

考虑保质期的两级供应链MTS-MTO提前期优化研究

马士华, 吴智荣[†], 刘保山

(华中科技大学 管理学院, 武汉 430074)

摘要: 在具有保质期特性的快消品行业中, 供应商在面向订单(MTO)生产策略下较长的订货提前期会给零售商带来高库存以及高运作成本, 削弱供应链的快速响应能力. 对比原来的MTO生产策略, 提出一种面向库存-面向订单(MTS-MTO)混合生产策略. 首先, 基于产品保质期的特点建立MTO生产策略下的供应链成本模型, 并给出供应链成本最优的经济订货批量; 其次, 根据MTO求出的最优经济订货批量, 建立MTS-MTO生产策略下的供应链成本模型, 并确定供应商的应持有库存 M , 求出供应商在MTS-MTO生产时的充要条件, 为供应链决策提供依据; 再次, 给出一种基于满意度的Nash协商模型以确定零售商应给予供应商的补偿 H ; 最后, 通过数值分析验证并讨论符合MTS-MTO生产的产品特征.

关键词: 提前期; MTS-MTO; 保质期; 供应链; 快消品; Nash协商模型

中图分类号: TP273

文献标志码: A

Lead time optimization of MTS-MTO in two-echelon supply chain considering shelf life

MA Shi-hua, WU Zhi-rong[†], LIU Bao-shan

(School of Management, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: In the fast moving consumer goods(FMCG) industry with short product's shelf life, the original MTO strategy brings high inventory and operating costs to the retailer because of its longer order leader time, therefore, a make to stock-make to order(MTS-MTO) strategy is proposed. Firstly, based on the characteristics of product shelf life, the supply chain cost model of the MTO production strategy is established, and the economic order quantity of the supply chain with optimal cost is given. Then, according to the optimal economic order quantity obtained using the MTO strategy, the supply chain cost model under the MTS-MTO production strategy is established. Besides, the supplier's inventory M is determined. Necessary and sufficient condition is also provided for the supply chain decision. A Nash negotiation model based on satisfaction is given to determine the compensation H that the retailer should give to the supplier. Finally, the product characteristics under the MTS-MTO hybrid production strategy are verified and discussed through numerical analysis.

Keywords: lead time; MTS-MTO; shelf life; supply chain; FMCG; Nash negotiation model

0 引言

在现实零食快消品行业中, 考虑到零食保质期较短的特性, 为保证零食的新鲜度和降低变质风险, 供应商往往在接到订单之前不保留成品库存, 供应商接到订单后开始生产, 即供应商按照单纯的面向订单(MTO)模式生产. 从零售商发出订单到零售商收到该订单的产品之间的时间称为订货提前期, 该提前期包括供应商生产准备时间, 出库、运输时间, 质量检查、零售商入库等固定时间, 还包括供应商接到订单后的生产时间. 供应商即时生产不保留库存的MTO

策略可以保证零食的新鲜度和降低变质风险. 然而, 互联网环境下不断变化的市场需求, 较长的提前期又会给零售商带来高库存以及高运作成本, 且不利于提高供应链的快速响应能力; 面向库存(MTS)生产可以缩短提前期, 但是又会给保质期产品带来变质损失的风险. 因此, 需要权衡MTS与MTO的生产策略.

零食快消品具有价值低、消耗量大的特点, 生产时间占了提前期的大部分比例, 且这部分时间是可变的, 如何合理地减少这部分时间具有重要的研究价值. 通过各种方法压缩提前期已成为改善供应链

收稿日期: 2017-09-13; 修回日期: 2018-02-04.

基金项目: 国家自然科学基金科学项目(71472069).

作者简介: 马士华(1956—), 男, 教授, 博士生导师, 从事供应链管理及其应用等研究; 吴智荣(1992—), 男, 硕士生, 从事物流与供应链管理的研究.

[†]通讯作者. E-mail: nidevshirong@163.com.

运作绩效的重要途径^[1-5]. 近年来,企业界和学术界都很关注影响提前期的相关因素,以期找到行之有效的压缩提前期的方法. Morikawa等^[6]研究了在多阶段生产系统下MTS-MTO混合生产模式,提出了在没有订单的情况下保留MTS库存;Chang等^[7]进行了基于可控提前期和减少订货成本下供应商和零售商合作库存模型的研究,验证了提前期和订货成本减少的重要性,并且认为供应商和零售商应该共同决定订货量、再订货点以及提前期;宋华明等^[8]、李怡娜等^[9]、Liao等^[10]、Ben-Daya等^[11]、Ouyang等^[12]从不同角度讨论如何有效缩短提前期,但是没有结合MTS-MTO生产模式进行研究,不太符合零食快消品的特点;云小红等^[13]考虑了两种产品需求可替代的情形下,提前期压缩的有效性;张琦琪等^[14]在MTO-MTS生产背景下,建立了多成本因素的联合优化数学模型,以验证MTS-MTO对库存管理和生产计划的积极作用;曹裕等^[15]提出了在随机需求情况下依据MTO订单的生产线匹配属性的订单准入条件.

以上文献针对大部分供应链的可控提前期问题进行研究,验证了缩短提前期在供应链中的重要作用,并给出了缩短提前期的具体方法或者算法. 也有研究结合MTS-MTO混合策略缩短提前期或在单一生产策略背景下的优化研究,并且取得了很好的成果. 但是这些研究没有考虑零食快消品缩短提前期的现状. 本文工作是对现有MTO和MTS-MTO策略的研究做出补充.

