

食品质量安全可追溯关键技术研究*

傅泽田^{1,2} 邢少华¹ 张小栓^{2,3}

(1. 中国农业大学工学院, 北京 100083; 2. 食品质量与安全北京实验室, 北京 100083;
3. 中国农业大学信息与电气工程学院, 北京 100083)

摘要: 食品质量安全可追溯技术以及相关应用系统开发已经成为国内外研究的热点与焦点问题。在总结和整理现有国内外研究文献的基础上,阐述了食品质量安全可追溯技术发展的重要意义,并从可追溯单元划分、信息采集、信息传输、信息处理等4个方面归纳与总结了可追溯技术的研究现状、发展趋势和主要特点。研究表明,食品质量安全可追溯技术中可追溯单元划分已经从经验划分发展到建模优化;信息采集技术已经从人工采集发展到智能化采集;信息传输已经从单独的系统开发发展到应用通用的标准化传输方式;信息处理方式已经从人工分析发展到智能化决策支持。

关键词: 食品安全 可追溯系统 关键技术

中图分类号: TS201.6; X924.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2013)07-0144-10

Development Trend of Food Quality Safety Traceability Technology

Fu Zetian^{1,2} Xing Shaohua¹ Zhang Xiaoshuan^{2,3}

(1. College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China
2. Beijing Laboratory of Food Quality and Safety, Beijing 100083, China
3. College of Information and Electrical Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: Food quality safety traceability technology and its application system development are worldwide focus and hot topic. Based on the literature review, the important meaning of food quality safety traceability technology was presented. The significance, development tendency and the main characteristic were summarized from four aspects: traceability unit dividing, information collection, information transformation, and information processing. The result showed that traceable unit in food quality safety traceability technology was developed from experienced dividing to model optimization, information acquisition technology was improved from manual collection to intelligent collection, information transmission technology was changed from independent to standardized transmission, and information processing technology was changed from manual analysis to intelligent decision.

Key words: Food safety Traceability system Key technology

引言

质量安全可追溯技术是一种有效的保证食品质量安全和手段,即通过对问题产品快速定位并准确隔离,最后实施快速召回,降低质量安全的风险,保护公众健康。20世纪90年代初期,质量认证标准ISO9000首次确立了食品质量安全与可追溯的

基本架构,将“可追溯性”定义为:在食品、饲料和用于食品生产的动物,或用于食品或饲料中各种可能会使用的物质,在全部生产、加工和销售过程中发现并追寻其痕迹的可能性^[1]。

实施食品质量安全可追溯体系,实现从生产到消费全过程的有效监管,已经成为各国的共识和普遍关注的热点问题。欧盟、美国、日本等发达国家先

收稿日期: 2013-04-02 修回日期: 2013-04-30

* 国家自然科学基金资助项目(71072153)和教育部分新世纪优秀人才计划资助项目(NCET-0491)

作者简介: 傅泽田,教授,博士生导师,主要从事农业系统工程与信息化技术、食品质量安全追溯与监测等研究, E-mail: fzt@cau.edu.cn

后颁布了相应的食品安全跟踪条例,并且要求本区域内上市销售的农产品必须具备可追溯性,并逐渐成为一种新的技术贸易保护手段。从 2000 年起,我国也相继出台了《食品安全法》、《农产品质量安全法》、《出境水产品追溯规程(试行)》、《畜牧法》等法规,推动了食品质量可追溯体系的建立。各级地方政府也开始通过蔬菜、水产品与肉类等大宗生鲜农产品领域示范工程,探索食品质量安全可追溯体系的推广与应用。

1 食品质量可追溯单元划分与优化

食品质量安全可追溯体系具有许多环节,其中可追溯单元的划分是最为基础的技术环节。可追溯单元是指一批可追溯的对象。这些可追溯单元在生产中被认为是一个整体,有着共同的特征而且独一无二,在任何供应链条中都是产品信息的唯一标识。一般而言,可追溯单元由标识信息和记录信息两部分组成:标识信息的主要功能是确保追溯过程的连续性;记录信息的主要功能是实现企业内部追溯。可追溯单元的大小决定着可追溯系统的精度。可追溯单元大,追溯精度低,召回成本高,但系统的运行成本低;可追溯单元小,追溯精度高,召回成本低,但系统的运行成本高。因此,如何划分可追溯单元,要从产品、技术和经济等多维角度出发,确定追溯的最佳单元,实现追溯系统经济性平衡,从而在产品发生质量问题时实现快速召回,这样既保证产品质量的安全又降低企业损失。

1.1 可追溯单元划分原则与方法

1.1.1 基于单体的可追溯单元划分方法

该划分方法是基于追溯目标或产品各构件能明确区分的产品个体。每个追溯目标都有相应追溯编码,然后进行全过程信息的管理。这种方法追溯精度高,但追溯系统运行成本较高。目前,主要应用在家畜(牛、羊、猪)养殖追溯系统中,部分家禽养殖、水产养殖追溯系统也使用这种可追溯单元划分方法。例如:陆昌华等人开发的安全猪肉可追溯系统,咎林森等开发的中国牛肉生产质量跟踪与追溯系统,都在养殖环节利用耳标对生猪、肉牛个体实现质量安全溯源^[2~3];Karlsen 等通过定性分析法、观察法和文件分析方法分析了鲑鱼供应链,确定了鲑鱼可追溯单元的大小^[4];Bertolin 等应用 FMECA 方法,有效划分了食品可追溯单元,并形成了一个描述因果关系的图结构,更便于系统推理和追溯^[5]。

1.1.2 基于批次的可追溯单元划分方法

该划分方法是将同一批次的产品视为一个可追溯单元,采用统一的编码,实现对追溯目标的产地、

品质、数量、加工过程等信息的集合管理。这种方法追溯精度低,不能精确到特定环节和个体,但追溯系统运行成本较低,适用于单体价值低、数量多的快速消费类产品。目前,多应用于加工领域,如乳品追溯系统、果蔬产品追溯系统。例如:Ruiz-Garcia 提出了基于 Web 的可追溯系统框架,集成了 2 种可追溯单元划分模型,即横向方式基于产品批次,纵向方式基于产品加工信息^[6];Thompson 等以条形码为标识载体,建立基于批次为可追溯单元的水产品生产全过程信息跟踪与追溯系统^[7]。

