

碳交易下考虑保鲜投入的生鲜品供应商渠道选择研究

doi:10.3969/j.issn.1674-7100.2022.04.010

张蓓 鲁芳 王芹

中南林业科技大学
物流与交通学院
湖南 长沙 410004

摘要:针对生鲜品供应商面临的保鲜投入增加但免费碳排放有限问题,利用消费者效用理论构建了碳交易下单一实体渠道、单一网络渠道及双渠道的生鲜品供应商渠道选择模型,采用逆向归纳法得到3种渠道的供应商最优决策,并分析了不同渠道下保鲜投入成本、消费者生鲜品新鲜度偏好及碳交易价格对生鲜品供应商最优决策的影响。研究结果表明:以生鲜品供应商碳收益最大为目标,其最优渠道选择为单一实体渠道,但此时市场需求会有所减少;以生鲜品供应商利润最大为目标,其最优渠道选择为双渠道。

关键词:碳交易;保鲜投入;实体渠道;网络渠道

中图分类号: F274

文献标志码: A

文章编号: 1674-7100(2022)04-0070-10

引文格式: 张蓓,鲁芳,王芹.碳交易下考虑保鲜投入的生鲜品供应商渠道选择研究[J].包装学报,2022,14(4):70-79.

1 研究背景

随着市场竞争的加剧,许多生鲜品供应商开通网络渠道与消费者直接接触,还有部分生鲜品供应商在实体渠道基础上开通网络渠道实行双渠道策略。实体渠道与网络渠道不仅存在顾客基础差异,而且还存在流通环节的差异,流通环节的差异会导致保鲜投入水平有所不同。与仅采用单一渠道的生鲜品供应商相比,采用双渠道的生鲜品供应商往往占有更高的市场份额^[1],但需承担的保鲜投入成本也会相应增加。而生鲜品的保鲜投入主要是通过如真空预冷、气调保鲜、冷链运输等方式消耗相应能源,以严格控制其温度与湿度,因此也是主要的碳排放源^[2]。为控制碳排放,我国于2021年2月实施《碳排放权交易管理办

法》,促使企业的经营环境与经济、生态深度融合。在碳交易影响下,保鲜投入不同导致的碳排放差异为生鲜品供应商的渠道选择带来不确定性。因此考虑碳交易价格与保鲜投入水平等因素,研究生鲜品供应商渠道选择问题具有重要的现实意义。

考虑碳交易,部分学者分析了碳交易下销售渠道选择问题。杨磊等^[3]的研究表明,碳交易政策能激励制造商积极减排,且制造商双渠道的开通能令其利润增加。Xu X. P. 等^[4]认为区域碳限额由高值向低值变化,会导致制造商利润先减少后增加,因此要合理推进碳限额工作,且政府可引导制造商选择平台自营与商家入驻两大渠道并存,以有效控制碳排放。Yang L. 等^[5]通过引入制造商减排努力水平,发现双渠道的开通对制造商和整个供应链都是最优的,能对

收稿日期:2022-04-21

基金项目:湖南省社科联科研基金资助项目(XSP20YBC389)

作者简介:张蓓(1996-),女,湖南岳阳人,中南林业科技大学硕士生,主要研究方向为物流与供应链管理,
E-mail: 1216455073@qq.com

通信作者:鲁芳(1979-),女,湖南浏阳人,中南林业科技大学教授,博士,硕士生导师,主要从事物流与供应链管理、电子商务研究, E-mail: 717290412@qq.com

环境与消费者做出最大贡献, 并发现碳交易机制可以有效缓解渠道冲突, 因此实体零售商应理性对待网络渠道的开通。还有部分学者研究了碳交易下的回收渠道选择问题^[6-7]。上述文献多是研究碳交易政策对制造商或零售商渠道选择的影响, 而针对生鲜品保鲜投入所带来的碳排放问题研究的较少, 仅部分文献考虑了第三方物流服务商承担碳排放时的生鲜冷链决策问题^[2, 8]。实际上, 在实体渠道与网络渠道上, 销售生鲜品会产生不同的碳排放, 进而导致具有低碳排放水平的销售渠道对供应商更具有吸引力, 进而影响其渠道选择策略。因此, 本文考虑生鲜品供应商进行保鲜投入并拥有碳限额时的渠道选择问题。

考虑保鲜投入, 部分学者分析了保鲜投入对渠道选择的影响。Yang L. 等^[9]发现当供应商承担保鲜投入成本时, 其最佳渠道选择依次是双渠道、零售渠道及 O2O 渠道。Yan B. 等^[10]比较分析了保鲜投入与网络渠道运营成本对供应商渠道选择的影响, 并发现双渠道的开通对供应链双方并不总是有利的, 因此设计了相应协调契约。Liu Y. H. 等^[11]比较分析了保鲜投入与区块链技术。还有部分学者分析了消费者生鲜品新鲜度偏好对保鲜投入的影响^[12-14]。另有文献分析了保鲜投入成本对保鲜投入的影响^[15]。然而, 上述文献均未考虑因保鲜投入带来的碳排放及渠道选择问题。现实中, 随着互联网的发展, 生鲜品供应商有多种渠道可选择。对生鲜品供应商而言, 考虑渠道碳排放并分析选择何种渠道能减少碳排放, 是迫切需要解决的问题。

基于此, 本文考虑生鲜品供应商保鲜投入, 构建单一渠道与双渠道下的理论模型, 并分析生鲜品供应商在碳交易最大化与利润最大化目标下的最优渠道选择, 以期能为生鲜品供应商在绿色发展环境下的渠道选择决策提供参考。

2 问题描述与参数说明

考虑生鲜品供应商保鲜投入对消费者效用及碳排放的影响, 分析在供应商(上标 s 表示)、实体零售商(上标 r 表示)及消费者组成的生鲜品供应链中, 生鲜品供应商渠道选择问题, 即单一实体渠道(下标 r 表示)、单一网络渠道(下标 e 表示)、实体渠道与网络渠道并存的双渠道(下标 d 表示)。生鲜品供应商渠道具体结构如图 1 所示, 图中双渠道中实体渠道与网络渠道分别用下标 dr 与 de 表示。

