

DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2012.11.030

小规模农产品加工企业联合优化召回模型^{*}

李 锋 吴华瑞 朱华吉 缪祎晟 马为红

(国家农业信息化工程技术研究中心, 北京 100097)

【摘要】 针对当前召回模型仅能优化召回规模的问题,分析了批次分散模型,并加入批次的品质属性,给出了原料-部件-成品的规模比例和品质权重约束条件,提出了一种召回数量-成品品质的联合优化召回模型。针对小规模农产品加工企业的产品召回优化需求,分析了联合优化模型的运算开销,给出了相关算例和优化结果。结果表明,该联合优化模型可以在减小召回规模的基础上,提高成品的品质。

关键词: 农产品加工 可追溯 产品召回 优化

中图分类号: X954 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2012)11-0157-06

Joint Optimization Recall Model of Small Scale Agricultural Products Processing Enterprise

Li Feng Wu Huarui Zhu Huaji Miao Yisheng Ma Weihong

(National Engineering Research Center for Information Technology in Agriculture, Beijing 100097, China)

Abstract

Refer to the shortage of current recall model which can only optimize recalled size, the batch dispersion model was analyzed. The quality property was added to the bath dispersion model. The constraint condition based on the size proportion and quality weight of raw material-component-finished product was given. The joint optimization model of recalled size and product quality was proposed. The computing consumption was discussed. Results of algorithm analysis and optimization examples showed that the model could reduce the recalled size on the basis of improved quality of the finished product.

Key words Agricultural products processing, Traceability, Products recall, Optimization

引言

作为食品主要原料的农产品,是食品质量控制中最重要的环节。建立农产品追溯系统后,当发生食品质量问题时,可以追踪到食品的源头,并及时召回不合格产品,将损失降到最低^[1]。

鉴于农产品在食品质量控制中的重要地位,本文主要针对小规模农产品加工企业的召回优化需求,开展农产品特别是食用农产品的召回优化研究。由于追溯信息的不完善和召回算法的落后,当发生产品质量事故时,企业往往会对其全部的产品批次

召回和销毁,造成不必要的损失^[2-3]。基于追溯系统的全程信息,对农产品批次的品质进行量化融合,并基于品质信息对生产加工过程中的批次分散情况进行优化,可以在减少产品召回的基础上,实现产品品质的提高。

本文首先对农产品全程追溯系统进行分析,给出农产品召回的批次分散模型;然后针对召回过程中的品质优化需求,给出召回的联合优化模型;再以小规模农产品加工企业为例,给出相关算例,并采用优化软件对算例进行求解;同时,选择现有召回模型与本文提出的联合优化模型进行优化性能对比。

收稿日期: 2011-11-30 修回日期: 2012-02-06

^{*} 国家自然科学基金资助项目(60871042, 61102126)、“十二五”国家科技支撑计划资助项目(2011BAD21B02)、核高基重大专项资助项目(2010ZX01045-001-004)、北京市农林科学院博士后基金项目和北京市农林科学院青年科研基金资助项目

作者简介: 李锋, 博士后, 主要从事农产品质量安全追溯研究, E-mail: lif@nercita.org.cn

通讯作者: 吴华瑞, 研究员, 主要从事移动智能系统研究, E-mail: wuhr@nercita.org.cn

1 农产品召回批次分散模型

农产品从田间到餐桌的追溯系统可以分为农产品生产(种植、养殖)、农产品初加工、农产品深加工、食品加工、批发、零售、餐饮、消费等多个环节,其中每个环节又包括若干步骤,各个环节首尾衔接,形成了一个完整的追溯链条。从信息流角度来看,追溯系统可以分为环节内部追溯和各个环节之间的外部追溯,还可以分为从上而下的追踪和自下而上的回溯。从物质流的角度来看,前一个环节的成品可以看作是后一环节的原料^[4]。农产品追溯系统如图1所示。