1.2 可追溯单元优化方法

优化可追溯单元,可以提高追溯系统精度,有效降低风险扩散和缺陷产品的召回成本。目前,应用最多的优化方法主要有 3 种,表 1 对 3 种方法做了比较与分析。

表 1 可追溯单元优化方法分析与比较
Tab.1 Analysis and comparison of traceability unit optimization methods

优化方法	面向对象	理论基础	特点
可追溯单元流程优化	批次和单体	业务流程与关键控制点	能够识别关键追溯信息而剔除冗余的追溯信息,优化可追溯单元划分与信息采集,在系统决策支持与智能化方面不足
可追溯单元混合度优化	批次	数学建模	能够有效降低可追溯单元的混合度,实现追溯系统的决策支持,实现主动追溯,但系统运算时间较长,在运算方法方面还需要进一步研究
可追溯单元建模优化	批次和单体	计算机建模	通过计算机建模能够便于对可追溯单元进行分析与描述,利于系统开发

第 1 种方法是对可追溯单元流程优化。通过对生产、加工流程进行分析,确定产品质量安全的关键控制点,分析可追溯单元质量传递关系,确定可追溯单元信息采集与管理,从而优化可追溯单元流程。卢功明等对牛肉加工环节进行了可追溯单元的划分,确定了可追溯单元分割时,子可追溯单元的标识信息要保持父可追溯单元标识信息但不同于父可追溯单元标识信息的划分规则^[8];张健等分析了肉类食品供应链可追溯单元识别与质量传递关系,确定了肉类食品供应链可追溯单元的活动形式,以可追溯单元变迁过程为依据,对肉类食品质量可追溯系统流程进行了优化,从而使可追溯系统更为简洁、实用和高效^[9]。

第 2 种方法是对可追溯单元混合度优化。通过建立数学模型,确定优化目标,降低产品批次的混合度,进而寻求最优的可追溯单元传递模型,有效地降

低产品质量安全风险扩散和不合格产品的召回成本。Dupuy 等提出了追溯系统中的批次传播问题,并基于 MILP 模型进行求解,尝试控制食品质量可追溯过程中的批次混合问题,提高追溯精度^[10]; Bollena 等研究包装过程对水果追溯精度的影响,建立了优化模型。通过优化机械设计和操作规程,能显著降低水果在包装过程中的混合度,从而提高了追溯的准确性^[11];毛志慧等从原料批次混合问题着手,提出了一种降低原料批次混合程度的混合整数规划模型,利用多目标优化方法求解最佳方案,并在某龙头水产加工企业验证,有效地缩小原料供应商的责任追踪范围^[12]。

第 3 种方法是对可追溯单元模型建模优化。利用 FMECA、Petri 网、D 型图论、模糊概率等理论,研究可追溯系统建模与优化方法,将 UML、XML、可信计算理论模型等建模技术引入可追溯系统建模中,以利于可追溯系统原型开发和提升运算速度。Allan 利用 Petri 网跟踪制造业产品过程并进行建模^[13];Antoni 集成 D 型图论与超图建立了质量追溯的描述模型^[14];Jansen-Vullers 用 Gozinto graphs 来对食品可追溯系统进行建模^[15];石峰等建立了基于行为建模的因果追溯方法,较好地解决了复杂仿真分析中因果关系追溯问题^[16]。

2 食品质量可追溯信息采集与传输关键技术

为了实现食品从农田到餐桌的全程追溯,供应链上各环节的追溯信息采集都不可或缺。因此,可追溯信息采集与传输是可追溯技术的核心部分。

2.1 可追溯信息采集技术

目前,已应用于食品质量追溯系统中的信息采集技术主要有条码识别、射频识别(Radio frequency identification,RFID)、无线传感网络(Wireless sensor networks,WSN)、时间温度指示器(Time temperature indicator,TTI)、机器视觉等技术。表 2 对这几种技术进行了比较。

表 2 不同追溯信息采集技术比较

Tab.2 Comparison of different trace information acquisition technologies							
采集技术	功能	采集距离	抗污染性	价格	耐用性	信息量	周期性
条码	识别	近	弱	很低	易损	小	一次性
RFID	识别	较远	强	较低	好	较大	循环
WSN	识别/感知	最远	强	较高	好	大	循环
TTI	感知	最近	一般	最低	易损	一般	一次性
机器视觉	识别/感知	较远	一般	最高	好	大	循环

2.1.1 条码技术

该技术通过编码、印刷、光传感等技术,将条码

所携带的数据读取出来,并转化成有意义的信息,具有视距识别、成本低、部署便捷的优点。Fröschle 等首先将 10 mm × 10 mm DM 码印制在成熟肉鸡的喙上用于个体识别,指出这一解决方案具有可行性^[17]。Mc Inerney 等验证了使用二氧化碳激光器在家禽的喙上烧写 GS1 DM 二维码,并使用扫描枪进行家禽个体识别的可行性,指出二维码能在一周内实现满意的识读率,但由于喙的生长和磨损,识读率逐渐下降。作者认为,该技术经改进后,能够用于家禽供应链的关键控制点上^[18]。赵丽等通过 UCC/EAN-128 条码对食品质量安全可追溯应用进行了深入研究,设计出符合国际物品编码协会要求的农产品追溯编码,为农产品追溯系统开发者提供了编码参考^[19]。梁琨提出以表面喷印二维条码的追溯颗粒作为谷物追溯信息的载体,基于嵌入式系统开发了二维条码、GPS 定位信息和谷物产地环境信息采集终端,终端采集到的数据通过 GPRS 网络传输^[20]。

2.1.2 RFID 技术

该技术利用射频信号的空间传输特性,实现对物体的自动识别并获取相关信息,具有多标识同时识别、重复利用、记忆容量大、抗污染能力强等特点。Regattieri 等利用 RFID 技术,以奶酪为例,设计了易腐类食品质量可追溯系统总体架构,利用试验数据证实了架构可行性与有效性^[21]。Hong 等研究了基于 RFID 的可追溯系统在台湾连锁便利店的实施,并讨论了这种经济模式的优缺点^[22]。Papetti 等开发了基于 RFID 的奶酪集成追溯系统“Infotracing”,使用 2 种 RFID 标签,结合无损检测方法(化学、感官评价和分光光度法)进行意大利奶酪的个体识别与质量分析预测,增加了供应链的透明度和管理水平^[23]。张欣露等综述了 RFID 标签的国内外发展现状,分析了技术关键点,指出了目前存在的问题以及解决问题的建议^[24]。

