

# 基于 Weibull 分布的时效性农产品 物流库存模型

庞胜明<sup>1</sup>, 魏 朗<sup>1</sup>, 周 平<sup>2</sup>

(1. 长安大学汽车学院, 陕西 西安 710064; 2. 潍坊市公路局, 山东 潍坊 261041)

**摘 要:**以往对库存模型的研究大多是针对工业产品的, 对于农产品, 尤其是易腐的时效性农产品的库存控制较少涉及。在库存控制理论的基础上, 分析时效性农产品物流库存控制的特点, 结果认为, 其库存控制变化服从 Weibull 分布。基于此特征, 建立了一种基于 Weibull 分布的时效性农产品物流库存控制模型, 以寿光市蔬菜物流中心为例选取样本数据进行了模型计算和验证, 证明了模型的可行性。

**关键词:**时效性农产品; Weibull 分布; 库存控制; 模型

**中图分类号:** F253.4      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1671-6248(2006)03-0033-04

## Inventory control modeling for agricultural product logistics on Weibull distribution

PANG Sheng ming<sup>1</sup>, WEI Lang<sup>1</sup>, ZHOU Ping<sup>2</sup>

(1. School of Automobile, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China;

2. Weifang Highway Management Bureau, Weifang 261041, Shandong, China)

**Abstract:** Although there is a lot of study of the current status of inventory controlling, many of which are based on the industrial products, the inventory model of agricultural product logistics, especially timely products with easy deterioration is rarely studied. Through the analysis of timely agricultural products on the current inventory controlling model, a concept of agricultural product inventory controlling with its features is raised and an inventory controlling model of timely agricultural product with its providence in Weibull distribution is set up. At last, a specific example is used to test the model in the Shouguang vegetable logistics center.

**Key words:** timely agricultural product; Weibull distribution; inventory controlling; model

## 0 引 言

1953年Whitin T W《库存管理的理论》标志库存控制研究作为一门科学理论已经创立。以往对库存控制的研究主要是针对工业产品而言的, 在库存控制模型中, 最具代表性的是Kang S等<sup>[1]</sup>提出的经济订货模型(EOQ模型), 该模型是在不考虑周围环境变化的影响、且需求是常数的假定条

件下得到的, 然而实际环境变化是无法避免的。对于时效性农产品, 由于它的产品特性, 使得模型在解决时效性农产品库存的应用中受到了极大的限制。在过去的几十年里, 已有不少研究者致力于把EOQ模型扩展到包含变质产品的情形<sup>[2]</sup>; 周永务、杨善林<sup>[3]</sup>提出了在可变订货费用情形下变质性物品的经济批量问题; 励凌峰等人建立了有限时域内易腐物品的最优订购策略模型<sup>[4]</sup>; 郑惠

收稿日期: 2005-12-16

基金项目: 山东省交通厅科技项目(200510R005)

作者简介: 庞胜明(1976-), 男, 山东潍坊人, 管理学博士研究生。

莉等人提出了一种需求和采购价格随时间指数变化的库存模型<sup>[5]</sup>;在此基础上,罗兵等人提出了在超市内存货影响销售率情况下的变质物品的库存问题<sup>[6]</sup>。但是,这些模型均存在研究的局限性,大多数是针对特定环境下工业生产、销售环境下的变质物品和原材料的库存研究以及超市内变质商品的库存,而针对农产品的物流库存控制研究较少。农产品中存在一类特殊产品,它们的采摘、储存、保鲜的时限有一个时间周期,比如黄瓜、土豆、西红柿、韭菜等易损易腐蔬菜和草莓、苹果、桔子等易损易腐水果,这类农产品的质量存在一个时间期限,具有很高的时效性,被称为时效性农产品<sup>[7]</sup>。

由于时效性农产品存在自然腐烂现象,其库存控制具有和工业产品库存控制不同的特点。通过对时效性农产品的库存管理进行理论研究,可以有效地进行农产品的物流管理,优化时效性农产品物流。

## 1 时效性农产品物流库存研究

### 1.1 时效性农产品物流库存控制内涵

美国生产与库存管理协会对库存的定义为:以支持生产、维护、操作和客户服务为目的而存在的各种物料,包括原材料和在制品、维修件和生产消耗品、成品和备件<sup>[8]</sup>。库存控制就是指在保证生产或销售对物资需要的前提下,尽可能地减少资金占用,降低物资的库存成本。通过对库存物资的控制,创造物资的时间效用。由上述概念可知,时效性农产品库存控制是指在保障供给的前提下,通过存储农产品,调剂不同生长时期内的农产品供应量,保证供应链各个环节中所持有的时效性农产品以充分达到支持客户服务的目的。

时效性农产品库存,按照供应分布情况可以分为季节性库存和周期性库存;按照物流需求的频率,可以分为一次性需求库存和多周期需求库存;按照需求满足情况,可以分为需求确定性和需求随机型两种情况。