本文结合已有的研究成果以及零食快消品行业的生产现状,一方面强调零食保质期的特性,另一方面同时研究MTO和MTS-MTO两种生产策略. 研究结果发现,可以根据产品特性以及供应链特点得出两种策略的使用边界,很好地指导生产管理者对实际中产品的分类与策略调控.

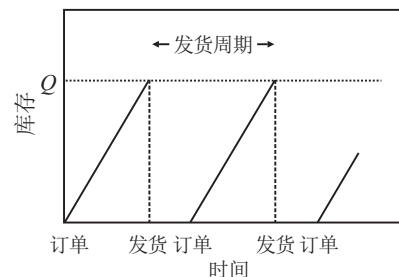
1 概述及符号说明

1.1 概述

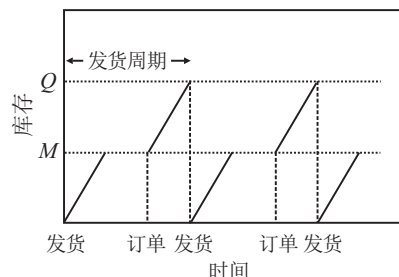
本文以单一零食快消品零售商和单一供应商构成的单一产品的两级供应链系统为研究背景,其中供应商负责生产,零售商负责销售. 已知该产品每年的平均需求量为 D ,供应商每年的产能为 $P(P_0 \leq P \leq P_1)$,且供应商的生产率大于市场需求率,即 $P > D$. 零售商以连续检查的方式盘点库存水平,当库存水平降至订货点 r 时,零售商向供应商发出订货请求,每次订货量为 Q ,即 (Q, r) 库存盘点模式.

考虑产品保质期的特点,顾客会随着产品的生产日期变长购买欲下降,或者零售商会因为产品的生产

日期变长担心滞销,通过降低盈利的方式,例如采取降价促销等营销策略,完成应有的销售目标. 这种由于产品的生产日期原因造成零售商利润下降可以认为是产品的价值随着时间的消逝而逐渐减少,这种现象称为无形变质. 产品的无形变质率与需求率成反比关系,即 $\theta = \tau/(X(t))$,其中 τ 为常数^[16]. 假设同一种产品每个提前期内 X 服从相同的正态分布,则 θ 的期望为定值,从而刻画了该产品的特性. 产品的保质期越短、易于变质或储存条件严苛,需求波动越大,则无形变质率越高;反之,无形变质率越低. 另外,在零食快消品行业中,一旦缺货,意味着失去销售机会,即形成缺货成本,不可通过补货来弥补. 出于产品新鲜度的考虑,供应商在传统MTO模式下组织生产并交货,供应商不保留成品库存,接到订单后开始生产订单需求量 Q . 在此模式下,供应商生产的生产时间包含生产准备时间和产品的制造时间,因而导致较长的交货提前期,提高了零售商的整体库存水平. 高库存给零售商带来了高库存成本以及库存风险. 为了降低零售商的库存,缩短交货提前期是很有效的方法,因此,本文提出一种供应商MTS-MTO模式以组织生产. MTS-MTO下,供应商在收到零售商的订单之前保留 M 单位的库存,接到订单后继续生产 Q 单位的产品,当供应商库存达到 Q 单位时发货给零售商,并继续生产 M 单位产品, Q 和 M 为决策变量. 两种生产模式如图1所示.



(a) MTO供应商的生产模式



(b) MTS-MTO供应商的生产模式

图1 两种生产模式下的零售商库存

进一步,假设提前期内需求 X 服从正态分布 $(\mu L, \sigma^2 L)$,均值为 μL ,标准差为 $\sigma\sqrt{L}$. 在 (Q, r) 订货模式下,零售商再订货点 $r =$ 提前期内的平均需求

+ 安全库存,即 $r = \mu L + k\sigma\sqrt{L}$. 其中: k 为安全因子,提前期包括运输时间、出库入库时间、生产准备时间、质检等固定时间和生产时间(可变动时间). 假设供应商在MTO模式下,零售商最优订货批量下的提前期为 L ,包括固定时间和生产时间,则供应商在MTS-MTO模式下,零售商每次的订货量 Q 与MTO模式下相同,供应商保留 M 成品库存,于是 $L' = L - M/P(0 \leq M \leq Q)$,即当供应商持有库存时,表面上是零售商的库存转移,但却能降低配送提前期. 而另

一方面,供应商持有库存使得产品在供应商仓库里增加了库存成本以及无形的变质成本. 在两种生产模式下,零售商和供应商的成本会发生变化. 为了验证MTS-MTO与MTO哪种策略使得供应链成本更低以及确定MTS-MTO模式下零售商与供应商的协调策略,本文将给出两种模式下的供应链成本模型,通过成本比较给出相应策略更优的条件.

1.2 符号说明

本文采用的符号如表1所示.

表1 建立模型所用变量

变量名称	说明	变量名称	说明
A_1	零售商每次的订货成本	A_2	供应商每次的生产准备成本
h_1	零售商单位产品的库存成本	h_2	供应商单位产品的库存成本
k	零售商安全库存因子	P	供应商年生产率
P_0	供应商最小生产率	P_1	供应商最大生产率
C	供应商为提高生产率而产生的单位产品的额外成本	a	供应商生产准备时间
γ	单位产品的缺货成本	θ	产品的无形变质率(单位时间单位产品的价值损失)
L	MTO下零售商最优订货量时的提前期	Q	零售商的订货批量
M	MTS-MTO下供应商保留的成品库存	H	MTS-MTO下零售商给供应商的补偿成本
λ	零售商的相对谈判能力	$S_r(H)$	零售商的满意度函数
$S_s(H)$	供应商的满意度函数		

2 模型建立

2.1 MTO下供应链成本及联合决策模型

2.1.1 零售商的成本

零售商的年期望成本包括4个部分:年订货成本、年缺货成本、年库存成本、年无形变质成本(所有成本均指平均成本).