作为两种成本和特性具有差异的、成熟的识别技术,RFID 和条码技术常在一个可追溯体系的不同阶段中采用,以充分发挥两种技术的优势。比如,在大宗的、基于批次的追溯识别中使用 RFID,在最终零售包装的追溯识别中使用条码。Qian 等开发了小麦面粉可追溯系统(WFMTS),使用 RFID 标签进行储藏箱的物流信息记录,使用 QR 码进行小包装面粉的标识^[25]。其验证实验表明,与基于纸质记录的可追溯相比,系统可追溯时间成本减少 13%,精度提高 8%,成本增加 17.2%,但销售收入增加了 32.5%。

2.1.3 WSN 技术

伴随着消费者需求的日益提高和技术的日益进步,食品质量可追溯已不满足于仅采集供应链结构

信息,还要求能通过传感器采集供应链环境信息,提高可追溯信息采集的准确度,并动态反映食品品质及其变化趋势。Jedermann 等通过 WSN 技术,使用乙烯传感器测量乙烯浓度,预测水果在供应链过程中的成熟度。由于在系统中集成了基于 RFID 的识别技术,使传感器能够自主识别不同水果的批次和种类,并匹配相应的气体浓度特征,提高了系统的智能程度^[26]。Ma 等整合了 RFID 和 WSN 技术,用于种猪的自动化养殖信息追溯,系统应用主动 RFID 进行种猪的个体识别和生命指标的采集,指标包括了呼吸、脉搏、血压、体温,并将 RFID 读写器和 WSN 节点进行集成,以汇聚 RFID 数据和获取养殖环境的温度、气压、湿度等数据^[27]。Catarinucci 等认为气候对葡萄的生长影响重大,进而对酿造葡萄酒的品质造成影响^[28],因此,应用 WSN 监控葡萄园的气候变化和葡萄植株生长,用 RFID 跟踪采摘、酿造和销售的全过程,从而形成了 RFID 和 WSN 混合集成的监控和追溯系统。

2.1.4 时间温度指示器 TTI

TTI 是一种能够记录与跟踪食品供应链过程中的时间温度变化历程,并通过机械形变或颜色变化直接反映被监测产品的全部或者部分货架期变化的标识与感知技术。从变色机理的角度,TTI 一般被划分为化学型、微生物型、酶型和机械型(物理型)等。目前针对前 3 类 TTI 的研究较为深入,见表 3。

表 3 不同类型 TTI 的比较
Tab.3 Comparison of different TTIs

TTI 类型	原理	主要物质	特点
化学型	颜色变化	染色材料	容易操作,校准方便
微生物型	微生物生长速率	微生物	相同的温度条件下对热最敏感
酶型	酶的活性变化	酶以及反应物	应用广泛,灵活性强,参数测定容易

化学型 TTI:Galagan 等设计了基于褪色油墨的 TTI,其印刷的新鲜度标志能够在规定的时间内消失^[29]。该褪色反应基于葱醌衍生物的色变属性,颜色变化的速度易于调整,其三层薄膜易于丝网印刷,能够大量制造并用于监测食品新鲜度。Kreyenschmidt 等设计了一种可印刷的光致变色 TTI,其通过螺吡喃的紫外线(UV)光照射变色反应激活,研究针对不同反应活化能,确定了激活时间,以使该 TTI 能够正确匹配不同的易腐食品^[30]。Nga 等测试了这种 TTI 在动态温度条件下模拟真实的鲜鱼配送链的性能,结果表明该 TTI 在 2℃ 以下能以可靠性变色过程模拟新鲜度指标,证明了其监视鲜鱼供应链温度历程的潜在应用价值^[31]。

微生物型 TTI:Wanihsuksombat 等设计了基于乳酸扩散反应的微生物型 TTI,测试了 4 种底物浓度对色变反应速率的影响并建立了预测模型^[32]。测试表明改型 TTI 的反应活化能与监测食品的活化能差值小于 40 kJ/mol,能够精确模拟蔬菜和水果的品质劣变过程。Ellouze 和 Augustin 研究了“eO”TTI 在熟鸡肉、牛肉气调包装中的质量监测性能。实验模拟了静态和动态温度下,李斯特氏菌、沙门氏菌和金黄葡萄球菌等特定腐败菌的增值过程^[33]。结果表明在恶劣存储条件下,“eO”TTI 可以减少消费者被有害食物侵害的机会。

酶型 TTI:Yan 等设计了淀粉酶和淀粉反应基础上的 TTI,并通过进行 4 种底物浓度的实验确定了指示器颜色随时间温度变化的数学模型^[34]。该指示器的活化能可以通过改变淀粉酶与淀粉的比例进行调整,以匹配不同食品。

2.1.5 机器视觉技术

由于食品生产环境的复杂性,总有一些场合或环境不便于应用常规个体识别手段和环境感知手段,机器视觉技术则对恶劣环境有着更好的适应性,是对前述各种信息采集手段的有效扩展和补充。如 Ahrendt 等在 PC 机和摄像头平台上构建了松散养殖环境下的肉猪个体识别与跟踪算法和系统^[35]。算法采用 Matlab 和 C 语言混合设计,能够矫正摄像头获取较大范围机器视觉图像过程中造成的鱼眼效应失真。在测试环境下,系统实现了 3 头肉猪 8 min 的个体识别和跟踪,表明算法具有一定的鲁棒性。Garcia-Sanchez 等给出了完全基于 IEEE 802.15.4 协议的精细农业无线传感环境监测解决方案,通过多媒体传感器实现了人畜非法入侵的影像抓拍,并通过集成运动识别传感器,降低了多媒体功能运行的能耗^[36]。

2.2 可追溯信息采集过程中的优化技术

食品供应链具有参与主体多、持续时间长的特点,应用传感器进行环境参数的收集和追溯,必然面临长期监测、传输存储冗余数据和传感器能量受限、成本过高等问题。因此,信息采集过程中的优化技术与方法成为研究的热点。目前,主要有 2 种方法:

(1)通过传感器布局优化与定位,降低传感器数量与实施成本:传感器布局优化技术主要是通过传感器的合理优化布局,降低食品供应链环境中所布设的传感器数量,减少成本,提高信息传输的准确性,从而准确监控整个供应链环境变化,为食品质量可追溯提供支持。从目前文献来看,更多研究集中于食品冷链物流过程中温度参数的监测与优化。Jedermann 等研究了如何使用 RFID 标签分析局部

