

doi:10.3969/j.issn.1672-626x.2018.05.008

联合库存管理策略对供应链的碳排放影响

余利娥^{1,2}

(1. 宿州学院 商学院,安徽 宿州 234000;2. 江苏大学 管理学院,江苏 镇江 212013)

摘要:比较碳税政策下的两零售商分散决策和合作决策下供应链的最小总成本与碳排放发现,JMI策略可以在降低供应链的总成本的同时降低碳排放,特别是采取货存第三方的JMI策略时,碳减排的效果最显著,但是第三方配送中心的成本会增加,不能实现帕累托改进,利用Shapley值法制定物流配送服务价格则可以促进配送中心和两零售商的三方合作。分析配送中心的负优势系数对三方分配利润的影响发现,Shapley值法可以增强合作的积极性。利用数值算例分析发现,碳税率对最优订购批量的影响取决于作业成本与碳排放量的比值。

关键词:联合库存管理;碳排放;碳税;Shapley值法

中图分类号:F252

文献标志码:A

文章编号:1672-626X(2018)05-0072-10

一、引言及文献回顾

2015年11月30日,习近平总书记在气候变化巴黎大会上再次承诺中国将于2030年实现单位国内生产总值二氧化碳排放比2005年下降60%~65%。2016年年初广东省、浙江省、福建省等省份在两会期间纷纷提出要大力发展绿色低碳经济,发展低碳经济已经获得我国政府和企业的重点关注。供应链在运输、库存管理等作业环节都会产生大量的碳排放,Jira等(2013)指出由供应链产生的碳排放超过了由全球2500家最大的公司运营产生的碳排放,而这些公司估计产生了全球20%的碳排放^[1]。因此研究供应链的碳减排问题具有重要的现实意义。

1997年《京都议定书》通过后,各国政府纷纷出台各种碳排放政策,以降低碳排放。目前各国应用得较多的碳排放政策主要有碳税政策、碳限额政策、碳限额与交易政策、碳限额与补偿政策等。学者们在碳排放政策方面的研究文献较多。Kuo等(2016)分析了碳税政策对企业新技术投资的影响,指出通过制定合理的碳税税率可以促使企业降低生产过程中的碳排放^[2]。王慧慧等(2016)利用基尼系数优化模型对全球132个国家的碳排放配额进行了公平分配^[3]。Carmona等(2011)研究了期权估值风险中性模型的碳排放权定价问题^[4]。赵荣钦等(2015)对区域碳补偿进行了研究综述,分析了碳补偿的内涵和特征^[5]。

关于低碳供应链运营管理的研究文献也较多。Sazvar等(2014)指出由于消费者低碳意识的加强以及法规的约束,使得企业在生产经营活动中不得不减少对环境的负面影响,因此研究供应链对环境的影响至关重要^[6]。Cholette等(2009)测量了葡萄酒供应链中运输和库存环节的碳排放量^[7]。Pan等(2013)采用某企业

收稿日期:2018-05-08

基金项目:安徽省高校人文社会科学研究重点项目(SK2017A0466);宿州区域发展协同创新中心开放课题(2015SZX-TQNK04);宿州学院皖北中小企业与特色产业研究中心开放课题(2014YKF25)

作者简介:余利娥(1983-),女,湖北武汉人,宿州学院讲师,管理学博士,研究方向为低碳物流管理。

的运输数据,研究了不同运输方式下的碳排放量,指出采用多式联运可以有效降低运输过程中的碳排放量^[8]。Hoen等(2014)研究了碳排放规制(排放成本和排放限制)对企业运输方式选择的影响并提出建议^[9]。Ji等(2014)构建了一个可持续的供应链模型,研究了如何在生产、配送和处理各阶段尽可能地减轻对环境的负面影响^[10]。李剑等(2016)基于EOQ模型,以一个供应商和一个零售商组成的供应链为研究对象,建立了包含减排投资的碳交易模型,研究了碳交易价格对零售商和供应商的影响^[11]。徐春秋等(2016)建立了供应链上下游联合减排与低碳宣传的微分博弈模型^[12]。赵道致等(2016)借助微分博弈研究了单个供应商和单个制造商合作的两级供应链纵向合作减排问题^[13]。

