

风险矩阵和流程分析法挖掘小麦粉加工中质量安全追溯信息

钱建平^{1,2}, 宋英卓^{1,3}, 王姗姗^{1,4}, 吴晓明^{1,2}, 罗季阳⁵

(1. 北京农业信息技术研究中心, 北京 100097; 2. 农产品质量安全追溯技术及应用国家工程实验室, 北京 100097;
3. 天津科技大学电子信息与自动化学院, 天津 300222; 4. 北京林业大学信息学院, 北京 100083;
5. 中国检验检疫科学研究院, 北京 100176)

摘要: 小麦粉加工中原辅料来源多样、追溯信息复杂, 已有追溯信息的确定或依靠经验判别或根据信息获取难易程度确定。该研究基于原国家食品药品监督管理总局公布的 2014 年 1 月 1 日-2018 年 3 月 31 日的共 15 518 批次小麦粉抽检数据, 分析其不合格率状况, 得到影响小麦粉质量安全的主要因素为脱氧雪腐镰刀菌烯醇、过氧化苯甲酰、铝、铅、镉、苯并芘、脱氢乙酸等 7 种物质; 采用 LD50 值、致癌性等不同的危害程度指标, 对 7 种风险进行了风险赋值; 构建了以风险发生可能性和风险危害程度为核心的风险二维矩阵图, 通过识别得到, 脱氧雪腐镰刀菌烯醇风险最高, 为四级; 苯并芘风险为三级; 过氧化苯甲酰、铝、铅、镉风险均为二级; 脱氢乙酸风险最低, 为一级。通过对小麦加工流程分析, 对危害物质进行了定位, 得到小麦粉追溯的关键节点是原料入库、原粮储藏、物质添加、检化验等 4 个动态环节以及设备状态、包装材料特性等 2 个静态特征; 以此为基础, 从批次编码关联和追溯关键点信息采集角度构建了小麦粉追溯系统; 与已有系统相比, 该研究在扩展追溯链、优化追溯信息采集内容方面具有优势; 为追溯系统研究中质量安全信息的挖掘与分析提供了有益方法。

关键词: 农产品; 风险评估; 食品加工; 追溯; 小麦粉; 风险矩阵; 流程分析

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2019.02.038

中图分类号: TP301

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2019)-02-0302-07

钱建平, 宋英卓, 王姗姗, 吴晓明, 罗季阳. 风险矩阵和流程分析法挖掘小麦粉加工中质量安全追溯信息[J]. 农业工程学报, 2019, 35(2): 302-308. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2019.02.038 <http://www.tcsae.org>

Qian Jianping, Song Yingzhuo, Wang Shanshan, Wu Xiaoming, Luo Jiyang. Quality and safety traceable information mining in wheat flour processing based on risk matrix and flow analysis method[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2019, 35(2): 302-308. (in Chinese with English abstract)

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2019.02.038 <http://www.tcsae.org>

0 引言

“从农田到餐桌”的农产品及食品供应链涉及生产、加工、包装、运输、仓储、销售等不同环节, 每个环节都可能存在不安全因素^[1-2]。追溯系统以其降低质量安全风险、提高产品召回效率、保障公众健康水平的优势, 从 20 世纪 80 年代被引入食品工业至今, 欧盟、美国、加拿大、澳大利亚等国相继建立了农产品及食品追溯系统^[3-5]。追溯系统已成为保障中国民众“舌尖上的安全”的重要措施^[6-7]。

直接上市或简单加工的农产品, 已基本形成了集标识方法、信息采集、数据传递等为基础的追溯技术体系^[8-10]。如利用条码、射频识别(radio frequency identification, RFID)等自动识别技术进行追溯单元标识^[11-12]; 利用无

线传感器网络(wireless sensor network, WSN)、移动终端设备进行供应链各环节信息的实时监测^[13]; 利用可扩展标记语言(extensible markup language, XML)进行追溯数据交换^[14]; 利用区块链技术进行农产品供应链分析与追溯^[15]。针对不同农产品及食品特点建立的追溯系统也已得到了开发和应用^[16-19]。

以小麦粉加工为代表的农产品加工过程具有原辅料来源多样、追溯信息复杂, 已有追溯信息的确定或依靠经验判别或根据等待点信息获取难易程度确定, 既影响了信息采集效率, 也影响了追溯的持续应用。本研究基于近 5a 来原国家食品药品监督管理总局公布的小麦粉抽检数据, 采用风险矩阵法确定了小麦粉加工中的主要危害物质, 结合小麦粉加工流程对核心追溯环节进行了定位, 挖掘了关键追溯信息, 设计与实现了小麦粉加工过程追溯系统, 并与已有系统进行了比较分析。