差异、观察温度梯度、确定保证冷藏车中温度数据准确的最少传感器数量^[37]。汪庭满等利用温度传感器监测冷链运输车内温度历程,分析冷藏车内温度场分布特征和梯度差异,应用克里金插值法确定了监控车内温度最小的传感器数量^[38]。

(2)通过压缩传感,减少所采集的数据,提高传输效率,延长传感器能量与寿命:齐林等针对无线传感器网络实时监控的食品冷链物流环境中,传感器节点的感知数据传输频率高、能耗高和监测时间短的问题,提出基于统计过程控制的感知数据压缩方法,设计了适用于传感器节点数据处理的动态-单值-滑动极差算法,测试表明算法性能在温度稳定和波动状态均与最优方法所得结果接近,具有良好的平衡性和适应性^[39]。Wang 等基于神经网络,应用滑动反向传播算法,在节点计算能力和存储能力受限的条件下,设计了用于冷链集装箱的采样温度预测方法^[40]。算法在温度和相对湿度的预测精度上较最小二乘和改进亚当斯算法有优势,结合温湿度二阶段预测的精度优势,有效降低了采样频率,延长了系统寿命。Chen 等将食品运输途中的加速度采样波形进行滤波,得到直流分量 D 、交流分量 A 和脉冲分量 P ,分别进行压缩,并使用从巴西到瑞典的瓜果冷链运输测试数据,在节点有限的计算能力和可接受的失真范围内,将压缩率提高到 90%^[41]。

同样针对传感器能量受限的问题,Nadimi 等致力于能量的实时获取,其研究将监控对象肉羊的头颈部运动作为能量来源,在最低的能量转化率情况下,每秒仍能获取 214 mW 电能,足以驱动功率为 118 mW 的传感器持续工作^[42]。

2.3 可追溯信息传输技术

信息传输是信源将信息经信道传送到信宿,并被信宿所接收的过程。这个过程包括发送、传输和接收。在进行食品质量追溯时,供应链上有多个主体参与,而这些主体一般根据自身业务需要建设各自的追溯系统。这些系统建设时缺乏统一规划,存储的数据是独立、分散的,数据源存在很大差别,形成了众多异构数据,使得各个主体之间的追溯信息传输困难。可扩展标记语言(Extensible markup language, XML)是一种允许用户根据需要自己定义标记的源语言,具有平台无关性、易于扩展、交互性好和语义性强等特点,是最常见的异构数据库之间进行电子数据交换(Electronic data interchange, EDI)与传输的标准。基于 XML 的 EDI 技术,实现数据的无缝连接和追溯信息的共享,将各个主体有效结合,从而实现食品从生产到消费的全程追溯。Storøy 等讨论了食品质量安全可追溯系统的基本框

架与指导方针,认为通过 XML 的数据交换对实施可追溯十分重要^[43];Schuster 等研究了利用基于 XML 的中间语言进行机器对机器(Machine to machine, M2M)的信息交互方法,并在佛罗里达州的柑橘标准化生产环境中进行了系统原型的测试^[44]。Domínguez 等比较了追溯系统数据传输的两种方法 XML 和 UML,发现经过改进的 XML 更加适用于可追溯系统^[45];徐焕良等利用基于本体与 XML 的数据融合技术,实现对物理上分布的企业生产数据的无缝连接和产品信息共享,使用户逻辑上面向一个综合的虚拟数据库操作,从而便捷地实现肉类食品从屠宰到销售的全程追溯^[46];杨信廷等采用可扩展标记描述各种数据结构,在分析供应链数据流基础上,总结蔬菜溯源数据模型,实现数据无缝交换^[47];谢菊芳等开发的安全猪肉可追溯系统,通过在主服务器端提供的 Web 服务来实现与 Windows 桌面程序基于 XML 的数据交换^[48]。Lobello 等提出为农产品供应链上的不同企业建立一个分布式协同信息系统,应用 XML 来适应不同大小和格式的数据结构,进行系统间的数据交换^[49];Frederiksen 等研究了应用 XML 进行丹麦水产品市场上从渔民到消费者的供应链参与主体间追溯信息交换的可行性和追溯性信息在企业间自动传递机制与模型^[50]。

3 食品质量可追溯信息处理技术

食品质量可追溯是在供应链过程中发现并追寻质量安全风险因素痕迹的可能性。从这个概念出发,选择合适模型与求解算法来描述可追溯信息流程,深度挖掘信息以便在发生时实现快速、准确定位,或提前预测质量安全状态转移,即溯源的快速定位与跟踪的前向预测,为食品质量安全提供决策支持。这方面的研究主要集中在 2 个方面。

3.1 货架期/品质预测技术

通过食品质量可追溯系统,可以获得大量的食品供应链上的信息。尽管获取的食品信息非常复杂,但通过系统研究食品腐败机制可以找到确定食品货架期的方法。例如,通过把产品置于某种特别恶劣的条件下贮藏,然后每隔一定时间进行品质检验,一般采用感官评定的方法检验产品的品质,进行多次,最后将结果外推(合理的推测)得到正常贮藏条件下的货架期。基于这种方法,结合追溯所获取的供应链环境信息(主要是温度和微生物),可以构建供应链动态条件下的货架期预测模型,准确预测不同供应链历程的食品品质,提高食品安全水平与供应链透明度。目前经常应用的模型见表 4。

表 4 主要货架期预测模型

Tab. 4 Different predicting models of shelf life

模型名称	原理	基本公式	适用范围
微生物生长动力学模型	特定腐败菌数量与食品品质的关系	$y(t) = y_0 + \mu_{\max} A(t) - \frac{1}{m} \ln \left(1 + \frac{e^{\mu_{\max} A(t)} - 1}{e^{m(\gamma_{\max} - \gamma_0)}} \right)$ $A(t) = t - \lambda + \frac{\ln(1 - e^{-vt} + e^{-v(t-\lambda)})}{v}$	腐败主要由微生物引起的食品
T-T-T 模型	食品的温度-时间-耐藏性之间的关系	$SL = \left(1 - \frac{1}{24} \sum_{i=1}^m \frac{1}{d_i} \right) d_i$	温度敏感的食品
Arrhenius 模型	食品化学成分变化与品质之间的关系	$k = k_0 e^{-\frac{E_a}{RT}}$	腐败主要由自身分解引起的食品