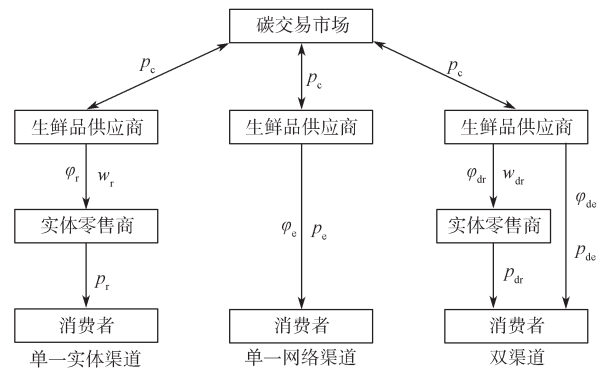


图 1 生鲜品供应商渠道结构图

Fig. 1 Channel structure of fresh food suppliers

图 1 中, 生鲜品供应商作为供应链主导者, 决定各渠道的生鲜品保鲜投入水平 φ , 且政府会给予一定的免费碳排放限额 c 。若生鲜品供应商因保鲜投入产生的碳排放低于政府分配的碳限额, 则剩余的碳限额以碳交易价格 p_c 在碳交易市场出售; 反之则需购买碳限额。生鲜品供应商以批发价 w 将产品批发给实体零售商, 然后由实体零售商以价格 p_r 将生鲜品出售给消费者。此外, 生鲜品供应商也可以选择在网络渠道将生鲜品以价格 p_e 直接销售给消费者。

考虑到生鲜品新鲜度受保鲜投入水平影响, 保鲜投入越高, 生鲜品新鲜度衰减越慢。结合文献^[16-17]的研究结果: 生鲜品新鲜度与保鲜投入水平呈正相关关系, 因此本文延续这一假定并考虑生鲜品新鲜度函数为 $\delta_0 \varphi$, 其中 δ_0 为生鲜品初始新鲜度。为不失一般性且不影响本文的计算结果, 假设 $\delta_0 = 1$ 。

利用目前已广泛使用的二次成本函数^[15]描述保鲜投入成本, 即保鲜投入成本为 $\frac{k\varphi^2}{2}$, 其中 k 为保鲜投入成本系数 ($k > 0$)。

生鲜品产生的碳排放与保鲜投入成本呈线性正相关^[2], 故因保鲜投入产生的碳排放为 $\frac{fk\varphi^2}{2}$, 其中 f 为碳排放系数。

参考王磊等^[18]的消费者效用函数模型, 本研究采用加法形式刻画同时受生鲜品价格及新鲜度影响的消费者效用, 如式 (1) ~ (2) 所示。

$$U_r = v - p_r + m\varphi_r, \quad (1)$$

$$U_e = \theta v - p_e + m\varphi_e, \quad (2)$$

式中: v 为消费者对生鲜品的价值估值, 服从 $[0, 1]$ 上的均匀分布^[19-20];

m 、 θ 分别为消费者的生鲜品新鲜度偏好及网络

渠道偏好 ($0 < m < 1, 0 < \theta < 1$)。

根据个人理性原则^[21], 即只有当在某渠道购买生鲜品给消费者带来的效用大于零时, 消费者才会选择在该渠道购买生鲜品。故当 $U_r > 0$ 时, 消费者选择在实体渠道购买生鲜品, 此时 $v > p_r - m\varphi_r = v_r$, $D_r = 1 - p_r + m\varphi_r$, 如图 2a 所示; 当 $U_e > 0$ 时, 网络渠道存在需求, 此时 $v > \frac{p_e - m\varphi_e}{\theta} = v_e$, $D_e = 1 - \frac{p_e - m\varphi_e}{\theta}$, 如图 2b 所示。

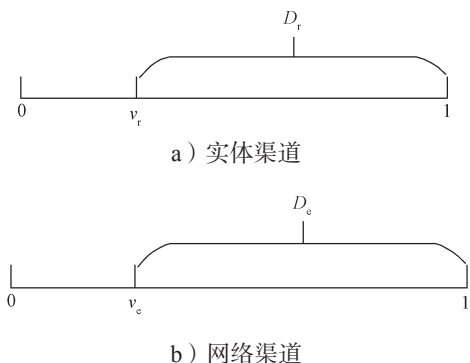


图 2 单一渠道的市场需求

Fig. 2 Market demand of single channel

根据激励相容原则^[21], 即只有当在某渠道购买生鲜品给消费者带来的效用大于其他渠道时, 消费者才会选择在该渠道购买生鲜品。故令 $U_e = U_r$ 得 $v = \frac{p_r - p_e + m(\varphi_e - \varphi_r)}{1 - \theta} = v_{er}$, 此时消费者认为在网络渠道与实体渠道购买生鲜品无差异。当 $U_e > U_r > 0$ 时, 网络渠道存在需求; 当 $U_r > U_e > 0$ 时, 实体渠道存在需求。此时 $D_{dr} = 1 - \frac{p_r - p_e + m(\varphi_e - \varphi_r)}{1 - \theta}$, $D_{de} = \frac{\theta(p_r - m\varphi_r) - p_e + m\varphi_e}{\theta(1 - \theta)}$, 如图 3 所示。

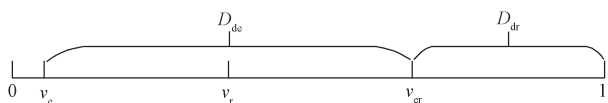


图 3 双渠道的市场需求

Fig. 3 Market demand of dual channel

3 生鲜品供应商渠道选择模型构建与求解

3.1 供应商主导的单一实体渠道

在单一实体渠道中, 生鲜品供应商以批发价格 w_r 将产品批发给实体零售商, 并确定保鲜投入水

平 φ_r ; 实体零售商再据此确定零售价格 p_r 。其中零售价格为批发价格与单位产品的边际利润之和, 即 $p_r = w_r + n_r$ 。故生鲜品供应商利润由生鲜品批发收入、保鲜投入成本、碳交易收益(成本)构成, 实体零售商利润由销售收入构成, 如式(3)~(4)所示。

$$\pi_r^s = w_r(1 - w_r - n_r + m\varphi_r) - \frac{k\varphi_r^2}{2} + p_c \left(c - \frac{fk\varphi_r^2}{2} \right), \quad (3)$$

$$\pi_r^r = n_r(1 - w_r - n_r + m\varphi_r). \quad (4)$$

根据决策顺序, 采用逆向归纳法计算生鲜品供应商与实体零售商的最优决策, 求得 π_r^s 关于 w_r 、 φ_r 的 Hessian 矩阵为

$$\mathbf{H}_r = \begin{bmatrix} -1 & \frac{m}{2} \\ \frac{m}{2} & -k(1 + p_c f) \end{bmatrix}, \quad (5)$$