1 影响小麦粉质量安全的风险评估

1.1 主要危害物质识别

影响小麦粉质量安全的风险因素多样, 且加工过程影响质量安全的作用机制复杂, 相关研究也多有探讨^[20-22]; 本研究从小麦粉检测数据入手, 挖掘影响小麦粉质量安全的主要危害物质。具体来说, 采用原国家食品药品监督

收稿日期: 2018-08-09 修订日期: 2019-01-08

基金项目: 国家自然科学基金面向项目“连续闭环加工中智能柔性追溯模型构建及系统验证: 以小麦粉加工为例”(31671593); 国家重点研发计划项目-跨境食品快速通关关键技术研究及智慧口岸信息平台构建(2016YFD0401105); 北京市农林科学院 2017 年度科研创新平台建设(KYCXPT201723)联合资助

作者简介: 钱建平, 研究员, 主要从事农产品质量安全追溯技术研究。

Email: qianjp@nercita.org.cn

中国农业工程学会会员: E041200542S

管理总局公布的 2014 年 1 月 1 日—2018 年 3 月 31 日的相关小麦粉抽检数据 (<http://samr.cfda.gov.cn/WS01/CL1698/>) 进行分析, 在此期间共抽检小麦粉 15 518 批次, 其中合格 15 444 批次、不合格 74 批次, 不合格率为 0.48%。进一步分析不合格产品的地域分布及不合格产生的原因, 其结果如图 1 所示。

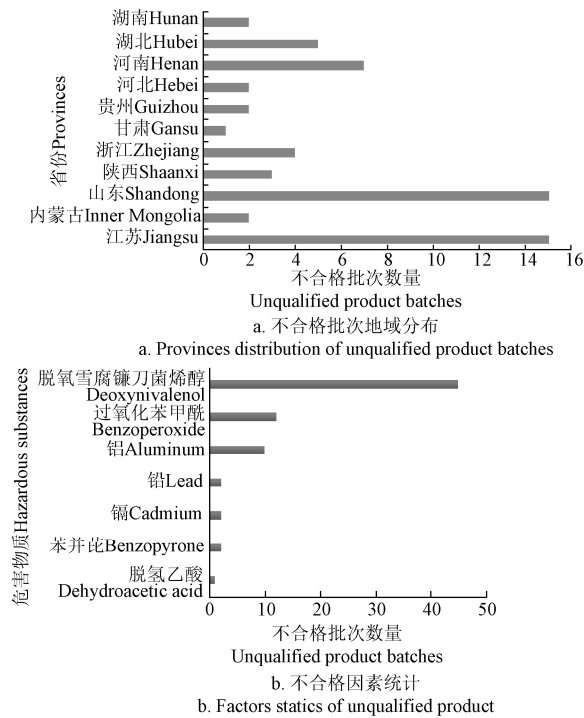


图 1 小麦粉抽检不合格批次分析
Fig.1 Unqualified batch analysis of wheat flour random inspection

在 74 批不合格产品中, 原产地为山东和江苏 2 省的最多, 均为 15 批次; 生产年份为 2016 年的最多, 为 42 批次。进一步分析抽检不合格的因素, 其中最多的是脱氧雪腐镰刀菌烯醇超标, 为 45 批次, 占不合格总数的 60.81%; 其次为过氧化苯甲酰引起的不合格, 为 12 批次, 占不合格总数的 16.22%; 再次为铝残留, 为 10 批次, 占不合格总数的 13.51%。其他的不合格批次分别是由铅残留、镉残留、苯并芘、脱氢乙酸引起的, 批次数分别为 2 批次、2 批次、2 批次和 1 批次, 此 4 项占总不合格批次的比例仅为 9.46%。由此可得, 抽检不合格的批次中, 其不合格因素排序为: 脱氧雪腐镰刀菌烯醇>过氧化苯甲酰>铝>铅=镉=苯并芘>脱氢乙酸。

1.2 风险危害程度分析

由潜在风险识别可以看出, 小麦粉加工中的主要风险因素为化学性因素风险, 包括了金属污染物、禁用药物、生物毒素等。对于这些因素的危害程度, 国际上有不同的指标来衡量, 分析总结如下:

1) 健康指导值, 指联合国粮农组织和世界卫生组织下的食品添加剂联合专家委员会、农药残留联系会议等国际权威机构经过评估设定的一个推导值, 是人类在一定时期内经口摄入某种化学物而不产生可检测到的对健康产生

危害的量, 包括每日允许摄入量 (acceptable daily intake, ADI)、每日耐受摄入量 (tolerable daily intake, TDI) 等。

2) 急性毒性, 表示在规定时间内, 通过指定感染途径, 使一定体质量或年龄的某种动物半数死亡所需最小剂量; 首选大鼠经口半数致死量 (median lethal dose, LD50) 数据。

3) 致癌性, 基于国际癌症研究机构 (international agency for research on cancer, IARC) 致癌物分级。

为了使不同指标之间具有可比性, 文献[23-24]基于 LD50 值和致癌性, 对风险危害程度进行赋值, 其结果如表 1 所示, 风险程度赋值越高, 则该物质风险越高。