1) 年订货成本. 零售商每次订货成本为 A_1 ,年需求量为 D ,每次订货量为 Q ,则年订货成本为 DA_1/Q .

2) 年缺货成本. 每一次订货周期的提前期内的期望缺货量为

$$E(X - r)^+ = \int_r^{+\infty} (x - r)f(x)dx = \sigma\sqrt{L}I_N(k). \tag{1}$$

其中: $I_N(k) = \varphi(k) - k[1 - \Phi(k)]$, φ 为标准正态分布密度函数, Φ 为标准正态分布函数^[8]. 零售商单位产品的缺货成本为 γ ,因此,零售商年缺货成本为 $D\gamma\sigma\sqrt{L}I_N(k)/Q$.

3) 年库存成本. 由2)每个周期的提前期缺货量 $\sigma\sqrt{L}I_N(k)$,每个提前期内得到满足的需求为 $\mu L - \sigma\sqrt{L}I_N(k)$,每个提前期内最后的库存期望为 $r - [\mu L - \sigma\sqrt{L}I_N(k)]$,每个提前期开始的库存为 $Q + r - [\mu L - \sigma\sqrt{L}I_N(k)]$,年平均库存为 $Q/2 + \sigma\sqrt{L}I_N(k) + k\sigma\sqrt{L}$,零售商单位产品的持有成本为 h_1 ,则零售商

年库存成本为

$$h_1[Q/2 + \sigma\sqrt{L}I_N(k) + k\sigma\sqrt{L}]. \tag{2}$$

4) 年无形变质成本. 供应商一旦开始生产,则生产出来的产品便发生无形变质. 供应商的生产率为 P ,一个周期的生产时间为 Q/P ,供应商一个周期内 t 时刻的库存为 $Pt(0 < t < Q/P)$,提前期为 L ,则产品在供应商的年无形变质成本为

$$\frac{D}{Q} \int_0^{Q/P} Pt\theta dt = \frac{DQ\theta}{2P}. \tag{3}$$

由式(3),产品在零售商的年无形变质成本为

$$D/Q \int_0^{Q/D} (Q + \sigma\sqrt{L}I_N(k) + k\sigma\sqrt{L} - Dt)\theta dt = \theta[Q/2 + \sigma\sqrt{L}I_N(k) + k\sigma\sqrt{L}].$$

因此,零售商承担的年无形变质成本为两者之和,即

$$DQ\theta/(2P) + \theta(Q/2 + \sigma\sqrt{L}I_N(k) + k\sigma\sqrt{L}). \tag{4}$$

综上,零售商的年总成本可表示为

$$\begin{aligned} \text{TEC}_r^1(Q, k) = & \frac{DA_1}{Q} + \frac{D\gamma\sigma\sqrt{L}I_N(k)}{Q} + \frac{DQ\theta}{2P} + \\ & h_1 \left[\frac{Q}{2} + \sigma\sqrt{L}I_N(k) + k\sigma\sqrt{L} \right] + \\ & \theta \left(\frac{Q}{2} + \sigma\sqrt{L}I_N(k) + k\sigma\sqrt{L} \right). \end{aligned} \tag{5}$$

2.1.2 供应商的成本

供应商的年成本包括两部分:年生产准备成本和年库存成本.

1) 年生产准备成本. 供应商每次的生产准备成本为 A_2 , 年需求量为 D , 每次生产量为 Q , 则年生产准备成本为 DA_2/Q .

2) 年库存成本. 供应商每次生产量为 Q , 生产率为 P , 单位时间单位产品的库存费为 h_2 , 生产完毕即刻出库发送给零售商, 则供应商的年库存成本为

$$D/Q \int_0^{Q/P} h_2 P t dt = \frac{DQh_2}{2P}. \quad (6)$$

3) 因提高生产率而产生的额外成本

$$g(P) = \left(1 - \frac{P_0}{P}\right) DC (P_0 \leq P \leq P_1).$$

综上, 供应商的总成本为

$$TEC_s^1(P) = \frac{DA_2}{Q} + \frac{DQh_2}{2P} + \left(1 - \frac{P_0}{P}\right) DC. \quad (7)$$

2.1.3 供应链联合决策

假设零售商与供应商共同决策使供应链成本最优, 供应链年总成本为

$$\begin{aligned} TEC_{sc}^1(Q) = & \frac{DA_1}{Q} + \frac{D\gamma\sigma\sqrt{L}I_N(k)}{Q} + \frac{DQ\theta}{2P} + \\ & h_1 \left[\frac{Q}{2} + \sigma\sqrt{L}I_N(k) + k\sigma\sqrt{L} \right] + \\ & \theta \left(\frac{Q}{2} + \sigma\sqrt{L}I_N(k) + k\sigma\sqrt{L} \right) + \\ & \frac{DA_2}{Q} + \frac{DQh_2}{2P} + \left(1 - \frac{P_0}{P}\right) DC, \quad (8) \end{aligned}$$

其中 Q 、 k 、 P 是决策变量. 对式(8)求关于 P 的偏导, 有

$$\frac{\partial TEC_{sc}^1}{\partial P} = \frac{D}{P^2} \left[P_0 C - \frac{Q(h_2 + \theta)}{2} \right]. \quad (9)$$

1) 当 $P_0 C > \frac{Q(h_2 + \theta)}{2}$ 时, $\frac{\partial TEC_{sc}^1}{\partial P} > 0$, TEC_{sc}^1 是关于 P 的增函数, 所以 $P^* = P_0$;

2) 当 $P_0 C < \frac{Q(h_2 + \theta)}{2}$ 时, $\frac{\partial TEC_{sc}^1}{\partial P} < 0$, TEC_{sc}^1 是关于 P 的减函数, 所以 $P^* = P_1$.