其顺序主子式:

$$|\mathbf{H}_{r1}| = -1 < 0,$$

$$|\mathbf{H}_{r2}| = \frac{4k(1 + p_c f) - m^2}{4} = \frac{\Delta_r}{4}.$$

当 $\Delta_r > 0$ 时, Hessian 矩阵 \mathbf{H}_r 负定, 此时 π_r^s 存在最优解, 由此可得定理 1, 证明从略。

定理 1 单一实体渠道下, 最优批发价格、零售价格、保鲜投入水平、生鲜品供应商与实体零售商最优利润分别为:

$$w_r^* = \frac{2(k + fk p_c)}{\Delta_r},$$

$$p_r^* = \frac{3(k + fk p_c)}{\Delta_r},$$

$$\varphi_r^* = \frac{m}{\Delta_r},$$

$$\pi_r^{s*} = c p_c + \frac{k + fk p_c}{2 \Delta_r},$$

$$\pi_r^{r*} = \frac{(k + fk p_c)^2}{\Delta_r^2}.$$

3.2 供应商主导的单一网络渠道

在单一网络渠道中, 生鲜品供应商直接面向消费者, 以直销价格 p_e 将生鲜品销售给消费者, 并确定保鲜投入水平 φ_e 。此时生鲜品供应商的利润函数由直销收入、保鲜投入成本及碳交易收入(成本)构成, 如式(6)所示。

$$\pi_e^s = p_e \left(1 - \frac{p_e - m\varphi_e}{\theta} \right) - \frac{k\varphi_e^2}{2} + p_c \left(c - \frac{fk\varphi_e^2}{2} \right). \quad (6)$$

根据决策顺序, 采用逆向归纳法计算生鲜品供应商与实体零售商的最优决策, 求得 π_e^s 关于 p_e 、 φ_e 的 Hessian 矩阵为

$$\mathbf{H}_e = \begin{bmatrix} -\frac{2}{\theta} & \frac{m}{\theta} \\ \frac{m}{\theta} & -k(1+p_c f) \end{bmatrix}, \quad (7)$$

其顺序主子式:

$$|\mathbf{H}_{e1}| = -\frac{2}{\theta} < 0,$$

$$|\mathbf{H}_{e2}| = \frac{2k\theta(1+p_c f) - m^2}{\theta^2} = \frac{\Delta_e}{\theta^2}.$$

当 $\Delta_e > 0$ 时, Hessian 矩阵 \mathbf{H}_e 负定, 此时 π_e^s 存在最优解, 由此可得定理 2, 证明从略。

定理 2 单一网络渠道下, 最优直销价格、保鲜投入水平及生鲜品供应商最优利润分别为:

$$p_e^* = \frac{(k + fp_c)\theta^2}{\Delta_e},$$

$$\varphi_e^* = \frac{m\theta}{\Delta_e},$$

$$\pi_e^{s*} = cp_c + \frac{k\theta^2(1+fp_c)}{2\Delta_e}.$$

3.3 供应商主导的网络渠道与实体渠道并存的双渠道

在双渠道中, 消费者在实体渠道和网络渠道均可购买产品。此时, 生鲜品供应商利润由实体渠道批发收入、网络渠道直销收入、保鲜投入成本及碳交易收益(成本)构成; 实体零售商利润由销售收入构成, 如式(8)~(9)所示。

$$\pi_d^s = w_{dr} \left(1 - \frac{p_{dr} - p_{de} + m(\varphi_{de} - \varphi_{dr})}{1-\theta} \right) + p_{de} \frac{\theta(p_{dr} - m\varphi_{dr}) - p_{de} + m\varphi_{de}}{\theta(1-\theta)} - \frac{k(\varphi_{dr}^2 + \varphi_{de}^2)}{2} + p_c \left(c - \frac{fk(\varphi_{dr}^2 + \varphi_{de}^2)}{2} \right), \quad (8)$$

$$\pi_d^r = n_{dr} \left(1 - \frac{p_{dr} - p_{de} + m(\varphi_{de} - \varphi_{dr})}{1-\theta} \right). \quad (9)$$

根据决策顺序, 采用逆向归纳法计算生鲜品供应商与实体零售商的最优决策, 求得 π_d^s 关于 w_{dr} 、 p_{de} 、 φ_{dr} 、 φ_{de} 的 Hessian 矩阵为

$$\mathbf{H}_d = \begin{bmatrix} -\frac{1}{1-\theta} & \frac{1}{1-\theta} & -\frac{m}{2(1-\theta)} & \frac{m}{2(1-\theta)} \\ \frac{1}{1-\theta} & -\frac{2-\theta}{\theta(1-\theta)} & \frac{m(2-\theta)}{2\theta(1-\theta)} & -\frac{m}{2(1-\theta)} \\ -\frac{m}{2(1-\theta)} & \frac{m(2-\theta)}{2\theta(1-\theta)} & -k(1+p_c f) & 0 \\ \frac{m}{2(1-\theta)} & -\frac{m}{2(1-\theta)} & 0 & -k(1+p_c f) \end{bmatrix}, \quad (10)$$

其顺序主子式:

$$|\mathbf{H}_{d1}| = -\frac{1}{1-\theta} < 0,$$

$$|\mathbf{H}_{d2}| = \frac{2}{\theta(1-\theta)} > 0,$$

$$|\mathbf{H}_{d3}| = \frac{\theta m^2 - 2\Delta_e(1-\theta)}{2\theta^2(1-\theta)^2} = \frac{\Delta_{d3}}{2\theta^2(1-\theta)^2},$$

$$|\mathbf{H}_{d4}| = \frac{8\theta k^2(1+p_c f)^2(1-\theta) - \Delta_r m^2}{4\theta^2(1-\theta)^2} = \frac{\Delta_{d4}}{4\theta^2(1-\theta)^2}.$$

当 $\Delta_{d3} < 0$ 、 $\Delta_{d4} > 0$ 时, Hessian 矩阵 \mathbf{H}_d 负定, 此时 π_d^s 存在最优解, 由此可得定理 3, 证明从略。