表 1 食品中化学性危害物质风险程度赋值表
Table 1 Risk levels for chemical hazardous substances in foods

指标 Index	分类及范围 Classification and range	风险危害程度赋值 Risk hazard assignment
半数致死量 Median lethal dose LD50/(mg·kg ⁻¹)	>5 000	1
	501~5 000	2
	51~500	3
	1~50	4
	<1	5
致癌性 Carcinogenicity	非致癌物 (4 类)	1
	尚不能进行分类 (3 类)	2
	可能对人类致癌 (2B 类)	3
	很可能对人类致癌 (2A 类)	4
	明确证据对人类致癌 (1 类)	5

小麦粉加工中的主要风险因素有脱氧雪腐镰刀菌烯醇、过氧化苯甲酰、铝、铅、镉、苯并芘和脱氢乙酸。经查阅相关资料^[25-26], 得到 7 种物质的 LD50 值及致癌性。根据表 1 确定的风险程度赋值方法, 并遵循不同评价指标得到的风险值取高值的原则, 7 种物质的风险程度赋值如表 2 所示。

表 2 小麦粉加工中主要危害物质的风险程度
Table 2 Risk degree of main hazardous substances in wheat flour processing

危害物质 Hazardous substances	LD50/(mg·kg ⁻¹)	致癌性 Carcinogenicity	危害程度赋值 Hazard level assignment
脱氧雪腐镰刀菌烯醇 Deoxynivalenol	46	3 类	4
过氧化苯甲酰 Benzoperoxide	7 710	-	1
铝 Aluminum	162	-	3
铅 Lead	2 000	-	2
镉 Cadmium	225	-	3
苯并芘 Benzopyrone	50	1 类	5
脱氢乙酸 Dehydroacetic acid	1 000	-	2

1.3 风险评估

风险是风险发生因素的可能性与危害程度的二元函数^[27]。用数学表达式可以表示为

$$R=f(P, S) \tag{1}$$

式中 R 代表风险值; P 代表风险因素发生的可能性; S 代表风险因素产生的危害程度。

为了直观的对风险结果进行描述, 本研究引入基于风险矩阵的风险结果表示形式^[28], 用横轴代表风险危害程度 S 、纵轴代表风险发生可能性 P , 如图 2 所示。将 P 与 S 的数值分别进行 5 级量化, 按照风险可能发生的高低, P 依次取为 5 (极有可能)、4 (很可能)、3 (有可能)、2 (罕见)、1 (很罕见); 按照风险危害程度的强弱, S 依次对应风险危害程度按高到低分别为 5、4、3、2、1。

在本模型中, 采用的风险计算公式为

$$R = f(P, S) = \sqrt{\frac{P^2 + S^2}{2}} \tag{2}$$

式中 P 的取值范围为[1,5], S 的取值范围为[1,5]; 根据计算的 R 值不同, 将风险值划分为 5 个等级, 分级规则如下: $1 \leq R < 2$, 则为 1 级; $2 \leq R < 3$, 则为 2 级; $3 \leq R < 4$, 则为 3 级; $4 \leq R < 5$, 则为 4 级; $R \geq 5$, 则为 5 级; 如图 2 所示。

对于 P 的取值, 根据“1.1 潜在风险识别”中不合格因素的排序, 按照风险发生可能的相对性, 将 7 种物质的风险发生可能性按脱氧雪腐镰刀菌烯醇超标-5、过氧化苯甲酰-4、铝残留-3、铅残留/镉残留/苯并芘-2、脱氢乙酸-1 的规则进行赋值。

