Oil Reverse Supply Chain

Yating Xin, Pin Zhuang, Jiacheng Chen

College of Economics and Management, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing Jiangsu
Email: 346062422@qq.com, zpnuaa@163.com, 284771074@qq.com

Received: Sept. 7th, 2015; accepted: Sept. 23rd, 2015; published: Sept. 29th, 2015

Copyright © 2015 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

Abstract

Based on third party logistics collecting model, a two-level waste cooking oil reverse supply chain (RSC) model involving one biodiesel manufacturer and one third party logistics collector is developed. Optimized supply chain contract models (non-cooperative game and cooperative game) are proposed by employing game theory. These two RSC contract models are comparatively studied. It is found that order quantity and total system profit are larger in cooperative game than in non-cooperative game.

Keywords

Waste Cooking Oil, Reverse Supply Chain, Game Theory, Contract Model

废弃食用油逆向供应链最优契约模型研究

辛亚婷, 庄品, 陈嘉成

南京航空航天大学经济与管理学院, 江苏 南京

Email: 346062422@qq.com, zpnuaa@163.com, 284771074@qq.com

收稿日期: 2015年9月7日; 录用日期: 2015年9月23日; 发布日期: 2015年9月29日

摘要

本文基于第三方物流回收模式, 建立两级废弃食用油供应链模型, 包含一个生物柴油制造商和一个废弃

食用油第三方回收商,利用博弈理论设计了两种供应链契约模型(非合作博弈与合作博弈),通过对两种供应链契约模型进行比较,得出合作博弈下回收数量和系统利润较高的结论。

关键词

废弃食用油, 逆向供应链, 博弈论, 契约模型

1. 引言

逆向供应链是从消费者手中回收产品并对回收的产品进行丢弃或再利用的一系列活动。废弃食用油(俗称地沟油)主要指从事餐饮服务、食品生产经营等活动的单位和个人在生产、经营过程中产生的不符合食品卫生标准的动植物油脂和各类油水混合物。废弃食用油逆向供应链的合作伙伴包括废弃食用油供应商(酒楼、餐厅、食堂及食品加工业)、中间回收商、物流商、政府部门、生物柴油制造商等。

我国每年消耗油脂约 2200 万吨,餐饮行业可回收的废弃油脂约为 1000 万吨,废弃食用油的回收与利用是长期困扰我国的一大难题。生物柴油是一种环境友好的燃料,废弃食用油因为成本低、来源广,作为生物柴油的原材料越来越受到重视。

美国的部分州规定厨房餐厅的废油要用来制成生物柴油。日本京都从 2002 年起,陆续将市内 200 余辆垃圾车及近百辆公共汽车的使用燃料改换为废弃食用油加工的生物柴油。德国制定了泔水回收的法律,回收的废油脂部分用于生物柴油。巴西是较早发展生物质能的国家,政府以合作社经营的方式开展废弃食用油炼制生物柴油项目。

废弃食用油逆向供应链的研究为能源安全问题研究提供了新的视角。Araujo (2010)选取巴西市区中心实证研究得到废弃食用油制取生物柴油的经济可行性[1]。Papapostolou 等(2011)利用数学模型研究了生物燃料供应链系统,同时分析了技术和经济两方面因素对供应链绩效的影响[2]。Kim 等(2011)分析了生物燃料供应链的不确定因素:供应量、市场需求、市场价格和加工技术,研究了不确定因素环境下美国东南部地区的生物燃料供应链网络设计问题[3]。

逆向供应链契约模型的设计对于供应链的成功运行极为关键。王文宾与达庆利(2011)引入了奖惩力度 k ,比较了无奖惩的集中与分散决策、基于回收量与回收率的有奖惩决策这四种情况下,制造商、零售商和回收商这三个闭环供应链成员之间的利润情况[4]。付小勇等(2012)在两个回收商回收价格竞争的逆向供应链的市场结构下,应用演化博弈对逆向供应链回收渠道的决策进行了分析[5]。闻卉等(2013)利用条件风险值理论 CVaR 探讨随机需求下供应链成员均具有风险规避特性时,供应链回购的优化与协调问题[6]。

从国内外现有文献来看,相关研究主要集中在近几年,成果数量不多,宏观管理方面的占有较大比重。关于在生物燃料供应链管理方面的研究也刚起步,专门研究我国的情况只有很少几篇。本文的创新之处在于,从中国国情出发,选择上海为代表城市,基于第三方物流回收模式,重点研究废弃食用油逆向供应链成员间的最优契约模型,以达到最大系统利润。

2. 基于第三方物流回收模式的废弃食用油逆向供应链系统(代表城市为上海)

