

Coordination Mechanism for Green Supply Chain of Wood-Based-Panel under the Competition among Multi-Chains

Zhisong Chen^{1,2,3}

¹Business School, Nanjing Normal University, Nanjing Jiangsu

²Dare Technology Co., Ltd., Zhenjiang Jiangsu

³Jiangsu Private Economic Decision Research Base, Nanjing Jiangsu

Email: zhisongchen@gmail.com

Received: Jun. 20th, 2016; accepted: Jul. 10th, 2016; published: Jul. 13th, 2016

Copyright © 2016 by author 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

Currently, China's wood-based-panel (WBP) industry is faced with backward overcapacity, waste of resources, environmental pollution, with slow growth of downstream product demand and relative shortage of upstream branch-wood supply. Obviously, the development of the upstream does not match with the downstream in the WBP supply chain, and lacks an efficient cooperation and coordination. There are serious homogeneous competitions among WBP supply chains. Considering the practice of WBP industry, WBP green supply chain system with one branch-wood supplier and one WBP manufacturer is defined; further, under the policy guidance of value-added tax refund and environmental tax collection, the coordination models of WBP green supply chain, considering the homogeneous competitions among WBP supply chains, are respectively built; finally, the comparative numerical analysis is carried out. The results show that: (i) the policy of value-added tax refund with threshold and environmental tax collection makes WBP enterprises have economical motivation to implement green supply chain improvement, improving the efficiency of resources and energy, and improving the overall performance and competitiveness. (ii) Two-part tariff contract can effectively coordinate WBP supply chain operations under homogeneous competitions among multi-chains. WBP green supply chain should avoid the homogeneous competition, but gain a heterogeneous competitive advantage via reducing the unit cost of branch-wood, the unit processing cost of WBP products and the unit processing cost of laminate flooring, which is beneficial for improving the operational performance of WBP green supply chain. (iii) Self-construction of the economic forest farm and the choice of economical branch-wood can effectively guarantee the branch-wood supply, enhancing technology development and process improvement can effectively promote the recovery and recycling of resource and energy, which is beneficial for improving the operational performance of the whole WBP supply chain.

Keywords

Multi-Chains Competitions, Homogeneous Competitions, Wood-Based Panel, Green Supply Chain, Coordination

多链竞争下的人造板绿色供应链协调机制研究

陈志松^{1,2,3}

¹南京师范大学商学院, 江苏 南京

²大亚科技股份有限公司, 江苏 镇江

³江苏省民营经济决策研究基地, 江苏 南京

Email: zhisongchen@gmail.com

收稿日期: 2016年6月20日; 录用日期: 2016年7月10日; 发布日期: 2016年7月13日

摘要

当前,我国人造板产业落后产能过剩,资源浪费和环境污染严重,其下游加工产品需求增长较慢,而上游枝桠材供给相对不足,人造板供应链上下游发展不匹配,缺乏有效的沟通与协调,人造板供应链同质化竞争严重。本文结合人造板产业实际,界定了人造板制造商和人造板加工商组成的人造板绿色供应链系统,进而,在增值税即征即退和环境税政策引导下,构建了多链竞争下的人造板绿色供应链协调模型,并进行了对比数值分析。研究表明:(1)有“门槛”的增值税即征即退补贴的政策以及征收环境税的政策,使得人造板企业有经济动因积极开展绿色供应链管理改进,提高资源能源利用率,提高企业综合运营绩效和竞争能力。(2)两部制价格契约可以有效地协调多链竞争下人造板绿色供应链运作,人造板绿色供应链要避免同质化竞争,而是通过降低单位枝桠材成本、人造板产品单位加工成本和强化地板的单位加工成本,与竞争对手拉开差距,以获得异质化竞争优势,有助于提升人造板绿色供应链的运作绩效。(3)通过自建经济林场、选用经济型枝桠材等措施有效保障枝桠材供应,强化技术研发和工艺流程改进,促进资源能源回收和循环利用,有助于提高人造板绿色供应链的运营绩效。

关键词

多链竞争, 同质化竞争, 人造板, 绿色供应链, 协调

1. 引言

在全球气候变化大背景下,世界各国开始寻求经济增长模式的全面转变,走节约型的可持续发展道路,大力提倡低碳经济、循环经济。人造板的制造和利用,有着成本低廉、用之不竭、环保经济、坚固耐用等无可比拟的显著竞争优势,已经成为家居、地板、橱柜、包装等领域必备的基础材料。人造板,以森林三剩物(采伐、造材、加工过程中的剩余物,包括枝桠材、小径材等)或其他非木材植物(农作物秸秆、蔗渣等)为原料,经一定机械加工分离成各种单元材料后,施加或不施加胶粘剂和其他添加剂胶合而成的板材或模压制品。人造板主要包括纤维板、胶合板和刨花板等三大类产品,其延伸产品和深加工产品达上百种。人造板的生产和使用,大大提高了木材资源的综合利用率,1立方米人造板可代替3~5立