根据式 (2) 中的风险计算公式, 对小麦粉加工中的 7 种风险物质进行风险评估, 得到其风险等级, 如图 2 所示。

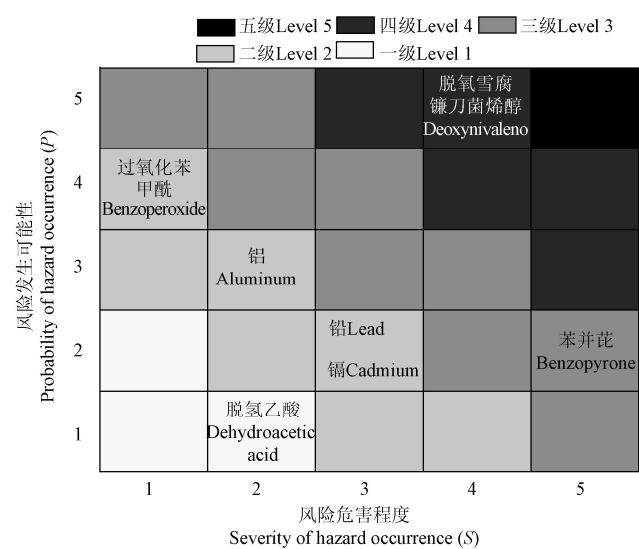


图 2 7 种物质风险等级二维矩阵图
Fig.2 Two-dimensional risk levels matrix of 7 substances

由图 2 可以看出, 脱氧雪腐镰刀菌烯醇风险最高, 为四级; 苯并芘风险为三级; 过氧化苯甲酰、铝、铅、镉风险均为二级; 脱氢乙酸风险最低, 为一级。

2 关键追溯环节定位

2.1 小麦粉加工流程分析

小麦粉加工过程主要经过原粮采购、原料存储、毛麦配麦、清理润麦、小麦研磨、小麦粉包装、小麦粉存储和销售等过程。其具体流程为: 小麦在主产区种植收获后, 按要求由专门车辆运送至加工厂, 在原粮入仓之

前需要进行初检和复检, 检测合格后过磅卸粮, 以先进先出 (first input first out, FIFO) 的形式进入原粮仓存储; 根据小麦粉加工需求和计划对不同等级小麦进行配比, 调整入仓小麦流速以保证小麦的均匀混合, 并且在毛麦配比过程中进行抽检; 之后经过一次清理、一次着水、二次着水和二次清理后进入净麦仓; 通过多次皮磨和心磨的研磨工艺对小麦进行研磨, 并且进行筛理、清粉、松粉和打麸过程, 在研磨过程中需进行在制品检测; 加工完成后进行小麦粉入粉仓和抽检, 最后对小麦粉计量包装并进行成品检验, 打包完成后入库存储或者按订单规格出库销售。具体加工工艺流程如图 3 所示。

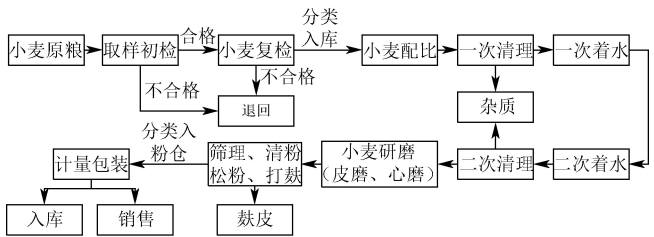


图 3 小麦粉生产加工工艺流程
Fig.3 Process flow of wheat flour production

2.2 追溯关键环节定位

根据分析得到的影响小麦粉质量安全的 7 类物质, 结合小麦粉的加工工艺流程; 在实地调研和查阅文献的基础上, 总结分析影响风险物质的小麦粉加工关键环节及其危害原因如表 3 所示。

表 3 小麦粉加工中潜在危害主要环节
Table 3 Main link of potential hazard in wheat flour processing

序号 No.	危害物质 Hazardous substances	环节 Link	危害原因 Cause of hazard
1	脱氧雪腐镰刀 菌烯醇	小麦收购	小麦收获时高温、多雨, 产生赤霉病
		小麦储藏	仓储条件不佳、温湿度控制不当引起 端孢霉族毒素生长
2	苯并芘	小麦收购	小麦种植时暴露在污染的环境中
		小麦粉加工	加工设备或包装材料的迁移
3	过氧化苯甲酰	小麦粉加工 (物质添加)	为改善外观品质进行的非法添加
4	铝	小麦收购	种植小麦的土地、水源等收到污染, 种植过程中使用农药化肥等
		小麦粉加工 (物质添加)	使用的添加剂中含有过量的有毒有害 的重金属
5	铅	小麦收购	种植小麦的土地、水源等收到污染, 种植过程中使用农药化肥等
		小麦粉加工 (物质添加)	使用的添加剂中含有过量的有毒有害 的重金属
6	镉	小麦收购	种植小麦的土地、水源等收到污染, 种植过程中使用农药化肥等
		小麦粉加工 (物质添加)	使用的添加剂中含有过量的有毒有害 的重金属
7	脱氢乙酸	小麦粉加工 (物质添加)	不合理添加

由表 3 可见, 小麦粉质量安全的危害主要来源于小麦种植过程, 其中种植环境、农资使用、收获情况等都可能产生潜在危害, 因此小麦收购环节要做好质量控制; 另一方面, 某些企业的添加环节也是产生潜在危害的重要方面, 过氧化苯甲酰、铝、铅、镉、脱氢乙酸等

均可能在这个环节产生。此外,小麦及小麦粉的贮藏环节及加工设备或包装材料的不当使用,也可能产生潜在危害。由以上分析可以看出,小麦粉追溯的关键节点是原料入库、原粮储藏、物质添加、检化验等4个动态环节以及设备状态、包装材料特性等2个静态特征。

3 系统设计与实现

在提取小麦粉加工中关键追溯节点的基础上,从批次编码和信息采集2方面设计小麦粉加工过程追溯系统,并采用C#语言、以Microsoft Visual Studio 2010软件作为系统设计和开发工具实现系统功能。