接下来, 求 Q 、 k 的偏导, 有

$$\frac{\partial TEC_{sc}^1}{\partial Q} = -\frac{D[A_1 + A_2 + D\gamma\sigma\sqrt{L}I_N(k)]}{Q^2} + \frac{h_1 + \theta}{2} + \frac{D(\theta + h_2)}{2P}, \quad (10)$$

$$\frac{\partial TEC_{sc}^1}{\partial k} = \left(\frac{D}{Q} \gamma + h_1 + \theta \right) \sigma\sqrt{L} [\Phi(k) - 1] + (h_1 + \theta) \sigma\sqrt{L}. \quad (11)$$

由式(10), 再次求 Q 偏导, 有

$$\frac{\partial^2 TEC_{sc}^1}{\partial Q^2} = \frac{2D[A_1 + A_2 + D\gamma\sigma\sqrt{L}I_N(k)]}{Q^3} > 0. \quad (12)$$

由式(11), 再次求 k 偏导, 有

$$\frac{\partial^2 TEC_{sc}^1}{\partial k^2} = \left(\frac{D}{Q} \gamma + h_1 + \theta \right) \sigma\sqrt{L} \varphi(k) > 0. \quad (13)$$

由式(12)和(13)可知, MTO下供应链总成本 TEC_{sc}^1 是关于 Q 、 k 的严格凹函数, 则存在 Q^* 、 k^* 使 TEC_{sc}^1 最小. 令式(10)和(11)等于0即可求得最优 Q^* 和 k^* , 即

$$Q^* = \sqrt{\frac{2DP(A_1 + A_2 + \gamma\sigma\sqrt{L}I_N(k))}{Ph_1 + P\theta + D\theta + Dh_2}}, \quad (14)$$

$$k^* = \Phi^{-1} \left(1 - \frac{h_1 + \theta}{D\gamma/Q + h_1 + \theta} \right). \quad (15)$$

观察式(14)和(15)可知, 这两个表达式中均含 Q 、 k 决策变量, 且反函数无法求得明确的显性解析解, 所以, 本文使用迭代算法求得 Q^* 和 k^* .

Step 1: 初始化 k . 令 $k_0 = 0$, 则 $I_N(k_0) = 0.39894$.

Step 2: 把 $I_N(k_0)$ 代入式(3)~(14)中, 求得最优解 Q^* .

Step 3: 由 Step 2 求得的最优解 Q^* 代入式(15)中, 求得最优解 k^* , 第1次的迭代结果为 (Q^*, k^*) .

Step 4: 判断 $|k^* - k_0| \leq \varepsilon$. 如果满足, 则得到最优解; 如果不满足, 则令 $k_0 = k^*$, 计算新的 $I_N(k_0)$, 转 Step 2 重新计算迭代, 其中 ε 决定了数值精度.

2.2 MTS-MTO下供应链成本及联合决策模型

供应商在 MTS-MTO 模式下, 零售商每次的订货量 Q 、生产率 P 、安全因子 k 都与 MTO 模式下相同, 但供应商保留 M 成品库存, 则此时提前期为 $L - M/P$ ($M \leq Q^*$). 特别地, 当 $M = Q^*$ 时, 还会减少生产准备时间.

2.2.1 零售商的成本

1) 年订货成本为 DA_1/Q^* .

2) 年缺货成本为 $D\gamma\sigma\sqrt{(L - M/P^*)I_N(k^*)}/Q^*$.

3) 年库存成本为

$$h_1 [Q^*/2 + \sigma\sqrt{L - M/P^*} I_N(k^*) + k^* \sigma\sqrt{L - M/P^*}].$$

4) 年无形变质成本. 产品在供应商仓库产生的年无形变质成本为

$$\begin{aligned} & \frac{D}{Q^*} \left[\int_0^{Q^*/P^*} \theta P^* t dt + \theta M \left(\frac{Q^*}{D} - \frac{Q^*}{P^*} \right) \right] = \\ & \frac{DQ^*\theta}{2P^*} + \frac{(P^* - D)M\theta}{P^*}. \end{aligned}$$

5) 产品在零售商产生的年无形变质成本为

$$\theta \left[\frac{Q^*}{2} + \sigma\sqrt{L - \frac{M}{P^*}} (I_N(k^*) + k^*) \right].$$

6) 年无形变质成本为

$$\frac{DQ^*\theta}{2P^*} + \frac{(P^* - D)M\theta}{P^*} + \theta \left[\frac{Q^*}{2} + \sigma \sqrt{L - \frac{M}{P^*}} (I_N(k^*) + k^*) \right].$$

7) 补偿成本为 H .

