文章编号: 1001-0920(2018)08-1461-10 DOI: 10.13195/j.kzyjc.2017.0373

# 基于消费者异质性的二级生鲜供应链货源选择机制

曹 裕, 李业梅†, 吴 堪

(中南大学 商学院，长沙 410083)

**摘 要:** 研究二级生鲜供应链中零售商面向供应商的货源选择问题,设置两类供应商,即付出保鲜努力的供应商和普通供应商. 对于消费者,部分为生鲜敏感型,其愿意为经过保鲜努力的生鲜品支付溢价,拒绝购买未做出保鲜努力的生鲜品. 假设零售商存在4种货源策略:单一低成本、双渠道、单一高成本及高成本货源大众市场策略,进而研究不同情形下的最优货源策略选择问题. 研究结果表明,以消费者为策略目标的生鲜促进努力结果不显著且存在产生反效应的风险,而增加处罚力度则永远不会产生适得其反的效果.

**关键词:** 消费者异质性；货源选择机制；生鲜供应链；保鲜努力

**中图分类号:** F253.4 **文献标志码:** A

# Supply selection mechanism of two echelon fresh produce supply chain based on heterogeneity of consumers

*CAO Yu, LI Ye-mei†, WU Kan*

(Business School，Central South University，Changsha 410083，China)

**Abstract:** This paper studies the problem of supplier selection mechanism in the supply chain. There are two types of suppliers: suppliers who make freshness-keeping efforts and who do not. Besides, some consumers are fresh-effort sensitive consumers and willing to pay for the freshness-keeping food. It is assumed that there are four kinds of supply strategies: single low cost source, dual channel, single high cost source and high cost mass market strategy. The selection of optimal source strategy in different situations is studied. The results show that, there is a risk of adverse effects with consumers as the strategic goal, but the increase in penalties never have the opposite effect.

**Keywords:** consumer heterogeneity；supply selection mechanism；fresh supply chain；freshness-keeping efforts

## 0 引 言

随着消费者生活水平的提高,其对食品的要求已从安全需求转变为对安全和高质的双重需求,食品生鲜度作为衡量食品质量的重要指标,正日益引发消费者关注. 随着溯源体系的建立及完善,生鲜易腐品的质量识别变得更为简单可行,这都为消费者实时获取食品的新鲜度信息提供了可能[1]. 不同学者针对可追溯体系的方法设计[2-3]及提高可溯源食品支付意愿路径[4]等进行了相关研究,其都指出可追溯体系的建设对于食品安全问题的解决、食品质量的提高意义重大[5]. 另外,消费者对生鲜食品的需求转变,使得众多食品供应商和零售商对生鲜易腐品日益关注,并加强了对其管理. 但由于生鲜易腐品本身具有的易变质特性及国内冷链物流及其他保鲜技术的发展滞后等原因,其管理结果远未令人满意. 据中国电子商务研究中心的最新监测数据显示,国内由保鲜技术落后引致的经济损失每年超千亿元. 保鲜技术落后不仅带来食品安全隐患,也不利于生鲜农产品在流通中的增值,影响了整个生鲜产品供应链各节点利润. 生鲜农产品供应链的管理改良迫在眉睫.

生鲜农产品供应链管理的重要意义引发了国内外学者对生鲜农产品供应链管理相关问题的关注,目前有关生鲜农产品供应链管理的研究主要集中于生鲜农产品订货、定价及供应链协调3个方面. 关于生鲜农产品订货策略的研究,主要分为考虑缺货的生鲜农产品订货研究[6-7]、考虑库存限制的生鲜农产品订货研究[8],以及保鲜和损耗控制下的生鲜农产品订货研究4个方面. 本文研究生鲜供应链中零售商主体的

**收稿日期:** 2017-03-31；**修回日期:** 2017-07-12.

**基金项目:** 国家自然科学基金项目(71573281)；湖南省社会科学成果评审委员会重大课题(XSP17ZDA011)；中南大学创新驱动项目(2016CX040).

**作者简介:** 曹裕(1985−), 女, 副教授, 博士生导师, 从事食品安全社会治理、企业可持续运作管理、风险管理等研究；李业梅(1994−), 女, 硕士生, 从事食品安全社会治理、风险管理的研究.

†通讯作者. E-mail: liyemei9496@csu.edu.cn

货源选择问题,与第4类研究密切相关,在此作出详细阐述. Lotfi等[8]将保鲜技术成本作为决策变量之一,研究了部分缺货下企业的最优订货批量和保鲜投入问题;王婧等[9]针对生鲜农产品在流通中产生巨大损耗的特性,引入期权合同研究单周期两阶段的零售商最优订货策略;邓琪[10]借助扩展的易变质商品库存模型求解同时考虑变质率和时间因素下的最优订货周期和最优订货量. 由于生鲜品定价研究与本文相关性较小,在此不再阐述.

供应链协调方面的研究主要集中于考虑保鲜与损耗控制的生鲜农产品供应链协调及一般生鲜农产品供应链协调契约研究两个方面. 浦徐进等[11]通过采用渠道模式、努力投入与生鲜农产品供应链运作效率研究,得出了供应链渠道选择的影响因素,对供应链协调效率提高意义重大;Cai等[12]提出了通过供应商保鲜努力可使生鲜品到达零售商时拥有更高的存活率和质量,并在此基础上研究了优化与协调问题;王磊等[13]在构建消费者时变效用函数的基础上建立了二级生鲜农产品供应链利润模型,设计了采购价契约及批发价保鲜成本分担契约两种激励机制;熊峰等[14]以冷链设施补贴模式为视角,对生鲜农产品供应链关系契约稳定性影响进行了研究. 本文即在以上研究的基础上,通过探究以消费者为策略目标的生鲜促进努力(如提高消费者支付意愿,增加消费者生鲜敏感程度以及增加处罚力度和罚金对供应商最优渠道选择的影响)来寻求供应链生鲜度协调的有效途径.

有关生鲜品的变质率设置方面,Ghare等[15]首次以常数变质率研究易腐产品库存控制问题. Covertt等[16]在文献[15]的基础上假设产品变质率服从双参数韦伯分布. 随后,文献[17-19]在对易腐产品库存控制方面的研究综述中总结了易腐产品恶化研究中的3种类型,即考虑固定寿命、依赖于概率的寿命、基于时间或者库存变化的变质率. Sarkar[20]考虑了易腐产品最大寿命和时间变化变质率,开发了一个随时间变化变质率的EOQ(Economic order quantity)模型;Chen等[21]在其基础上,考虑最大寿命和时间变化变质率研究了零售商最优批量订货策略;Wang等[22]研究了卖方在考虑最大寿命和时间变化变质率时的最优策略. 本文在此基础之上,考虑易腐产品最大寿命和时间变化变质率,以此来探究供应链中零售商最优货源选择策略.