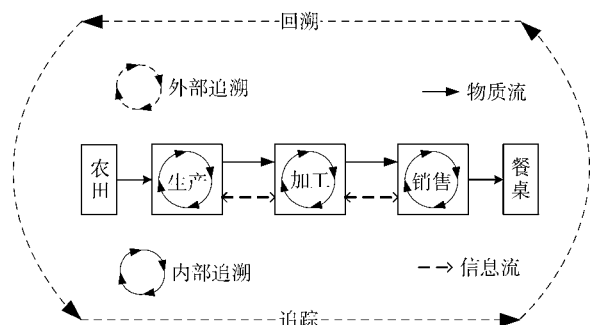


图1 农产品追溯系统示意图

Fig.1 Agricultural products traceability system

在整个追溯系统中,农产品加工环节流程较多且过程复杂,对产品品质影响最大,是追溯系统中最重要的一环。刘畅等收集了2001~2010年发生在中国境内的1460个食品质量安全事件,并进行系统分析。分析的结果表明,发生在农产品加工环节的食品质量安全事件占事件总频次的78.4%,是整个食品供应链中出现质量问题最多的环节^[5]。从当前的情况来看,我国的农产品加工企业数量众多,且大多为小规模企业。结合农产品全程追溯系统,针对小规模农产品加工企业的召回优化开展研究,对于保障整个食品供应链的质量以及降低潜在的产品召回,具有重要的意义。

Loos等采用高津托图(Gozinto graphs)来描述企业信息系统的副产品管理^[6]。Dorp等研究了追溯信息系统,从物料流转的角度对追溯流程进行分析,采用高津托图来描述追溯信息系统,并给出了追溯模型的实现^[7]。

考虑到农产品加工环节的主要操作包括分解、混合等,因而采用高津托图来描述追溯系统是合适的。在Dorp等的基础上,Dupuy等引入批次的概念,分析了以产品加工为主的追溯系统流程,建立了批次分散(batch dispersion)模型。Dupuy等给出了批次分散模型的混合整形线性优化问题描述,采用LINGO软件对该模型进行了优化求解^[8~9]。

在批次分散模型中,Dupuy等将产品加工流程分为原料、部件和成品3个层次,每个层次都由若干种类若干批次的实体构成。在整个流程中,首先根据原料的种类,将原料按比例分解为若干批次的部件,然后再根据部件的种类,按配方比例,生产出成品。在3个层次中,批次是追溯的最小单位,相同种类的批次具有相同的分解或组合比例。批次分散模型如图2所示,图中的每个节点代表一个可追溯的最小单元(批次),每个连接代表一个操作,比如原料批次按比例分解到部件批次、部件批次按配方组合为成品批次等。

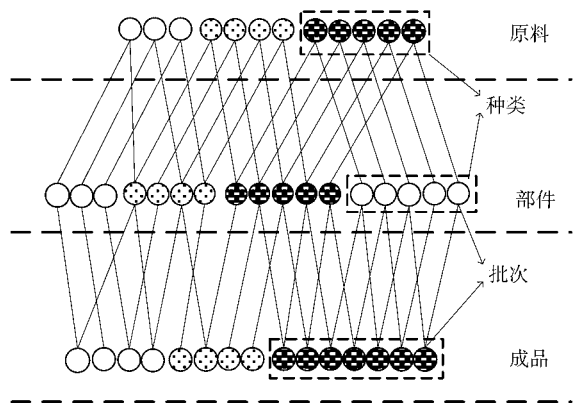


图2 批次分散模型

Fig.2 Batch dispersion model

Dupuy等提出的批次分散模型,是采用高津托图方法对产品加工流程进行建模,在满足分解和组合比例条件下,以最小批次分散为优化目标,通过对原料批次的分散程度进行优化,当发生产品质量事故时,可以减小召回规模。

Tamayo等针对批次分散模型随着批次数量的变大,其优化规模呈现指数增长的情况,采用遗传算法进行优化问题的求解,并对优化迭代的次数作了合理限制,在大大降低求解难度的情况下,获得了次优解^[10]。

Wang等采用经济学观点,引入风险函数,提出了对批次规模和批次分散都有效的追溯-生产联合优化指标,对批次分散的成本进行优化,取得了最小经济代价下的优化结果^[11]。

Dabbene等根据批次分散模型,提出了最坏召回代价和平均召回代价两个评估指标,在最小批次分散的情况下,对两个指标进行优化。在给出了召回模型的基础上,采用相关算例,对算法的有效性进行了验证^[12]。

Lobna等在批次优化模型的部件和成品两层之间加入了半成品这一层次,建立了4层的批次分散模型,并给出了该模型的形式化描述。Lobna等对所提出的批次优化模型进行算法强度分析,指出该