方米原木使用，节约了大量的原木、减少了对森林的砍伐，契合了低碳经济和循环经济的理念。

在欧美经济疲弱、国内房地产调控以及要素成本不断上涨等多重因素作用下，作为世界人造板生产、消费、进口贸易的第一大国，我国人造板行业遭受到严峻挑战，产能扩张与亏损现象并存。据国家统计局和行业统计数据显示，我国人造板产量从2005年的5322.83万立方米增长至2014年的30,212.33万立方米，增长了5倍；2013年，我国人造板企业亏损比例达到了7%。由于我国针对人造板产业制定了增值税即征即退的政策，在环保法的执行上没有受过处罚、得到省级以上质检产业合格证的检测报告、所用原材料为森林三剩物和次小薪材的企业可以获得增值税即征即退的补贴，该政策的门槛相对来说并不高，因此，不少民间资本涌入人造板行业追逐利润，引发产能高速增长。而这种高速增长的产能中，有相当一部分属于高污染、高浪费、高成本的落后产能，中国林产工业协会副会长钱小瑜指出：“目前，我国人造板行业有近40%的落后产能生产线亟需更新换代”[1]。部分人造板企业存在较严重的资源浪费和环境污染等问题，与循环经济理念背道而驰，是不可持续的发展方式，亟需淘汰落后产能，提高产品质量，提升资源综合利用率，减少环境污染，促进产业转型升级，实施人造板绿色供应链管理；相比于人造板产能的高速增长，人造板下游地板、家具等相关加工产品需求增长较慢，上游枝桠材供给相对不足，人造板企业与其上下游的发展不匹配，缺乏有效的沟通与协调，人造板供应链同质化竞争严重。

由于绿色供应链管理具有兼顾运作绩效、资源效率和环境影响的优势，为解决人造板行业效率低下、资源浪费、环境污染和缺乏合作与协调问题提供了合适的视角，为人造板产业构建长效的绿色运营管理及其协调机制提供了合适的思路。同时人造板企业也有强大的外在压力和积极的内在动力实施绿色供应链管理：① 根据人造板产业相关行业清洁生产标准指标要求及其他绿色要求，人造板企业要达到清洁生产相应等级，需要在资源能源利用指标(绝干木材量、综合能耗)、产品指标(产品质量合格率、甲醛释放量)、污染物产生指标(作业环境空气中甲醛质量浓度和木粉尘质量浓度、作业环境噪声)、废物回收利用指标(废水综合利用率、工艺废渣综合利用率)和环境管理要求方面达到相应的标准；② 人造板企业要享受增值税即征即退优惠政策，必须要满足如下环保条件：在环保法的执行上没有受过处罚、得到省级以上质检产业合格证的检测报告、所用原材料为森林三剩物和次小薪材；③ 人造板产品以森林三剩物等为原料加工而成的板材，大大提高了木材资源的综合利用率，节约了大量的原木、减少了对森林的砍伐，契合了低碳经济和循环经济的理念，人造板供应链运营管理的各个环节应当考虑资源效率和环境影响因素；④ 当前终端顾客越来越重视产品的环境友好特性和工艺的绿色环保特性，具有较强的环保偏好，希望人造板企业能够提供更加绿色环保的人造板产品；⑤ 人造板供应链运营主体也有自发的社会责任意识，实施原材料绿色采购、人造板绿色制造、人造板绿色加工和销售及全产业链绿色物流，提升资源综合利用效率、降低环境负影响，为终端顾客提供更加绿色环保的人造板产品；⑥ 提供绿色环保的人造板产品、提升环境管理能力和提高资源综合利用效率，使得人造板供应链运营不仅能够获得经济绩效，而且能够获得环保绩效。因此，有必要也有可能从绿色供应链管理视角探讨人造板绿色产业链竞争及其上下游协调机制。本文试图构建多链竞争下的人造板绿色供应链协调机制，探讨多链竞争的影响。