第三方物流回收模式是指由第三方回收商专门负责废弃食用油的回收并进行储存及物流配送,生物柴油制造商负责生产加工的模式(见图 1)。第三方回收商与生物柴油制造商签订合同,在规定时间内为制造商提供合同约定好的逆向物流服务。目前日本等再废弃食用油处理方面做得较好的国家都是采取这样的模式。

该模式对于制造商和第三方回收商都有降低风险,减少不确定性的特点。生物柴油企业将回收废弃

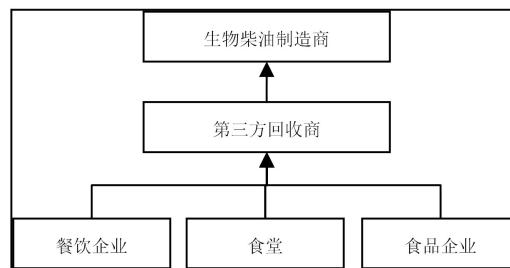


Table 1. Third party logistics recovery model

图 1. 第三方物流回收模式

食用油的业务外包给第三方企业,可以减少对废弃物处理中心的投资,减少资金周转困难以及技术限制所带来的风险,能够保证将主要精力放在企业的核心业务上,从而增强了企业在本行业内的核心竞争力。对于第三方回收商来说,越多的制造商采取这种模式,自己就越可能达到规模效益,能更充分的利用人员和设备,降低经营风险。

3. 废弃食用油逆向供应链的最优契约模型

本文基于第三方物流回收模式,建立一个生物柴油造商(简称“制造商”)和一个第三方回收商(简称“回收商”)组成的废弃食用油逆向供应链系统,假设回收商把回收的废弃食用油全部卖给制造商,制造商对所有回收的废弃食用油进行加工处理,形成生物柴油,并销售到市场。模型描述如下。

3.1. 模型描述

p_m : 生物柴油的单位销售价格,为一常数;

m : 制造商把废弃食用油加工成生物柴油的单位边际再生成本(包括再处理、制造等);

s : 回收商单位边际运营成本(包括回收、存储、运输等);

p_s : 制造商购买废弃食用油时支付给回收商的单位回收价格,满足 $p_s < p_m - m$, 为制造商的决策变量;

p_r : 回收商回收废弃食用油时支付给餐饮、食品企业的单位回收价格, $p_r = (1 - \lambda)p_s$, 其中 λ 为第三方回收商的边际利润率;

Q : 当单位回收价格为 p_r 时废弃食用油的回收数量, 设回收数量函数为回收价格 p_r 的线性增函数, 即 $Q = \alpha + \beta p_r$ ($\alpha, \beta > 0$ 为常数), 其中 α 表示废弃食用油回收价格为 0 时, 市场上消费者自愿返还的数量, α 反映消费者的环保意识, α 越大, 说明社会的环保意识越高; β 表示废弃食用油回收的价格弹性, 反映消费者对于回收价格的敏感程度。

3.2. 分散控制下逆向供应链契约模型(非合作博弈)

分散控制条件下, 废弃食用油供应链成员作为独立的经济实体, 各自追求自身利润最大, 这是一个完全信息下两阶段动态非合作博弈模型, 也是一种 Stackelberg 博弈模型。供应链的博弈过程如下: 制造商作为领导者(Leader)占垄断地位, 首先根据市场信息做出定价决策 p_s ; 回收商作为跟随者(Follower)观测到制造商的决策后, 确定边际利润率 λ 以最大化自己的利润。由于供应链成员的信息是完全信息, 因此, 制造商可以预见回收商的决策, 并根据回收商的决策作出使自己利润最大的决策。一旦这些决策确定, 制造商即按既定的回收价格从回收商处回收废弃食用油, 第三方回收商则按既定的回收价格从餐饮、食品企业处回收废弃食用油。

采用逆向归纳法求解这个博弈的子博弈精炼纳什均衡。首先考虑在给定回收价格 p_s 的情况下, 回收

商的最优决策。

回收商的利润模型为:

$$\pi_s(\lambda) = Q(p_s - p_r - s) \quad (1)$$

把回收数量函数 Q 代入式(1)得到 $\pi_s(\lambda) = [\alpha + \beta(1-\lambda)p_s][p_s - (1-\lambda)p_s - s]$, 求使回收商利润最大的边际利润率 $\frac{\partial \pi_s(\lambda)}{\partial \lambda} = 0$ 。

回收商的边际利润率:

$$\lambda = \frac{\alpha + \beta(p_s + s)}{2\beta p_s} \quad (2)$$

因为供应链系统具体完全信息, 所以制造商可以预见回收商的决策, 并根据回收商的决策作出使自己利润最大的最优决策。

制造商的利润:

$$\pi_m = Q(p_m - p_s - m) \quad (3)$$

把回收数量函数 Q 和式(2)代入式(3)得到 $\pi_m = \frac{[\alpha + \beta(p_s - s)](p_m - p_s - m)}{2}$, 制造商设定自己的回收价格, 使自己的利润最大 $\frac{\partial \pi_m}{\partial p_s} = 0$ 。