模型为 NP 难度问题,采用常规的优化求解方法很难获得满意的结果,提出采用启发式算法进行优化求解^[13]。

2 农产品召回联合优化模型

从上述可知,Dupuy、Dabbene 等提出的批次分散模型,通过对批次的分散进行优化,达到最小化召回规模的目的,每个批次仅具有批次的数量(size)一个属性,并未涉及到批次品质(quality)这一关键属性。对农产品而言,其品质属性涉及安全属性、营养属性、价值属性、加工属性和包装属性等多个方面。同一产品的品质通常需要多种指标方能反映其全部信息,且对多种指标的量化融合也较为困难。

针对食品品质的量化融合问题,Monar 等提出了一个基于权重加和的整体描述模型,并给出了该模型的具体实现^[14]。Peri 等对食品品质整体描述模型进行了改进,提出了一个金字塔状的食品品质评估模型^[15]。本文主要关注食用农产品批次的品质属性,借鉴食品品质整体描述模型,给出农产品批次的品质属性定义。每个批次农产品的品质可用集合 $\{Q_1, \dots, Q_i, \dots, Q_N\}$ 来表示,其中 $Q_i \in [0, 1]$ 。定义品质指标的权重集合为 $\{W_1, \dots, W_i, \dots, W_N\}$,其中 $W_i \in [0, 1]$ 。权重 W_i 代表品质指标的重要性,品质指标越重要,其值越大,对于权重而言,有 $\sum W_i = 1$ 。最终的批次品质表示为

$$Q = \sum_{i=1}^N W_i Q_i \tag{1}$$

基于产品批次品质属性的定义,下面给出农产品召回数量-成品品质联合优化模型。基于批次分散模型,同样将产品加工流程分为原料、部件和成品 3 个层次,每个层次都由若干种类若干批次的实体构成。

定义原料由 I 个批次组成,这 I 个批次的原料可以分为 L 个种类,定义为

$$M = \{M_1, \dots, M_i, \dots, M_I\} \quad (i, I \in I^+) \tag{2}$$

式中 I^+ ——正整数集合

定义其中原料批次 M_i 的属性为

$$M_i = \{T_{M,i}, S_{M,i}, Q_{M,i}\} \quad (i \in \{1, 2, \dots, I\}) \tag{3}$$

式中, $T_{M,i} \in \{1, \dots, L\}$,为 M_i 的种类; $S_{M,i}$ 为 M_i 的数量; $Q_{M,i} \in [0, 1]$,为 M_i 的归一化品质,数值越大,代表其品质越好。

同理,部件由 J 个批次组成,共分为 M 个种类,其定义为

$$C = \{C_1, \dots, C_j, \dots, C_J\} \quad (j, J \in I^+) \tag{4}$$

假定部件是产品加工的内部步骤,其品质是可

管可控的,对其品质属性不作定义。部件批次 C_j 的属性定义为

$$C_j = \{T_{C,j}, S_{C,j}\} \quad (j \in \{1, 2, \dots, J\}) \tag{5}$$

同理,成品由 K 个批次组成,共分为 N 个种类,其定义为

$$P = \{P_1, \dots, P_k, \dots, P_K\} \quad (k, K \in I^+) \tag{6}$$

成品批次 P_k 的属性定义为

$$P_k = \{T_{P,k}, S_{P,k}, Q_{P,k}, R_{P,k}\} \quad (k \in \{1, 2, \dots, K\}) \tag{7}$$

式中, $R_{P,k} \in (0, 1)$,为成品批次的最小参考品质。在加工流程中,必须保证成品的品质大于最小参考品质,否则为不合格产品。

在农产品加工业中,成品的品质受原料的品质以及加工工艺、加工环境、加工流程等多种因素的影响^[16]。针对加工流程中原料和成品品质的对应关系,国内外相关学者开展了相应研究。Zugarramurdi^[17-18]等针对鱼类加工业,研究对比了肥、瘦两种鱼类产品在不同季节和不同品质评估标准下的品质,发现对于两种鱼类产品而言,其成品的品质与原料的品质为线性关系,且具有很高的拟合优度(对于肥瘦两种鱼类来说,相关系数平方分别为 $R^2 = 0.928$ 、 $R^2 = 0.972$)。国内学者徐君采用最小二乘法,研究了食品储藏品质理论模型参数的确定和经验公式的建立,给出了食品贮藏过程中品质的时变规律,并对食品在不同贮藏条件下的品质指标进行了预测^[19]。田玮等研究了食品加工过程中食品品质损失动力学模型,探讨了描述食品品质损失规律的两种新方法^[20]。