2. 文献回顾

绿色供应链管理是一种全面和系统的综合考虑环境影响和资源效率的供应链运营管理模式，它以绿色制造理论和供应链管理技术为基础，涉及供应商、生产厂、销售商和用户，其目的是使得产品从物料获取、加工、包装、仓储、运输、使用到报废处理的整个过程中，对环境的影响(负作用)最小，资源效率最高。国内外的专家学者对绿色供应链竞争与协调模型进行了深入研究。比如 Sheu 等(2011, 2012)研究了政府金融干预下的竞争性绿色供应链讨价还价框架和政府金融干预对绿色供应链竞争的影响[2] [3]；Zhang 等(2013)研究了非合作博弈下的三层绿色供应链的协调机制[4]；Al-e-hashem 等(2013)构建了考虑

柔性提前期、非线性购买和短缺成本的绿色供应链随机总生产计划模型[5]；朱庆华等(2011)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[6]。

但现有的文献中关于人造板绿色供应链管理的研究较少,陈志松(2015)构建了增值税即征即退和环境税政策引导下人造板绿色供应链的质量竞争、合作与协调模型,进行了对比数值分析,并探讨了人造板供应链管理启示和政策建议[7]。王源渊等(2010, 2011)基于绿色供应链管理理论构建了适合我国人造板企业的循环物流运作模式,并探究了人造板产业实施绿色供应链管理的动因,构建了人造板绿色供应链运作过程模型,设计了人造板绿色供应链的绿色度评价指标体系[8] [9]。除此以外,也有学者对木制品供应链进行了相关研究,如 Siry 等(2006)深入研究了美国南部、加拿大西部、巴西、瑞典和澳大利亚等主要木材生产区域的木材供应链的纤维可用性和成本对于工业盈利能力的影响[10]; Espinoza 等(2010)使用案例研究方法对木制品供应链的质量指标进行了深入研究,研究表明,扩大设施的持续改进的努力使得核心企业实现高度的内部整合,供应商的质量管理是实现外部整合的关键,供应链上任何一点的低质量会影响到客户满意、利润减少和下游节点的高成本,最终使得整个供应链系统竞争力下降[11]; Espinoza 等(2010)运用五步法构建了木制品供应链的绩效指标体系,为供应链合作伙伴之间的协作和有效的项目改进提供信息[12]; 张智光(2009, 2011)从绿色供应链角度研究了探讨林纸一体化系统的结构、特性及其绿色共生机制[13] [14]; 张智光(2012)构建了林业绿色供应链的共生关系椭圆轨道模型、多层次结构模型、“三链”共生循环结构模型、5R 循环经济结构模型和 Multi-Agent 运行机制模型[15]; 席正(2010)通过问卷调查和实地调研分析了木制品供应链管理存在的问题,并运用数学建模构建了最佳的木制品物流和供应链管理方案[16]; 宋雨屏(2012)运用木地板供应链物流网络的概念模型分析了湖南省木地板供应链物流网络的结构、主要运营模式以及链上成员之间的关系,并构建了基于成本最优的木地板供应链物流网络优化模型[17]; 汪潘进(2012)构建了基于层次分析法的供应链环境下的木制品企业成品库存管理绩效评价体系[18]。

可见,现有的文献关于人造板绿色供应链竞争、人造板绿色供应链协调的研究还很不足。面对人造板产业存在的退税政策门槛低、落后产能过剩、枝桠材供给不足、上下游缺乏有效的沟通与协调、人造板供应链竞争等问题,现有的研究没有给出答案。因此,本文试图构建多链竞争下的人造板绿色供应链协调模型,并进行对比数值分析,探讨相关的管理启示和政策建议,从而为人造板产业的转型升级和优化运营提供理论支撑和技术支持,为相关部门的政策制定和调整提供决策参考。

3. 模型假设

我们考虑由人造板制造商和人造板加工商(比如强化地板加工商)组成的人造板供应链系统,在该系统中,人造板制造商向上游的枝桠材供应商采购枝桠材,经过剥皮切片、水洗热磨、施胶干燥、分选铺装、热压成型、砂光切割等环保工艺流程将枝桠材加工成人造板,并销售给强化地板加工商,强化地板加工商将人造板加工成强化地板,并将强化地板销售给市场中的顾客。为激励人造板企业积极推行清洁生产和绿色供应链管理改进,设定政府对于人造板生产过程中的单位废弃物征收适当的环境税,对于人造板企业实施绿色供应链管理改进的固定投入给予一定的补贴。在该激励政策下,人造板企业有内在压力和外在动力实施绿色供应链管理评估和改进。通过生产线不停机换板改造、新型磨片技术研发、连续生产线产能提升、热能中心除尘器节电改造、废纤维风机节能改造、ESB 上料系统改造和过小木片输送系统改造等人造板绿色供应链改造项目,实现工艺废渣、废水和高温烟气的回收循环利用:砂光粉、过小木片等固体废弃物被回收至热能中心作为燃料,多余的部分砂光粉、过小木片出售给相关企业用于燃料和造纸原料;高温烟气除尘后回收的热能用于烘干设备,回收的木粉尘用气流输送至热能中心作燃料;热能中心的蒸汽用于加热,冷凝水循环至热能中心,废水处理循环用于木片清洗,减少了电能、木材资