综上所述,现有关于生鲜供应链的研究主要集中于订货、定价及供应链协调3个方面,而有关订货研究方面又极少考虑零售商的货源选择决策问题,为便于计算,有关消费者异质性的研究多集中于对消费者新鲜度敏感性线性的刻画,而鲜有研究对异质性作类别分析. 本文即在对消费者异质性作类别区分的基础上,探究零售商在有无溯源系统即信息是非对称情形下的渠道最优选择机制及选择机制的影响因素,为生鲜供应链整体保鲜水平的提高提供理论支撑. 定义全文通用符号并阐述可溯源体系存在与否情形下的数学建模过程及模型求解分析所得的理论结果,提供相应的数值算例、敏感型分析及相应的结论和政策建议.

## 1 模型设定

本节主要对用到的符号和假设进行说明.

### 1.1 符号说明

本文主要使用的符号如下所示.

$D$:市场需求率;

$I(t)$:$t$时刻库存水平;

$m$:保质期或产品最长生命周期;

$T$:订货周期,$T < m$;

$\sigma(t)$:与时间$t$有关的变质率,$0 \leqslant \sigma(t) \leqslant 1$;

$\alpha$:意愿支付溢价的保鲜努力敏感型消费者占比;

$p$:消费者均匀意愿支付价格;

$p_r$:生鲜努力敏感型消费者的意愿支付溢价额;

$\beta$:非保鲜品出现安全问题后,敏感型消费者退出市场数量占比;

$c_{pn}$:非保鲜努力厂商生鲜品变质引致投诉带来的政府罚金;

$s$:保鲜改进程度(其值越小说明保鲜努力效果越明显);

$\eta$:非保鲜努力厂商生鲜品变质所引致投诉的概率,$\eta \in [0, 1]$;

$c_1$:非保鲜努力生鲜品进货价格;

$c_2$:保鲜努力生鲜品进货价格;

$q_1$:零售商通过非保鲜努力购货渠道进货比重;

$q_2$:零售商通过保鲜努力购货渠道进货比重;

$Q'_1$:没有保鲜努力时,零售商每周期的进货量;

$Q'_2$:有保鲜努力时,零售商每周期的进货量;

$Q_1$:没有保鲜努力时,零售商每周期的单位需求进货量;

$Q_2$:有保鲜努力时,零售商每周期的单位需求进货量.

### 1.2 模型假设

本文研究二级生鲜供应链中零售商面向供应商的货源选择问题,根据消费者异质性及货源选择的相

关文献,本文作出以下基本假设.

**假设1**　不考虑交货前置期,即设为0,且在补货周期$[0,T]$内未对易变质品进行更换或处理[23].

**假设2**　所有生鲜品连续随时间变质,直至时间超过到期日$m$后不能再出售,假设未经过保鲜努力的生鲜品变质率[23]为

$$\sigma_1(t)=\frac{1}{1+m-t},\ 0\leqslant t\leqslant T\leqslant m; \tag{1}$$

经过投入保鲜努力成本的生鲜品变质率为

$$\sigma_2(t)=\frac{s}{1+m-t},\ 0\leqslant t\leqslant T\leqslant m. \tag{2}$$

**假设3**　假设消费者对此生鲜品主体支付意愿(WTP)均等,表示为$p$,且每一进货周期初始阶段市场基础及消费者异质性分割占比相同且需求率稳定[24].

**假设4**　假设两供应商生产的生鲜品除在保鲜努力与否存在差异外,其他方面相同,且未实施保鲜努力的供应商产品售价低于实施保鲜努力的产品售价,即$c_1<c_2$[25].

## 2　模型建立

基于上述符号及基本假设,本文模型考虑两种情形:一种为可溯源情形下的渠道选择模型;另一种为不可溯源情形下的渠道选择模型. 每一种情形下,供应商均有选择是否对生鲜品实施保鲜努力的权利,实施保鲜努力的生鲜品,变质率损耗较小,反之较大. 首先对实施保鲜努力与否的生鲜品进货数量进行推算. 由假设2可知,无保鲜努力情形下的生鲜品变质率为

$$\sigma_1(t)=\frac{1}{1+m-t},\ 0\leqslant t\leqslant T\leqslant m,$$

且由假设4可知,生鲜品需求率稳定在订货周期$T$内,总需求为

$$\int_0^T D\mathrm{d}t=DT. \tag{3}$$

将供应商交货时间点记为$t=0$时刻,之后,零售商库存水平受到产品变质和消费者需求两方面消耗,直至到达补货周期$T$时刻,零售商的库存水平耗尽至零,进入下一个周期. 由于在$[0,T]$内产品需求与产品变质同时存在,无保鲜努力情形下库存水平在$t$时刻满足如下微分方程:

$$\frac{\mathrm{d}I(t)}{\mathrm{d}t}=-D-\frac{1}{1+m-t}I(t),\ 0\leqslant t\leqslant T\leqslant m, \tag{4}$$

其中边界条件$I(T)=0$. 解以上方程,可得

$$I(t)=D(1+m-t)\ln\Big(\frac{1+m-t}{1+m-T}\Big),\ 0\leqslant t\leqslant T. \tag{5}$$

令$t=0$可得每周期订货量

$$Q_1'=D(1+m)\ln\Big(\frac{1+m}{1+m-T}\Big),\ 0\leqslant t\leqslant T. \tag{6}$$

与以上推导过程类似,由假设2可得

$$\sigma_2(t)=\frac{s}{1+m-t},\ 0\leqslant t\leqslant T\leqslant m.$$

由此可得存在保鲜努力情形下的每周期订货量

$$Q_1'=\frac{(1+m)^sD}{1-s}((1+m)^{1-s}-(1+m-T)^{1-s}). \tag{7}$$

将需求单位化为1,即$DT=1$,则没有保鲜努力时,零售商每周期的进货量为

$$Q_1=\frac{Q_1'}{DT}=\frac{1}{T}(1+m)\ln\Big(\frac{1+m}{1+m-T}\Big). \tag{8}$$

存在保鲜努力情形下的每周期订货量为

$$Q_2=\frac{Q_2'}{DT}=\frac{(1+m)^s}{(1-s)T}((1+m)^{1-s}-(1+m-T)^{1-s}). \tag{9}$$

### 2.1　可溯源情形下的生鲜品货源选择机制研究

可溯源系统下,消费者可获得详尽的食品来源处理信息. 本文背景下,可溯源系统为消费者获取生鲜品实施保鲜努力与否的相关信息提供了途径和手段. 因而,此种环境即为信息对称、完全透明的环境. 以下将对此种情形下的4种进货渠道期望利润形式进行描述.