综上,零售商的总成本为

$$TEC_r^2(Q^*, k^*, M, H) =$$

$$\frac{DA_1}{Q^*} + \frac{D\gamma\sigma\sqrt{L - M/P^*}I_N(k^*)}{Q^*} + (h_1 + \theta) \left[\frac{Q^*}{2} + \sigma \sqrt{L - \frac{M}{P^*}} (I_N(k^*) + k^*) \right] + \frac{DQ^*\theta}{2P^*} + \frac{(P^* - D)M\theta}{P^*} + H.$$

相对于MTO策略,在MTS-MTO策略下,可以降低零售商的缺货成本、库存成本以及产品在零售商仓库的无形变质成本.但是由于产品最终是从零售商处销售,产品在供应商处的无形变质成本将转移到零售商,而且零售商为了促进供应商持有库存将给予相应的补偿成本,这些项会增加零售商的成本.

2.2.2 供应商的成本

1) 年生产准备成本为 DA_2/Q^* .

2) 年库存成本为

$$D/Q^* \left[\int_0^{Q^*/P^*} h_2 P^* t dt + M h_2 \left(\frac{Q^*}{D} - \frac{Q^*}{P^*} \right) \right] = \frac{DQ^*h_2}{2P^*} + \frac{Mh_2(P^* - D)}{P^*}.$$

显然,对于MTO策略,供应商的成本增加了 $Mh_2(P^* - D)/P^*$,因此,假设零售商为此给供应商补偿费用为 H ,且 $H \geq Mh_2(P^* - D)/P^*$.

3) 因提高生产率而产生的额外成本为 $g(P) = (1 - P_0/P^*)DC$.

综上,供应商年成本为

$$TEC_s^2(P^*; M, H) = \frac{DA_2}{Q^*} + \frac{DQ^*h_2}{2P^*} + \frac{Mh_2(P^* - D)}{P^*} + \left(1 - \frac{P_0}{P^*}\right)DC - H.$$

相对于MTO策略,在MTS-MTO策略下,供应商增加了库存成本,但是零售商给予了成本补贴,为了激励供应商持有库存,理论上补贴不应低于供应商成本的增加.下文2.3节将具体讨论补贴策略——基于满意度的Nash协商模型.

2.2.3 供应链联合决策

在MTS-MTO下,最优解 (Q^*, k^*, P^*) 保持不变,供应商持有库存 M . 此时,供应链总成本为

$$TEC_{sc}^2 =$$

$$\begin{aligned} & \frac{D}{Q^*} \left(A_1 + A_2 + \gamma\sigma\sqrt{L - \frac{M}{P^*}} I_N(k^*) \right) + \\ & (h_1 + \theta) \left[\frac{Q^*}{2} + \sigma\sqrt{L - \frac{M}{P^*}} (I_N(k^*) + k^*) \right] + \\ & \frac{DQ^*(\theta + h_2)}{2P^*} + \frac{M(\theta + h_2)(P^* - D)}{P^*} + \\ & \left(1 - \frac{P_0}{P^*}\right)DC, \end{aligned} \tag{16}$$

在 Q^*, k^*, P^* 确定的条件下,对式(16)求关于 M 的偏导,有

$$\begin{aligned} \frac{\partial TEC_{sc}^2}{\partial M} = & \frac{(\theta + h_2)(P^* - D)}{P^*} - \frac{\sigma}{P^*\sqrt{L - M/P^*}} \times \\ & \left(\frac{D\gamma I_N(k^*)}{Q^*} + (h_1 + \theta)[I_N(k^*) + k^*] \right). \end{aligned}$$

对 $\frac{\partial TEC_{sc}^2}{\partial M}$ 再一次求偏导,有

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 TEC_{sc}^2}{\partial M^2} = & - \frac{\sigma}{2Q^*(P^*)^2\sqrt{(L - M/P^*)^3}} \left(\frac{D\gamma I_N(k^*)}{Q^*} + \right. \\ & \left. (\theta + h_1)[I_N(k^*) + k^*] \right) < 0. \end{aligned}$$

由此可知,在 Q^* 确定的条件下,在 M 的取值范围内,供应链总成本 TEC_{sc}^2 是关于 M 的严格凸函数. 于是 TEC_{sc}^2 取得最小值时, M 的取值必定在取值范围的端点处,即 $M = 0$ 或 Q^* . 当 $M = 0$ 时,结果将退化到MTO的生产模式. 下面研究 $M = Q^*$ 的情况. 取 $M = Q^*$,此时提前期为 $L - \frac{Q^*}{P^*} - a$,令 $L' = L - a$. 把 (Q^*, k^*, P^*) , $M = Q^*$ 代入成本函数中,即可求出MTS-MTO下零售商和供应商的成本.

假设 $M = Q^*, Q = Q^*$ 时,MTS-MTO混合模式下供应链成本小于MTO模式下供应链成本,应满足

$$TEC_{sc}^2(M; Q^*, k^*, P^*) < TEC_{sc}^1(Q^*, k^*, P^*),$$

即

$$\begin{aligned} \theta < \theta^0 = & \frac{\left(\frac{D\gamma I_N(k)}{Q^*} + h_1(I_N(k) + k) \right) \sigma \left(\sqrt{L} - \sqrt{L' - \frac{Q^*}{P^*}} \right) - \frac{(P^* - D)Q^*}{P^*} + Q^*h_2(P^* - D)}{P^*} \rightarrow \\ & \leftarrow \frac{\sigma \left(\sqrt{L' - \frac{Q^*}{P^*}} - \sqrt{L} \right) (I_N(k) + k)}{P^*}. \end{aligned}$$

上式给出了MTS-MTO优于MTO策略的充要条件,即: $\theta < \theta^0$ 时,供应商采取MTS-MTO策略有利于供应链成本减少;而 $\theta \geq \theta^0$ 时,MTO策略更优. 其中

θ^0 由上式定义,其代数表达式过于复杂,但表达式表明该参数由供应链的成本系数以及市场的需求决定,刻画了供应链与市场的性能. 该充要条件指出了 MTS-MTO 策略适用的边界,运营管理者需要综合考虑产品的特性以及供应链的性能并采取相应的策略. 即当产品便于存储(θ 较小)或供应链性能较高(θ^0 较大)时,对该产品应采取 MTS-MTO 策略;否则应采取 MTO 策略才能使得成本较低.