联合库存管理(JMI)是一种在供应商管理库存(VMI)基础上发展起来的上游企业和下游企业权力责任平衡和风险共担的库存管理模式,强调双方同时参与,共同制定库存计划。JMI打破了各企业各自为政的库存管理方式,体现了供应链的集成管理思想,有利于降低供应链的库存成本。关于联合库存管理的研究文献较多。Goyal(1977)首次提出联合库存管理策略的重要性^[14]。Ben-Daya等(2004)研究了单供应商-单制造商的供应链联合库存管理问题,发现采用联合库存管理策略可以降低成本^[15]。Chen等(2007)提出了一个允许延迟支付的联合库存管理模型,确定了最优补货间隔时间和最优补货频率^[16]。莫正敏等(2008)研究了两个需求量不同的制造商参与联合采购的经济订购批量模型,指出采取联合采购及联合库存管理策略可以降低制造商的成本^[17]。Sajadieh等(2009)研究了提前期为随机变量的单供应商-单零售商供应链的联合库存管理模型^[18]。Olson等(2010)提出当买卖双方合作时应该建立一个共同的库存管理系统,以发挥供应链的集成优势^[19]。Huang等(2011)利用纳什均衡建立了一个三层的动态非合作博弈库存模型^[20]。Sana(2011)研究了由供应商、制造商和客户组成的三级供应链,试图通过协同制定生产和库存决策来最大化供应链的期望利润^[21]。Hsu等(2013)研究了当供应商生产的产品存在质量问题时供应商和买方合作的联合库存管理模型^[22]。Shahpouri等(2013)建立了一个供应商-买方合作的联合库存管理模型,并给出了获得最优解的算法^[23]。高春瑜(2013)指出了联合库存管理的四种实现方式^[24]。Yang等(2014)假设瑕疵品发生在原材料供应和产品制造阶段,在此基础上建立了一个三级供应链的联合库存管理模型^[25]。Yang等(2015)研究了在有一定瑕疵品率的情形下,付款周期取决于购买价格的供应链联合库存管理模型,指出合适的库存策略能够提高供应链的期望总利润^[26]。冉文学等(2017)研究了供应商和零售商采取联合库存管理策略下生鲜食品的最优供给策略^[27]。江玉杰(2018)构建了二级服装供应链的联合库存管理模型^[28]。陈志松等(2018)分析了考虑公平关切的联合库存管理模式,供应链上游企业和下游企业的协调问题^[29]。

目前,从碳排放测量、运输方式选择、配送网络设计等方面研究低碳供应链的文献较多,但是从库存策略角度研究低碳供应链的文献较少;研究供应链纵向合作的联合库存管理策略的文献较多,而研究供应链横向合作的联合库存管理策略的文献较少,莫正敏等(2008)虽然研究了两个制造商的联合库存管理策略,但是其没有考虑碳排放政策对供应链决策的影响,而且也没有考虑不同的JMI实现方式对供应链决策的影响。基于此,本文以由一个供应商和两个零售商组成的供应链系统作为研究对象,以EOQ模型作为零售商的货物订购方式,研究了碳税政策下,两个零售商横向合作对供应链的碳排放影响以及不同的JMI实现方式对供应链的碳排放影响,并利用Shapley值法对供应链利益进行分配,以实现帕累托改进。

二、模型与分析

(一)基本假设及参数、成本构成说明

1. 基本假设

为了方便建立模型,本文的基本假设如下:两零售商具有相互独立且确定的年需求量;每次以相同的订

货批量向供应商订货,且单位商品订购价格不随订购批量的变化而改变;每次的订货成本和订货产生的碳排放量固定且相同,单位商品年储存成本和单位商品储存时的年碳排放量相同;由于配送中心更加专业,因此配送中心的各项作业成本和碳排放相较于零售商而言具有一定的优势;各项成本均由负责管理库存的一方承担;碳排放成本按照征收碳税的方式计算。

2. 参数说明

参数、符号说明如表1所示。

表1 模型参数、符号

参数/符号	说明	参数/符号	说明
D_i	零售商 <i>i</i> 的年需求量	Q_i	零售商 <i>i</i> 每次向供应商订货的订购批量
c_1	各零售商每次向供应商订货的订货成本	c_2	各零售商单位商品的年储存成本
t	各零售商每次向供应商订货产生的碳排放量	k	各零售商单位商品的年储存碳排放量
r	碳税率	TC_i	零售商 <i>i</i> 的总成本
TC_i	供应链系统的总成本	CEQ_i	供应链系统的总碳排放量

3. 成本构成

模型的总成本由订货成本、储存成本、购置成本和碳排放成本四部分构成。由于单位商品订购价格不随订购批量的变化而改变,因此无论两个零售商的订购批量是多少,是否采取JMI策略,商品的总购置成本固定,即为两零售商的需求量之和与商品单价的乘积,为了简化计算,在总成本中去掉商品购置成本,即:总成本=订货成本+储存成本+碳排放成本。

(二)两零售商分散决策

零售商*i*的碳排放包括订货产生的碳排放和存储商品产生的碳排放^[13]。

$$\text{零售商 } i \text{ 的碳排放量 } CEQ_i = \frac{D_i}{Q_i}t + \frac{Q_i}{2}k \tag{1}$$

$$\text{零售商 } i \text{ 的总成本 } TC_i = \frac{D_i}{Q_i}c_1 + \frac{Q_i}{2}c_2 + r \left(\frac{D_i}{Q_i}t + \frac{Q_i}{2}k \right) \tag{2}$$

$$\text{经计算可求得使 } TC_i \text{ 取最小值的最优订购批量 } Q_i^* = \sqrt{\frac{2(c_1 + rt)D_i}{c_2 + rk}} \tag{3}$$

$$\text{零售商 } i \text{ 的最小总成本 } TC_i^* = \sqrt{2(c_1 + rt)(c_2 + rk)D_i} \tag{4}$$

$$\text{此时,零售商 } i \text{ 的碳排放 } CEQ_i^* = \left[t \sqrt{\frac{c_2 + rk}{2(c_1 + rt)}} + k \sqrt{\frac{c_1 + rt}{2(c_2 + rk)}} \right] \sqrt{D_i} \tag{5}$$

$$\text{供应链的最小总成本 } TC_i^* = \sqrt{2(c_1 + rt)(c_2 + rk)}(\sqrt{D_1} + \sqrt{D_2}) \tag{6}$$

$$\text{碳排放 } CEQ_i^* = \left[t \sqrt{\frac{c_2 + rk}{2(c_1 + rt)}} + k \sqrt{\frac{c_1 + rt}{2(c_2 + rk)}} \right] (\sqrt{D_1} + \sqrt{D_2}) \tag{7}$$