1) 单一低成本货源策略.

此种渠道下,零售商进货渠道单一,仅选取未采取保鲜努力且成本较低的供应商进货,因而此时$q_2=0,q_1=1$. 由于此时供应商企业未对产品采取保鲜努力,消费者均匀支付意愿为$p$,此种渠道下的最优价格为$p$. 此未经过保鲜努力的生鲜品以$\sigma_1(t)$的变质率发生变质,其引致消费者投诉,进而发展为食品安全事件的概率为$\eta$,而由于食品安全事件发生,引致生鲜敏感型消费者退出低成本生鲜品购买的数量占比为$\alpha\beta$,此时产生的额外处罚成本为$c_{pn}$. 综上,该种渠道下的零售商期望利润如下:

$$\begin{aligned}\Pi_1=&(1-\beta\eta)\alpha(p-c_1)+\\&(1-\alpha)(p-c_1)-\eta c_{pn}-(Q_1-1)c_1.\end{aligned} \tag{10}$$

式(10)第1部分为来自生鲜努力敏感型消费者的收益,由于本文假设只存在一家零售商,其只能以$p$的价格购买非保鲜努力生鲜品. 当食品安全事件发生,其意识到危害性后,部分退出市场. 式(10)第2部分为来自生鲜非敏感型消费者的收益,剩余两部分为政府期望罚金及变质损耗成本.

2) 双渠道策略.

与单一低成本货源策略不同,此种渠道下零售商同时从经过保鲜努力和未经过保鲜努力的两家供应商进货. 此种情形下易得供应商选择将付出保鲜努力的生鲜品卖给保鲜努力敏感型消费者,而将未付出保鲜努力的生鲜品卖给非敏感型消费者是最优选择,即$q_1 = 1-\alpha, q_2 = \alpha$. 假设存在保鲜努力生鲜品时,敏感型消费者一定选择存在保鲜努力的生鲜品,因而,经过保鲜努力的生鲜品此时售价为$p + p_r$. 由于此时零售商部分生鲜品来源于非保鲜努力供应商,当未经过保鲜努力的生鲜品安全事件发生时,因两类生鲜品出自同一零售商,必然影响敏感型消费者购买决策,部分敏感型消费者退出此零售商市场. 综上,该种渠道下的零售商期望利润如下:

$$\begin{aligned}\varPi_2 = &(1-\beta\eta)\alpha(p+p_r-c_1)+(1-\alpha)(p-c_1)-\\ &\eta c_{pn}-(1-\alpha)(Q_1-1)c_1-\alpha(Q_2-1)c_2.\end{aligned} \tag{11}$$

式(11)第1部分为来自生鲜努力敏感型消费者的收益,与1)渠道不同的是,由于此时敏感型消费者一定选择购买保鲜努力生鲜品,其定价为$p + p_r$;式(11)第2部分为来自生鲜努力非敏感型消费者的收益,第3部分为政府期望罚金,第4和第5部分分别为没有保鲜努力和有保鲜努力两种进货渠道下的变质损耗成本.

3) 单一高成本货源策略.

在以上双渠道策略中,来源于保鲜努力敏感型消费者的利润受制于非保鲜努力进货渠道,非保鲜努力进货渠道生鲜品在发生食品安全事件时,引致部分新鲜度敏感型消费者退出购买此零售商生鲜品. 减少此部分损失的唯一途径为放弃非保鲜努力进货渠道,采取单一保鲜努力进货渠道,即$q_2 = \alpha, q_1 = 0$,并以$p + p_r$的价格将其销售至保鲜努力敏感型消费者. 此时,零售商的期望利润为

$$\varPi_3 = \alpha(p+p_r-c_2)-\alpha(Q_2-1)c_2. \tag{12}$$

式(12)第1部分为销售收益,第2部分为变质损耗成本.

4) 高成本货源大众市场策略.

除以上3种策略外,存在第4种策略,即零售商从单一保鲜努力供应商进货,且以$p$的价格将生鲜品卖予两类消费者. 此种策略下,无食品安全事件发生,但零售商也放弃了获得另一分割市场的机会,即于保鲜努力敏感型消费者处获取保鲜努力溢价的机会. 易得,此种情形下期望利润为

$$\varPi_4 = (p-c_2)-(Q_2-1)c_2. \tag{13}$$

式(13)中第1部分为销售利润,第2部分为变质损耗成本. 令

$$\begin{aligned}\varDelta = &\frac{(Q_2-1)c_2-(Q_1-1)c_1}{1-\beta\eta}+(c_2-c_1)=\\ &\frac{c_2Q_2-c_1Q_1-\beta\eta(c_2-c_1)}{1-\beta\eta}.\end{aligned} \tag{14}$$

式(14)中: $\dfrac{(Q_2-1)c_2-(Q_1-1)c_1}{1-\beta\eta}$为满足市场实际最终需求而必须承担的变质损耗成本差额,第2项为保鲜努力渠道和非保鲜努力渠道满足市场实际需求量的成本差额. 则在可溯源情形下,由以上4种可能策略下的期望收益表达式可得不同情形下的最优渠道选择策略. 以下描述中,定义$(x)^+ = \max(x, 0)$.

**定理1** 零售商最优渠道选择策略如下:

i) 当$p_r < \varDelta$且$c_2Q_2 - c_1Q_1 > \eta c_{pn} + \alpha\beta\eta(p - c_1) + (\alpha p_r - (1-\alpha)(p - c_2Q_2))^+$时,单一低成本货源策略为最优策略;

ii) 当$p_r > \varDelta$且$\eta c_{pn} + \alpha\beta\eta(p + p_r - c_2) < \min\{(1-\alpha)(p - c_1Q_1), (1-\alpha)(c_2Q_2 - c_1Q_1) + \alpha p_r\}$时,双渠道策略为最优策略;

iii) 当$\alpha p_r > (1-\alpha)(p - c_2Q_2)$且1)、2)渠道非最优渠道时,单一高成本货源策略为最优渠道策略;

iv) 当$\alpha p_r < (1-\alpha)(p - c_2Q_2)$且1)、2)渠道非最优渠道时,高成本货源大众市场策略为最优渠道策略.

5) 保鲜努力驱动因素分析.

以下将对模型中影响零售商货源选择渠道的主要因素进行分析,本文主要关注3个主体,即消费者、政府、非政府组织对零售商货源选择机制的影响. 以上3个主体都能以不同的方式影响零售商的货源选择策略. 于消费者而言,保鲜努力敏感型消费者占比$\alpha$的变化和其对非生鲜努力生鲜品出现食品安全事件的容忍程度$\beta$以及消费者对生鲜努力产品的溢价支付意愿$p_r$都不同程度地影响了零售商的最优进货渠道选择. 于政府而言,通过增加食品安全事件爆发的罚金$c_{pn}$,可影响零售商最优策略选择;于非政府组织而言,其对非保鲜努力来源生鲜品的检查及揭发程度$\eta$影响了零售商的货源渠道选择. 本部分即对以上利益相关者对零售商货源选择抑或保鲜努力型生鲜品的进货数量影响机制进行分析,此部分$\alpha$、$\beta$、$c_{pn}$、$\eta$以及$p_r$的增加都代表来自外界利益相关者压力的增加.