近年来,随着农产品加工业规模化、标准化的发展,以及高新技术在农产品加工业中的应用^[21],农产品加工效率和品质得到了极大提高。在以批次为单位的产品加工中,不同批次成品之间的加工流程、加工环境和加工工艺差异非常小,因而借鉴 Zugarramurdi 的观点,认为在规模化、批次加工条件下,成品的品质仅与原料的品质有关,且为严格的线性关系。基于以上的讨论,作以下假设:①在整个加工流程中,不存在物质损失,从原料到部件,从部件到成品的数量是守恒的。②在整个加工流程中,对一个系列的产品而言,成品的品质仅与原料品质有关,且为严格的线性关系。

基于加工流程中数量守恒的假设,定义从原料到部件的分解比例为 $d(l, m)$,即原料种类 l 分解到部件种类 m 的比例;定义从部件到成品的配方比例为 $a(m, n)$,即成品种类 n 中,部件种类 m 所占的比例。分解比例和配方比例仅与批次的种类有关,其守恒关系为

$$\begin{cases} \sum_{m=1}^M d(l,m) = 1 & (l \in \{1, \dots, L\}) \\ \sum_{n=1}^M a(m,n) = 1 & (n \in \{1, \dots, N\}) \end{cases} \quad (8)$$

基于加工流程中品质权重的假设,定义原料到成品的品质权重为 $w(l,n)$,即原料种类 l 在成品种类 n 中的品质权重,品质权重仅与原料和成品的种类有关,其守恒关系为

$$\sum_{l=1}^L w(l,n) = 1 \quad (n \in \{1, \dots, N\}) \quad (9)$$

定义批次分散的布尔变量为 $U(i,j)$,当 M_i 分解到 C_j 时, $U(i,j)$ 为 1,否则为 0。定义 $V(j,k)$,当 P_k 中包含 C_j 的成分时, $V(j,k)$ 为 1,否则为 0。定义 $Y(i,k)$,当 P_k 中包含 M_i 的成分时, $Y(i,k)$ 为 1,否则为 0。根据布尔运算规律,可以得出

$$Y(i,k) = \bigcup_{j=1}^J (U(i,j) \cap V(j,k)) \quad (10)$$

当原料批次 M_i 出现质量问题时,所有包含 M_i 的成品批次都需要召回。召回的平均规模定义为

$$C_E = \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K (Y(i,k) S_{P,k}) / I \quad (11)$$

召回的最大规模定义为

$$C_M = \max \sum_{k=1}^K (Y(i,k) S_{P,k}) \quad (12)$$

基于以上定义,给出联合优化目标函数,在满足最小召回规模的情况下,同时使成品的数量加权品质达到最大,即

$$\begin{cases} \min C_R = \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K Y(i,k) S_{P,k} \\ \max Q_W = \sum_{k=1}^K S_{P,k} Q_{P,k} \end{cases} \quad (13)$$

根据假设,在加工过程中不存在物质损失,给出基于批次的数量守恒约束为

$$\begin{aligned} \sum_{\substack{j=1 \\ T_{C,j}=m}}^J S_{C,j} &= \sum_{\substack{i=1 \\ T_{M,i}=l}}^I S_{M,i} d(l,m) \\ (l \in \{1, 2, \dots, L\}; m \in \{1, 2, \dots, M\}) & \quad (14) \\ \sum_{\substack{j=1 \\ T_{C,j}=m}}^J S_{C,j} &= \sum_{\substack{k=1 \\ T_{P,k}=n}}^K S_{P,k} a(m,n) \\ (m \in \{1, 2, \dots, M\}; n \in \{1, 2, \dots, N\}) & \quad (15) \end{aligned}$$

定义原料到成品的分布数量为 $f(i,k)$,即 P_k 中包含 M_i 的数量。 $f(i,k)$ 由批次分散的状况以及分解和配方比例决定,可以从批次分散的情况推导出来。根据成品品质的假设,成品的品质由原料的品质决定,且其关系为权重加和关系。首先推导出 P_k 中所包含的种类为 l 的原料的平均品质为

$$Q_e(k,l) = \sum_{\substack{i=1 \\ T_{M,i}=l}}^I f(i,k) Q_{M,i} / \sum_{\substack{i=1 \\ T_{M,i}=l}}^I f(i,k) \quad (16)$$