源和水资源的消耗,提升了资源能源综合利用率。

为分析多链竞争下人造板绿色供应链的协调运营机制,我们考虑由多条包含单一人造板制造商和单一人造板加工商构成的单链式人造板供应链系统(如图1所示)。设定人造板制造商和人造板加工商的序号分别为 $i=1,2,\dots,n$ 。设定人造板生产商 i 的单位枝桠材成本均为 c ,人造板产品单位加工成本均为 c_0 ,绿色供应链改造减少的人造板单位产品加工成本均为 c_0^r ,人造板制造商 i 实施绿色供应链管理的固定投入均为 c_f 。单位人造板的木材消耗量均为 λ ,最低甲醛释放量水平(超 E0 级)均为 e_0 ,单位人造板产品的甲醛释放量均为 e ,单位人造板产品甲醛释放减少量均为 Δe ,为减少甲醛释放所付出的单位甲醛成本均为 χ ,人造板单位产品售价均为 w ,且 w 是关于 Δe 的函数,即 $w(\Delta e) = w_0 - f(e - \Delta e - e_0)$,其中, w_0 为最低甲醛释放量 e_0 水平下人造板产品的基准价格, f 为人造板产品售价对于甲醛释放减少量的反应程度。令 $w_b \equiv w_0 - f(e - e_0)$,则人造板单位产品售价函数可简写为 $w(\Delta e) = w_b + f\Delta e$ 。实施绿色供应链管理改进的参数还包括:单位枝桠材的过小木片产出率为 κ_s ,过小木片的销售收益为 r_s ;单位枝桠材的树皮产出率为 κ_t ,树皮用于销售或用于燃料带来的经济效益为 r_t ;单位人造板的锯屑粉和砂光粉产出率为 κ_p ,锯屑粉和砂光粉用于销售或用于燃料带来的经济效益为 r_p ;单位人造板的其他工艺废渣产出率为 κ_w ,其他工艺废渣用于燃料带来的经济效益为 r_w ;单位枝桠材的废水产出比率为 g ,废水循环利用带来的经济效益及处理成本分别为 r_g 和 c_g ;单位枝桠材的木粉尘及高温烟气等大气污染物产出比率为 v ,大气污染物回收利用带来的经济效益及处理成本分别为 r_v 和 c_v ;人造板平均密度为 ρ ,则可以定义单位枝桠材的绿色供应链管理改进效益均为 $r \equiv r_s\kappa_s + r_t\kappa_t + r_p\kappa_p\rho/\lambda + r_w\kappa_w\rho/\lambda + (r_g - c_g)g + (r_v - c_v)v$ 。政府对实施绿色供应链管理的固定投入的补贴比率为 φ ($0 < \varphi < 1$),政府对人造板产品生产过程中的单位废弃物(包括甲醛释放)征收环境税为 t ,环境税 t 是关于甲醛释放减少量 Δe 的函数,即 $t(\Delta e) = \tau(e - \Delta e - e_0)$,其中, τ 为人造板环境税对于甲醛释放减少量的反应程度,令 $t_b \equiv \tau(e - e_0)$,则环境税函数可以简写为 $t(\Delta e) = t_b - \tau\Delta e$ 。第 i 个人造板加工商的人造板订购量为 q_i ,总的人造板订购量为 $q = \sum_{i=1}^n q_i$,且 $q_i = q - q_i$ 。强化地板的单位加工成本均为 c_d ,单位人造板加工为强化地板的产出率为 ℓ ,单位强化地板的零售价均为 p ,强化地板单位产品安装利润均为 δp ($0 < \delta < 1$),强化地板多余产品库存促销价均为 ηp ($0 < \eta < 1$);我们假设强化地板产品需求函数为随机变量 X ,并服从某种分布,其累积分布函数(CDF)和概率密度函数(PDF)分别为 $F(\cdot)$ 和 $f(\cdot)$,其均值和方差分别为 μ 和 σ 。 n 个人造板加工商分享了人造板加工产品需求量 X ,第 i 个人造板加工商获得的需求量为 $X_i = \frac{q_i}{q} X$ 。决策变量为:人造板制造商 i 的甲醛释放减少量 Δe ,人造板加工商 i 的人造板订购量 q_i 。