定义$Q_1^*$、$Q_2^*$分别为来自非保鲜努力及保鲜努力供货商的最优订货数量,表1表示4种可能货源渠道的对比.

**表1　可溯源情形下4种渠道策略对比**

| | $Q_1^*$ | $Q_2^*$ | 零售商期望利润 |
|---|---|---|---|
| 单一低成本货源策略 | 1 | 0 | $p-c_1Q_1-\eta c_{pn}-\alpha\beta\eta(p-c_1)$ |
| 双渠道策略 | $1-\alpha$ | $\alpha$ | $\alpha p_r+p-\alpha\beta\eta(p+p_r-c_2)-(1-\alpha)c_1Q_1-\alpha c_2Q_2-\eta c_{pn}$ |
| 单一高成本货源策略 | 0 | $\alpha$ | $\alpha(p+p_r)-\alpha c_2Q_2$ |
| 高成本大众市场策略 | 0 | 1 | $p-c_2Q_2$ |

由表1可知,在给定策略下,随着保鲜努力敏感型消费者数量的递增,非保鲜努力购货数量$Q_1^*$递增,保鲜努力途径购货数量$Q_2^*$下降,而两种渠道的购货量独立于消费者对保鲜努力生鲜品的溢价支付意愿、对非生鲜努力生鲜品出现食品安全事件的容忍程度、政府罚金及出现食品安全事件且被揭发的概率. 由此,给定策略下,零售商行为与一般期望一致,即外部相关利益主体施压越大,零售商进货于非保鲜努力途径的数量越低. 然而,由定理1可知,当部分参数发生变化时,零售商不仅仅调整其两渠道进货量,而且调整其货源渠道,而在两货源策略的转化边界处,其转变方向可能与一般期望恰恰相反.

当消费者对保鲜努力生鲜品的期望溢价较低(即$p_r<\Delta$)时,最优策略选则具体见定理1中的i)、ii)、iii),同时参照表1易得,随$\alpha$的增大,单一低成本策略下零售商的期望利润下降,单一高成本货源策略下,其利润升高,而高成本大众市场策略下,零售商利润独立于$\alpha$. $\alpha=0$时,高成本大众市场策略显然优于单一高成本货源策略;当$\alpha=1$时,单一高成本货源策略优于高成本大众策略. 因此,随保鲜努力敏感型消费者占比$\alpha$的增大,最优货源渠道存在以下4个可能的变化过程: 1) 对于所有的$\alpha$,单一低成本策略都为最优策略; 2) 最优策略从单一低成本货源策略向单一高成本货源策略转换; 3) 最优策略由单一低成本货源策略转换为高成本大众策略,进而转换为单一高成本策略; 4) 最优策略由高成本大众策略向单一高成本货源策略转换. 前两种变化过程下,最优进货数量与简单直觉相一致,随$\alpha$的增加,$Q_1^*$递减而$Q_2^*$递增,而在后两种变化过程下,最优进货渠道由高成本大众策略向单一高成本货源策略转换. 在以上策略转换情形下,随保鲜努力敏感型消费者数量的增加,零售商保鲜努力进货渠道的进货量递减. 同样的影响过程出现在意愿支付溢价系数$p_r$对购货量的影响上. 以下定理对以上现象进行了描述.

**定理2**　当消费者支付意愿较低(即$p_r<\Delta$)时,有:

1) 若$c_2Q_2-c_1Q_1>\eta c_{pn}+\alpha\beta\eta(p-c_1)+(\alpha p_r-(1-\alpha)(p-c_2Q_2))^+$,则单一低成本货源策略为唯一的最优策略.

2) 若1)不成立,则随$\alpha$和$p_r$的增大,最优供货策略由单一低成本策略向高成本大众策略及单一高成本策略转化. 当消费者对于保鲜努力生鲜品的意愿支付溢价较低时,随其支付意愿的递增或保鲜努力敏感型消费者的数量上升,存在零售商降低保鲜努力渠道进货量的可能性,即当$p_r$(或$\alpha$)上升从小于转为大于$\dfrac{(1-\alpha)(p-c_2Q_2)}{\alpha}\left(或\dfrac{p-c_2Q_2}{p+p_r-c_2Q_2}\right)$时,进货量$Q_2^*$陡降,此时零售商购货策略由高成本大众策略转变为单一高成本策略. 对于此反直觉的结论,原因在于,当$\alpha$及$p_r$非常小时,由于零售商担忧食品安全事件爆发引致罚金及部分敏感型消费者退出市场等,零售商单一选择高成本大众策略. 因而,随$\alpha$及$p_r$的增大,赢取保鲜努力敏感型消费者的分割市场,并获得此部分消费者的溢价收益于零售商而言更有吸引力. 然而,为达成此目标,零售商不得不提价,非保鲜努力敏感型消费者被驱逐出市场,引致零售商减少了保鲜努力渠道进货量.

**推论1**　当$c_2Q_2-c_1Q_1<\dfrac{\beta\eta(p+p_r-c_2)-p_r}{(1-\alpha)/\alpha}$或者罚金很高时,零售商应选择高成本大众策略或单一高成本策略. 且随$\alpha$及$p_r$的增大,最优供货策略由高成本大众策略转为单一高成本策略,即当$p_r$(或$\alpha$)上升从小于转为大于$\dfrac{(1-\alpha)(p-c_2Q_2)}{\alpha}\left(或\dfrac{p-c_2Q_2}{p+p_r-c_2Q_2}\right)$时,进货量$Q_2^*$陡降.

推论1说明,如果罚金很高或者保鲜努力能直接显著降低购货成本,则理性的零售商只能选择高成本大众策略或单一高成本策略. 如果消费者更愿意接受生鲜努力渠道的生鲜品或者生鲜努力敏感型消费者的支付意愿较高,则零售商应选择单一高成本策略;反之,选择高成本大众策略.