根据品质属性的假设,给出基于批次的成品品质的守恒约束关系为

$$Q_{P,k} = \sum_{l=1}^L Q_e(k,l) w(l, T_{P,k}) \quad (k \in \{1, 2, \dots, K\}) \quad (17)$$

同时,在加工流程中,成品还要满足最小品质要求,即

$$Q_{P,k} > R_{P,k} \quad (k \in \{1, 2, \dots, K\}) \quad (18)$$

以式(13)为目标函数,以式(14)、(15)、(17)、(18)为约束条件,给出了一个召回数量-成品品质的联合优化召回模型。该模型可以在满足最小召回规模的基础上,同时使成品的品质达到最优。该模型为非线性多目标优化问题,涉及的变量和约束条件较多,求解较难。

3 联合优化模型算例及优化

以上给出了农产品召回的联合优化模型,结合小规模农产品加工企业的召回需求,借鉴 Dupuy、Dabbene 等在文献[8~9,12]中给出的香肠加工企业相关召回算例,在此基础上加入品质属性,给出本文的算例。Dupuy 等给出的香肠加工算例虽然属于典型的食品加工,但该加工操作中仅包含“分解”和“组合”两个操作,且假定加工过程中物质守恒,属于食品加工中的初加工环节,与本文所研究的农产品加工没有本质区别^[22]。图 3 给出了 $I=7, J=6, K=5, L=3, M=2, N=2$ 时算例示意图,图中每个节点代表一个批次,节点内部数据为批次的数量和品质,在同一个虚线矩形内部批次为同一种类。给出分解比例常数为: $d(1,1)=0.60, d(1,2)=0.40, d(2,1)=0.55, d(2,2)=0.45, d(3,1)=0.45, d(3,2)=0.55$; 配方比例常数为: $a(1,1)=0.50, a(2,1)=0.50, a(1,2)=0.55, a(2,2)=0.45$; 品质权重常数为: $w(1,1)=0.60, w(2,1)=0.10, w(3,1)=0.30, w(1,2)=0.05, w(2,2)=0.50, w(3,2)=0.45$; 成品品质参考值为: $R_{P,1}=0.70, R_{P,2}=0.70$ 。

采用 YALMIP 工具箱作为优化软件,采用 CPLEX(ILOG-IBM)作为优化器进行优化。为了降低运算复杂度,首先采用乘除法将多目标优化函数转换为单目标优化函数,然后将非线性约束条件转换为线性约束条件。在主频为 3.2 GHz,内存为 2 GB 的双核台式计算机上,优化算法运行了约 50 s,得到优化结果如图 4,从优化结果可以得出原料在成品中的分散情况以及成品的品质如表 1。