定理 3 双渠道下最优批发价格、直销价格、保鲜投入水平、零售价格、生鲜品供应商与实体零售商最优利润分别为:

$$w_{dr}^* = \frac{k(1+fp_c)(4k\theta(1+fp_c)(1-\theta) - m^2(\theta^2 - \theta + 2))}{\Delta_d},$$

$$p_{de}^* = \frac{k\theta(1+fp_c)(4k\theta(1+fp_c)(1-\theta) - m^2(1+\theta))}{\Delta_d},$$

$$\varphi_{dr}^* = \frac{m(2k\theta(1+fp_c)(1-\theta) - m^2)}{\Delta_d},$$

$$\varphi_{de}^* = \frac{\theta m(2k(1+fp_c)(1-\theta) - m^2)}{\Delta_d},$$

$$p_{dr}^* = \frac{k(1+fp_c)(2k\theta(1+fp_c)(3-\theta)(1-\theta) - m^2(\theta^2 - 2\theta + 3))}{\Delta_d},$$

$$\pi_d^{s*} = cp_c + \frac{k(1+fp_c)(2k\theta(1+p_c f)(1-\theta^2) - m^2(1+\theta^2))}{2\Delta_d},$$

$$\pi_d^{r*} = \frac{(k+fp_c)^2(1-\theta)(2k\theta(1+fp_c)(1-\theta) - m^2)}{\Delta_d},$$

$$\frac{2k\theta(1+fp_c)(3-\theta)(1-\theta) - m^2(\theta^2 - 2\theta + 3)}{\Delta_d}.$$

为保证最优解有意义, 即最优批发价格、销售价格与保鲜投入水平平均大于零, 从而可得

$$k > \frac{m^2(\theta^2 - \theta + 2)}{4\theta(1 + fp_c)(1 - \theta)} = k_0。$$

4 生鲜品供应商渠道决策分析

4.1 生鲜品供应商最优决策的影响因素

4.1.1 消费者生鲜品新鲜度偏好对生鲜品供应商最优决策的影响

命题 1 $\frac{\partial w_r^*}{\partial m} > 0, \frac{\partial p_c^*}{\partial m} > 0, \frac{\partial \varphi_r^*}{\partial m} > 0, \frac{\partial \varphi_e^*}{\partial m} > 0。$

命题 1 证明略。

命题 1 表明, 在单一实体渠道与单一网络渠道下, 消费者生鲜品新鲜度偏好与生鲜品供应商最优批发价格、直销价格、保鲜投入水平呈正相关。这是因为消费者对于较高新鲜度的生鲜品总是表现出较高的支付意愿, 因此生鲜品供应商会通过增加保鲜投入来迎合市场偏好, 增强竞争力。为平衡保鲜成本, 生鲜品供应商也会采取提价策略以增加收益。

命题 2 1) 当 $\theta \in (0, \frac{2}{3})$ 时, 若 $k_0 < k \leq k_2$, 则

$$\frac{\partial w_{dr}^*}{\partial m} < 0, \frac{\partial \varphi_{dr}^*}{\partial m} < 0, \frac{\partial p_{de}^*}{\partial m} > 0, \frac{\partial \varphi_{de}^*}{\partial m} > 0。$$

2) 当 $\theta \in [\frac{2}{3}, 1)$ 时, 有 $k_0 < k_1 < k_2$ 。

若 $k_0 < k \leq k_1$, 则 $\frac{\partial w_{dr}^*}{\partial m} < 0, \frac{\partial \varphi_{dr}^*}{\partial m} < 0, \frac{\partial p_{de}^*}{\partial m} < 0,$

$$\frac{\partial \varphi_{de}^*}{\partial m} > 0;$$

若 $k_1 < k \leq k_2$, 则 $\frac{\partial w_{dr}^*}{\partial m} < 0, \frac{\partial \varphi_{dr}^*}{\partial m} < 0, \frac{\partial p_{de}^*}{\partial m} > 0,$

$$\frac{\partial \varphi_{de}^*}{\partial m} > 0。$$

3) 当 $\forall \theta \in (0, 1)$ 时, 有 $k_0 < k_2 < k_3$ 。

若 $k_2 < k \leq k_3$, 则 $\frac{\partial w_{dr}^*}{\partial m} > 0, \frac{\partial \varphi_{dr}^*}{\partial m} < 0, \frac{\partial p_{de}^*}{\partial m} > 0,$

$$\frac{\partial \varphi_{de}^*}{\partial m} > 0;$$

若 $k > k_3$, 则 $\frac{\partial w_{dr}^*}{\partial m} > 0, \frac{\partial \varphi_{dr}^*}{\partial m} > 0, \frac{\partial p_{de}^*}{\partial m} > 0,$

$$\frac{\partial \varphi_{de}^*}{\partial m} > 0。$$

其中 $k_1 = \frac{m^2(2 + \sqrt{2\theta(1-\theta)})}{4(1 + fp_c)(1-\theta)}, k_2 = \frac{m^2(2 + \sqrt{2\theta(1-\theta)})}{4\theta(1 + fp_c)(1-\theta)},$

k_3 为方程 $\frac{\partial \varphi_{dr}^*}{\partial m} = 0$ 在 $k > k_0$ 内的根。

命题 2 证明略。

命题 2 表明, 在双渠道下, 生鲜品供应商的最优定价及保鲜投入同时受消费者生鲜品新鲜度偏好、网络渠道偏好及保鲜投入成本系数的影响。当保鲜投入成本系数较小时 ($k \leq k_2$), 生鲜品供应商会降低实体渠道的批发价格与保鲜投入, 增加网络渠道的保鲜投入, 为网络渠道的良好发展奠定基础; 而直销价格则会随消费者对网络渠道偏好的提高而降低, 以扩大网络渠道的市场份额。当保鲜投入成本系数较大时 ($k > k_2$), 虽然进行保鲜投入不经济, 但消费者生鲜品新鲜度偏好越大意味着新鲜度降低对需求流失的影响越大, 那么提高新鲜度对需求增长的效果比较显著。此时生鲜品供应商和实体零售商会通过提高相应的批发价格与零售价格以获取更多利润, 即消费者承担了部分保鲜投入成本。

4.1.2 碳交易价格对生鲜品供应商最优决策的影响

命题 3 $\frac{\partial w_r^*}{\partial p_c} < 0, \frac{\partial p_r^*}{\partial p_c} < 0, \frac{\partial \varphi_r^*}{\partial p_c} < 0, \frac{\partial \varphi_e^*}{\partial p_c} < 0。$

命题 3 证明略。

命题 3 表明, 当碳交易价格不断提高时, 生鲜品供应商将承担更多的碳排放风险, 因此生鲜品供应商会选择适当降低保鲜投入以保证碳排放量在政府碳限额内。而保鲜投入的降低会影响生鲜品新鲜度, 进而导致消费者效用的降低, 故为稳定市场需求, 生鲜品供应商与实体零售商会选择降价策略, 以弥补生鲜品新鲜度的缺失给消费者带来的损失。虽然此举有利于减少碳排放量, 但会降低生鲜品新鲜度, 因此过高的碳交易价格会对生鲜业造成较大打击, 不利于经济发展。