当$p_r>\Delta$,即消费者对生鲜努力渠道的生鲜品接受度较高时,即使零售商可能减少对保鲜努力渠道生鲜品的进货量,也决不会增加对非保鲜努力渠道生鲜品的进货量. 当此种情形发生时,双渠道货源策略取代了低成本进货策略. 由表1可知,随$\alpha$的增加,单一高成本策略利润上升,高成本大众策略利润独立于$\alpha$,而双渠道货源策略发生递增、递减变化同

时存在可能性. 于前者而言,结果与低支付意愿情形极为一致(即以双渠道策略替换低成本策略),而于后者,除已描述过的变化过程外,仍存在以下两种变化过程: 1) 最优策略由高成本大众策略向双渠道策略转变; 2) 最优策略由高成本大众策略向双渠道策略转换,进而转为单一高成本策略. 以上两种情形之一发生,在高成本大众市场策略向双渠道策略发生转变时,零售商将减少对保鲜努力渠道生鲜品的进货数量,而增加对非保鲜努力渠道生鲜品的进货数量. 保鲜努力敏感型消费者的溢价支付意愿对最优货源渠道的影响也有相同的变化趋势.

**定理3** 当消费者支付意愿较低,即($p_r > \Delta$)时,有:

1) 如果最优供货策略由高成本大众策略转为单一高成本策略,则随着$\alpha$以及$p_r$的增大$\Big($即当$p_r$(或$\alpha$)上升从小于转为大于$\dfrac{(1-\alpha)(p-c_2Q_2)}{\alpha}$或者$\dfrac{p-c_2Q_2}{p+p_r-c_2Q_2}\Big)$时,进货量$Q_2^*$陡降.

2) 如果满足$p_r > \dfrac{(c_2Q_2-c_1Q_1)+\beta\eta(p-c_2)}{1-\beta\eta}$,最优供货策略由高成本大众策略转为双渠道策略,则随$\alpha$和$p_r$的增大$\Big($即当$p_r$(或$\alpha$)的上升从小于转为大于$\dfrac{\alpha\beta\eta(p-c_2)+\eta c_{pn}-(1-\alpha)(c_2Q_2-c_1Q_1)}{(1-\beta\eta)\alpha}$或者$\dfrac{(c_2Q_2-c_1Q_1)-\eta c_{pn}}{(c_2Q_2-c_1Q_1)+\beta\eta(p-c_2)-(1-\beta\eta)p_r}\Big)$时,保鲜努力货源渠道进货量$Q_2^*$陡降且非保鲜努力货源渠道$Q_1^*$陡增.

3) 如果满足$p_r < \dfrac{(c_2Q_2-c_1Q_1)+\beta\eta(p-c_2)}{1-\beta\eta}$,最优供货策略由双渠道策略转为高成本大众策略,则随着$\alpha$的增大$\Big($即当$\alpha$的上升从小于转为大于$\dfrac{(c_2Q_2-c_1Q_1)-\eta c_{pn}}{(c_2Q_2-c_1Q_1)+\beta\eta(p-c_2)-(1-\beta\eta)p_r}\Big)$时,或者随着$p_r$值的减小$\Big($即$p_r$的值从大于转变为小于$\dfrac{\alpha\beta\eta(p-c_2)+\eta c_{pn}-(1-\alpha)(c_2Q_2-c_1Q_1)}{(1-\beta\eta)\alpha}\Big)$时,保鲜努力货源渠道进货量$Q_2^*$陡增且非保鲜努力货源渠道$Q_1^*$陡降.

定理3中第1)种情况与定理2中第2)种情况类似. 第2)和第3)种情况说明,当保鲜努力敏感型消费者对保鲜努力产品意愿支付溢价较高时,随着溢价的进一步提升,保鲜努力渠道进货量$Q_2^*$会下降,同时非保鲜努力渠道进货量$Q_1^*$会上升,这种反直觉的结论来自原两者定价方式不同,双渠道购货策略相比高成本大众策略能从保鲜努力敏感型消费者那里获取更多利润. 同时,第2)和第3)种情况还说明,保鲜努力敏感型消费者占比的增加对零售商购货渠道的影响取决于意愿支付溢价的大小: 如果意愿支付溢价很高,则随着占比的增加,零售商购货渠道从高成本大众策略转为双渠道策略; 反之,如果意愿支付溢价较低,则随着占比的增加,零售商购货渠道从双渠道策略转为高成本大众策略.

**定理4** 最优货源渠道下,非保鲜努力货源渠道进货量$Q_1^*$随保鲜努力敏感型消费者对食品安全事件的容忍度$\beta$、政府对涉事企业罚金$c_{pn}$或出现食品安全事件且被投诉的概率$\eta$的增大而减小,保鲜努力渠道进货量$Q_2^*$则随$\beta$、$c_{pn}$或$\eta$的增大而增大.

结合以上定理2～定理4的结论,影响市场分割价值的策略(如增加保鲜努力敏感型消费者的数量或增加其意愿支付价格)可能引致适得其反的效果,如降低整个生鲜供应链的新鲜度. 增加食品安全事件发生责任主体惩罚的相关策略(如增加罚金、增加曝光度即事件发生后的曝光概率)则永远对供应链整体生鲜度的提高起积极作用,这是极为有意思的发现. 许多研究者提出了单一增加消费者支付意愿抑或通过促销、广告等渠道促进保鲜努力生鲜品销售的供应链整体生鲜度提高的途径. 本文结论表明,以上策略可能难以取得意料之中的效果. 惩罚的实施则对生鲜供应链整体生鲜度的提高意义重大.

此部分最后1个定理与渠道策略的影响有关. 下面针对渠道策略对零售商利润的影响进行阐述.

**定理5** 最优购货渠道下,有:

1) 零售商利润随消费者对非保鲜努力生鲜品出现食品安全问题的容忍度$\beta$、政府罚金$c_{pn}$或非保鲜努力生鲜品出现食品安全问题且被投诉的概率$\eta$的增加而减小;

2) 零售商利润随消费者对生鲜品的均匀支付意愿$p$和保鲜努力敏感型消费者对保鲜努力生鲜品的意愿支付溢价$p_r$的增大而增大;

3) 零售商利润是关于保鲜努力敏感型消费者占比$\alpha$的凸函数.

### 2.2 不可溯源情形下的生鲜品货源选择机制

上节为可溯源情形下的生鲜品货源选择问题,为进行对比,此部分为不可溯源情形下的生鲜品货源选择机制研究,即信息非对称非透明情形下的货源选择机制问题. 尽管供应链中的信息透明越来越普遍,但仍存在非透明型供应链,即消费者对产品信息不甚了解,本文中即意味着,消费者难以区分生鲜品是否通过了保鲜努力,只能根据零售商描述进行判断. 另假

设,零售商对生鲜品的欺诈性宣传无额外成本,且被发现欺诈后,无惩罚. 此种情形下,零售商误导消费者变得极为简单.