3.1.1 微生物生长动力学模型

一般条件下,只有部分微生物参与腐败过程,这些适合生存和繁殖并产生腐败臭味和异味代谢产物的微生物就是该产品的特定腐败菌。特定腐败菌是造成腐败的主要因素,其细菌数和产品的鲜度以及剩余货架期之间存在密切关系,可以通过细菌数量的多少来判断食品货架期。Theofania 等验证了海狸片中腐败菌的生长动力学模型^[51]。Shaohua 等研究了罗非鱼中的化学成分以及微生物的变化情况,并建立其生长动力学模型及货架期预测模型^[52]。

3.1.2 T-T-T(time, temperature, tolerance)模型

温度是影响食品货架期的主要因素,而且是不受食品包装类型影响的因素,可以通过时间-温度积累效应指示食品的温度变化历程和剩余货架期信息。Lester 研究了 TTT 理论,指出冷冻食品所经历的时间-温度过程决定产品的耐藏性,提出了保持冷冻食品所容许的贮藏时间和温度的界限^[53];谷雪莲等利用电子式时间-温度指示器监测了不同温度-时间存放的牛乳剩余货架期变化,同时采用生物化学方法对牛乳的品质进行检测^[54]。

3.1.3 Arrhenius 模型

在食品供应链过程中,产品品质的变化往往伴

随着产品化学成分的变化,所形成的物质与货架期存在一定的关系,因此,对食品的关键化学成分进行监控和记录,通过其变化可以预测食品货架期。José M L 等研究了牛奶的理化性能和感官特性的变化情况,并构建了货架期预测模型来预测牛奶的货架期^[55]。Tsironi 等通过测定不同温度条件下虾中 TVB-N 和 TMA 的含量,利用 Arrhenius 等式建立货架期模型,在实际的冷链中用来预测虾的货架期^[56];赵淑娥以鱼糜制品为研究对象,在不同贮藏温度下对鱼丸的 TBA 值变化情况进行研究,并以 TBA 值判断不同贮藏温度下鱼丸的货架期终点^[57]。

3.2 食品质量诊断与控制技术

为了保证食品供应链过程中的质量安全,通过分析食品质量安全风险因素与表征标识,总结食品质量安全风险传播规律及模式,建立相应的故障诊断规则,有助于发现追溯中潜在的薄弱环节,快速发现食品安全故障,实施快速召回,防止故障的扩散与恶化;同时提出可能采取的预防改进措施,消除或减少危害发生的可能性,提高追溯系统可靠性及安全性水平。目前应用较多的故障诊断及控制模型见表 5。

表 5 不同质量诊断与控制模型

Tab. 5 Different quality diagnosis and control models

模型	原理	应用范围
FMECA	对失效模式的严重度、频度和探测度进行风险评估,通过量化指标确定高风险的失效模式,并制定预防措施加以控制	能够准确划分系统的每项任务、每个任务的阶段、各种工作方式主要与次要的功能,以及能够给出故障判据、环境条件等约束条件的系统
Petri 网	在条件和事件为节点的有向二分图基础上添加表示状态信息的托肯分布,并按引发规则使得事件驱动状态演变,从而反映系统动态运行过程	由离散事件组成的系统,事件之间有一定的相互依赖关系,这些依赖关系可以通过系统的状态来反映
HACCP 体系	通过进行危害分析确定各关键控制点,制定关键限值,并通过限值确定控制措施与纠偏措施,并建立有关以上原则和应用方面各项程序和记录的档案	对于简单和复杂的系统都能应用
统计过程控制	对生产过程进行分析评价,根据反馈信息及时发现系统性因素出现的征兆,并采取措施消除其影响,使过程维持在仅受随机性因素影响的受控状态,以达到控制质量的目的	基本上所有产品都能使用,并且为事前预防为主,降低了企业的生产成本和风险,保证产品质量

3.2.1 FMECA 模型

FMECA(故障状况影响和关键点分析, Failure modes, effects and criticality analysis)的关键点是:分析产品所有可能的故障模式及可能产生的影响,并按每个故障模式产生影响的严重程度及其发生概率进行分类,其特点是在分类的基础上进行归纳分析。Massimo 等将 FMECA 方法应用于食品 and 食品生产过程,探测可追溯系统中的关键点^[58];吕顺意等将风险分析方法 FTA 和 FMECA 引入到食品行业,构建出一套确定肉类产品危害发生原因的溯源方法,并以肉牛屠宰企业中大肠菌群超标问题为例进行实证研究^[59]。

3.2.2 Petri 网

Petri 网是一种可以用网状图表示的数学模型,综合了数据流、控制流和状态转移,能方便地监视系统的分布、并发、同步、异步、冲突等特性,是严格数学意义的图形建模工具,具有很强的功能分布和功能描述能力。Tianlong 等利用 Petri 网对核反应进行了出错诊断,准确性很高,能够准确诊断核反应的错误^[60];刘伟荣等对生鲜肉冷链物流应用时间 Petri 网理论对冷链物流流程建模,研究冷链物流运作效率^[61]。

3.2.3 HACCP 体系(危害分析和关键控制点)

HACCP 是对生产加工过程中可能造成食品污染的各种危害因素进行系统和全面的分析,从而确定能有效预防、减轻或消除危害的加工环节,进而在关键控制点对危害因素进行控制,对控制效果进行监控,当发生偏差时予以纠正,从而达到消除食品污染的目的。Koutsoumanis 等在对冷藏食品链的关键控制点进行风险评估和预测的基础上,开发了冷藏食品质量监测和安全保证系统^[62];黄静等为了保证肉牛屠宰流程的质量安全,运用 HACCP 体系规范整个屠宰流程,确定肉牛屠宰质量安全控制的关键点信息^[63]。

3.2.4 统计过程控制

统计过程控制是应用统计技术对过程中的各个阶段进行评估和监控,建立并保持过程处于可接受的且稳定的水平,从而保证产品与服务符合规定要求的一种质量管理技术。通过利用统计过程控制既能分析过程的稳定性,又能计算过程能力指数,对过程质量进行评价。Mertens 等运用历史数据建立了一个非线性模型来反应随着母鸡年龄的增长鸡蛋重量增长的自然趋势,并设计了质量控制图^[64]。余宗

乔研究了统计过程控制在食品中的应用,通过对产品质量指标的监控达到产品质量改进和管理的目的^[65]。任晰等集成统计过程控制与故障树诊断模型,构建了水产品加工过程中的质量跟踪与溯源模型^[66]。