2.3 效益协同模型

本模型是基于 $\theta < \theta^0$ 之上. 由 TEC_r^1 、 TEC_s^1 、 TEC_r^2 、 TEC_s^2 容易求出在 MTS-MTO 和 MTO 下,零售商与供应商获得的收益,即各自成本之差

$$\Delta TEC_r(H) = TEC_r^1 - TEC_r^2, \tag{17}$$

$$\Delta TEC_s(H) = TEC_s^1 - TEC_s^2. \tag{18}$$

相比于原 MTO 模式,供应商在 MTS-MTO 下的成本增加了,但是供应链和零售商的成本减少了. 零售商可以通过协商的方式说服供应商在 MTS-MTO 下生产,并给供应商相应的补偿 H , H 的多少取决于零售商的谈判能力以及 MTS-MTO 下供应链的成本减少. 下面,将给出基于满意度的 Nash 协商模型来确定 H .

注意到式 (17), $\Delta TEC_r(H) \geq 0$, 即零售商在 MTS-MTO 模式下,成本要比 MTO 下有所减少;同理, $\Delta TEC_s(H) \geq 0$. 于是有

$$H \leq (h_1 + \theta)[\sigma(\sqrt{L_0} - \sqrt{L_1 - Q^*/P})(I_N(k) + k)] = H^1,$$

且

$$H \geq \frac{Mh_2(P - D)}{P} = H^0.$$

所以, $H^0 \leq H \leq H^1$. 定义零售商和供应商满意度函数分别为

$$S_r(H) = \frac{\Delta TEC_r(H)}{\max\{\Delta TEC_r(H)\}}, \tag{19}$$

$$S_s(H) = \frac{\Delta TEC_s(H)}{\max\{\Delta TEC_s(H)\}}. \tag{20}$$

其中: $\max\{\Delta TEC_r(H)\}$ 表示零售商成本变动的最大值,即 $H = H^0$ 时, $\Delta TEC_r(H)$ 的取值; $\max\{\Delta TEC_s(H)\}$ 表示供应商成本变动的最大值,即 $H = H^1$ 时, $\Delta TEC_s(H)$ 的取值. 考虑到现实中,双方在供应链中具有不同的地位,故具有不同的谈判能力,因此,假设零售商和供应商的谈判能力分别为 λ 和 $1 - \lambda$. 根据不对称 Nash 协商模型^[9],容易得到基于满意度的成本分担模型

$$\begin{aligned} & \max\{(S_r(H))^\lambda (S_s(H))^{1-\lambda}\}; \\ & \text{s.t. } H^0 \leq H \leq H^1. \end{aligned} \tag{21}$$

利用 Matlab 中的 Fmincon 函数可以很容易求得最优的零售商补偿成本 H .

3 数值分析

引用 L 企业的某一个产品的数据: 零售商 $D = 1000 \times 360$ 件/年, $h_1 = 40$ 元/件 \times 年, $\gamma = 20$ 元/件, $\sigma = 400$ 件/天, $A_1 = 2000$ 元/次, $\theta = 0.01$ 元/天, $\lambda = 0.7$; 供应商 $P_0 = 2000 \times 360$ 件/年, $P_1 = 3000 \times 360$ 件/年, $C = 0.5$ 元/件, 生产准备时间 $a = 3$ 天, 提前期 $L = 12$ 天, $h_2 = 5$ 元/件 \times 年, $A_2 = 1200$ 元/次. 在联合决策下, 供应商按 MTO 生产时, 通过迭代算法求得 $k^* = 1.7$, $Q^* = 7446$, $P^* = P_0$. 此时, 零售商成本 $TEC_r^1 = 39402$, 供应商成本 $TEC_s^1 = 6732$, 供应链成本 $TEC_{sc}^1 = 46134$. 将求得的最优解 (Q^*, k^*, P^*) 代入 MTS-MTO 模式中, 可得零售商成本 $TEC_r^2 = 36420$, 供应商成本 $TEC_s^2 = 8594$, 供应链成本 $TEC_{sc}^2 = 45014$. 由式 (21) 得 $H^0 = 1862$, $H^1 = 2982$. 当 $H = H^0$ 时, $\max(\Delta TEC_r(H)) = 1120$; 当 $H = H^1$ 时, $\max(\Delta TEC_s(H)) = 11204$. 因此, 零售商与供应商的满意度函数可以表示为

$$\max\left\{\left(\frac{2982 - H}{1120}\right)^\lambda \left(\frac{H - 1862}{1120}\right)^{1-\lambda}\right\}.$$

解得最优解 $H = 2196$, 即在 MTS-MTO 模式下, 零售商应给予供应商 2196 元作为合作的补偿. 此时, 零售商成本为 $TEC_r^{2'} = 38616$, 供应商成 $TEC_s^{2'} = 6398$. 与 MTO 相比, 在 MTS-MTO 下零售商和供应商的成本分别减少 786 元和 334 元. 下面探究各参数变化对 MTO 和 MTS-MTO 下供应链成本的影响.