(三)两零售商集中决策

两零售商联合订货并采取JMI策略,可采取货存需方或货存第三方的JMI实现方式。

1. 货存需方

假设将商品存放在零售商1处,此时两个零售商采取联合订货策略,由零售商1统一向供应商订货来满足自己的需求和零售商2的需求,此时,供应链系统总的客户需求为 $D_1 + D_2$,零售商2由零售商1负责商品的补给,零售商2由于不需要向供应商订货,也不储存商品,其订货成本、储存成本和碳排放成本均为0,所以

$$\text{供应链系统的总成本: } TC_i = \frac{D_1 + D_2}{Q_1}c_1 + \frac{Q_1}{2}c_2 + r \left(\frac{D_1 + D_2}{Q_1}t + \frac{Q_1}{2}k \right) \tag{8}$$

$$\text{经计算,可求得使 } TC_i \text{ 取最小值的最优订购批量 } Q_i^* = \sqrt{\frac{2(c_1+rt)(D_1+D_2)}{c_2+rk}} \quad (9)$$

$$\text{供应链系统的最小总成本为 } TC_i^* = \sqrt{2(c_1+rt)(c_2+rk)(D_1+D_2)} \quad (10)$$

$$\text{此时,供应链系统的碳排放量 } CEQ_i^* = \left[t \sqrt{\frac{c_2+rk}{2(c_1+rt)}} + k \sqrt{\frac{c_1+rt}{2(c_2+rk)}} \right] \sqrt{D_1+D_2} \quad (11)$$

由于两零售商每次的订货成本和订货产生的碳排放量固定且相同,单位商品年储存成本和单位商品储存时的年碳排放量相同,因此无论是将商品存放在零售商1处还是存放在零售商2处,供应链系统的总成本函数不变,最优订购批量、供应链系统的最小总成本、碳排放量相同。

2. 货存第三方

第三方配送中心负责实施联合订货和JMI策略,即配送中心按照两个零售商的需求量统一向供应商订货,并将供应商提供的商品运输到自己的仓库储存,然后根据两个零售商的需求实施配送,零售商没有库存。由于各项成本均由负责管理库存的一方承担,因此在这种JMI模式下,两个零售商的总成本和碳排放均为0,此时所有的成本均由配送中心承担。

假定配送中心每次的订货批量为 Q_d ,配送中心每次向供应商订货的订货成本为 c_1^d ,每次订货产生的碳排放量为 t^d ,配送中心每单位商品的年储存成本为 c_2^d ,每单位商品的年储存碳排放量为 k^d 。由于配送中心专业性强,业务量较大,可以形成规模效应,其各方面的作业成本和碳排放量均比零售商低,所以 $c_1^d < c_1$; $c_2^d < c_2$; $t^d < t$; $k^d < k$ 。假设配送中心各方面的作业成本、碳排放量与零售商相比同比例降低,即假定:

$\frac{c_1^d}{c_1} = \frac{c_2^d}{c_2} = \frac{t^d}{t} = \frac{k^d}{k} = e (0 < e < 1)$, e 为配送中心的负优势系数, e 值越大,表示配送中心的作业成本和碳排放优势

越弱。此时,供应链系统的总成本为:

$$TC_i = (c_1^d + rt^d) \frac{D_1 + D_2}{Q_d} + (c_2^d + rk^d) \frac{Q_d}{2} \quad (12)$$

$$\text{经计算,可求得使 } TC_i \text{ 取最小值的最优订购批量 } Q_d^* = \sqrt{\frac{2(c_1^d + rt^d)(D_1 + D_2)}{c_2^d + rk^d}} \quad (13)$$

$$\text{供应链系统的最小总成本 } TC_i^* = \sqrt{2(c_1^d + rt^d)(c_2^d + rk^d)(D_1 + D_2)} \quad (14)$$

$$\text{供应链的碳排放 } CEQ_i^* = \left[t^d \sqrt{\frac{c_2^d + rk^d}{2(c_1^d + rt^d)}} + k^d \sqrt{\frac{c_1^d + rt^d}{2(c_2^d + rk^d)}} \right] \sqrt{D_1 + D_2} \quad (15)$$

命题1:在碳税政策下,联合库存管理策略不仅降低了供应链的总成本,而且降低了供应链的碳排放,并且货存第三方的JMI策略降低成本和碳排放的效果最显著。

证明:总成本 $TC_i^* = \sqrt{2(c_1+rt)(c_2+rk)(\sqrt{D_1} + \sqrt{D_2})} > \sqrt{2(c_1+rt)(c_2+rk)(D_1+D_2)} = TC_i >$