求出制造商的最优回收价格:

$$p_s = \frac{\beta(p_m + s - m) - \alpha}{2\beta} \quad (4)$$

把式(4)代入式(2), 得到回收商的最优边际利润率:

$$\lambda = \frac{\beta(p_m + 3s - m) + \alpha}{2[\beta(p_m + s - m) - \alpha]} \quad (5)$$

回收商的最优回收价格:

$$p_r = \frac{\beta(p_m - s - m) - \alpha}{4\beta} \quad (6)$$

废弃食用油的最大回收数量:

$$Q^d = \frac{\beta(p_m - s - m) + \alpha}{4} \quad (7)$$

回收商的利润:

$$\pi_s^d = \frac{[\beta(p_m - s - m) + \alpha]^2}{16\beta} \quad (8)$$

制造商的利润:

$$\pi_m^d = \frac{[\beta(p_m - s - m) + \alpha]^2}{8\beta} \quad (9)$$

供应链系统的利润:

$$\pi^d = \pi_s^d + \pi_m^d = \frac{3[\beta(p_m - s - m) + \alpha]^2}{16\beta} \quad (10)$$

3.3. 集中控制下逆向供应链契约模型(合作博弈)

在集中控制情况下, 供应链由单一决策者利用全部信息作出决策, 供应链成员进行全面合作, 联合行动使供应链系统整体利润最大。供应链系统利润为:

$$\pi = Q(p_m - p_r - m - s) \quad (11)$$

把回收数量函数 Q 代入式(10), 得到 $\pi = (\alpha + \beta p_r)(p_m - p_r - m - s)$, 求使系统利润最大的回收价格:

$$\frac{\partial \pi}{\partial p_r} = 0。$$

最优回收价格:

$$p_r = \frac{\beta(p_m - s - m) - \alpha}{2\beta} \quad (12)$$

最优回收数量:

$$Q^c = \frac{\beta(p_m - s - m) + \alpha}{2} \quad (13)$$

供应链系统的利润:

$$\pi^c = \frac{[\beta(p_m - s - m) + \alpha]^2}{4\beta} \quad (14)$$

通过比较式(13)和式(7), 以及比较式(14)和式(10), 得到合作博弈的回收数量和系统利润较高。同时, 回收数量和系统利润是环保意识 α 的增函数, 随着消费者的环保意识增加, 回收数量和系统利润也增加。另外, 回收数量、系统利润是制造商成本和回收商成本的减函数, 成本越低, 回收数量和系统利润越高。

4. 结论

废弃食用油逆向供应链涉及餐馆、回收商、生物燃料企业等多个利益相关者, 逆向供应链契约模型的设计对于协调各博弈主体、稳定生物燃料企业原料供应极为关键。本文建立了由一个生物柴油制造商和一个第三方回收商组成的废弃食用油逆向供应链系统, 运用博弈理论设计了两种供应链契约模型, 通过研究可知当双方进行合作博弈时, 供应链可达到最大系统利润。本文中没有考虑政府回收补贴政策的影响以及多个回收商和多个制造商的契约模型, 这也是有待进一步研究的方向。

基金项目

中央高校基本科研业务费专项科研项目(NR2013002), 江苏省教育厅高校哲学社会科学研究项目(2012SJD630082), 江苏省普通高校研究生科研创新计划资助项目(SJLX_0146)。

参考文献 (References)

- [1] Araujo, V.K.W.S., Hamacher, S. and Scavarda, L.F. (2010) Economic assessment of biodiesel production from waste frying oils. *Bioresource Technology*, **101**, 4415-4422. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2010.01.101>
- [2] Papapostolou, C., Kondili, E. and Kaldellis, J.K. (2011) Development and implementation of an optimisation model for

biofuels supply chain. *Energy*, **36**, 6019-6026. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2011.08.013>

- [3] Kim, J., Realf, M.J. and Lee, J.H. (2011) Optimal design and global sensitivity analysis of biomass supply chain networks for biofuels under uncertainty. *Computers and Chemical Engineering*, **35**, 1738-1751. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compchemeng.2011.02.008>
- [4] 王文宾, 达庆利 (2011) 奖惩机制下闭环供应链的决策与协调. *中国管理科学*, **1**, 36-41.
- [5] 付小勇, 朱庆华, 窦一杰 (2012) 回收竞争的逆向供应链回收渠道的演化博弈分析. *运筹与管理*, **4**, 41-51.
- [6] 闻卉, 曹晓刚, 黎继子 (2013) 基于 CVaR 的供应链回购策略优化与协调研究. *系统工程学报*, **2**, 211-217.