1) 高成本货源双商标策略不可溯源情形下,零售商选取的策略之一为全部生鲜品于实施保鲜努力的零售商处进货,而零售商本身存在双商标,其将部分产品贴保鲜努力确认标志商标,部分产品贴普通生鲜品商标. 其后,零售商通过宣传广告等形式引导生鲜度敏感型供应商高价购买贴有保鲜努力确认标志的商品. 称此策略为高成本货源双商标策略. 此种情形下,消费者的期望利润如下:

$$\Pi_5 = \alpha(p + p_r) + (1 - \alpha)p - c_2 - (Q_2 - 1)c_2. \tag{15}$$

注意到,如果消费者久经世故,将可识别出产品的一致性,由此,保鲜努力敏感型消费者将放弃对高标价生鲜品的购买. 因而高成本货源双商标策略仅适用于不可溯源情形.

2) 低成本货源双商标策略.

与以上高成本货源双商标策略相一致,零售商可选择于未实施保鲜努力的供应商处进货,且存在两种标签,部分商品贴保鲜努力确认标志商标,部分产品贴普通生鲜品商标. 此时的零售商期望利润为

$$\Pi_6 = (1 - \beta\eta)\alpha(p + p_r - c_1) + (1 - \alpha)(p - c_1) - \eta c_{pn} - (Q_1 - 1)c_1. \tag{16}$$

式(16)第1部分为来自保鲜努力敏感型消费者的期望收益,由于全部生鲜品均来自未对产品作出保鲜努力的生产商,存在因生鲜品变质诱发食品安全事件的几率. 此时存在政府罚金成本及部分保鲜努力敏感型消费者退出市场的机会成本. 式(16)第2部分为来自非保鲜努力敏感型消费者的期望收益,剩余为政府罚金的期望成本及进货成本.

**定理6**　不可溯源情形下,有:

1) 当$c_2Q_2 - c_1Q_1 < \alpha\beta\eta(p + p_r - c_1) + \eta c_{pn}$时,高成本货源双商标策略为最优货源渠道;

2) 当$c_2Q_2 - c_1Q_1 > \alpha\beta\eta(p + p_r - c_1) + \eta c_{pn}$时,低成本货源双商标策略为最优货源渠道.

$c_2Q_2 - c_1Q_1$是两种购货渠道的成本差异,$\alpha\beta\eta(p + p_r - c_1)$,$\eta c_{pn}$分别是低成本货源双商标策略下,因顾客对产品变质进行投诉而引发的零售商需承担的顾客退出市场的期望损失和罚金. 定理6说明,不可溯源时,零售商对于购货渠道的选择取决于两种购货策略的成本与低成本货源的机会成本的差异: 如果两种购货策略的成本更小,则零售商选择高成本货源双商标策略; 反之,如果两种购货策略的成本更大,则零售商选择低成本货源双商标策略.

**定理7**　当保鲜改进水平或者支付意愿提高时,零售商在本文所提的6种购货渠道下购货,其利润函数是关于保鲜改进水平和支付意愿的增函数.

## 3　数值分析

在分别对可溯源与不可溯源情形下的模型建立及求解过程进行分析后,为更直观地展现保鲜努力敏感型消费者占比、意愿支付溢价、保鲜改进水平及生鲜品支付意愿对购货渠道选择的影响以探究保鲜努力的驱动因素,本小节采用数值图像分析方式更为直观地探究渠道选择的影响机理.

### 3.1　保鲜努力敏感型消费者占比及其意愿支付溢价购货渠道选择的影响

为更为直观地探究市场分割特质对零售商渠道选择的影响,现选取$D = 1, T = 10, m = 15, c_1 = 0.2, c_2 = 0.5, p = 1.5, c_{pn} = 3.85, \beta = 0.2, \eta = 0.1, s = 0.8$[13]进行数值模拟.

对于零售商而言,敏感型消费者占比及其意愿支付溢价通过对市场供需关系影响进而对零售商利润产生显著影响,零售商进货渠道也因此发生改变. 图1分析了保鲜努力敏感型消费者占比及其意愿支付溢价对最优购货渠道的影响.

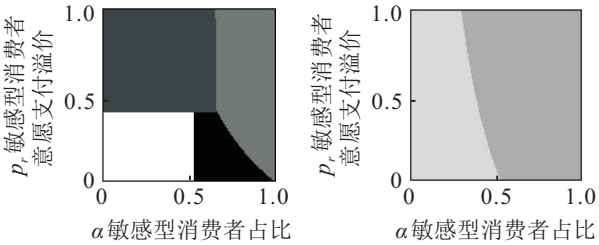


**图1　保鲜努力敏感型消费者占比及其意愿支付溢价对零售商渠道选择机制的影响**

在图1中: 左图中白色区域为单一低成本策略最优选择区域,深灰色区域为双渠道策略最优选择区域,浅灰色区域为单一高成本策略最优选择区域,黑色区域为高成本大众策略最优选择区域; 右图中深色为高成本货源双商标策略,浅色为低成本货源双商标策略. 在可溯源保鲜供应链中,如图1(左),当保鲜努力敏感型消费者意愿支付溢价较低时,随保鲜努力敏感型消费者占比的增加,零售商最优进货策略从单一低成本进货渠道向高成本大众策略转变,当占比接近于1时,单一高成本策略成为最优货源策略的几

率增加. 当保鲜努力敏感型消费者意愿支付溢价较高时,随占比的增加,零售商最优渠道选择由双渠道策略转变为单一高成本策略. 单一策略内部符合随$\alpha, p_r$的增大,零售商对保鲜努力生鲜品进货量增加的趋势. 在最优渠道选择边界存在悖论,如图1(左)随$p_r$的增大,在最优策略由高成本大众策略转变为双渠道策略时,非保鲜努力进货渠道进货量增加,保鲜努力渠道进货量减小. 在不可溯源保鲜供应链中,如图1(右),随保鲜努力敏感型消费者占比的增加或其意愿支付的溢价上升,零售商货源策略由低成本货源双商标策略向高成本货源双商标策略转化,即零售商增加非保鲜渠道的进货量而减少保鲜渠道的进货量.

### 3.2 保鲜改进水平及生鲜品支付意愿对购货渠道选择的影响

为更为直观地探究可溯源与不可溯源情形下,保鲜改进水平及生鲜品支付意愿对零售商购货渠道选择的影响,现选取$D = 1, T = 10, m = 15, c_1 = 0.2, c_2 = 0.5, c_{pn} = 3, \beta = 0.2, \eta = 0.1, p_r = 0.4, \alpha = 0.5$[13]进行数值模拟.

保鲜改进水平及消费者支付意愿是零售商利润的重要影响因素,在文中提到的几种购货渠道下,保鲜改进水平越高或者支付意愿越高,其利润越大. 但是两者的变化对于零售商而言不仅意味着利润的改变,还意味着购货渠道的改变,图2揭示了两者对这种变化的影响. 图2各色块含义与图1相同.