时效性农产品库存的决策目标就是库存运作的时效性,即在满足供给的前提下,通过库存调节提高整个物流系统的经济效益。由于农产品供应存在瞬间变化、价格波动大的特点,因此通过库存调节可以有效地降低由于价格变化带来的利润损失。

### 1.2 时效性农产品物流库存变化分析

通过对寿光市蔬菜物流中心的白菜、黄瓜、西红柿、青椒近 20 个月的物流需求变化的跟踪调查统计

分析发现:时效性农产品的物流市场需求也呈现出物流需求增长期、需求稳定期和需求减少期 3 个阶段,基本随时效性农产品的生长供应发生变化;同时在时效性农产品的生产供应期内,需求和产品供应的变化关系趋势大致如图 1 所示,存在一个典型的生命周期。

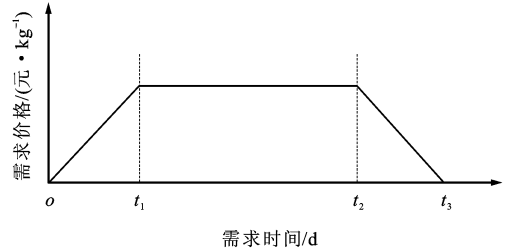


图 1 时效性农产品生命周期内的需求、价格随时间变化关系

上述特点如图 2 所示,图 2 符合寿命函数 Weibull 分布的特点<sup>[9]</sup>。在农产品物流环境下,农产品的生长供应期符合 Weibull 分布函数,即在时效性农产品进入物流供应链过程前,时效性农产品存在一个供应增长期、供应稳定期和供应减少期 3 个阶段,从而导致对时效性农产品物流的需求也出现需求增长期、需求稳定期和需求减少期。

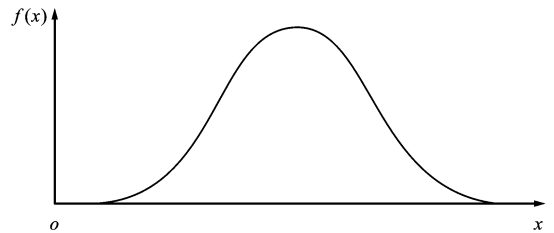


图 2 Weibull 分布函数

同时处于物流状态下的时效性农产品基本上按照一个固定的速率腐烂:白菜腐烂率约为 4%,黄瓜的腐烂率约为 1.5%~2.0%,韭菜的腐烂率约为 1%~3%。因此,可以认为时效性农产品的腐烂速率为固定值。

通过统计分析发现,时效性农产品的物流市场需求基本上随农产品的生长供应发生变化。据此,可以将时效性农产品物流库存控制分成 3 个阶段:需求增长阶段的库存控制、需求减少阶段的库存控制、需求稳定阶段的库存控制。需求相对固定的库存控制就是需求确定型的时效性农产品物流库存控制,而需求增长和需求减少的都可以看作是需求变化型库存控制。因此,时效性农产品物流库存控制又可以分为需求确定型库存控制和需求随机型库存控制两种库存控制方式。为了研究方便,本文建立

了基于需求确定的时效性农产品库存控制模型。

## 2 时效性农产品物流库存控制模型

### 2.1 基本假设

由于时效性农产品存在自然腐烂现象,因此研究在 EOQ 模型的基础上,进一步优化建立时效性农产品的库存模型。假定一定时期内的时效性农产品库存的优化模型具备以下条件。

- (1) 需求量稳定不变,库存量随时间均匀减少;
- (2) 库存补充可以一次性完成,单位库存保管费用固定;
- (3) 时效性农产品的单位入库价格是一个常数;
- (4) 时效性农产品以恒定腐烂率减少;
- (5) 订货成本和订货提前期固定。

同时假定时效性农产品的自然腐烂率为  $\theta$ , 订货周期为  $T$ , 一定时期  $T$  的时效性农产品的需求量为  $D$ , 从而单位时间时效性农产品的需求量为  $D/T$ , 时效性农产品的入库进价为  $P$ , 单位时效性农产品库存保管费用为  $h$ , 订货费用为  $K$ , 时效性农产品缺货单位成本为  $C$ ; 为保证模型的可行性, 假定服务水平  $n$  为订货周期内不允许缺货的时间比率。