4. 多链竞争下的人造板绿色供应链协调决策模型

为使人造板绿色供应链整体利润达到最大化,人造板制造商 i 和人造板加工商 i 通过一种两部制价格契约机制实现零售价和甲醛释放减少量的联合决策,即供应链协调。当供应链达到协调时,人造板绿色供应链的最优化问题如下:

$$\begin{aligned} \max_{q_i} \Pi_{SC_i}(q_i) = & -c_d \ell q_i + [N - w_b + (\lambda\tau - \chi)\Delta e] q_i - (1 - \varphi)c_f \\ & + \frac{q_i}{q} \int_0^{\ell q} [(p + \delta p)x + (\eta p + \delta p)(\ell q - x)] f(x) dx \\ & + \frac{q_i}{q} \int_{\ell q}^{+\infty} (p + \delta p) \ell q f(x) dx \end{aligned} \quad (1)$$

其中, $q = \sum_{i=1}^n q_i$, $N \equiv (w_b - \lambda t_b) + (\lambda r - \lambda c) - (c_0 - c_0^r)$

分别求解人造板绿色供应链期望利润函数关于人造板订购量 q_i 的一阶条件和二阶导数,可得集中决

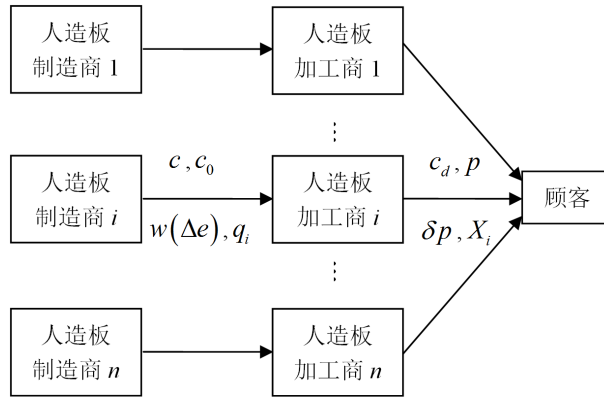


Figure 1. Sketch map of the green supply chain of wood-based-panel in multi-chain competition
图 1. 多链竞争下的人造板绿色供应链示意图

策下人造板加工商 i 的最优人造板订购量满足：

$$\ell F(\ell q_c) - \frac{q_{-i}^c}{q_c^2} \int_0^{\ell q_c} x f(x) dx = \frac{\ell[(1+\delta)p - c_d] + [N - w_b + (\lambda\tau - \chi)\Delta e]}{(1-\eta)p}$$

同时，由于 $q_{-i}^c = q_c - q_i^c$ ，显然有 $q_c = \sum_{i=1}^n q_i^c = nq_i^c$
则有

$$\ell F(\ell q_c) - \frac{n-1}{nq_c} \int_0^{\ell q_c} x f(x) dx = \frac{\ell[(1+\delta)p - c_d] + [N - w_b + (\lambda\tau - \chi)\Delta e]}{(1-\eta)p} \quad (2)$$

人造板制造商提供了一种两部制价格契约机制：人造板制造商以成本价向所有人造板加工商供应人造板产品，人造板加工商 i 向人造板制造商补偿一个固定费用 w_f ，最终达到人造板绿色供应链最优绩效。该机制使得独立决策下的人造板加工商的甲醛释放减少量与供应链联合决策下的甲醛释放减少量相一致。则在给定两部制价格契约机制下，人造板加工商 i 的最优化问题如下：

$$\begin{aligned} \max_{q_i} \Pi_{F_i}(q_i) = & -w(\Delta e)q_i - c_d \ell q_i - w_f \\ & + \frac{q_i}{q} \int_0^{\ell q} [(p + \delta p)x + (\eta p + \delta p)(\ell q - x)] f(x) dx \\ & + \frac{q_i}{q} \int_{\ell q}^{+\infty} (p + \delta p) \ell q f(x) dx \end{aligned} \quad (3)$$

分别求解两部制价格契约下人造板加工商 i 的期望利润函数关于人造板订购量 q_i 的一阶条件和二阶导数，可得两部制价格契约下人造板加工商 i 的最优人造板订购量满足：

$$\ell F(\ell q_d) - \frac{q_{-i}^d}{q_d^2} \int_0^{\ell q_d} x f(x) dx = \frac{(1+\delta)\ell p - \ell c_d - w(\Delta e)}{(1-\eta)p}$$