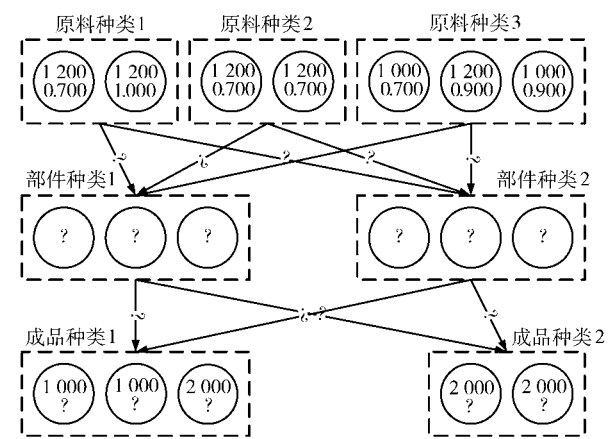


图 3 联合优化召回模型算例

Fig. 3 Numerical example of recall model

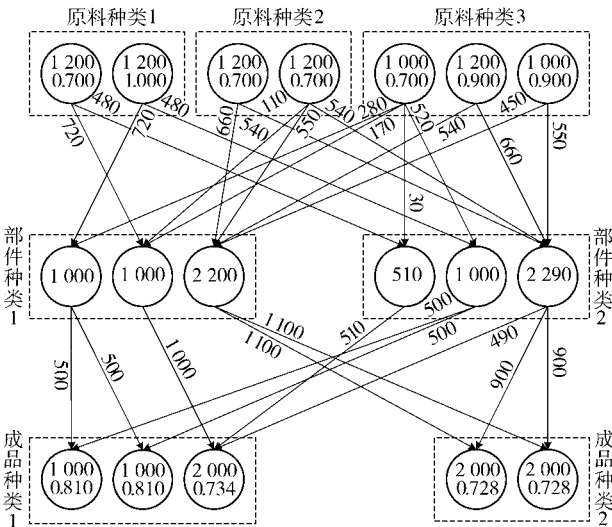


图 4 优化结果

Fig. 4 Optimization results

表 1 原料分配和成品品质

Tab. 1 Raw material allocation and products quality

	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5
M_1			1 200		
M_2	600	600			
M_3			115. 55	542. 23	542. 23
M_4			225. 55	487. 23	487. 23
M_5	400	400	200		
M_6			141. 22	529. 39	529. 39
M_7			117. 69	441. 16	441. 16
$Q_{P,k}$	0. 810	0. 810	0. 734	0. 728	0. 728

以上给出了联合优化模型的优化结果,采用本文的算例,选择 Tamayo 在文献[10]以及 Dabbene 在文献[12]提出的召回模型与本文提出的联合优化模型进行优化性能对比。称本文提出的模型为 LI,称 Dabbene 以及 Tamayo 提出的模型为 DAB 和 TAM。分别对比 3 种模型的批次分散数目(BDN),最大召回数量(MRCS)、平均召回数量(ERCS)、成品合格率(QR)、成品的平均品质(EQ)以及算法的

开销(运行时间 RT)。表 2 给出了 3 种模型的性能对比。

表 2 3 种召回模型的优化性能对比

Tab. 2 Performance comparison of three recall models

参数	LI	DAB	TAM
BDN	18	19	32
MRCS	6 000	7 000	8 000
ERCS	1 667	1 818	1 875
QR/%	100	87. 5	87. 5
EQ	0. 75	0. 62	0. 58
RT/s	50	45	22

首先对比 3 种模型的召回规模。从 BDN 来看,LI 比 DAB 分散程度低 5.3%,比 TAM 分散程度低 43.8%。从 MRCS 来看,LI 比 DAB 少召回 14.3%,比 TAM 少召回 25.0%。从数据分析可知,LI 的召回规模略优于 DAB,而远优于 TAM。其原因主要是 3 种模型都以最小召回规模为优化目标,LI 和 DAB 都采用成熟的商用优化软件对模型进行求解,而 TAM 为了降低运算开销,采用遗传算法进行优化求解,对迭代次数做了限制,仅能获得次优解,因而其召回规模优化性能比 LI 和 TAM 都差。

从 3 种模型的成品合格率 QR 来看,DAB 和 TAM 都有一个批次的成品未达到最小品质的要求,其成品合格率都为 87.5%,而 LI 的 QR 达到了 100%。从 EQ 来看,LI 比 DAB 高 21.0%,比 TAM 高 29.3%。从成品品质的数据分析来看,LI 远优于 DAB 和 TAM,而 DAB 略优于 TAM。其原因主要是 LI 在召回模型中加入了品质属性,并加入了品质最优的优化目标以及最小品质约束条件。相比之下,DAB 和 TAM 的召回模型都没有涉及到产品的品质属性,因而其品质优化性能较差,且存在未达到最小品质要求的成品批次。

最后对比 3 种召回模型的运算开销。从 RT 来看,TAM 执行时间最小,而 LI 和 DAB 相差不大,LI 比 TAM 大 56.0%,比 DAB 大 10.0%。TAM 采用遗传算法对算例进行优化,且对迭代次数做了限制,因而其运算开销最小。与 TAM 相比,LI 加入了品质属性,且其为多目标优化函数,优化变量和约束条件也多于 TAM,因而其运算开销稍大于 TAM。从对 RT 的分析对比来看,3 种召回模型在批次规模较小的情况下,都能在较短的时间内(小于 1 min)获得满意的优化结果,3 种模型都适用于小规模农产品加工企业的召回需求。

通过对 3 种召回模型的优化性能对比可知:本文提出的联合优化模型加入批次品质属性,以召回规模和成品品质为联合优化目标,通过对批次分散

的情况进行优化,在减小召回规模约 20% 的情况下,使成品的品质提高约 20%,且能在较短的时间内获得优化结果。

分析本文所提召回模型的算法复杂度可知,考虑由 P 个批次的原料、 Q 个批次的部件、 R 个批次的成品所组成的联合优化问题,在该优化问题中,共有 $PR + PQ + QR$ 个主要变量, $PQ + QR + 2R$ 个约束条件。当批次数量较小时,该优化问题运算复杂度较小,求解较为容易,但当批次的数量较多时,求解非常困难。对本文的算例进行扩充,在 $P = 30, Q = 40, R = 50$ 的情况下,该模型共有 4 700 个主要变量, 3 300 个约束条件。在上述批次规模下,由于优化问题规模较大导致其运算开销较大。采用上述优化环境,优化软件运行了较长(大于 3 600 s)时间,也未给出满意的优化结果。