### 2.2 时效性农产品物流库存模型

由于时效性农产品储存过程中存在自然腐烂, 因此它的库存水平是随时间变化的(图3)。

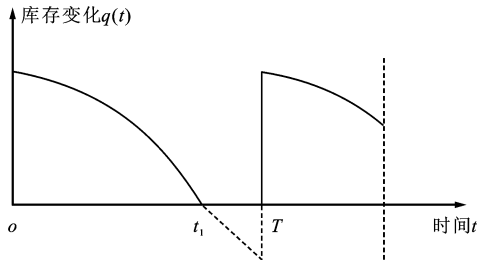


图3 时效性农产品物流库存随时间的变化

从图3可以看出,  $t$  时刻的库存水平  $q(t)$  为一个凸函数。若存储成本是变动的, 则应首先计算库存水平  $q(t)$ , 库存水平  $q(t)$  满足以下条件。

$$q(t) = -\theta q(t) - D/T \quad 0 \leq t \leq t_1 \quad (1)$$

$$q(t) = -D/T \quad t_1 \leq t \leq T \quad (2)$$

从而有  $t$  时刻的库存量  $q(t)$

$$q(t) = \frac{D}{T\theta} (e^{\theta(t_1-t)} - 1) \quad 0 \leq t \leq t_1 \quad (3)$$

$$q(t) = -\frac{D}{T} (t - t_1) \quad t_1 \leq t \leq T \quad (4)$$

则最大库存量  $Q_{\max}$  为

$$Q_{\max} = q(t)_{t=0} = \frac{D}{T\theta} (e^{\theta t_1} - 1)_{t=0} =$$

$$\frac{D}{\theta T} (e^{\theta t_1} - 1) \quad (5)$$

按照上述假设, 库存总成本  $C_T$  为订货成本  $C_1$ 、存储成本  $C_2$ 、产品腐烂费用  $C_3$  和缺货成本  $C_4$  之和。若分别计算各个成本的值, 则订货成本  $C_1$  为

$$C_1 = \frac{D}{T} K \quad (6)$$

存储成本  $C_2$  为

$$C_2 = hQ = h \int_0^{t_1} \frac{D}{\partial T} (e^{\theta(t_1-t)} - 1) dt = h \left[ \frac{D}{\theta^2 T} (e^{\theta t_1} - 1) - \frac{D t_1}{\theta T} \right] \quad (7)$$

时效性农产品库存腐烂损耗费用  $C_3$  为

$$C_3 = P \left[ Q_{\max} - \frac{D}{T} t_1 \right] \quad (8)$$

由于时效性农产品库存一般无法满足大量的市场需求, 因此在某一时刻  $t_1$  处使库存为零, 直到  $T$  时刻再补充库存时才能满足需求量。在  $t_1$  时刻以后成线性变化, 用虚线表示时效性农产品由于库存量或库存面积的制约而产生的缺货状态, 在供应峰期内时效性农产品缺货可以通过市场一次性补充。每一个周期内的缺货量  $S$  为

$$S = \frac{D}{T} (T - t_1) \quad (9)$$

缺货成本为

$$C_4 = C \int_{t_1}^T q(t) dt = C \int_{t_1}^T \frac{D}{T} (t - t_1) dt = \frac{CD}{2T} (T - t_1)^2 \quad (10)$$

库存总成本  $C_T$  为

$$C_T = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 = \frac{D}{T} K + h \left[ \frac{D}{T\theta^2} (e^{\theta t_1} - 1) - \frac{D t_1}{\theta T} \right] + P \left[ \frac{D}{\theta T} (e^{\theta t_1} - 1) - \frac{D}{T} t_1 \right] + \frac{CD}{2T} (T - t_1)^2 \quad (11)$$

### 2.3 时效性农产品物流库存模型求解

由于  $C_T$  是  $t_1$  和  $T$  的凸函数, 因此要求经济订货的最大库存量, 可以对式(11)进行求极值, 得到  $t_1$  值, 从而求得最大库存量  $Q_c$ 。

$$\frac{\partial C_T}{\partial t_1} = 0 \rightarrow \frac{hD}{T\theta} e^{\theta t_1} - \frac{hD}{\theta T} + \frac{PD}{T} e^{\theta t_1} - \frac{PD}{T} -$$

$$\frac{CD}{T} (T - t_1) = 0 \quad (12)$$

$$\frac{\partial C_T}{\partial T} = 0 \rightarrow -\frac{DK}{T^2} + \frac{D h t_1}{\theta T^2} - \frac{hD}{(T\theta)^2} (e^{\theta t_1} - 1) -$$

$$\frac{PD(e^{\theta t_1} - 1)}{\theta T^2} + \frac{PD t_1}{T^2} + CD(T - t_1) -$$