4 发展趋势分析

(1)可追溯单元划分已经从随意划分发展到建模优化。可追溯单元从最初的简单划分发展到利用风险分析、系统优化等理论对农产品可追溯单元从产品、技术和经济角度进行划分,从而确定合理的可追溯单元大小,实现风险的预先控制,减低可能出现的风险损失。

(2)信息采集技术已经从人工采集发展到智能化数据采集。对于食品质量安全信息的采集已经从最初的纸质记录形式发展到集成传感器的智能化采集,不仅能够采集食品生产的基础信息,而且能将食品供应链的环境信息一并采集,形成更完整的数据和信息体系,从而提高追溯的准确性。

(3)信息传输已经从自主开发发展到应用标准化传输方式。可追溯信息传输已经从最初的不同供应链主体各自设计开发自身的数据传输模式,发展到应用统一的、标准化的信息传输方式,有效增加了系统的兼容性,提高了可追溯信息的传输效率,实现了不同供应链主体的无缝连接,有助于食品质量安全可追溯体系的顺利实施。

(4)可追溯系统已经从事后追查与召回发展到对食品品质的事前预测与控制。从可追溯系统在食品出现问题时通过查询追溯信息定位,发展到通过系统建模,甚至集成生物 DNA 识别技术,实现了食品供应链过程中品质预测与控制,从而使可追溯系统更加全面地为管理者提供决策支持。

(5)可追溯系统功能从简单信息记录发展到智能化决策支持。随着科技的不断进步,可追溯系统功能由最初的食品信息记录查询逐步转向集成多种人工智能、数据挖掘等技术,为质量安全管理人员与监管部门提供辅助性决策支持。

需要指出的是,本文没有涉及到基于 PCR-RFLP、近红外光谱、核磁共振、同位素等技术的食品溯源和掺假检测研究,主要考虑到这些技术更多是对企业或供应链所提供的食品追溯信息的验证或确证,本身并不是应用于食品追溯信息采集或处理。

参 考 文 献

- 1 Moe T. Perspectives on traceability in food manufacture[J]. Trends in Food Science & Technology, 1998, 9(5): 211 ~ 214.
- 2 孙致陆, 肖海峰. 农户参加猪肉可追溯系统的意愿及其影响因素[J]. 华南农业大学学报: 社会科学版, 2011, 10(3): 51 ~ 58.
Sun Zhilu, Xiao Haifeng. Farmers' will and its influence factors for participating in the traceability system of pork[J]. Journal of South China Agricultural University: Social Science Edition, 2011, 10(3): 51 ~ 58. (in Chinese)
- 3 咎林森, 郑同超, 申光磊, 等. 牛肉安全生产加工全过程质量跟踪与追溯系统研发[J]. 中国农业科学, 2006, 9(10): 2 083 ~ 2 088.
Zan Linsen, Zheng Tongchao, Shen Guanglei, et al. Design and development of quality traceability information management system and safety of the beef production's entire processes[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2006, 9(10): 2 083 ~ 2 088. (in Chinese)
- 4 Karlsen K M, Donnelly K A M, Olsen P. Granularity and its importance for traceability in a farmed salmon supply chain[J]. Journal of Food Engineering, 2011, 102(1): 1 ~ 8.
- 5 Bertolin I M, Bevilacqua M, Massini R. FMECA approach to product traceability in the food industry[J]. Food Control, 2006, 17(2): 137 ~ 145.
- 6 Ruiz-garcia L, Steinberger G, Rothmund M. A model and prototype implementation for tracking and tracing agricultural batch products along the food chain[J]. Food Control, 2010, 21(2): 112 ~ 121.
- 7 Thompson M, Sylvia G, Tmorrissey M. Seafood traceability in the unite states, system design and potential application[J]. Comprehensive Reviews Food Science and Food Safety, 2005, 1(1): 1 ~ 7.
- 8 卢功明, 张小栓, 穆维松, 等. 牛肉加工质量可追溯数据采集与传输方法[J]. 计算机工程与设计, 2009(15): 3 657 ~ 3 659.
Lu Gongming, Zhang Xiaoshuan, Mu Weisong, et al. Method of quality traceability data acquisition and transmission for beef processing[J]. Computer Engineering and Design, 2009(15): 3 657 ~ 3 659. (in Chinese)
- 9 张健, 刘丽欣, 张小栓, 等. 肉类食品安全可追溯系统中的流程优化建模[J]. 食品科学, 2008, 29(2): 451 ~ 455.
Zhang Jian, Liu Lixin, Zhang Xiaoshuan, et al. Optimization analysis of process flow in meat food traceability system[J]. Food Science, 2008, 29(2): 451 ~ 455. (in Chinese)
- 10 Dupuy C, Botta-Genoula Z V, Guinet A. Batch dispersion model to optimize traceability in food industry[J]. Journal of Food Engineering, 2005, 70(3): 333 ~ 339.
- 11 Bollena A F, Ridena C P, Coxb N R. Agricultural supply tracebility, part I: role of packing procedures and efforts of fruit mixing [J]. Biosystems Engineering, 2007, 98(4): 391 ~ 400.
- 12 毛志慧, 陈新度, 胡常伟, 等. 面向虾产品质量追溯优化原料批次混合问题研究[J]. 工业工程, 2012, 15(5): 45 ~ 50.
Mao Zhihui, Chen Xindu, Hu Changwei, et al. A study on raw material batch mixing problem for optimal quality tracing of shrimp products[J]. Industrial Engineering Journal, 2012, 15(5): 45 ~ 50. (in Chinese)
- 13 Allan C. Petri nets, traces, and local model checking[J]. Theoretical Computer Science, 1997, 183(2): 229 ~ 251.
- 14 Anton I M, Gunter S. On traceable powers of digraphs[J]. Discrete Mathematics, 2000, 212(1 ~ 2): 121 ~ 128.
- 15 Jansen-Vullers M H, Van-Dorp C A, Beulens A J M. Managing traceability information in manufacture[J]. International Journal of Information Management, 2003, 23(5): 395 ~ 413.
- 16 石峰, 吴东坡, 李群, 等. 面向复杂仿真因果追溯的行为建模方法[J]. 系统仿真学报, 2007, 19(2): 405 ~ 409.
Shi Feng, Wu Dongpo, Li Qun, et al. Behavior modeling approach for causal tracing of complex simulation[J]. Journal of System Simulation, 2007, 19(2): 405 ~ 409. (in Chinese)
- 17 Frösche 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.
- 18 Mc Inerney B, Corkery G, Ayalew G, et al. Preliminary in vivo study on the potential application of a novel method of e-tracking to facilitate traceability in the poultry food chain[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2011, 77(1): 1 ~ 6.
- 19 赵丽, 邢斌, 李文勇, 等. 基于手机二维条码识别的农产品质量安全追溯系统[J]. 农业机械学报, 2012, 43(7): 124 ~ 129.
Zhao Li, Xing Bin, Li Wenyong, et al. Agricultural products quality and safety traceability system based on two-dimension barcode recognition of mobile phones[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(7): 124 ~ 129. (in Chinese)
- 20 梁琨, 沈明霞, 葛玉峰, 等. 基于二维条码和 ARM 的谷物溯源采集系统[J]. 农业工程学报, 2012, 28(增刊 2): 167 ~ 171.
Liang Kun, Shen Mingxia, Ge Yufeng, et al. Acquisition and transmission system for grain traceability based on two-dimensional barcode and ARM[J]. Transactions of the CSAE, 2012, 28(Supp. 2): 167 ~ 171. (in Chinese)
- 21 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.
- 22 Hong I, Dang J F, Tsai Y H, et al. An RFID application in the food supply chain; a case study of convenience stores in Taiwan [J]. Journal of Food Engineering, 2011, 106(2): 119 ~ 126.