$\sqrt{2(c_1^d+rt^d)(c_2^d+rk^d)(D_1+D_2)} = TC_i^*$;

碳排放 $CEQ_i^* = \left[t \sqrt{\frac{c_2+rk}{2(c_1+rt)}} + k \sqrt{\frac{c_1+rt}{2(c_2+rk)}} \right] (\sqrt{D_1} + \sqrt{D_2}) > \left[t \sqrt{\frac{c_2+rk}{2(c_1+rt)}} + k \sqrt{\frac{c_1+rt}{2(c_2+rk)}} \right] \sqrt{D_1+D_2} = CEQ_i >$

$\left[t^d \sqrt{\frac{c_2^d+rk^d}{2(c_1^d+rt^d)}} + k^d \sqrt{\frac{c_1^d+rt^d}{2(c_2^d+rk^d)}} \right] \sqrt{D_1+D_2} = e \left[t \sqrt{\frac{c_2+rk}{2(c_1+rt)}} + k \sqrt{\frac{c_1+rt}{2(c_2+rk)}} \right] \sqrt{D_1+D_2} = CEQ_i^*$ 。命题得证。

三、基于Shapley值法的物流配送服务价格制定

采取货存第三方的JMI策略,供应链系统的总成本和碳排放最低,从供应链整体优化的角度来看,该策

略最优。此时,两零售商的成本均为0,比不采取JMI策略时低,而配送中心不提供JMI服务时的成本为0,提供JMI服务时的成本为 $\sqrt{2(c_1^d + rt^d)(c_2^d + rk^d)(D_1 + D_2)}$,成本增加,无法实现帕累托改进。实际上配送中心不能免费提供JMI服务,必然会向两个零售商收取一定的物流配送服务费用,以此来赚取利润,而零售商则可以通过支付物流配送服务费用来鼓励配送中心提供JMI服务,从而降低自己的成本来提高利润。通过制定物流配送服务价格,可以实现帕累托改进。

Shapley 值法是一种用于解决多人合作对策问题的数学方法^[30]。对 Shapley 值法的相关定义、要求和计算方法详见陈伟等(2015)关于 Shapley 值法的介绍^[31]。不失一般性,假设不采取 JMI 策略时,供应链系统的总利润为0,则采取 JMI 策略时,供应链系统的总利润 $\Pi_{d12} = TC_i^* - TC_i^{\#} > 0$ 。

令 $A = \sqrt{2(c_1 + rt)(c_2 + rk)}$,则可求出配送中心和两零售商所分配的利润分别为:

$$\phi_d(v) = (1 - e)A[\frac{1}{6}(\sqrt{D_1} + \sqrt{D_2}) + \frac{1}{3}\sqrt{D_1 + D_2}] \tag{16}$$

$$\phi_1(v) = A[(\frac{1}{6} + \frac{e}{3})\sqrt{D_1} + (\frac{2}{3} - \frac{e}{6})\sqrt{D_2} - \frac{1}{6}(1 + 2e)\sqrt{D_1 + D_2}] \tag{17}$$

$$\phi_2(v) = A[(\frac{2}{3} - \frac{e}{6})\sqrt{D_1} + (\frac{1}{6} + \frac{e}{3})\sqrt{D_2} - \frac{1}{6}(1 + 2e)\sqrt{D_1 + D_2}] \tag{18}$$

命题2:采取 Shapley 值法,需求量小的零售商总能分配更多的利润。

证明:由于 $\phi_1(v) - \phi_2(v) = \frac{A}{2}(1 - e)(\sqrt{D_2} - \sqrt{D_1})$, $0 < e < 1$,所以当 $D_1 > D_2$ 时, $\phi_1(v) - \phi_2(v) < 0$, $\phi_1(v) < \phi_2(v)$;

当 $D_1 < D_2$ 时, $\phi_1(v) - \phi_2(v) > 0$, $\phi_1(v) > \phi_2(v)$ 。命题得证。

设 P_1 、 P_2 分别表示零售商1和零售商2支付给配送中心的单位商品物流配送服务价格, $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 分别表示零售商1和零售商2采取货存第三方的JMI策略比不采取JMI策略减少的成本, Δd 表示配送中心提供JMI策服务后增加的成本,则:

$$\Delta 1 = \sqrt{2(c_1 + rt)(c_2 + rk)D_1} - 0 = A\sqrt{D_1} \tag{19}$$

$$\Delta 2 = \sqrt{2(c_1 + rt)(c_2 + rk)D_2} - 0 = A\sqrt{D_2} \tag{20}$$

$$\Delta d = \sqrt{2(c_1^d + rt^d)(c_2^d + rk^d)(D_1 + D_2)} - 0 = eA\sqrt{D_1 + D_2} \tag{21}$$

$$\text{所以 } P_1 = \frac{\Delta 1 - \phi_1(v)}{D_1} = \frac{A[(5 - 2e)\sqrt{D_1} - (4 - e)\sqrt{D_2} + (1 + 2e)\sqrt{D_1 + D_2}]}{6D_1} \tag{22}$$

$$P_2 = \frac{\Delta 2 - \phi_2(v)}{D_2} = \frac{A[(5 - 2e)\sqrt{D_2} - (4 - e)\sqrt{D_1} + (1 + 2e)\sqrt{D_1 + D_2}]}{6D_2} \tag{23}$$