4 结束语

针对小规模农产品加工企业的产品召回优化需

求,分析了当前存在的几种召回模型,针对召回模型无法达到成品品质最优的问题,加入品质属性,给出了一个召回数量-成品品质的联合优化模型。在给出算例的基础上,对比了现有几种召回模型的优化性能。对比的结果表明,本文提出的召回模型,在实现成品品质最优的情况下,达到了召回规模最小,且成品满足最小品质要求。

由于本文提出的召回模型加入了品质属性,相应的其优化目标和约束条件也较多,因而其运算开销要大于未采用品质属性的召回模型。对联合优化模型算法复杂度的分析表明,该模型在生产规模较小(批次规模在 10 以下)的情况下,可以获得很好的优化结果,且优化运算开销小,在短时间内可以得到优化结果,适用于小规模农产品加工企业的产品召回优化需求。在生产规模较大时,该模型的变量和约束条件随着批次规模呈现指数性增加,采用传统的优化算法难以获得满意的优化结果。

参 考 文 献

- 1 陈红华. 我国农产品可追溯系统研究 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2009.
- 2 Moe T. Perspectives on traceability in food manufacture [J]. Trends in Food Science & Technology 1998, 9(5): 211 ~ 214.
- 3 Kumar S, Budin E M. Prevention and management of product recalls in the processed food industry: a case study based on an exporter's perspective [J]. Technovation, 2006, 26(5 ~ 6): 739 ~ 750.
- 4 Schwagele F. Traceability from a European perspective [J]. Meat Science, 2005, 71(1): 164 ~ 173.
- 5 刘畅, 张浩, 安玉发. 中国食品质量安全薄弱环节、本质原因及关键控制点研究——基于 1 460 个食品质量安全事件的实证分析 [J]. 农业经济问题, 2001(1): 24 ~ 31.
Liu Chang, Zhang Hao, An Yufa. Study on weaknesses, root causes and key issues of China's food quality safety: based on the empirical analysis of 1 460 food quality safety cases [J]. Issues in Agricultural Economy, 2001(1): 24 ~ 31. (in Chinese)
- 6 Loos P. Gozintographs for by-products and cyclic production: an approach for ERP system application [C] // Proceedings of the 7th Americas Conference on Information Systems, 2001, 7: 1 111 ~ 1 117.
- 7 van Dorp C A. A traceability application based on Gozinto graphs [C] // Proceedings of EFITA 2003 Conference, 2003: 280 ~ 285.
- 8 Dupuy C, Botta-Genoulaz V, Guinet A. Batch dispersion model to optimize traceability in food industry [J]. Journal of Food Engineering, 2005, 70(3): 333 ~ 339.
- 9 Dupuy C, Botta-Genoulaz V, Guinet A. Traceability analysis and optimization method in food industry [C]. IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, 2002, 1: 494 ~ 499.
- 10 Tamayo S, Monteiro T, Sauer N. Deliveries optimization by exploiting production traceability information [J]. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2009, 22(4 ~ 5): 557 ~ 568.
- 11 Wang X, Li D, O'brien C, et al. A production planning model to reduce risk and improve operations management [J]. International Journal of Production Economics, 2010, 124(2): 463 ~ 474.
- 12 Dabbene F, Gay P. Food traceability systems: performance evaluation and optimization [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2011, 75(1): 139 ~ 146.
- 13 Kallel L, Benaissa M. A production model to reduce batch dispersion and optimize traceability [C] // 2011 4th International Conference on Logistics, 2011: 144 ~ 149.
- 14 Molnar P J. A model for overall description of food quality [J]. Food Quality and Preference, 1995, 6(3): 185 ~ 190.