3.1 批次编码及关联

参照文献[29],对小麦粉加工中的原料批次、加工批次及成品批次进行编码,其中原料批次采用14位编码(2位原料产地编码+2位原料仓编码+6位原料入仓日期编码+2位小麦品种编码+2位流水号)、加工批次采用16位编码(2位原料仓编码+1位生产线编码+3位计划加工质量编码+6位加工日期编码+2位小麦品种编码+2位流水号)、成品批次(即产品追溯码)采用20位编码(6位包装日期编码+加工批次编码去掉3位计划加工质量和2位加工日期编码中的年份编码而得到的11位压缩加工批

次编码+1位产品等级编码+2位校验码)。

为了实现不同批次之间的追溯,需要进行编码关联。对于加工批次与原料批次的关联,主要是根据产品先进先出的原则,以及原料仓编号和加工质量的识别来实现;由于可能存在多个原料批次的小麦放在一个原料仓的情况,根据先进先出原则和加工质量,可以较为简单快捷的识别原料批次。对于成品批次与加工批次的关联,主要是通过成品批次编码中加入压缩的加工批次编码来实现。

3.2 追溯关键点信息采集

根据提取的小麦粉加工中关键追溯点信息,系统在设计中进行了追溯信息分层设计,即将关键追溯点信息列入必要追溯信息,需要系统使用者必须填写;将非关键追溯点信息列入可选追溯信息,系统使用者可以根据实际情况进行选择填写。其中必要追溯信息包括原料入库信息中的原料批次编码、产地、小麦品种、入库时间、农户/经纪人、入库质量、原料检测信息等,原粮储藏信息中的负责人、储藏时间、所在仓号、储藏环境等,加工过程信息中的加工批次编码,成品批次编码中的检化验信息,包括水分、灰分、蛋白质、湿面筋、白度、加工精度、粗细度等。具体的追溯信息结构如图4所示。

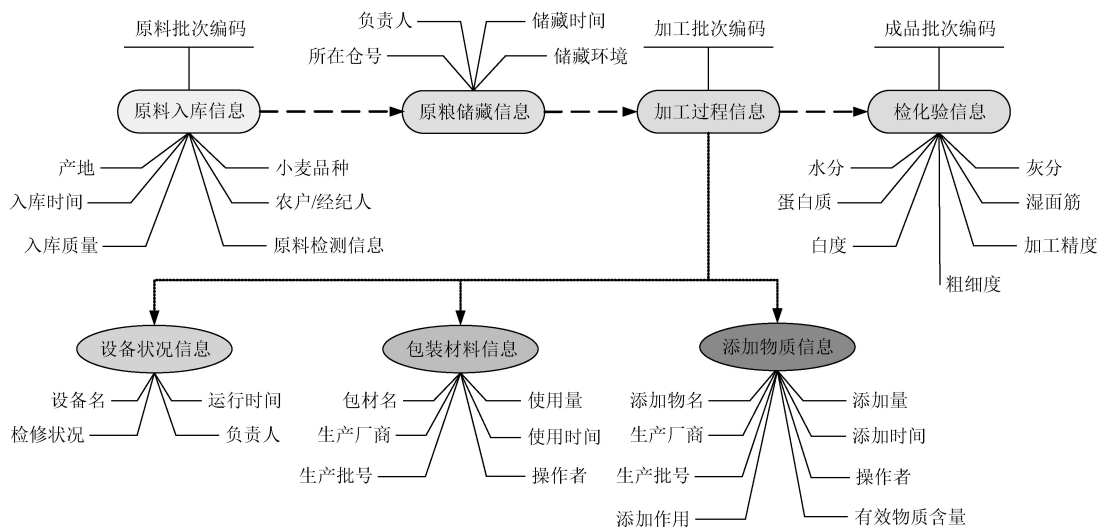


图4 必要追溯信息结构图

Fig.4 Structure of necessary traceability information

基于制定的追溯编码及关联规则、梳理的追溯关键信息,开发了小麦粉加工管理与追溯系统,典型界面如图5所示。

系统包括基础信息管理、原料入库信息采集、原料储藏信息管理、加工过程信息采集、检化验信息采集、条码生成及打印、查询与统计和系统管理等功能。原料入库信息采集提供产地、小麦品种、入库时间、农户/经纪人、入库质量、原料检测等信息的添加、修改、删除等功能;成品检化验信息采集,主要实现了水分、灰分、蛋白质、湿面筋、白度、粗细度等信息的采集;如图5所示的追溯码生成和打印功能,系统根据批次编码及关联规则,自动生成成品批次编码(即产品追溯码),并

生成二维条码。

3.3 应用效果分析

本研究提出了基于风险矩阵法和流程分析的小麦粉加工中关键追溯信息挖掘方法,并应用于小麦粉生产企业的追溯系统开发。开发的系统在内蒙古、山东等小麦粉生产企业进行了初步应用,追溯结果比较如图6所示。与已有的系统相比,本系统存在着如下特点:

1) 已有的蔬菜^[30]、水产品^[31]等直接上市产品,未涉及加工环节,追溯流程相对简单,本研究通过原料批次、加工批次及成品批次的关联,可实现到加工过程的追溯,扩展了追溯链。

2) 已有的小麦粉追溯系统^[32]只能追溯原料入库信

息、检化验信息,本研究结合挖掘的溯源分层信息对追溯系统进行了改进,可追溯出原料入库、原料贮藏、设备状况、包装材料、添加物质、检化验等信息,使加工过程信息质量安全采集的针对性更强,也使追溯结果更丰富。



图5 系统界面示意图(追溯码生成及打印)

Fig.5 System interfaces (traceability code generating and printing)



a. 已有小麦粉追溯系统
a. Referenced wheat flour traceability system



b. 本方法开发的追溯系统
b. Developed wheat flour traceability system

图6 追溯结果比较

Fig.6 Comparison of traceability results

4 结论与讨论

已有追溯信息的确定多以经验方式或可获得难易程度确定,缺乏深入的挖掘与分析。本研究提出了基于风险矩阵法和流程分析的小麦粉加工中关键质量安全追溯信息挖掘方法,并将其应用于开发的追溯系统中,主要结论如下:

1) 基于原国家食品药品监督管理总局公布的小麦粉抽检数据,分析其不合格率状况,得到影响小麦粉质量安全的7种风险物质;构建了风险二维矩阵图,通过识别得到,脱氧雪腐镰刀菌烯醇风险最高,为四级;苯并芘风险为三级;过氧化苯甲酰、铝、铅、镉风险均为二级;脱氢乙酸风险最低,为一级;

2) 通过流程分析,对风险物质进行了定位,得到小麦粉追溯的关键节点是原料入库、原粮储藏、物质添加、检化验等4个动态环节以及设备状态、包装材料特性等2个静态特征;以此为基础,从批次编码关联和追溯关键点信息采集角度构建了小麦粉追溯系统;将系统应用于山东、内蒙古等面粉企业,与已有系统相比,本系统在优化追溯信息采集内容、提升追溯信息采集效率方面具有优势;为追溯系统研究中质量安全信息的挖掘与分析提供了有益方法。

从应用的情况来看,本方法及基于本方法开发的追溯系统还存在着以下不足:在进行风险评估中,用到的风险发生发生可行性 P 是根据历史的质量安全事件发生次数来确定的,随着质量安全事件发生规律的变化,可能存在时效性和客观性不强的问题,后期需要利用大数据进行更精准的分析 and 评价。

[参考文献]

- [1] Regattieri A, Gamberi M, Manzini R. Traceability of food products: General framework and experimental evidence[J]. Journal of Food Engineering, 2007, 81(2): 347—356.
- [2] 杨信廷, 钱建平, 孙传恒, 等. 农产品及食品质量安全追溯系统关键技术研究进展[J]. 农业机械学报, 2014, 45(11): 212—222.
Yang Xinting, Qian Jianping, Sun Chuanheng, et al. Key technologies for establishment agricultural products and food quality safety traceability systems[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(11): 212—222. (in Chinese with English abstract)
- [3] Smith G C, Tatum J D, Belk K E, et al. Traceability from a US perspective[J]. Meat Science, 2005, 71(1): 174—193.
- [4] Dabbene F, Gay P, Tortia C. Traceability issues in food supply chain management: A review[J]. Biosystems Engineering, 2014, 120(3): 65—80.
- [5] Stewart Walker G. Food authentication and traceability: An Asian and Australian perspective[J]. Food Control, 2017, 72: 168—172.
- [6] 王雅君, 张浩, 时君丽, 等. 基于过程的海产食品质量信息可追溯系统[J]. 农业工程学报, 2015, 31(14): 264—271.
Wang Yajun, Zhang Hao, Shi Junli, et al. Quality information traceability system based on seafood's production process[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2015, 31(14): 264—271. (in Chinese with English abstract)
- [7] Wang J, Yue H L, Zhou Z N. An improved traceability system for food quality assurance and evaluation based on fuzzy classification and neural network[J]. Food Control, 2017, 79: 363—370.
- [8] Zhang X S, Zhang J, Liu F, et al. Strengths and limitations on the operating mechanisms of traceability system in agro food, China[J]. Food Control, 2010, 21(6): 825—829.
- [9] Bosona T, Gerbresenbet G. Food traceability as an integral part of logistics management in food and agricultural supply chain[J]. Food Control, 2013, 33(1): 32—48.