可以证明: $P_1 \times D_1 + P_2 \times D_2 - \Delta d = \phi_d(v)$,说明通过制定 P_1 、 P_2 ,使得 Π_{d12} 在配送中心和两个零售商之间进行了分配。而且当 $D_1 \neq D_2$ 时, $P_1 \neq P_2$,说明为了激励配送中心和两零售商的合作,应该对两个零售商制定不同的物流配送服务价格。

四、e对各合作参与方分配利润的影响

(一)e对配送中心分配利润的影响

设 F_d 表示配送中心所分配的利润占供应链系统总利润的比例,则:

$$F_d = \frac{\phi_d(v)}{\Pi_{d12}} = \frac{(1 - e)[(\sqrt{D_1} + \sqrt{D_2}) + 2\sqrt{D_1 + D_2}]}{6(\sqrt{D_1} + \sqrt{D_2} - e\sqrt{D_1 + D_2})} \tag{24}$$

命题3:随着e值降低, Π_{d12} 增加, F_d 增加, $\phi_d(v)$ 增加。

证明:由于 $\frac{\partial F_d}{\partial e} = \frac{[(\sqrt{D_1} + \sqrt{D_2}) + 2\sqrt{D_1 + D_2}][\sqrt{D_1 + D_2} - (\sqrt{D_1} + \sqrt{D_2})]}{6(\sqrt{D_1} + \sqrt{D_2} - e\sqrt{D_1 + D_2})^2} < 0$; $\frac{\partial \Pi_{d12}}{\partial e} = -A\sqrt{D_1 + D_2} < 0$;

$\frac{\partial \phi_d(v)}{\partial e} = -A[\frac{1}{6}(\sqrt{D_1} + \sqrt{D_2}) + \frac{1}{3}\sqrt{D_1 + D_2}] < 0$, 所以随着 e 值降低, Π_{d12} 增加, F_d 增加, $\phi_d(v)$ 增加。

当配送中心相较于零售商不具有成本优势和碳排放优势,即 $e=1$ 时, $\phi_d(v) = 0$, 结合命题3的结论,表明配送中心对供应链系统的贡献主要是基于其成本和碳排放优势。所以配送中心应该致力于降低其作业成本和碳排放量,充分利用成本和碳排放优势提高自己的利润。

(二)e对零售商分配利润的影响

设 F_1 、 F_2 分别表示零售商1和零售商2所分配的利润占供应链系统总利润的比例。则:

$$F_1 = \frac{\phi_1(v)}{\Pi_{d12}} = \frac{(1+2e)\sqrt{D_1} + (4-e)\sqrt{D_2} - (1+2e)\sqrt{D_1 + D_2}}{6(\sqrt{D_1} + \sqrt{D_2} - e\sqrt{D_1 + D_2})} \quad (25)$$

$$F_2 = \frac{\phi_2(v)}{\Pi_{d12}} = \frac{(1+2e)\sqrt{D_2} + (4-e)\sqrt{D_1} - (1+2e)\sqrt{D_1 + D_2}}{6(\sqrt{D_1} + \sqrt{D_2} - e\sqrt{D_1 + D_2})} \quad (26)$$

命题4:随着 e 值降低, F_1 、 F_2 值降低; $\phi_1(v)$ 、 $\phi_2(v)$ 增加。

证明:由于 $\frac{\partial F_1}{\partial e} = \frac{[D_1 + \sqrt{D_1 D_2} - \sqrt{D_1(D_1 + D_2)}] + 2[\sqrt{D_2(D_1 + D_2)} - D_2]}{6(\sqrt{D_1} + \sqrt{D_2} - e\sqrt{D_1 + D_2})^2} > 0$;

$\frac{\partial F_2}{\partial e} = \frac{[D_2 + \sqrt{D_1 D_2} - \sqrt{D_2(D_1 + D_2)}] + 2[\sqrt{D_1(D_1 + D_2)} - D_1]}{6(\sqrt{D_1} + \sqrt{D_2} - e\sqrt{D_1 + D_2})^2} > 0$; $\frac{\partial \phi_1(v)}{\partial e} = A(\frac{1}{3}\sqrt{D_1} - \frac{1}{6}\sqrt{D_2} - \frac{1}{3}\sqrt{D_1 + D_2}) < 0$;

$\frac{\partial \phi_2(v)}{\partial e} = A(\frac{1}{3}\sqrt{D_2} - \frac{1}{6}\sqrt{D_1} - \frac{1}{3}\sqrt{D_1 + D_2}) < 0$ 。所以随着 e 值降低, F_1 、 F_2 值降低; $\phi_1(v)$ 、 $\phi_2(v)$ 增加。

命题5:当 $e=1$ 时,两零售商平分供应链系统的总利润。

证明:当 $e=1$ 时, $\phi_1(v) = \phi_2(v) = \frac{A}{2}(\sqrt{D_1} + \sqrt{D_2} - e\sqrt{D_1 + D_2}) = \frac{\Pi_{d12}}{2}$ 。