- 23 Papetti P, Costa C, Antonucci F, et al. A RFID web-based infotracing system for the artisanal Italian cheese quality traceability [J]. *Food Control*, 2012, 27(1): 234 ~ 241.
- 24 张欣露, 王成, 吴勇. 集成传感器电子标签在农产品溯源体系中的应用[J]. *农业机械学报*, 2009, 40(增刊): 129 ~ 133.
- Zhang Xinlu, Wang Cheng, Wu Yong. Sensors integration RFID tags for agricultural traceability [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2009, 40(Supp.): 129 ~ 133. (in Chinese)
- 25 Qian J P, Yang X T, Wu X M, 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.
- 26 Jedermann R, Behrens C, Westphal D, et al. Applying autonomous sensor systems in logistics—combining sensor networks, RFIDs and software agents[J]. *Sensors and Actuators A: Physical*, 2006, 132(1): 370 ~ 375.
- 27 Ma C, Wang Y, Ying G. The pig breeding management system based on RFID and WSN [C] // 2011 Fourth International Conference on Information and Computing (ICIC), 2011: 30 ~ 33.
- 28 Catarinucci L, Cui As I, Exposito I, et al. RFID and WSNs for traceability of agricultural goods from farm to fork: electromagnetic and deployment aspects on wine test-cases [C] // 2011 19th International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks (SoftCOM), IEEE, 2011: 1 ~ 4.
- 29 Galagan Y, Su W F. Fadable ink for time-temperature control of food freshness: novel new time-temperature indicator[J]. *Food Research International*, 2008, 41(6): 653 ~ 657.
- 30 Kreyenschmidt J, Christiansen H, Hubner A, et al. A novel photochromic time-temperature indicator to support cold chain management[J]. *International Journal of Food Science and Technology*, 2010, 45(2): 208 ~ 215.
- 31 Nga M, Audorff H, Reichstein W, et al. Performance of a photochromic time-temperature indicator under simulated fresh fish supply chain conditions[J]. *International Journal of Food Science and Technology*, 2011, 46(2): 297 ~ 304.
- 32 Wanihsuksombat C, Hongtrakul V, Suppakul P. Development and characterization of a prototype of a lactic acid-based time-temperature indicator for monitoring food product quality[J]. *Journal of Food Engineering*, 2010, 100(3): 427 ~ 434.
- 33 Ellouze M, Augustin J C. Applicability of biological time temperature integrators as quality and safety indicators for meat products [J]. *International Journal of Food Microbiology*, 2010, 138: 119 ~ 129.
- 34 Yan S, Huawei C, Limin Z, et al. Development and characterization of a new amylase type time-temperature indicator[J]. *Food Control*, 2008, 19(3): 315 ~ 319.
- 35 Ahrendt P, Gregersen T, Karstoft H. Development of a real-time computer vision system for tracking loose-housed pigs [J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2011, 76(2): 169 ~ 174.
- 36 Garcia-Sanchez A J, Garcia-Sanchez F, Garcia-Haro J. Wireless sensor network deployment for integrating video-surveillance and data-monitoring in precision agriculture over distributed crops[J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2011, 75(2): 288 ~ 303.
- 37 Jedermann R, Ruiz-Garcia L. Spatial temperature profiling by semi-passive RFID loggers for perishable food transportation[J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2009, 65(2): 145 ~ 154.
- 38 汪庭满, 张小栓, 陈炜, 等. 基于无线射频识别技术的罗非鱼冷链物流温度监控系统[J]. *农业工程学报*, 2011, 27(9): 141 ~ 146.
- Wang Tingman, Zhang Xiaoshuan, Chen Wei, et al. RFID-based temperature monitoring system of frozen and chilled tilapia in cold chain logistics[J]. *Transactions of the CSAE*, 2011, 27(9): 141 ~ 146. (in Chinese)
- 39 齐林, 田东, 张健, 等. 基于 SPC 的农产品冷链物流感知数据压缩方法[J]. *农业机械学报*, 2011, 42(10): 129 ~ 134.
- Qi Lin, Tian Dong, Zhang Jian, et al. Sensing data comparison method based on SPC for agr-food cold chain logistics [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2011, 42(10): 129 ~ 134. (in Chinese)
- 40 Wang X, Jabbari A, Jedermann R, et al. Adaptive data sensing rate in ad-hoc sensor networks for autonomous transport application [C] // 2010 13th Conference on Information Fusion (FUSION), IEEE, 2010: 1 ~ 8.
- 41 Chen J, Pang Z, Zhang Z, et al. A novel acceleration data compression scheme for wireless sensor network application in fresh food tracking system [C] // 9th International Conference on Electronic Measurement & Instruments, ICEMI09. IEEE, 2009: 31 ~ 35.
- 42 Nadimi E, Blanes-Vidal V, J Rgensen R N, et al. Energy generation for an ad hoc wireless sensor network-based monitoring system using animal head movement[J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2011, 75(2): 238 ~ 242.
- 43 Storøy J, Thakur M, Olsen P. The trace food framework-principles and guidelines for implementing traceability in food value chains[J]. *Journal of Food Engineering*, 2013, 115(1): 41 ~ 48.
- 44 Schuster E W, Lee H G, Ehsani R, et al. Machine-to-machine communication for agricultural systems: an XML-based auxiliary language to enhance semantic interoperability[J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2011, 78(2): 150 ~ 161.
- 45 Domínguez E, Lloret J, Prez B, et al. Evolution of XML schemas and documents from stereotyped UML class models: a traceable approach[J]. *Information and Software Technology*, 2011, 53(1): 34 ~ 50.
- 46 徐焕良, 陆荣和, 彭增起, 等. 基于产品生命周期管理的肉品车间生产跟踪及追溯体系研究[J]. *农业工程学报*, 2007, 23(12): 161 ~ 166.