- [10] 王姗姗, 赵春江, 钱建平, 等. 批次清单结合 Petri 网追溯模型提高小麦粉加工过程追溯精度[J]. 农业工程学报, 2018, 34(14): 263—271.
Wang Shanshan, Zhao Chunjiang, Qian Jianping, et al. Bill of lots combined with Petri tracing model improving traceability of wheat flour processing[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2018, 34(14): 263—271. (in Chinese with English abstract)
- [11] Fröschle H K, Gonzales-Barron U, McDonnell K, et al. Investigation of the potential use of e-tracking and tracing of poultry using linear and 2D barcodes[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2009, 66(2): 126—132.
- [12] Ruiz-Garcia L, Lunadei L. The role of RFID in agriculture: Applications, limitations and challenges[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2011, 79(1): 42—50.
- [13] Qian J P, Yang X T, Wu X M, et al. Farm and environment information bidirectional acquisition system with individual tree identification using smartphones for orchard precision management[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2015, 116(8): 101—108.
- [14] Voulodimos A S, Patrikakis C Z, Sideridis A B, et al. A complete farm management system based on animal identification using RFID technology[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2010, 70(2): 380—388.
- [15] 于丽娜, 张国锋, 贾敬敦, 等. 基于区块链技术的现代农产品供应链[J]. 农业机械学报, 2017, 48(增刊): 387—393.
Yu Lina, Zhang Guofeng, Jia Jingdun, et al. Modern agricultural product supply chain based on block chain technology[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(Supp.): 387—393. (in Chinese with English abstract)
- [16] Lavelli V. High-warranty traceability system in the poultry meat supply chain: A medium-sized enterprise case study[J]. Food Control, 2013, 33(1): 148—156.
- [17] Morenas J D L, Garcia A, Blanco J. Prototype traceability system for the dairy industry[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2014, 101(2): 34—41.
- [18] 钱建平, 吴晓明, 范蓓蕾, 等. 基于条码-RFID 关联的蔬菜流通过程追溯精确度提高方法[J]. 中国农业科学, 2013, 46(18): 3857—3863.
Qian Jianping, Wu Xiaoming, Fan Beilei, et al. A solution for improving vegetable circulation traceability precision based on barcode-RFID correspondence[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2013, 46(18): 3857—3863. (in Chinese with English abstract)
- [19] 王东亭, 付峰, 饶秀勤, 等. 基于分级处理生产线的脐橙全程追溯系统[J]. 农业工程学报, 2013, 29(7): 228—236.
Wang Dongting, Fu Feng, Rao Xiuqin, et al. Fruit traceability system based on processing and grading line[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(7): 228—236. (in Chinese with English abstract)
- [20] 赵海燕, 郭波莉, 魏益民, 等. 近红外光谱对小麦产地来源的判别分析[J]. 中国农业科学, 2011, 44(7): 1451—1456.
Zhao Haiyan, Guo Boli, Wei Yimin, et al. Identification of geographical origins of wheat with discriminant analysis by near infrared spectroscopy[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2011, 44(7): 1451—1456. (in Chinese with English abstract)
- [21] 魏帅, 魏益民, 郭波莉. 小麦制粉系统各粉路产品铅、镉含量特征[J]. 中国食品学报, 2016, 16(9): 206—210.
Wei Shuai, Wei Yimin, Guo Boli. Pb and Cd concentration in different flour flow of wheat milling system[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2016, 16(9): 206—210. (in Chinese with English abstract)
- [22] 李慧静, 田益玲, 李宁, 等. 转谷氨酰胺酶对小麦面粉加工品质的影响研究[J]. 农业工程学报, 2008, 24(2): 232—236.
Li Huijing, Tian Yiling, Li Ning, et al. Effects of transglutaminase on processing quality of wheat flour[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2008, 24(2): 232—236. (in Chinese with English abstract)
- [23] 国家食品安全风险评估中心. 食品中不同化学物健康风险分级技术指南[R]. 北京: 国家食品安全风险评估中心, 2015.
- [24] 周少君, 顿中军, 梁骏华, 等. 基于半定量风险评估的食品风险分级方法研究[J]. 中国食品卫生杂志, 2015, 27(5): 576—585.
Zhou Shaojun, Dun Zhongjun, Liang Junhua, et al. Risk ranking method for chemical and biological hazards in food based on semi-quantitative risk assessment[J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2015, 27(5): 576—585. (in Chinese with English abstract)
- [25] Chemical Safety Information from Intergovernmental Organizations. International Programme on Chemical Safety[Z]. <http://www.inchem.org/>
- [26] World Health Organization. Food Safety Databases[Z]. <http://www.who.int/foodsafety/databases/en/>
- [27] FAO/WHO. Application of risk analysis to food standards issues. Report of a Joint FAO/WHO Expert Consultation[C]// Switzerland: Geneva, 1995: 5—7.
- [28] 刘清珺, 陈婷, 张经华, 等. 基于风险矩阵的食品安全风险检测模型[J]. 食品科学, 2010, 31(5): 86—90.
Liu Qingjun, Chen Ting, Zhang Jinghua, et al. Risk matrix-based risk monitoring model of food safety[J]. Food Science, 2010, 31(5): 86—90. (in Chinese with English abstract)
- [29] 钱建平, 吉增涛, 刘学馨, 等. 基于批次的面粉追溯链编码研究[J]. 粮油加工, 2010, 10: 52-55.
- [30] 杨信廷, 钱建平, 孙传恒, 等. 蔬菜安全生产管理及质量追溯系统设计与实现[J]. 农业工程学报, 2008, 24(3): 162—166.
Yang Xinting, Qian Jianping, Sun Chuanheng, et al. Design and application of safe production and quality traceability