由命题4、5可知:当配送中心相较于零售商不具有作业成本和碳排放优势时,零售商1和零售商2将平分供应链系统的总利润;随着配送中心的作业成本和碳排放优势增强,零售商1和零售商2所分配的利润占供应链系统总利润的比例越来越低,但是由于 e 值的降低,供应链系统的总利润增加,最终使得零售商1和零售商2所分配的利润越来越大。

综上所述,为了获取更高的利润,配送中心会努力降低作业成本和碳排放,零售商1、2则会帮助配送中心降低作业成本和碳排放。采用Shapley值法对配送中心和两零售商进行利润分配有利于增加三方合作的积极性,并且促进三方都努力降低作业成本和碳排放,而由命题1的证明过程可知,随着 e 值的降低,采取货存第三方的JMI策略后供应链系统的碳排放也随之降低。所以采取Shapley值法制定物流配送服务价格既有利于增加供应系统的总利润,又有利于降低供应链系统的碳排放,实现经济效益和环境效益的统一。

五、算例分析

为了验证各命题的正确性以及分析碳税率对最优订购批量的影响,本节利用数值进行算例分析。为了方便计算,各参数取值如表2所示。

表2 各参数取值表

D_1	D_2	c_1	c_2	t	k
1000	2000	10	0.5	1	1

(一)零售商分散决策与集中决策的比较

为了方便计算,取 $e=0.5, r=1$,零售商分散决策和集中决策的结果如表3所示。

表3 零售商分散决策和集中决策的结果

模式	TC_i	CEQ_i
分散决策	438.6	166.1
货存需方	314.6	119.2
货存第三方	157.3	59.6

表3的计算结果表明JMI库存策略可以降低供应链系统的总成本和碳排放,而货存第三方的JMI策略比货存需方的JMI策略效果更好,这是因为配送中心相较于零售商具有作业成本和碳排放优势。

(二)e值对供应链系统利润分配的影响

为了方便计算,取 $r=1$,取e值从0.1到1.0,供应链系统的总利润及各参与方的分配利润随e值变化的趋势如图1所示。

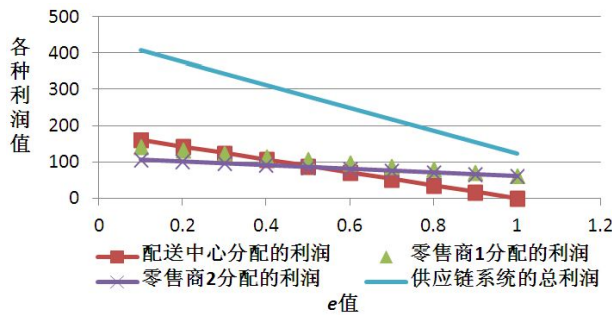


图1 各种利润值随e值变化趋势图

由图1可知,供应链系统的总利润、配送中心分配的利润和两个零售商分配的利润均随e值增加而减少,且零售商1的分配利润大于等于零售商2的分配利润。数值分析的结果验证了命题2、3、4、5的正确性。同时,随着e值增加,配送中心分配的利润的降低幅度大于两个零售商分配的利润的降低幅度,这是因为配送中心分配的利润主要来源于其作业成本和碳排放优势,当优势减弱时,其分配的利润降幅较大,进一步说明采取Shapley值法对三方进行利润分配时,配送中心具有较强的降低作业成本和碳排放的动机。

(三)r和e对供应链系统碳排放的影响

取r值从1到10,e值从0.1到1.0,采取货存第三方的JMI策略后供应链系统的碳排放的变化趋势如图2所示。

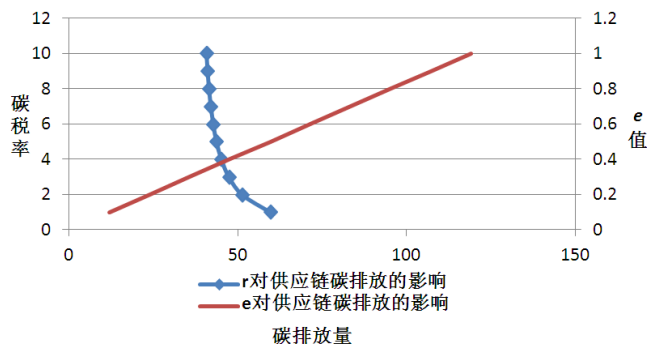


图2 供应链系统的碳排放变化趋势图

由图2可知,当采取货存第三方的JMI策略时,供应链系统的碳排放量随r值的增加而减少,随e值的增加而增加,这是因为碳税率的增加使得供应链系统的碳排放成本增加,配送中心为了降低总成本,必然会想

方设法降低碳排放量;而 e 值的增加表明配送中心的碳排放优势减弱,采取JMI策略对供应链系统碳减排的效果减弱。从供应链系统碳减排的角度考虑,采取较高的碳税率会降低供应链系统的碳排放,而配送中心则应努力降低其作业时的碳排放量。