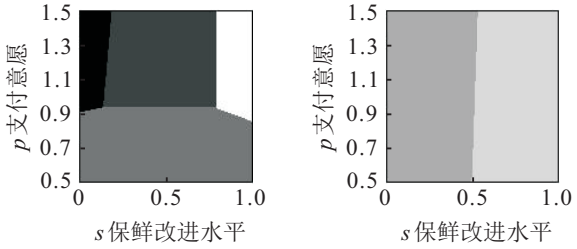


**图 2 保鲜改进水平及支付意愿对购货渠道选择的影响**

由图2(左)可知,可溯源即信息透明情形下,当消费者对生鲜品的平均支付意愿较低时,零售商最优选择为单一高成本策略,原因在于单一进货于生鲜努力渠道生鲜品,并只销售于保鲜努力敏感型消费者可获取一定的溢价收益. 随消费者平均支付意愿的提高,单一高成本策略被单一低成本策略、双渠道策略及高成本大众策略所取代,且在较高生鲜品平均意愿支付价格下,随保鲜改进程度的提升,最优策略由单一低成本策略向双渠道策略及高成本大众市场策略转变. 究其原因在于,当保鲜改进程度较低时,支付高昂的进货成本的保鲜努力生鲜品与普通生鲜品的差异并不明显,而非保鲜努力生鲜品的进货成本更低;随着支付同等溢价成本的产品保鲜改进水平的上升,因变质损耗减少、普通生鲜品出现食品安全问题将被问责等原因导致零售商更倾向于选择保鲜努力渠道进货,故零售商进货策略转为双渠道策略或者高成本大众策略. 对于不可溯源的情形,购货策略的变化趋势与可溯源时类似,如图2(右)所示,保鲜改进水平由低转高,保鲜努力生鲜品与非保鲜努力生鲜品产品差异变大,保鲜努力改进生鲜品变质率远低于非保鲜努力生鲜品变质率,变质率降低引致的成本下降使得两购货渠道的成本差异缩小,而高成本双商标策略下,由产品变质引致处罚的机会成本远低于低成本双商标策略,因而,总体货源选择趋势由低成本货源双商标策略转为高成本货源双商标策略(即图中由浅色区域变为深色区域). 显然,相比于以消费者为努力目标的保鲜促进策略,罚金引致的机会成本对于零售商货源选择影响更大.

### 3.3 退出市场占比及投诉率对购货渠道选择的影响

为更为直观地探究可溯源和不可溯源情形下,消费者退出市场占比及投诉率对零售商购货渠道的影响,现选取$D = 1, T = 10, m = 15, c_1 = 0.2, c_2 = 0.5, c_{pn} = 1.8, s = 0.8, p = 1.15, p_r = 0.4, \alpha = 0.5$[13]进行数值模拟.

随敏感型消费者退出市场占比及投诉率的提高,零售商的利润降低,经营风险增大,其不得不转化进货渠道,以降低风险,图3即显示了退出市场占比及投诉率对购货渠道选择的影响. 图3各色块含义与图1相同.

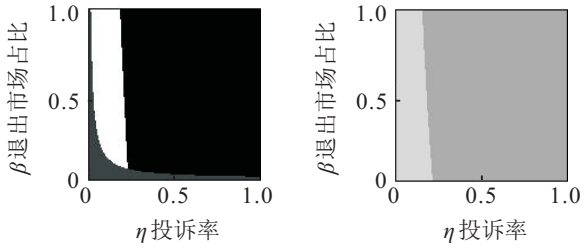


**图 3 退出市场占比及投诉率对购货渠道选择的影响**

由图3(左)可知,可溯源即信息透明情形下,在非保鲜品出现安全问题后,消费者觉醒退出市场数量占比于50%上下波动时,随非保鲜努力厂商生鲜品变质引致投诉的概率提高,即消费者维权意识增强,供应商进货最优渠道策略由双渠道策略转为单一低成本策略,最终转变为高成本大众策略;当退出市场占比及投诉率都较低时,双渠道策略为零售商最优选择,易得,两者的水平较低,意味着市场消费者的维权

意识较低,由消费惯性引致的需求弹性小,此时零售商选取双渠道策略可以获得更为广阔的市场,无论消费者是否对生鲜度敏感,是否意愿支付生鲜溢价,其都可以在双渠道进货策略中获得自己心仪的生鲜品类型,而随消费者觉醒退出市场数量占比的不断提高及投诉率的不断上升,单一低成本策略逐渐取代双渠道最优策略,究其原因在于,随着两者的上升,敏感型消费者退出市场的可能性增加,市场维持愈益困难,风险增大,因而,零售商选择放弃维护敏感型消费者所构成的市场. 然而,随消费者觉醒退出市场数量占比的不断提高及投诉率的继续上升,两者引致高昂的罚金. 此时,零售商不得不选择高成本大众策略,以避免不必要的罚金,并尽可能多地占领市场. 如图3(右)所示,不可溯源情形下,随投诉率及敏感型消费者退出市场占比的增大,零售商货源渠道由低成本双商标策略向高成本双商标策略转变. 显然,投诉率对零售商货源渠道的选择影响更大,其在极低水平上,即直接导致了高成本货源双商标策略取代低成本货源双商标策略. 究其原因,在于两者的提高,增加了零售商的经营成本和风险,低成本双商标策略已不能适应投诉率提高引致的高昂罚金,及消费者退出市场占比增加引致的经营风险和不确定性. 由此,增加处罚力度对供应链保鲜水平升级影响巨大.

## 4 结 论

冷链等保鲜技术的落后不仅带来因生鲜品变质引致的食品安全隐患,而且不利于生鲜农产品在流通中的增值,影响了整个生鲜产品供应链各节点的利润. 生鲜农产品供应链的管理改良迫在眉睫. 本文以消费者异质性为前提,在保鲜努力敏感型消费者和非敏感型消费者的二元假设下,探究零售商在有无溯源系统即信息是非对称情形下的渠道最优选择机制及其影响因素. 研究结果表明,存在市场分割特质的保鲜努力促进行为(如提高保鲜努力敏感型消费者的数量占比、提高保鲜努力敏感型消费者的保鲜努力产品意愿支付溢价),并非一定产生直觉上的积极效果,并带来生鲜供应链整体生鲜水平的提高. 在策略转换临界点,以上促进保鲜努力的行为存在产生反效用的可能性. 增加非保鲜努力引致食品安全事件的惩罚则可显著提高生鲜供应链整体的生鲜度,如政府增加对食品安全事件主体零售商的罚金抑或非政府组织加大对非保鲜努力供应商的监管、增加食品安全事件曝光的几率都可显著激励零售商增加保鲜努力渠道的进货量,进而提高生鲜供应链整体的生鲜度水平.