同样，由于 $q_{-i}^d = q_d - q_i^d$ ，显然有 $q_d = \sum_{i=1}^n q_i^d = nq_i^d$
则有

$$\ell F(\ell q_d) - \frac{n-1}{nq_d} \int_0^{\ell q_d} x f(x) dx = \frac{(1+\delta)\ell p - \ell c_d - w(\Delta e)}{(1-\eta)p} \quad (4)$$

两部制价格契约下，为使得独立决策与联合决策相一致，则要满足 $q_i^c = q_i^d$ 。因此，有协调情形下的

甲醛释放减少量满足:

$$\Delta e_c = -\frac{N}{f + \lambda\tau - \chi} \quad (5)$$

两部制价格契约协调情形下的最优人造板订购量满足:

$$\ell F(\ell q_c) - \frac{n-1}{nq_c} \int_0^{\ell q_c} xf(x)dx = \frac{\ell[(1+\delta)p - c_d] + [N - w_b + (\lambda\tau - \chi)\Delta e_c]}{(1-\eta)p} \quad (6)$$

因此, 两部制价格契约下, 人造板制造商 i 和人造板加工商 i 的协调利润分别为:

$$\Pi_{M_i}^c = [N + (f + \lambda\tau - \chi)\Delta e_c]q_i^c - (1-\varphi)c_f + w_f \quad (7)$$

$$\Pi_{F_i}^c = \left\{ \ell[(1+\delta)p - c_d] - (w_b + f\Delta e_c) \right\} q_i^c - w_f - \frac{(1-\eta)p}{n} \int_0^{\ell q_c} (\ell q_c - x)f(x)dx \quad (8)$$

人造板绿色供应链 i 的最优利润为:

$$\begin{aligned} \Pi_{SC_i}^c = & \left\{ \ell[(1+\delta)p - c_d] + [N - w_b + (\lambda\tau - \chi)\Delta e_c] \right\} q_i^c \\ & - (1-\varphi)c_f - \frac{(1-\eta)p}{n} \int_0^{\ell q_c} (\ell q_c - x)f(x)dx \end{aligned} \quad (9)$$

5. 数值分析

为分析多链竞争下的人造板绿色供应链协调决策, 我们设定如下参数: 人造板制造商 i 的单位枝桠材成本均为 $c = 0.4$ 元/kg, 人造板产品单位加工成本均为 $c_0 = 938.28$ 元/m³, 绿色供应链改造减少的人造板单位产品加工成本均为 $c_0^r = 30.87$ 元/m³, 人造板制造商实施绿色供应链管理的固定投入均为 $c_f = 856,000$ 元。单位人造板的木材消耗量 $\lambda = 1890$ kg/m³, 人造板平均密度 $\rho = 850$ kg/m³; 最低甲醛释放量水平(超 E0 级) e_0 均为 4 mg/100 g, 单位人造板产品的甲醛释放量 e 均为 30 mg/100 g, 为减少甲醛释放所付出的单位甲醛成本 χ 均为 10(元/m³)/(mg/100 g), 最低甲醛释放量 e_0 水平下人造板产品的基准价格 w_0 均为 3000 元/m³, 人造板产品售价对于甲醛释放减少量的反应程度 f 均为 100(元/m³)/(mg/100 g)。则有 $w_b = 3000 - 100 \times (30 - 4) = 400$ 元/m³。实施绿色供应链管理改进的参数还包括: 人造板制造商的单位枝桠材的过小木片产出率为 $\kappa_s = 1\%$, 过小木片的销售收益为 $r_s = 0.4$ 元/kg; 树皮产出率为 $\kappa_t = 7\%$, 单位枝桠材的树皮用于销售或用于燃料带来的经济效益为 $r_t = 1.0011$ 元/kg; 单位人造板的锯屑粉和砂光粉产出率为 $\kappa_p = 9\%$, 锯屑粉和砂光粉用于销售或用于燃料带来的经济效益为 $r_p = 3.893$ 元/kg; 单位人造板的其他工艺废渣产出率 $\kappa_w = 1\%$, 锯屑粉和砂光粉用于燃料带来的经济效益为 $r_w = 3.893$ 元/kg, 单位枝桠材的废水产出比率为 $\vartheta = 0.001$ m³/kg, 废水循环利用带来的经济效益及处理成本分别为 $r_g = 3.1$ 元/m³ 和 $c_g = 0.8$ 元/m³; 单位枝桠材的木粉尘和高温烟气等大气污染物产出比率为 $\nu = 0.5\%$, 大气污染物回收利用带来的经济效益及处理成本分别为 $r_v = 4.5$ 元/kg 和 $c_v = 0.6$ 元/kg, 则依据前述定义, 人造板制造商 i 的单位枝桠材的绿色供应链管理改进效益 $r = 0.271$ 元/kg。强化地板的单位加工成本为 $c_d = 250$ 元/m², 单位人造板加工为强化地板的产出率为 $\ell = 100$ m⁻¹, 强化地板产品的零售价格为 $p = 300$ 元/m², 强化地板产品的促销价格占零售价格比率 η 为 50%, 安装利润占强化地板售价比率 δ 为 10%, 政府对实施绿色供应链管理的固定投入的补贴比率 φ 为 30%, 人造板环境税对于甲醛释放减少量的反应程度 τ 为 0.01(元/m³)/(mg/100g), 则有 $t_b = 0.01 \times (30 - 4) = 0.26$ 元/m³。强化地板产品随机需求 X 服从正态分布, 即 $X \sim N(\mu, \sigma^2)$, 其均值和方差分别为 $\mu = 500,000$ 和 $\sigma = 50,000$ 。两部制价格契约中, 人造板加工商 i 向人造板制造商 i 补偿的固定费用 $w_f = 2,000,000$ 元。分别考虑多链竞争下的人造板绿色供应链数量为 $n = 3, 4, 5$, 运用 Matlab2010b 进行多链竞争下的人造板绿色供应链协调决策数值计算和分析, 计算结果如表 1 所示。