$$\frac{CD}{2T^2} (T - t_1)^2 = 0 \quad (13)$$

假定腐烂率趋于 0, 则由式(12)、式(13)可以求得最优的  $t_1^*$ 、 $T^*$ 。

$$t_1^* = \frac{\sqrt{2CK}}{\sqrt{h(h+C)D}} \tag{14}$$

$$T^* = \frac{h+C}{C}t_1^* = \sqrt{\frac{2(h+C)K}{hCD}} \tag{15}$$

从而最大库存量  $Q_{\max}$  为

$$Q_{\max} = \frac{D}{T}t_1^* = \sqrt{\frac{2CKD}{h(h+C)}} \tag{16}$$

则最优订货量  $Q^*$  为

$$Q^* = Q_{\max} + S^* = \sqrt{\frac{2(h+C)KD}{hC}} \tag{17}$$

3 实例应用

寿光市是著名的“蔬菜之乡”，农业优势突出，是国家确定的粮食、蔬菜、果品、水产、畜牧综合商品基地，是全国最大的蔬菜生产基地，全市现有耕地 140 万亩，蔬菜地 80 万亩，其中无公害蔬菜基地面积达到 60 万亩，冬暖式大棚共 35 万亩。寿光市蔬菜物流中心目前已经发展成为全国蔬菜集散中心、价格形成中心和信息交易中心，其蔬菜物流涉及全国 30 多个省、(市、区)。物流中心占地面积 680 亩，拥有蔬菜经营物流公司 400 多家、蔬菜物流配送等中介组织 1.7 万个；同时该物流中心建成了蔬菜拍卖中心，在国内率先实现了蔬菜物流交易电子化和网络化。本文以寿光市蔬菜物流中心的一批待运库存蔬菜为研究对象，通过对韭菜库存情况调查可知，12 月份韭菜的自然腐烂率为 0.01，欲在一个容纳 6 t 的小型冷库中进行储存。

表 1 库存模型计算基本数据

$\theta$	T/ d	D/ 斤	P/ (元·斤 <sup>-1</sup> )	h/ (元·t <sup>-1</sup> )	C/ (元·斤 <sup>-1</sup> )	K/ (元·斤 <sup>-1</sup> )
0.01	4	60 000	1.4	600	1.6	0.2

由式(17)可知，进行时效性农产品物流库存，为了获得最大经济效益，冷库的最大库存量  $Q_{\max} = 1\,600$  kg。对计算结果进行灵敏度分析，不同产品腐烂率  $\theta$  变化引起的灵敏度分析结果见表 2。

表 2  $\theta$  变化的灵敏度

$\theta$	0.01	0.015	0.02	0.04
$n$	0.621	0.611	0.596	0.565
$Q_{\max}$	1 600	1 660	1 750	1 860

可见，当模型中腐烂率提高时，产品库存需求量增加，服务水平下降，这与实际库存变化一致。

4 结 语

由于水果、蔬菜等时效性农产品在储存过程中一般都会发生腐败、腐烂等变质现象，对库存策略的影响是不容忽视的，库存水平是呈曲线下降的，因此目前的工业库存控制模型不适合时效性农产品物流库存控制。本文在分析一般库存模型的基础上，通过对时效性农产品生产供应周期的研究，发现时效性农产品库存变化符合 Weibull 分布(寿命分析函数)的特征，更加符合时效性农产品物流的实际。由于时效性农产品需求存在变动性，本文主要考虑需求确定情况下的库存控制模型，建立了基于 Weibull 分布的时效性农产品物流库存控制模型，并进行了实际应用，对模型结果中不同腐烂率进行灵敏度分析，证实了库存模型的适用性。

参考文献:

[ 1 ] Kang S, Kim I. A study on the price and production level of the deteriorating inventory system[ J ]. International Journal of Production Research, 1983, 21( 4 ): 255 268.

[ 2 ] Yang P C, Wee H M. An integrated multi lot size production inventory model for deteriorating items[ J ]. Computers and Operations Research, 2003, 30( 5 ): 79 83.

[ 3 ] 周永务, 杨善林. 可变的订货费用情形下变质性物品的经济批量问题[ J ]. 系统工程与电子技术, 2000, 22( 12 ): 36 40.

[ 4 ] 励凌峰, 黄培清, 络建文. 易腐物品的库存管理研究[ J ]. 系统工程, 2004, 22( 3 ): 25 30.

[ 5 ] 郑惠莉, 达庆利. 一种需求和采购价均为时变的 EOQ 模型[ J ]. 中国管理科学, 2003, 11( 5 ): 26 30.

[ 6 ] 罗 兵, 杨 帅, 李宇雨. 变质物品在存货影响销售率且需求和采购价均为时变时的 EOQ 模型[ J ]. 工业工程与管理, 2005, 30( 4 ): 40 44.

[ 7 ] 庞胜明, 魏 朗. 基于时效性的农产品物流研究[ J ]. 公路交通科技, 2004, 21( 8 ): 135 138.

[ 8 ] 王庆金, 吴泓宗. 价格折扣和运输折扣下供应链库存——运输优化模型[ J ]. 信息与控制, 2005, 34( 3 ): 335 339.

[ 9 ] 陈晓彤. 常用可靠性参数寿命研究[ R ]. 北京: 北京运通恒达科技有限公司, 2005.