民以食为天,在当今供给侧改革背景下,提高生鲜供应链生鲜度水平,减少生鲜品安全事件的发生,需要供应商、零售商共同努力,增加冷链物流的投入力度,推动产业升级. 然而,单凭市场的力量往往难以达到链条整体的最优水平,因此,政府这只看得见的手应当发挥其应有的作用,通过增加惩罚、加强监管等方式促进生鲜产业升级. 作为消费者,不应当置身事外,以主人翁意识积极举报不合规的生鲜品处理行为,遇到生鲜品变质等现象,积极投诉,助力生鲜供应链产业升级.

## 参考文献(References)


[1] Wang X, Li D. A dynamic product quality evaluation based pricing model for perishable food supply chains[J]. Omega, 2012, 40(6): 906-917.

[2] 钱建平, 杨信廷, 吉增涛, 等. 农产品追溯系统的追溯粒度评价模型构建及应用[J]. 系统工程理论与实践, 2015, 35(11): 2950-2956.
(Qian J P, Yang X T, Ji Z T, et al. Model for traceability granularity evaluation of traceability system in agricultural products[J]. Systems Engineering — Theory & Practice, 2015, 35(11): 2950-2956.)

[3] Appelhanz S, Osburg V S, Toporowski W, et al. Traceability system for capturing, processing and providing consumer-relevant information about wood products: System solution and its economic feasibility[J]. J of Cleaner Production, 2016, 110: 132-148.

[4] 张蓓, 林家宝. 质量安全背景下可追溯亚热带水果消费行为范式: 购买经历的调节作用[J]. 管理评论, 2015, 27(8): 176-189.
(Zhang B, Lin J B. The paradigm of consuming behavior to traceable sub-tropic fruits under the background of quality safety: The Moderating effects of purchase experience[J]. Management Review, 2015, 27(8): 176-189.)

[5] Bertolini M, Bevilacqua M, Massini R. FMECA approach to product traceability in the food industry[J]. Food Control, 2006, 17(2): 137-145.

[6] Lee Y P, Dye C Y. An inventory model for deteriorating items under stock-dependent demand and controllable deterioration rate[J]. Computers & Industrial Engineering, 2012, 63(2): 474-482.

[7] Abad P L. Optimal price and order size under partial backordering incorporating shortage, backorder and lost sale costs[J]. Int J of Production Economics, 2008, 114(1): 179-186.

[8] Lotfi M M, Rabbani M, Ghaderi S F. A weighted goal

programming approach for replenishment planning and space allocation in a supermarket[J]. J of the Operational Research Society, 2011, 62(6): 1128-1137.

[9] 王婧, 陈旭. 考虑流通损耗的生鲜农产品零售商期权订货策略[J]. 系统工程理论与实践, 2012, 32(7): 1408-1414.
(Wang J, Chen X. Fresh produce retailers optimal contracts procurement decisions research with circulation wastage[J]. Systems Engineering — Theory & Practice, 2012, 32(7): 1408-1414.)

[10] 邓琪. 基于变质损耗的生鲜农产品订货策略[J]. 统计与决策, 2013(6): 41-44.
(Deng Q. Ordering strategy of fresh agricultural products based on deterioration loss[J]. Statistics & Decision, 2013(6): 41-44.)

[11] 浦徐进, 范旺达, 吴亚. 渠道模式、努力投入与生鲜农产品供应链运作效率研究[J]. 中国管理科学, 2015, 23(12): 105-112.
(Pu X J, Fan W D, Wu Y. Study on channel mode, efforts input & efficiency of fresh agricultural products supply chains[J]. Chinese J of Management Science, 2015, 23(12): 105-112.)

[12] Cai X, Chen J, Xiao Y, et al. Optimization and coordination of fresh product supply chains with freshness-keeping effort[J]. Production and Operations Management, 2010, 19(3): 261-278.

[13] 王磊, 但斌. 考虑消费者效用的生鲜农产品供应链保鲜激励机制研究[J]. 管理工程学报, 2015, 29(1): 200-206.
(Wang L, Dan B. The incentive mechanism for preservation in fresh agricultural supply chain considering consumer utility[J]. J of Industrial Engineering and Engineering Management, 2015, 29(1): 200-206.)

[14] 熊峰, 彭健, 金鹏, 等. 生鲜农产品供应链关系契约稳定性影响研究 —— 以冷链设施补贴模式为视角[J]. 中国管理科学, 2015, 23(8): 102-111.
(Xiong F, Peng J, Jin P, et al. The impact of relational contracts stability about fresh agricultural product supply chain study: From the persepective of cold chain facilties subsidy mode[J]. Chinese J of Management Science, 2015, 23(8): 102-111.)

[15] Ghare P M, Schrader G F. A model for exponentially decaying inventory[J]. J of industrial Engineering, 1963, 14(5): 238-243.

[16] Covert R P, Philip G C. An EOQ model for items with Weibull distribution deterioration[J]. AIIE Transactions, 1973, 5(4): 323-326.

[17] Goyal S K, Giri B C. Recent trends in modelling of deteriorating inventory[J]. European J of Operational Research, 2001, 134(1): 1-16.

[18] Bakker M, Riezebos J, Teunter R H. Review of inventory systems with deterioration since 2001[J]. European J of Operational Research, 2012, 221(2): 275-284.

[19] Janssen L, Claus T, Sauer J. Literature review of deteriorating inventory models by key topics from 2012 to 2015[J]. Int J of Production Economics, 2016, 182: 86-112.

[20] Sarkar B. An EOQ model with delay in payments and stock dependent demand in the presence of imperfect production[J]. Applied Mathematics and Computation, 2012, 218(17): 8295-8308.

[21] Chen S C, Teng J T. Retailer's optimal ordering policy for deteriorating items with maximum lifetime under supplier's trade credit financing[J]. Applied Mathematical Modelling, 2014, 38(15): 4049-4061.

[22] Wang W C, Teng J T, Lou K R. Seller's optimal credit period and cycle time in a supply chain for deteriorating items with maximum lifetime[J]. European J of Operational Research, 2014, 232(2): 315-321.

[23] Teng J T, Cárdenas-Barrón L E, Chang H J, et al. Inventory lot-size policies for deteriorating items with expiration dates and advance payments[J]. Applied Mathematical Modelling, 2016, 40(19): 8605-8616.

[24] Guo R, Lee H L, Swinney R. Responsible sourcing in supply chains[J]. Management Science, 2015, 62(9): 2722-2744.

[25] Boccaletti S, Nardella M. Consumer willingness to pay for pesticide-free fresh fruit and vegetables in Italy[J]. The International Food and Agribusiness Management Review, 2000, 3(3): 297-310.

（责任编辑：闫 妍）