命题 4 1) 当 $k_0 < k \leq k_2$ 时, $\frac{\partial w_{dr}^*}{\partial p_c} > 0, \frac{\partial \varphi_{dr}^*}{\partial p_c} > 0,$

$$\frac{\partial p_{de}^*}{\partial p_c} < 0, \frac{\partial \varphi_{de}^*}{\partial p_c} > 0;$$

2) 当 $k_2 < k \leq k_4$ 时, $\frac{\partial w_{dr}^*}{\partial p_c} < 0, \frac{\partial \varphi_{dr}^*}{\partial p_c} < 0, \frac{\partial p_{de}^*}{\partial p_c} < 0,$

$$\frac{\partial \varphi_{de}^*}{\partial p_c} > 0;$$

3) 当 $k > k_4$ 时, $\frac{\partial w_{dr}^*}{\partial p_c} < 0, \frac{\partial \varphi_{dr}^*}{\partial p_c} < 0, \frac{\partial p_{de}^*}{\partial p_c} < 0,$

$$\frac{\partial \varphi_{de}^*}{\partial p_c} < 0。$$

$$\text{其中 } k_4 = \frac{m^2 \left(3 - \theta + \sqrt{3 - 2\theta - \theta^2} \right)}{4\theta(1 + p_c f)(1 - \theta)}.$$

命题 4 证明略。

命题 4 表明, 在双渠道下, 当保鲜投入成本系数较小时 ($k_0 < k \leq k_2$), 随碳交易价格的提高, 生鲜品供应商仍会增加保鲜投入, 提高批发价格降低直销价格, 此时生鲜品供应商将部分碳排放成本转移给实体零售商。当保鲜投入成本系数在一定阈值时 ($k_2 < k \leq k_4$), 随碳交易价格的提高, 生鲜品供应商会增加网络渠道的保鲜投入, 降低实体渠道的保鲜投入与批发价格。当保鲜投入成本系数较大时 ($k > k_4$), 增加保鲜投入带来的利润增量无法弥补其产生的保鲜投入成本与碳排放成本, 因此生鲜品供应商会减少保鲜投入并采取降价措施以维持利润。故碳交易价格及保鲜投入成本系数均不宜过高。

4.2 不同目标下生鲜品供应商渠道选择

4.2.1 以碳收益最大化为目标的渠道选择

因保鲜投入所产生的碳排放越少, 生鲜品供应商的碳收益就越大, 而生鲜品碳排放与保鲜投入成本呈线性正相关, 故可根据保鲜投入分析生鲜品供应商的碳收益变化, 由此得命题 5。

命题 5 以碳收益最大化为目标, 生鲜品供应商应选择单一实体渠道, 此时既能满足基本的市场需求, 生鲜品供应商与实体零售商也能获得相应利润, 实现双赢。当保鲜投入成本较高时, 仅开通单一网络渠道会产生较多的碳排放, 对环境造成较大影响。即当 $k_0 < k < \frac{m^2}{2\theta(1 + p_c f)(1 - \theta)}$ 时, $\varphi_d^* > \varphi_c^* > \varphi_r^*$;

当 $k \geq \frac{m^2}{2\theta(1 + p_c f)(1 - \theta)}$ 时, $\varphi_c^* \geq \varphi_d^* > \varphi_r^*$, 其中 $\varphi_d^* = \varphi_{dr}^* + \varphi_{dc}^*$ 。

命题 5 证明略。

命题 5 表明, 在仅考虑生鲜品供应商保鲜投入所产生碳排放的情况下, 单一实体渠道是比较低碳环保的, 这一结论与 Yang L. 等^[5]的研究结果相似。一方面, 实体渠道是我国主要的生鲜品销售渠道, 消费者对其认可度较高。另一方面, 在实体渠道, 为实现利润最大化, 实体零售商同样会采取一定的保鲜措施来保持产品新鲜度。因此即使生鲜品供应商采取较为保守的保鲜投入, 也能满足消费者基本的产品需求。网络渠道是新型的销售渠道, 其特点是长距离、少批

量、多批次, 运输过程存在较大的不确定性, 因此要保证生鲜品新鲜度就必须加大保鲜投入, 如采用特殊的保鲜包装、冷链运输等, 从而导致碳排放量较大。此外随保鲜投入成本系数的提高, 双渠道的保鲜投入使得生鲜品供应商承担较高的成本, 在一定程度上会打击其保鲜投入的积极性。

4.2.2 以利润最大化为目标的渠道选择

命题 6 以利润最大化为目标, 生鲜品供应商的最优选择总是双渠道, 即

$$\text{当 } \frac{1}{2} < \theta < 1 \text{ 时, } \forall k > k_0, \text{ 有 } \pi_d^* > \pi_c^* > \pi_r^*.$$

$$\text{当 } 0 < \theta < \frac{1}{2} \text{ 时, 若 } k_0 < k < \frac{m^2(1 - \theta^2)}{2\theta(1 + p_c f)(1 - 2\theta)}, \text{ 则}$$

$$\pi_d^* > \pi_c^* > \pi_r^*; \text{ 若 } k \geq \frac{m^2(1 - \theta^2)}{2\theta(1 + p_c f)(1 - 2\theta)}, \text{ 则 } \pi_d^* > \pi_c^* > \pi_r^*.$$

命题 6 证明略。

命题 6 表明, 与仅开通单一渠道的生鲜品供应商所获利润相比, 选择双渠道策略总能使生鲜品供应商获得更多利润, 主要原因在于生鲜品供应商开拓了线下线上两大市场。而消费者网络渠道偏好及保鲜投入成本系数的大小是影响生鲜品供应商单一渠道选择的主要因素。结合命题 5 可知, 生鲜品供应商在单一网络渠道上的保鲜投入总是大于单一实体渠道, 故当消费者网络渠道偏好较高时, 网络渠道的市场需求量增大为供应商带来了较高的利润。而当消费者网络渠道偏好较低、保鲜投入成本系数较高时, 因生鲜品新鲜度提高所带来的收益有限, 故其利润会低于单一实体渠道, 此时生鲜品供应商应选择单一实体渠道。

5 算例分析

本节通过算例进一步验证决策模型和结论的有效性。设 $f=0.25$ 、 $c=1$ 、 $p_c=2$ 、 $m=0.5$ 、 θ 取 0.3 (或 0.7) 表示消费者网络渠道偏好较低 (或较高)。使用 Matlab 软件进行数值仿真, 以验证有关参数变化对生鲜品供应商与零售商最优利润的影响, 结果如图 4~7 所示。