Table 1. Numerical analysis of green supply chain coordination for wood-based-panel in multi chain competition
表 1. 多链竞争下人造板绿色供应链协调决策数值分析

n	Δe_c	q_i^c	$\Pi_{M_i}^c$	$\Pi_{F_i}^c$	$\Pi_{SC_i}^c$	$\sum_{i=1}^n \Pi_{SC_i}^c$
3	11.41	1982.77	1,400,800.00	6,037,145.93	7,437,945.93	22,313,837.79
4	11.41	1646.96	1,400,800.00	2,682,789.28	4,083,589.28	16,334,357.11
5	11.41	1404.99	1,400,800.00	999,890.30	2,400,690.30	12,003,451.52

综合数值分析的研究结果表明：多链竞争下，参与竞争的人造板绿色供应链数量越多，人造板的最优订购量越小；参与竞争的人造板绿色供应链数量越多，人造板绿色供应链及其成员的最优利润越小；参与竞争的人造板绿色供应链数量越多，参与竞争的所有人造板绿色供应链最优利润之和越小。

6. 管理启示

从人造板产业供应链运营管理实务角度，研究给我们的启示主要包括：

(1) 原有的增值税即征即退优惠政策的“门槛”宜进一步提高，比如要求必须达到清洁生产、循环经济等相关行业标准才可以享受增值税即征即退优惠，同时，建议相关部门考虑和研究开征环境税，促使人造板企业有经济动因积极开展绿色供应链管理改进，提高资源能源利用率，减少三废污染排放，有利于提升人造板企业的综合绩效和竞争能力。

(2) 两部制价格契约可以有效地协调多链竞争下的人造板绿色供应链运作。市场上参与竞争的人造板绿色供应链数量越多，人造板绿色供应链的最优利润越小。因此，人造板绿色供应链要避免同质化竞争，而是通过降低单位枝桠材成本、人造板产品单位加工成本和强化地板的单位加工成本，与竞争对手拉开差距，以获得异质化竞争优势，有助于提升人造板绿色供应链的运作绩效。

(3) 通过自建经济林场、选用经济型枝桠材等措施有效保障枝桠材供应，降低单位枝桠材成本；通过技术研发和工艺流程改进，促进资源能源回收和循环利用，提高资源能源利用率，变废为宝，有助于降低人造板加工成本、提高绿色供应链管理改进效益；通过技术研发和创新来降低人造板绿色供应链管理改造成本。以上对策都有助于提高人造板绿色供应链的运营绩效。

7. 结论

当前，我国人造板产业落后产能过剩，资源浪费和环境污染严重，相比于人造板产能的高速增长，人造板下游加工产品需求增长较慢，上游枝桠材供给相对不足，人造板企业与其上下游的发展不匹配，缺乏有效的沟通与协调，人造板供应链同质化竞争严重。本文结合人造板产业实际，界定了人造板制造商和人造板加工商组成的人造板绿色供应链系统，进而，在增值税即征即退和环境税政策引导下，构建了多链竞争下的人造板绿色供应链协调模型，并进行了对比数值分析。研究结果表明：(1) 有“门槛”的增值税即征即退补贴的政策以及征收环境税的政策，使得人造板企业有经济动因积极开展绿色供应链管理改进，淘汰落后产能，提高资源能源利用率，减少三废污染排放，降低单位产品成本，提高企业综合运营绩效和竞争能力。(2) 两部制价格契约可以有效地协调多链竞争下的人造板绿色供应链运作，市场上参与竞争的人造板绿色供应链数量越多，人造板绿色供应链的最优利润越小。因此，人造板绿色供应链要避免同质化竞争，而是通过降低单位枝桠材成本、人造板产品单位加工成本和强化地板的单位加工成本，与竞争对手拉开差距，以获得异质化竞争优势，有助于提升人造板绿色供应链的运作绩效。(3) 通过自建经济林场、选用经济型枝桠材等措施有效保障枝桠材供应，强化技术研发和工艺流程改进，促进资源能源回收和循环利用，提高资源能源利用率，有助于提高人造板绿色供应链整体及其成员的运营绩效。