表2 MTO与MTS-MTO供应链成本对比

σ	θ	γ	h_1	MTO	MTS-MTO	%
600	0.01	20	40	56848	51093	11.26
400	0.01	20	40	50454	46914	7.55
200	0.01	20	40	44018	42612	3.30
400	0.02	20	40	57594	52708	9.27
400	0.03	20	40	64635	58416	10.65
400	0.01	30	40	51391	47537	8.11
400	0.01	40	40	52032	47964	8.48
400	0.01	20	50	56381	52107	8.20
400	0.01	20	60	61974	57035	8.66

由表2可知,影响MTO或MTS-MTO决策最主要的是产品的标准差、库存费用、缺货成本和无形变质率.

3.1 临界变质率与供应链各参数的变化关系

本文把 θ^0 包括产品标准差、零售商库存费率、零售商缺货成本作为供应链参数. 若变质率 θ 满足 $\theta < \theta^0$, 则供应商在本文MTS-MTO下生产有利于供应链成本减少, 且供应商应保留 Q^* 的成品库存. 为了研究变质率对供应链决策的影响, 本文采取控制变量的方法, 逐个研究变质率 θ 和供应链参数的影响.

图2~图4分别显示了临界变质率与供应链各参数(产品标准差、零售商库存费率、缺货成本)的变化关系, 用于供应链决策两种生产策略. 可以看出, MTS-MTO始终在临界变质率曲线的下方, 说明对于变质率较大的产品, 供应链应选择MTO生产策略.

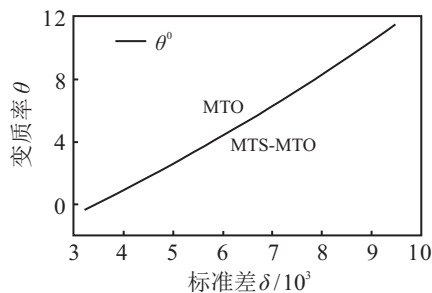


图2 标准差对临界变质率的影响

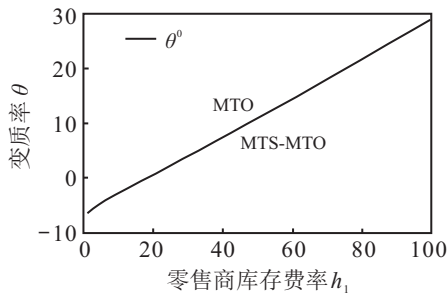


图3 库存费率对临界变质率的影响

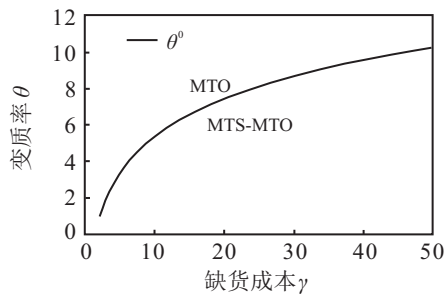


图4 缺货成本对变质率的影响

3.2 供应链参数变化对供应链成本的影响

1) 随着产品的需求标准差增大, 供应商MTS-MTO生产模式相比于MTO更具有优势, 能够为供应链节省成本. 产品的标准差越大, 表示产品的需求越不稳定. 于是, 相同的提前期下, 零售商的安全库存会越大, 意味着零售商的整体库存增大, 进而增大零售商的成本, 供应链的成本随之增大. 另外, 提前期也会影响零售商的安全库存, 产品标准差相同的情况下,

提前期越长, 安全库存越大. 在MTS-MTO下, 零售商的提前期缩短, 有利于减少安全库存, 从而减少供应链成本. 标准差越大, 库存费率越高, MTS-MTO收益越明显, 产品的标准差是影响供应链决策的重要因素之一.

2) 在MTS-MTO下, 供应链的提前期缩短, 意味着提前期内的不确定性降低, 缺货概率降低, 因此, 缺货成本比MTO下要低. 可以得出管理启示, 对于缺货成本高的产品, 供应链应选择MTS-MTO模式生产.

3) 由于产品保质期的特性, 产品的等待时间越长, 产品的价值流失越大. MTS-MTO下供应商持有库存, 产品从生产到出售之间的时间变长, 产品的无形价值损失会增大. 所以, 产品的无形变质率越大, 供应商越不适合MTS-MTO生产. 这个结论可以告诉企业管理者, 如果产品的价值不高且有较长的保质期, 则该产品适合MTS-MTO生产; 反之, 若产品的价值较高且保质期较短, 则供应商应按MTO生产.

3.3 小结

通过数值分析验证了本文理论的正确性和实用性, 分析了产品不同的特点对供应链成本的影响. 现实零食快消品行业中, 在电商环境下, 市场竞争激烈, 营销手段多样化, 促销频繁化, 产品往往需求波动较大. 消费者能够非常容易获取产品信息, 加上便捷化的购物方式使产品需求不确定性较传统的购物方式迅速增加, 使许多产品具有需求标准差大的特点, 管理者应该考虑让供应商对这些产品采用MTS-MTO模式生产. 另外, 零食快消品品类众多, 产品的无形变质率或低或高, 库存费率也因产品的不同而不同, 根据本文的研究结果显示, 并不是所有的产品都适合MTS-MTO生产. 单位价值高且保质期短的产品意味着无形变质率较大, 按MTS-MTO生产虽然能缩短提前期, 降低库存, 但是无形变质损失也增大, 使最后总体上供应链成本可能会升高, MTO生产或许更有利于降低供应链成本.