Xu Huanliang, Lu Ronghe, Peng Zengqi, et al. Meat-production chain tracking and traceability system based on product lifecycle management[J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(12): 161 ~ 166. (in Chinese)

47 杨信廷, 钱建平, 赵春江, 等. 基于 XML 的蔬菜溯源信息描述语言构建及在数据交换中的应用[J]. 农业工程学报, 2007, 23(11): 201 ~ 205.

Yang Xinting, Qian Jianping, Zhao Chunjiang, et al. Construction of information description language for vegetable traceability based on XML and its application to data exchange[J]. Transactions of the CSAE, 2007, 23(11): 201 ~ 205. (in Chinese)

48 谢菊芳, 陆昌华, 李保明, 等. 基于 .NET 构架的安全猪肉全程可追溯系统实现[J]. 农业工程学报, 2006, 22(6): 218 ~ 220.

Xie Jufang, Lu Changhua, Li Baoming, et al. Implementation of pork traceability system based on .NET framework[J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22(6): 218 ~ 220. (in Chinese)

49 Lobello L, Mirabella O, Torrisi N. Modelling and evaluating traceability systems in food manufacturing chains[C]//13th IEEE International Workshops on Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprises, IEEE, 2004: 173 ~ 179.

50 Frederiksen M, Osterberg C, Silberg S, et al. Info-Fisk. Development and validation of an internet based traceability system in a Danish domestic fresh fish chain[J]. Journal of Aquatic Food Product Technology, 2002, 11(2): 13 ~ 34.

51 Theofania T, Anastasios S, Marianna G, et al. Predictive modelling and selection of time temperature integrators for monitoring the shelf life of modified atmosphere packed gilthead seabream fillets[J]. LWT-Food Science and Technology, 2011, 44(4): 1 156 ~ 1 163.

52 Shaohua X, Zetian F, Lorena D, et al. Shelf life modeling of tilapia in the cold chain[J]. Journal of Food, Agriculture & Environment, 2012, 10(3 ~ 4): 257 ~ 260.

53 Lester E J. Freezing effects on food quality[M]. New York: Marcel Dekker Inc., 1995.

54 谷雪莲, 杜巍, 华泽钊, 等. 预测牛乳货架期的时间-温度指示器的研制[J]. 农业工程学报, 2005, 21(10): 142 ~ 146.

Gu Xuelian, Du Wei, Hua Zezhao, et al. Development of time-temperature indicator to predict shelf life of milk[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(10): 142 ~ 146. (in Chinese)

55 José M L, Sara T, Roberto B, et al. Changes in physico-chemical, microbiological, textural and sensory attributes during ripening of dry-cured foal salchichón[J]. Meat Science, 2012, 90(1): 194 ~ 198.

56 Tsironi T, Dermesonlouglou E, Giannakourou M. Shelf life modeling of frozen shrimp at variable temperature conditions[J]. LWT-Food Science and Technology, 2009, 42(2): 664 ~ 671.

57 赵淑娥. 硫代巴比妥酸法(TBA 模型)预测鱼糜制品保藏货架期研究[J]. 食品科技, 2012(2): 26 ~ 27.

Zhao Shue. TBA model of surimi shelf life predicting[J]. Food Science & Technology, 2012(2): 26 ~ 27. (in Chinese)

58 Massimo B, Maurizio B. FMECA approach to product traceability in the food industry[J]. Food Control, 2006, 17(2): 137 ~ 145.

59 吕顺意, 张小栓, 张健, 等. 基于 FTA/FMECA 的肉类食品危害溯源方法[J]. 食品科学, 2010(17): 115 ~ 119.

Lü Shunyi, Zhang Xiaoshuan, Zhang Jian, et al. An FTA/FMECA-based traceability method for hazard identification in meat foods[J]. Food Science, 2010(17): 115 ~ 119. (in Chinese)

60 Tianlong G, Parisa A Bahri. A survey of Petri net applications in batch processes[J]. Computers in Industry, 2002, 47(1): 99 ~ 111.

61 刘伟荣, 袁群. 基于时间 Petri 网的生鲜肉冷链物流流程建模研究[J]. 物流技术, 2012, 31(9): 289 ~ 292, 360.

Liu Weirong, Yuan Qun. Study on modeling of fresh meat product cold chain logistics process based on temporal Petri nets[J]. Logistics Technology, 2012, 31(9): 289 ~ 292, 360. (in Chinese)

62 Koutsoumanis K, Taoukis P S, Nychas G J E. Development of a safety monitoring and assurance system for chilled food products[J]. International Journal of Food Microbiology, 2005, 100(1 ~ 3): 253 ~ 260.

63 黄静, 赵洁, 沈维政. 基于 Web 的肉牛屠宰质量安全可追溯系统研究与设计[J]. 东北农业大学学报, 2012, 43(5): 83 ~ 86.

Huang Jing, Zhao Jie, Shen Weizheng. Research and design of traceability system for quality safety of beef slaughter based on Web[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2012, 43(5): 83 ~ 86. (in Chinese)

64 Mertens K, Vaeson I, Loffel J. Data-based design of an intelligent control chart for the daily monitoring of the average egg weight[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2008, 61(2): 222 ~ 232.

65 余宗乔. 统计过程控制在食品安全管理中的应用[D]. 北京:北方工业大学, 2007.

Yu Zongqiao. The application of statistical process control in food safety management[D]. Beijing: North China University of Technology, 2007. (in Chinese)

66 任晰. 水产品加工过程质量安全可追溯系统研究[D]. 北京:中国农业大学, 2009.

Ren Xi. The study on quality traceability system for processed aquatic products[J]. Beijing: China Agricultural University, 2009. (in Chinese)