现实中, 部分实体零售商认为供应商双渠道的开通会降低其收益, 但由图 4 可知, 通常情况下双渠道的开通会令实体零售商获得更多利润。虽然随着消费者网络渠道偏好的提高, 双渠道的开通会令实体零售商的利润有所下降, 但总高于生鲜品供应商仅开通单一实体渠道时的利润。仅当保鲜投入成本系数极低而

消费者生鲜品新鲜敏感度极高时，双渠道的开通会使得实体零售商蒙受损失。

由图5可知，当碳交易价格与保鲜投入成本系数共同对实体零售商利润产生影响时，双渠道并不总是生鲜品实体零售商的最佳选择。与图4相比，碳交易价格对实体零售商利润影响较小，这是因为零售商更贴近消费者，受其影响较大且本文考虑的是生鲜品供

应商在碳交易市场下的渠道选择问题。

由图6可知，在消费者生鲜品新鲜度偏好与保鲜投入成本系数的联合作用下，随着消费者网络渠道偏好的增加，生鲜品供应商的最佳渠道选择策略由双渠道、单一实体渠道、单一网络渠道逐渐转变为双渠道、单一网络渠道、单一实体渠道，且生鲜品供应商开通双渠道后的优势得以明显体现。

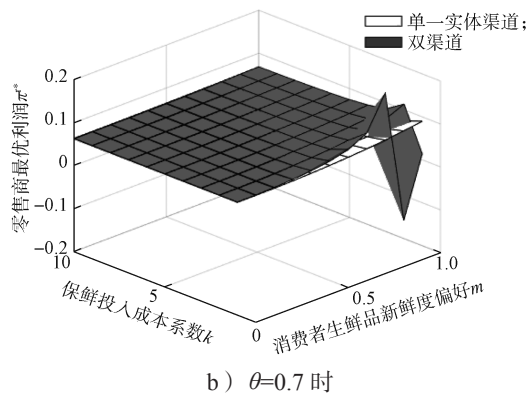
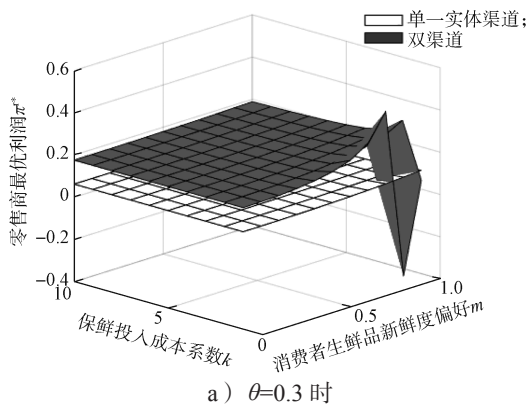


图4 θ 不同时 m 和 k 对零售商利润的影响

Fig. 4 The impact of m and k on retailers' profits when θ is different

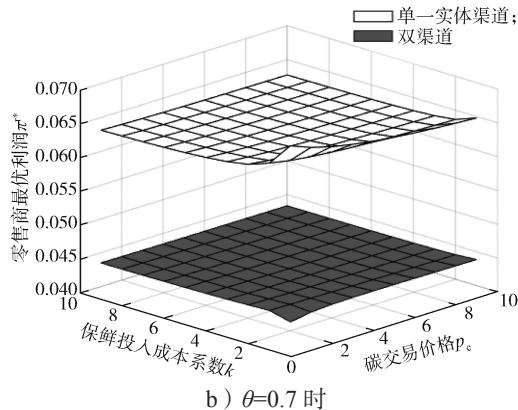
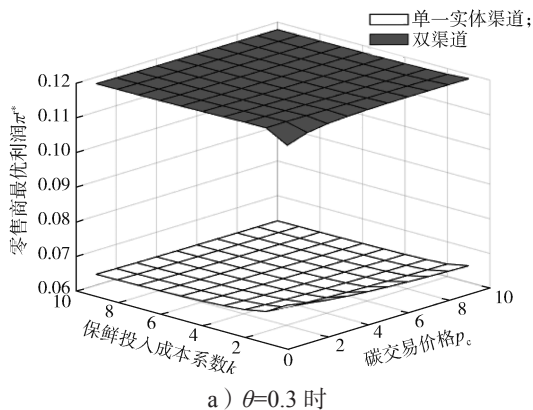