基金项目

江苏省高校哲学社会科学研究基金资助项目(2014SJB094); 江苏省高校自然科学基金面上项目(编号: 15KJB110012); 中国博士后科学基金面上资助项目(2014M551623); 江苏省博士后科研资助计划项目(1301077C); 南京师范大学人文社会科学青年科研人才培养基金资助项目(编号: 1409006); 南京师范大学教改研究项目“基于职业能力培养的供应链管理课程教研改革与探索”。

参考文献 (References)

- [1] 王硕. 我国人造板行业的现状思考及趋势判断——访中国林产工业协会副会长钱小瑜[J]. 中国人造板, 2013(1): 1-5, 12.
- [2] Sheu, J.B. (2011) Bargaining Framework for Competitive Green Supply Chains under Governmental Financial Intervention. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, **47**, 573-592. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tre.2010.12.006>
- [3] Sheu, J.B. and Chen, Y.J. (2012) Impact of Government Financial Intervention on Competition among Green Supply Chains. *International Journal of Production Economics*, **138**, 201-213. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2012.03.024>
- [4] Zhang, C.T. and Liu, L.P. (2013) Research on Coordination Mechanism in Three-Level Green Supply Chain under Non-Cooperative Game. *Applied Mathematical Modelling*, **37**, 3369-3379. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apm.2012.08.006>
- [5] Al-e-hashem, S.M.J.M., Baboli, A. and Sazvar, Z. (2013) A Stochastic Aggregate Production Planning Model in a Green Supply Chain: Considering Flexible Lead Times, Nonlinear Purchase and Shortage Cost Functions. *European Journal of Operational Research*, **230**, 26-41. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2013.03.033>
- [6] 朱庆华, 窦一杰. 基于政府补贴分析的绿色供应链管理博弈模型[J]. 管理科学学报, 2011(6): 86-95.
- [7] 陈志松. 政策引导下人造板绿色供应链质量竞争、合作与协调研究[J]. 低碳经济, 2015, 4(4): 34-45.
- [8] 王源渊, 王忠伟. 基于绿色供应链理论的人造板企业物流运作模式研究[J]. 物流工程与管理, 2010(12): 63-65.
- [9] 王源渊. 人造板绿色供应链的构建及评价研究[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 中南林业科技大学, 2011.
- [10] Siry, J.P., Greene, W.D. and Harris, T.G. (2006) Wood Supply Chain Efficiency and Fiber Cost—What Can We Do Better? *Forest Products Journal*, **56**, 4-10.
- [11] Espinoza, O.A., Bond, B.H. and Kline, E. (2010) Quality Measurement in the Wood Products Supply Chain. *Forest Products Journal*, **60**, 249-257.
- [12] Espinoza, O.A., Bond, B.H. and Kline, E. (2010) Supply Chain Measures of Performance for Wood Products Manufacturing. *Forest Products Journal*, **60**, 700-708.
- [13] 张智光. 林纸一体化绿色供应链系统的结构与特性分析[J]. 南京林业大学学报(人文社会科学版), 2009, 9(4): 69-75.
- [14] 张智光. 绿色供应链视角下的林纸一体化共生机制[J]. 林业科学, 2011, 47(2): 111-117.
- [15] 张智光. 实现产业与生态互利共生的林业绿色供应链模式研究[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2012, 36(2): 3-10.
- [16] 席正. 大连志远木制品厂供应链管理研究[D]: [硕士学位论文]. 大连: 大连理工大学, 2010.
- [17] 宋雨屏. 湖南省木地板供应链物流网络优化研究[D]: [硕士学位论文]. 长沙: 中南林业科技大学, 2012.
- [18] 汪潘进. 供应链环境下的木制品企业成品库存管理体系优化研究[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 武汉科技大学, 2012.

期刊投稿者将享受如下服务：

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

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