- system for vegetable[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering(Transactions of the CSAE), 2008, 24(3): 162—166. (in Chinese with English abstract)
- [31] 杨信廷, 孙传恒, 钱建平, 等. 基于流程编码的水产养殖产品质量追溯系统的构建与实现[J]. 农业工程学报, 2008, 24(2): 159—164.
Yang Xinting, Sun Chuanheng, Qian Jianping, et al. Construction and implementation of fishery product quality traceability system based on the flow code of aquaculture[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2008, 24(2): 159—164. (in Chinese with English abstract)
- [32] Qian J, Yang X, Wu X, et al. A traceability system incorporating 2D barcode and RFID technology for wheat flour mills[J]. Computers and electronics in agriculture, 2012, 89: 76—85.

Quality and safety traceable information mining in wheat flour processing based on risk matrix and flow analysis method

Qian Jianping^{1,2}, Song Yingzhuo^{1,3}, Wang Shanshan^{1,4}, Wu Xiaoming^{1,2}, Luo Jiyang⁵

(1. Beijing Research Center for Information Technology in Agriculture, Beijing 100097, China; 2. National Engineering Laboratory for Agri-product Quality Traceability, Beijing 100097, China; 3. College of Electronic Information and Automation, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin, 300222, China; 4. College of Information, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 5. Chinese Academy of Inspection and Quarantine, Beijing 100176, China)

Abstract: Traceability information in wheat flour processing is complex because of various sources of raw and auxiliary materials. Collecting and confirmation of the information in existed method depends on developer's experience or information availability. The lack of in-depth mining and analysis has affected the efficiency of information collection and the continuous application of traceability. The study is based on the data of 15 518 batches of wheat flour sampled by the former State Food and Drug Administration from January 1, 2014 to March 31, 2018. The geographical distribution of the unqualified products and the causes of the unqualified products were analyzed. In the 74 batches of unqualified products, 45 batches were caused by deoxynivalenol. The result from benzoperoxide is 12 batches. The other substances such as aluminum, lead, cadmium, benzopyrone and dehydroacetic acid, is respectively 10 batches, 2 batches, 2 batches, 2 batches and 1 batch. Therefore, the ranking of seven main factors causing wheat flour quality and safety were deoxynivalenol, benzoperoxide, aluminum, lead/cadmium/benzopyrone and dehydroacetic acid. The ranking was acted as the probability of hazard occurrence. According to different international measurement indicators, the risk was assigned to 7 kinds of risks by using different hazard indicators such as LD50 value and carcinogenicity. The higher assessment value was, the higher risk harm degree. In the 7 substances, benzopyrone had the highest risk harm degree and benzoperoxide had the lowest risk harm degree. A two-dimensional risk matrix was constructed based on the probability of hazard occurrence and the severity of hazard occurrence. According to the risk identification, the risk of deoxynivalenol was the highest, which was level 4; the risk of benzopyrone was level 3; the risk of benzoperoxide, aluminum, lead and cadmium was the second level; the risk of dehydroacetic acid was the lowest. Through wheat processing flow analysis and hazard substances orientating, the key nodes of wheat flour traceability was identified, which included dynamic links such as raw material storage, raw grain storage and material addition, as well as static status of equipment and packaging materials feature. Based on the risk analysis result, the wheat flour processing management and traceability system was designed and developed with the batches coding and association rules of raw batches, processing batches and traceability batches, and the key traceable information. The system includes basic information management, raw material storage information collection, raw material storage information management, processing information collection, testing information collection, bar code generation and printing, query and statistics and system management functions. This paper proposes a key traceability information mining method based on risk matrix method and process analysis in wheat flour processing, and is applied to the development of actual traceability system. Compared with existing systems, the traceability of the processing process can be realized by correlating the different batches of raw materials, processing batches and finished products with this system. The traceability accuracy can be improved. When quality and safety problems occur, the system is more conducive to the realization of accurate recall. On the other hand, the system is improved by combining the traceability and hierarchical information of mining, which can improve the efficiency and pertinence of information acquisition in the process of wheat flour processing and facilitate the application of the system in wheat flour processing enterprises.

Keywords: agricultural products; risk assessment; food processing; traceability; wheat flour; risk matrix; process analysis