图5 θ 不同时 p_c 和 k 对零售商利润的影响

Fig. 5 The impact of p_c and k on retailers' profits when θ is different

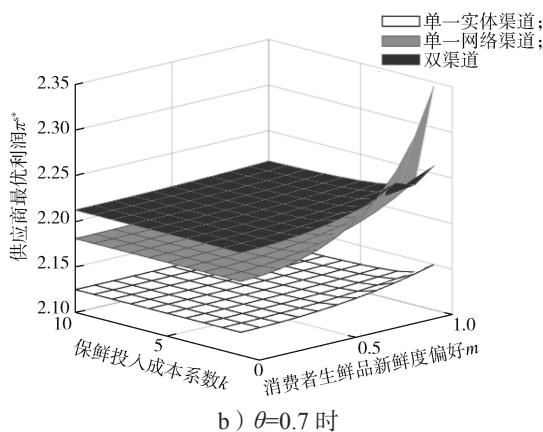
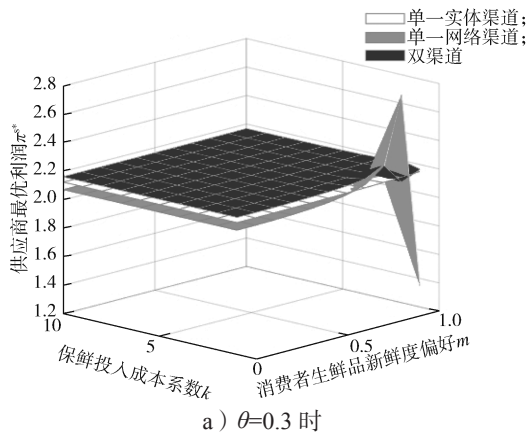
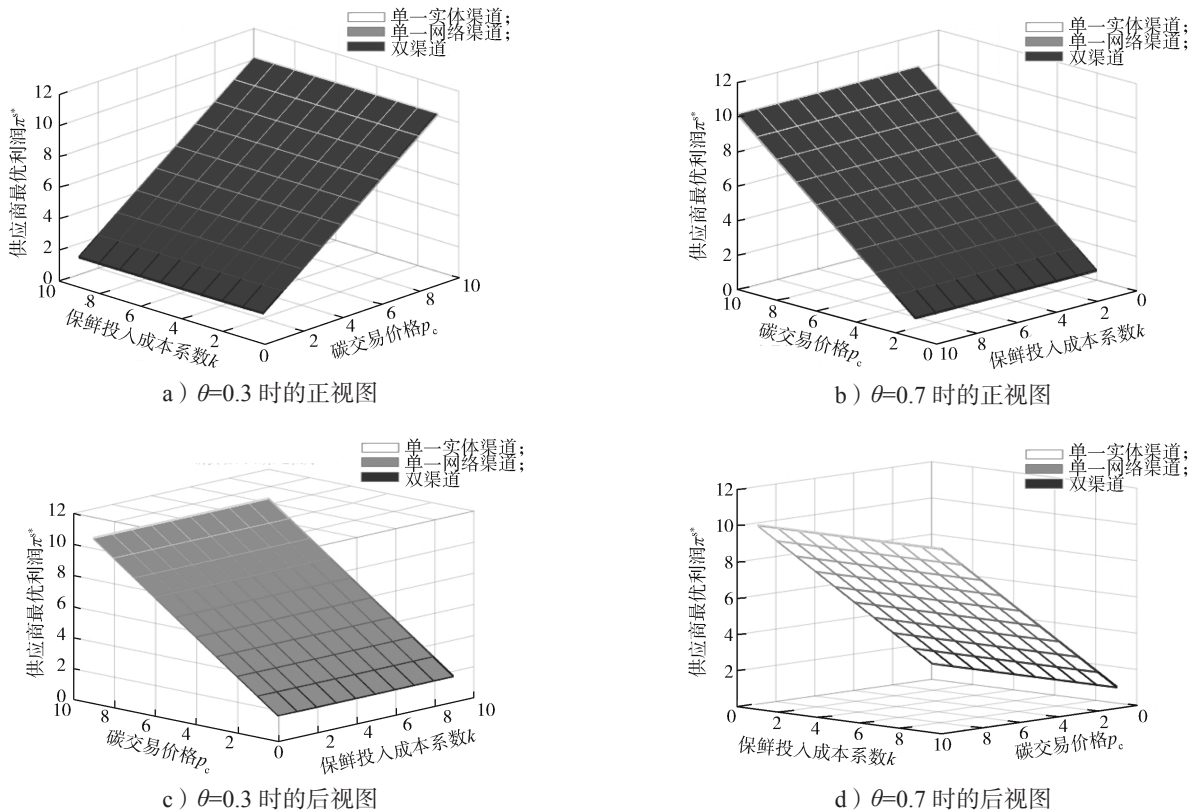


图6 θ 不同时 m 和 k 对供应商利润的影响

Fig. 6 The impact of m and k on supplier profits when θ is different

图 7 θ 不同时 p_c 和 k 对供应商利润的影响Fig. 7 The impact of p_c and k on supplier profits when θ is different

由图 7 可知, 生鲜品供应商在双渠道中获得的利润总是较高, 且生鲜品供应商在 3 种渠道模型中的利润均随碳交易价格的增加而增加。这种现象表明, 随着碳交易价格的不断升高, 生鲜品供应商销售收入和碳交易收入增加的幅度大于其碳排放成本增加的幅度, 因此要对碳交易价格进行适当控制。

6 结论与启示

6.1 主要结论

本文在生鲜品供应商负责保鲜投入并拥有碳限额的基础上, 考虑生鲜品供应商可以选择单一实体渠道、单一网络渠道及双渠道进行生鲜品销售, 探究了消费者生鲜品新鲜度偏好、保鲜投入成本及碳交易价格对供应商最优决策的影响, 讨论了生鲜品供应商的最优渠道选择, 可得如下主要结论:

1) 单渠道策略下, 消费者生鲜品新鲜度偏好的增加, 会促进价格及保鲜投入的增加; 而碳交易价格的增加则会造成两者的减少。

2) 双渠道策略下, 生鲜品供应商的最优决策受消费者生鲜品新鲜度偏好、碳交易价格及保鲜投入成

本的共同影响。特别是随碳交易价格的提高, 当保鲜投入成本系数较低时, 生鲜品供应商会增加保鲜投入而适当提高批发价格, 将部分碳排放成本转移给实体零售商; 当保鲜投入成本系数较高时, 生鲜品供应商会采取降价措施, 以弥补保鲜投入的减少带来的需求损失。

3) 对生鲜品供应商而言, 若追求碳收益最大化, 则应选择单一实体渠道; 若追求利润最大化, 则应选择开通双渠道, 且双渠道的开通既有利于消费者获得更多的产品, 也有利于增加实体零售商的利润, 还能有效控制碳排放, 实现多方共赢。

6.2 主要启示

通过对上述问题的研究, 可得到以下启示:

1) 在单一渠道策略下, 生鲜品供应商在实际经营过程中, 应考虑消费者对生鲜品新鲜度的诉求, 适当提高保鲜投入水平。此外, 还要注意碳排放量的控制, 以获得更高的利润及绿色低碳的声誉。

2) 在双渠道策略下, 碳交易价格及保鲜投入成本系数均应保持在合适的范围内, 以激励生鲜品供应商在增加保鲜投入的同时, 积极选择具有较低碳排放

水平的渠道进行生鲜品销售。

3) 盲目追求碳收益最大化会影响消费者效用, 因此生鲜品供应商在进行渠道选择时应考虑多个因素, 且实体渠道与网络渠道并存会实现“1+1>2”的效果。这也要求生鲜品供应商要更系统地看待和解决问题。

本文仅考虑了生鲜品供应商因保鲜投入所承担的碳排放成本, 未来可考虑生鲜品供应商进行碳减排投资及其与实体零售商共同承担碳排放成本的情况。此外, 本文在确定性需求下进行分析, 未来可分析不确定性需求对生鲜品供应商渠道选择的影响。

参考文献:

- [1] JIN B, PARK J Y, KIM J. Joint Influence of Online Store Attributes and Offline Operations on Performance of Multichannel Retailers[J]. *Behaviour & Information Technology*, 2010, 29(1): 85-96.
- [2] 马雪丽, 赵颖, 柏庆国, 等. 考虑保鲜努力与碳减排努力的生鲜品三级冷链最优决策与协调 [J/OL]. *中国管理科学*, [2021-09-26]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2835.g3.20210926.1435.004.html>.
MA Xueli, ZHAO Ying, BAI Qingguo, et al. Optimal Strategies and Coordination of Three-Echelon Cold Chain of Fresh Products Considering Freshness-Keeping and Carbon Abatement[J/OL]. *Chinese Journal of Management Science*, [2021-09-26]. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2835.g3.20210926.1435.004.html>.
- [3] 杨磊, 张琴, 张智勇. 碳交易机制下供应链渠道选择与减排策略 [J]. *管理科学学报*, 2017, 20(11): 75-87.
YANG Lei, ZHANG Qin, ZHANG Zhiyong. Channel Selection and Carbon Emissions Reduction Policies in Supply Chains with the Cap-and-Trade Scheme[J]. *Journal of Management Sciences in China*, 2017, 20(11): 75-87.
- [4] XU X P, HE P, ZHANG S S. Channel Addition from Marketplace or Reselling Under Regional Carbon Cap-and-Trade Regulation[J]. *International Journal of Production Economics*, 2021, 236: 108130.
- [5] YANG L, JI J N, WANG M Z, et al. The Manufacturer's Joint Decisions of Channel Selections and Carbon Emission Reductions Under the Cap-and-Trade Regulation[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 193: 506-523.
- [6] KUSHWAHA S, GHOSH A, RAO A K. Collection Activity Channels Selection in a Reverse Supply Chain Under a Carbon Cap-and-Trade Regulation[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2020, 260: 121034.
- [7] YANG L, HU Y J, HUANG L J. Collecting Mode Selection in a Remanufacturing Supply Chain Under Cap-and-Trade Regulation[J]. *European Journal of Operational Research*, 2020, 287(2): 480-496.
- [8] ROUT C, PAUL A, KUMAR R S, et al. Cooperative Sustainable Supply Chain for Deteriorating Item and Imperfect Production Under Different Carbon Emission Regulations[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2020, 272: 122170.
- [9] YANG L, TANG R H. Comparisons of Sales Modes for a Fresh Product Supply Chain with Freshness-Keeping Effort[J]. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2019, 125: 425-448.
- [10] YAN B, FAN J, WU J W. Channel Choice and Coordination of Fresh Agricultural Product Supply Chain[J]. *RAIRO-Operations Research*, 2021, 55(2): 679-699.
- [11] LIU Y H, MA D Q, HU J S, et al. Sales Mode Selection of Fresh Food Supply Chain Based on Blockchain Technology Under Different Channel Competition[J]. *Computers & Industrial Engineering*, 2021, 162: 107730.
- [12] 刘墨林, 但斌, 马崧萱. 考虑保鲜努力与增值服务的生鲜电商供应链最优决策与协调 [J]. *中国管理科学*, 2020, 28(8): 76-88.
LIU Molin, DAN Bin, MA Songxuan. Optimal Strategies and Coordination of Fresh E-Commerce Supply Chain Considering Freshness-Keeping Effort and Value-Added Service[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2020, 28(8): 76-88.
- [13] TAN M Y, TU M L, WANG B, et al. A Two-Echelon Agricultural Product Supply Chain with Freshness and Greenness Concerns: A Cost-Sharing Contract Perspective[J]. *Complexity*, 2020, 2020: 8560102.
- [14] GU B J, FU Y F, YE J. Joint Optimization and Coordination of Fresh-Product Supply Chains with Quality-Improvement Effort and Fresh-Keeping Effort[J]. *Quality Technology & Quantitative Management*, 2021, 18(1): 20-38.
- [15] 王道平, 朱梦影, 王婷婷. 生鲜供应链保鲜努力成本分担契约研究 [J]. *工业工程与管理*, 2020, 25(2): 36-43.
WANG Daoping, ZHU Mengying, WANG Tingting. Research on the Cost Sharing Contract of Fresh-Product Supply Chain's Fresh-Keeping Efforts[J]. *Industrial*

- Engineering and Management, 2020, 25(2): 36–43.
- [16] CAI X Q, CHEN J, XIAO Y B, et al. Fresh-Product Supply Chain Management with Logistics Outsourcing[J]. Omega, 2013, 41(4): 752–765.
- [17] 田 宇, 但 斌, 刘墨林, 等. 保鲜投入影响需求的社区生鲜 O2O 模式选择与协调研究 [J/OL]. 中国管理科学, [2021-02-04]. <https://doi.org/10.16381/j.cnki.issn1003-207x.2019.1602>.
- TIAN Yu, DAN Bin, LIU Molin, et al. Sales Mode Selection and Coordination for an O2O Fresh Produce Supply Chain when Freshness-Keeping Effort Affecting Demand[J/OL]. Chinese Journal of Management Science, [2021-02-04]. <https://doi.org/10.16381/j.cnki.issn1003-207x.2019.1602>.
- [18] 王 磊, 但 斌. 基于消费者选择行为的生鲜农产品保鲜和定价策略研究 [J]. 管理学报, 2014, 11(3): 449–454.
- WANG Lei, DAN Bin. Fresh-Keeping and Pricing Strategy for Fresh Agricultural Product Based on Customer Choice[J]. Chinese Journal of Management, 2014, 11(3): 449–454.
- [19] CHIANG W Y K, CHHAJED D, HESS J D. Direct Marketing, Indirect Profits: a Strategic Analysis of Dual-Channel Supply-Chain Design[J]. Management Science, 2003, 49(1): 1–20.
- [20] 李诗杨, 周 楠, 蹇 洁. 考虑制造商社会责任的供应链定价与渠道选择策略 [J]. 管理评论, 2021, 33(12): 316–323.
- LI Shiyang, ZHOU Nan, JIAN Jie. Pricing and Channel Strategies in Supply Chain Considering Social Responsibility of Manufacturers[J]. Management Review, 2021, 33(12): 316–323.
- [21] LAHIRI A, DEY D. Effects of Piracy on Quality of Information Goods[J]. Management Science, 2013, 59(1): 245–264.

(责任编辑: 邓光辉)

Research on Channel Selection of Fresh Food Suppliers Considering Fresh-Keeping Investment under Carbon Trading

ZHANG Bei, LU Fang, WANG Qin

(School of Logistics and Transportation, Central South University of Forestry and Technology, Changsha 410004, China)

Abstract: Aiming at the problem that fresh food suppliers are faced with increasing fresh-keeping investment but limited free carbon emission, using the consumer utility theory, a channel selection model for fresh food suppliers under carbon trading is constructed, including single entity channel, single network channel and dual channel. The reverse induction method is used to obtain the optimal supplier decision of the three channels by analyzing the impacts of fresh-keeping investment cost coefficient, consumers' preference for freshness and carbon trading price on the optimal decision of fresh food suppliers under different channels. The study finds that with the goal of maximizing the fresh food supplier's carbon revenue, the optimal channel selection is the single entity channel, but the market demand will be reduced, while with the goal of maximizing the fresh food supplier's profit, the optimal channel selection is the dual channel.

Keywords: carbon trading; fresh-keeping investment; entity channel; network channel