综上, 当需求波动较大(标准差)、无形变质率较低、零售商库存费用较高和缺货成本较高时, 生产管理者应优先选择MTS-MTO生产策略, 这样有利于零售商降低库存成本, 零售商可以通过协商的方式给予供应商适当的补偿, 达到既有利于供应链又使双方都满意的结果; 否则, 选择MTO生产策略更优.

4 结论

根据零食快消品的特点及行业传统的生产模式, 本文首先基于产品保质期的特点建立了供应商MTO生产模式下的供应链成本模型, 并给出了供应链成本

最优的经济订货批量 Q ,安全库存因子 k 和最优生产率 P .根据MTO求出的最优解,建立了供应商MTS-MTO生产模式下的供应链成本模型,并确定了供应商的应持有库存 M .通过对比这两个模型,求出了供应商在MTS-MTO下生产的充要条件,为运营管理者根据产品特性以及供应链性能对产品分类以及不同类型的产品选择合适的运营策略提供了依据.然后,给出了一种基于满意度的Nash协商模型以确定零售商应给予供应商的补偿 H .最后,通过数值分析讨论了符合MTS-MTO生产的产品特征,案例的数值分析结果图示化了本文的研究结果.本文模型中的无形变质率是线性的,将来的工作可以考虑无形变质率是非线性分布的情况下本文两种模型比较.

参考文献(References)

- [1] Chopra S, Meindl P. Supply chain management strategy, planning & operation[M]. New York: Pearson/Prentice Hall, 2004: 222-234.
- [2] Adan I J B F, Wal J V D. Combining make to order and make to stock[J]. OR Spectrum, 1998, 20(2): 73-81.
- [3] Renna P. Production control policies for a multistage serial system under MTO-MTS production environment[J]. Int J of Advanced Manufacturing Technology, 2016, 83(1): 449-459.
- [4] Nagib A N M, Adnan A N, Ismail A, et al. The role of hybrid make-to-stock(MTS)-make-to-order(MTO) and economic order quantity(EOQ) inventory control models in food and beverage processing industry[C]. Materials Science and Engineering Conf Series. Melaka: IOP Publishing Ltd, 2016: 012003.
- [5] Thoma, Andrew Joseph. Hybrid make-to-stock, make-to-order(MTS-MTO) production optimization and predictive manufacturing plan[D]. MIT: MIT Sloan School of Management, 2016: 16-25.
- [6] Morikawa K, Takahashi K, Hirotsu D. Make-to-stock policies for a multistage serial system under a make-to-order production environment[J]. Int J of Production Economics, 2014, 147: 30-37.
- [7] Chang H C, Ouyang L Y, Wu K S, et al. Integrated vendor-buyer cooperative inventory models with controllable lead time and ordering cost reduction[J]. European J of Operational Research, 2006, 170(2): 481-495.
- [8] 宋华明, 马士华. 二阶段供应链中提前期压缩的影响与协调[J]. 管理科学学报, 2007, 10(1): 46-53.
(Song H M, Ma S H. Effect and coordination of lead-time compression in two-echelon supply chain[J]. J of Management Sciences in China, 2007, 10(1): 46-53.)
- [9] 李怡娜, 叶飞, 徐学军. 可控提前期供应链库存优化的费用分担模型[J]. 系统工程学报, 2009, 24(1): 9-17.
(Li Y N, Ye F, Xu X J. Cost allocation model for optimizing supply chain inventory with controllable lead time[J]. J of Systems Engineering, 2009, 24(1): 9-17.)
- [10] Liao C, Shyu C. An analytical determination of lead time with normal demand[J]. Int J of Operations & Production Management, 2009, 11(9): 72-78.
- [11] Ben-Daya M, Raouf A. Inventory models involving lead time as a decision variable[J]. J of the Operational Research Society, 1994, 45(5): 579-582.
- [12] Ouyang L Y, Yeh N C, Wu K S. Mixture inventory model with backorders and lost sales for variable lead time[J]. J of the Operational Research Society, 1996, 47(6): 829-832.
- [13] 云小红, 张金锁. 基于产品需求替代的两级供应链牛鞭效应分析[J]. 数学的实践与认识, 2016, 46(13): 46-55.
(Yun X H, Zhang J S. Analysis of bullwhip effect with product demand substitution in two stage supply chain[J]. Mathematics in Practice and Theory, 2016, 46(13): 46-55.)
- [14] 张琦琪, 张涛, 刘鹏. 基于MTO-MTS生产模式的钢铁企业合同计划建模与优化策略[J]. 管理工程学报, 2017, 31(3): 100-107.
(Zhang Q Q, Zhang T, Liu P. The order planning modeling and optimized strategy for iron steel plant based on MTO-MTS management framework[J]. J of Industrial Engineering and Engineering Management, 2017, 31(3): 100-107.)
- [15] 曹裕, 吴堪, 熊寿遥. 基于分层MTO订单的准入策略研究[J]. 管理科学学报, 2017, 20(8): 50-62.
(Cao Y, Wu K, Xiong S Y. Admission decision based on hierarchical MTO order[J]. J of Management Sciences in China, 2017, 20(8): 50-62.)
- [16] 徐贤浩, 余双琪. 短生命周期产品的三种库存模型比较[J]. 管理科学学报, 2007, 10(4): 9-15.
(Xu X H, Yu S Q. Comparison of three inventory models of short life cycle products[J]. J of Management Sciences in China, 2007, 10(4): 9-15.)

(责任编辑: 李君玲)