(in Chinese)

- 16 吕强,汤明杰,赵杰文,等. 近红外光谱预测猕猴桃硬度模型的简化研究[J]. 光谱学与光谱分析,2009,29(7): 1 768 ~ 1 771.
Lü Qiang, Tang Mingjie, Zhao Jiewen, et al. Study of simplification of prediction model for kiwifruit firmness using near infrared spectroscopy[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2009, 29(7): 1 768 ~ 1 771. (in Chinese)
- 17 傅霞萍,应义斌,陆辉山,等. 应用多种近红外建模方法分析梨的坚实度[J]. 光谱学与光谱分析,2007,27(5):911 ~ 915.
Fu Xiaping, Ying Yibin, Lu Huishan, et al. Application of some different modeling algorithms to pear MT-Firmness detection using NIR spectra[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2007, 27(5): 911 ~ 915. (in Chinese)
- 18 刘卉,郭文川,岳绒. 猕猴桃硬度近红外漫反射光谱无损检测[J]. 农业机械学报,2011,42(3): 145 ~ 149.
Liu Hui, Guo Wenchuan, Yue Rong. Non-destructive detection of kiwifruit firmness based on near-infrared diffused spectroscopy[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(3): 145 ~ 149. (in Chinese)
- 19 王加华,陈卓,李振茹,等. 洋梨硬度的便携式可见/近红外漫透射检测技术[J]. 农业机械学报,2010,41(11):129 ~ 133.
Wang Jiahua, Chen Zhuo, Li Zhenru, et al. Evaluation of european pear (*Pyrus communis* L.) firmness based on portable Vis/NIR transmittance technique[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(11): 129 ~ 133. (in Chinese)
- 20 陆婉珍. 现代近红外光谱分析技术[M]. 2版. 北京:中国石化出版社,2006:35.
- 21 孙旭东,郝勇,高荣杰,等. 脐橙糖度近红外光谱在线检测数学模型优化研究[J]. 光谱学与光谱分析,2011,31(5): 1 230 ~ 1 235.
Sun Xudong, Hao Yong, Gao Rongjie, et al. Research on optimization of model for detecting sugar content of navel orange by online near infrared spectroscopy[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2011, 31(5): 1 230 ~ 1 235. (in Chinese)
- 22 王丽,郑小林,郑群雄. 基于近红外光谱技术的桃品质指标快速检测方法研究[J]. 中国食品学报,2011,11(3): 205 ~ 209.
Wang Li, Zheng Xiaolin, Zheng Qunxiong. Study on rapid determination method for quality parameters of peach by near infrared spectroscopy[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2011, 11(3): 205 ~ 209. (in Chinese)

(上接第 162 页)

- 15 Peri C. The universe of food quality [J]. Food Quality and Preference, 2006, 17(1 ~ 2): 3 ~ 8.
- 16 Boekel M A J S V, Jongen W M F. Product quality and food processing: how to quantify the healthiness of a product [J]. Cancer Letters, 1997, 114(1 ~ 2): 65 ~ 69.
- 17 Zugarramurdi A, Parin M A, Gadaleta L, et al. The effect of improving raw material quality on product quality and operating costs: a comparative study for lean and fatty fish [J]. Food Control, 2004, 15(7): 503 ~ 509.
- 18 Zugarramurdi A, Parin M A, Gadaleta L, et al. A quality cost model for food processing plants [J]. Journal of Food Engineering, 2007, 83(3): 414 ~ 421.
- 19 徐君. 食品贮藏品质数学模型的建立与应用 [J]. 食品工程, 2010(4): 14 ~ 18.
Xu Jun. Establish and application of food storage quality mathematic model [J]. Food Engineering, 2010(4): 14 ~ 18. (in Chinese)
- 20 田玮,徐尧润. 食品品质损失动力学模型 [J]. 食品科学, 2000, 21(9):14 ~ 18.
Tian Wei, Xu Yaorun. Kinetic models of qality deterioration during food processing [J]. Food Science, 2000, 21(9): 14 ~ 18. (in Chinese)
- 21 崔明,沈瑾,李延云,等. 中国农产品加工技术现状及其推广体系的建设 [J]. 农业工程学报, 2008, 24(10): 274 ~ 278.
Cui Ming, Shen Jin, Li Yanyun, et al. Status of agricultural product processing technology and construction of its promotion system in China [J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(10): 274 ~ 278. (in Chinese)
- 22 侯彩云. 试论农产品加工与食品加工 [J]. 农业工程学报, 2002, 18(2): 191 ~ 193.
Hou Caiyun. On postharvest processing of agro-products and food processing [J], Transactions of the CSAE, 2002, 18(2): 191 ~ 193. (in Chinese)