(四)r对最优订购批量的影响

为了方便计算,取 $e=0.5$,取 r 值从1到10,分两种情况进行比较:(1)当 $c_1k > c_2t$ 时,取 $c_1=t=k=1$, $c_2=0.5$; (2)当 $c_1k < c_2t$ 时,取 $c_1=t=k=1$, $c_2=2$ 。图3、图4、图5分别表示两零售商分散决策、采取货存需方的JMI策略和采取货存第三方的JMI策略时 r 对最优订购批量的影响。

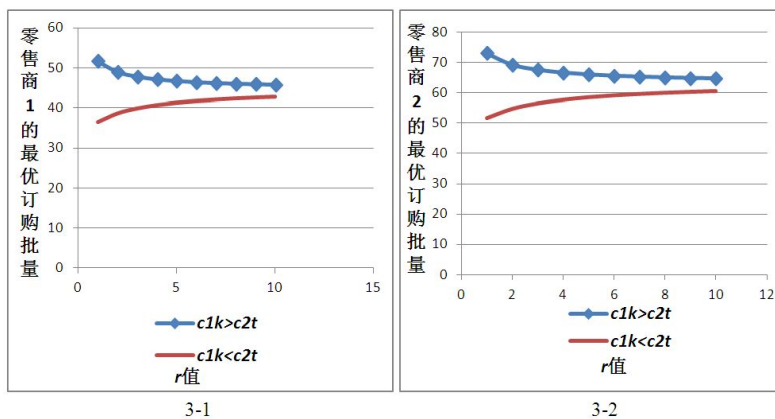


图3 两零售商分散决策

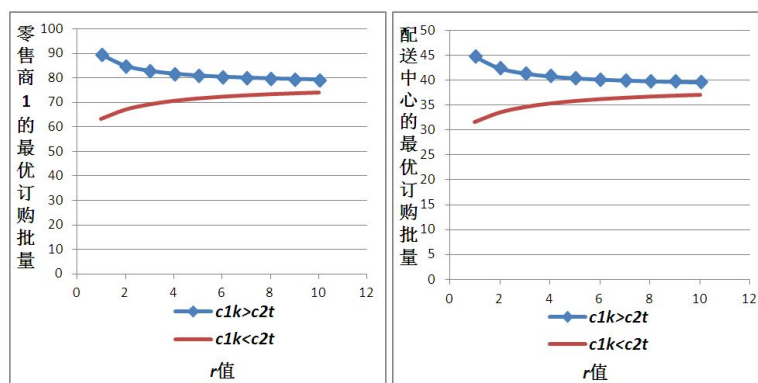


图4 货存需方的JMI策略

图5 货存第三方的JMI策略

由图3、4、5可知,当 $c_1k > c_2t$ 时,无论是否采取JMI策略,最优订购批量均随碳税率的增加而减少,而当 $c_1k < c_2t$ 时,无论是否采取JMI策略,最优订购批量均随碳税率的增加而增加。这是因为当 $c_1k > c_2t$,且 r 值增加时, c_1+rt 值的增加幅度比 c_2+rk 值的增加幅度小,所以 $\frac{c_1+rt}{c_2+rk}$ 的值变小,由式(3)、(9)、(13)可知,最优订购批量减少;而当 $c_1k < c_2t$,且 r 值增加时,情况刚好相反。图3、4、5表明当 r 值增加时,应该增加订购批量还是减少订购批量取决于 c_1k 和 c_2t 的大小关系,即 $\frac{c_1}{c_2}$ 和 $\frac{t}{k}$ 的大小关系。

六、结论

本文以由一个供应商和两个零售商组成的供应链系统作为研究对象,研究了不同的JMI实现方式对供应链的碳排放影响,研究结果表明采取JMI库存策略在降低供应链的成本的同时降低了供应链的碳排放,实

现了经济效益和环境效益的统一。同时,配送中心应对两个零售商制定不同的物流配送服务价格来促进三方合作,并且努力降低自己的作业成本和碳排放量,以增加自身的利润并降低供应链的总成本和碳排放。

本文对碳排放成本的计算采用的是征收碳税的方式,没有考虑碳限额、碳限额与交易等碳排放政策对供应链的决策的影响,而且由命题2可知,对于两个零售商而言,采取Shapley值法进行利润分配,需求量小的零售商总是能分得更多的利润,这是否公平以及对供应链的决策是否会产生影响等问题有待进一步的研究。

参考文献:

- [1] Jira C F, Toffel M W. Engaging Supply Chains in Climate Change[J]. *Manufactures Service Operational Management*, 2013, (15): 559-577.
- [2] Kuo T C, Hong I H, Lin S C. Do Carbon Taxes Work? Analysis of Government Policies and Enterprise Strategies in Equilibrium[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2016, (139): 337-346.
- [3] 王慧慧,刘恒辰,何霄嘉,等.基于代际公平的碳排放权分配研究[J].*中国环境科学*,2016,36(6):1895-1904.
- [4] Carmona R, Hinz J. Risk-neutral Models for Emission Allowance Prices and Option Valuation[J].*Management Science*, 2011, 57(8): 1453-1468.
- [5] 赵荣钦,刘英,李宇翔,等.区域碳补偿研究综述:机制、模式及政策建议[J].*地域研究与开发*,2015,34(5): 116-120.
- [6] Sazvar Z, Al-E-Hashem S M J M, Baboli A, et al. A Bi-objective Stochastic Programming Model for A Centralized Green Supply Chain with Deteriorating Products[J]. *International Journal of Production Economics*, 2014, 150(8):140-154.
- [7] Cholette S, Venkat K. The Energy and Carbon Intensity of Wine Distribution: A Study of Logistical Options for Delivering Wine to Consumers [J]. *International Journal of Cleaner Production*, 2009, 17(16): 1401-1413.
- [8] Pan S, Ballot E, Fontane F. The Reduction of Greenhouse Gas Emissions from Freight Transport by Pooling Supply Chains[J]. *International Journal of Production Economics*, 2013, 143(1):86-94.
- [9] Hoen K, Tan T, Fransoo J, et al. Effect of Carbon Emission Regulations on Transport Mode Selection under Stochastic Demand[J]. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 2014, 26(1):170-195.
- [10] Ji G., Gunasekaran A, Yang G. Constructing Sustainable Supply Chain under Double Environmental Medium Regulations[J]. *International Journal of Production Economics*, 2014, 147(9):211-219.
- [11] 李剑,苏秦,马俐.碳排放约束下供应链的碳交易模型研究[J].*中国管理科学*,2016,24(4):54-62.
- [12] 徐春秋,赵道致,原白云,何龙飞.上下游联合减排与低碳宣传的微分博弈模型[J].*管理科学学报*,2016,19(2):53-65.
- [13] 赵道致,原白云,徐春秋.低碳环境下供应链纵向减排合作的动态协调策略[J].*管理工程学报*,2016,30(1):147-154.
- [14] Goyal S K. An Integrated Inventory Model for A Single Supplier-single Customer Problem[J]. *International Journal of Production Research*, 1977, 15(1): 107-111.
- [15] Ben-Daya M, Hariga M. Integrated Single Vendor Single Buyer Model with Stochastic Demand and Variable Lead Time[J]. *International Journal of Production Economics*, 2004, 92(1): 75-80.
- [16] Chen L, Kang F. Integrated Vendor-buyer Cooperative Inventory Models with Variant Permissible Delay in Payments[J]. *European Journal of Operational Research*, 2007, 183(2):658-673.
- [17] 莫正敏,钟苏.基于协调成本的联合采购参与意愿分析[J].*工业工程*,2008,11(5):66-69.
- [18] Sajadieh M S, Joka M R A. An Integrated Vendor-buyer Cooperative Model under Stochastic Supply Lead-time[J]. *Advanced Manufacturing Technology*, 2009,41(9):1043-1050.
- [19] Olson D L, Xie M. A Comparison of Coordinated Supply Chain Inventory Management Systems[J]. *International Journal of Services and Operations Management*, 2010, 6(1):73-88.
- [20] Huang Y, Huang G Q, Newman S T. Coordinating Pricing and Inventory Decisions in A Multi-level Supply Chain: A Game-theoretic Approach[J]. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2011, 47(2):115-129.
- [21] Sana S S. A Production-inventory Model of Imperfect Quality Products in A Three-Layer Supply Chain[J]. *Decision Support Systems*, 2011, 50(2):539-547.
- [22] Hsu J T, Hsu L F. An Integrated Vendor buyer Cooperative Inventory Model in An Imperfect Production Process with Shortage

- Backordering[J]. International Journal Advanced Manufacture Technology, 2013, (65):493-505.
- [23] Shahpouri S, Fattahi P, Arkan A, et al. Integrated Vendor buyer Cooperative Inventory Model with Controllable Lead Time, Ordering Cost Reduction, and Service-level Constraint[J]. International Journal Advanced Manufacture Technology, 2013, (65):657-666.
- [24] 高春瑜. 联合库存管理的经济效益研究[J]. 经济与管理, 2013, 27(2):51-56.
- [25] Yang M F, Tseng W C. Three-echelon Inventory Model with Permissible Delay in Payments under Controllable Lead Time and Backorder Consideration[J]. Mathematical Problems in Engineering, 2014, 14(8):1-16.
- [26] Yang M F, Kuo J Y, Chen W H, et al. Integrated Supply Chain Cooperative Inventory Model with Payment Period Being Dependent on Purchasing Price under Defective Rate Condition[J]. Mathematical Problems in Engineering, 2015, 15(11):1-20.
- [27] 冉文学, 刘会娟, 刘玉杰, 等. 基于JMI的生鲜食品供给策略研究[J]. 中国市场, 2017, (5):263-266.
- [28] 江玉杰. 基于JMI管理模式的二级服装供应链库存模型研究[J]. 浙江纺织服装职业技术学院学报, 2018, (1):37-41.
- [29] 陈志松, 潘晶, 方莉. 联合库存管理模式考虑公平关切的供应链协调研究[J]. 河海大学学报(哲学社会科学版), 2018, 20(4):75-83.
- [30] 马士华, 王鹏. 基于Shapley值法的供应链合作伙伴间收益分配机制[J]. 工业工程与管理, 2006, 11(4):43-45.
- [31] 陈伟, 杨早立. 基于正交投影-Shapley值法的分布式创新合作企业风险补偿及利益分配[J]. 系统工程, 2015, 33(8):65-69.

(责任编辑:卢 君)