

新一代信息技术对农产品追溯系统智能化影响的综述

钱建平, 吴文斌, 杨 鹏*

(中国农业科学院农业资源与农业区划研究所/农业农村部农业遥感重点实验室, 北京 100081)

摘 要: 从为应对疯牛病问题至今, 追溯系统作为农产品及食品质量安全保障的有效手段引入已有近 30 a, 如何降低追溯断链化、增强追溯可信度、提升质量预警力, 已成为追溯系统研究的热点, 也是应用中亟待解决的问题。该文基于国内外相关文献, 瞄准热点问题, 综述了新一代信息技术对农产品追溯系统智能化的影响。首先, 提出了追溯系统从 1.0 到 3.0 的发展历程, 总结了追溯系统 1.0 以信息记录为主、2.0 以数据整合为主、3.0 以智能决策为主的核心特征; 其次, 描述了以物联网、大数据、云计算、人工智能、区块链等为核心的新一代信息技术之间在信息感知、数据处理、高效计算、智能分析、加密防伪等方面各有侧重又相互关联的内在关系, 分析了大数据、人工智能及区块链的发展趋势; 最后, 从人工智能技术降低追溯过程断链程度、大数据技术提升质量安全预警能力、区块链技术增强全程追溯可信度等 3 个方面, 综述了相关研究, 结合发展趋势提出了深入研究的方向, 即人工智能从供应链内部及供应链之间提升追溯粒度, 大数据从微观、中观及宏观层面实现预测与优化, 区块链从追溯区块结构优化、隐私保护及共识算法等方面增强追溯可信度。该文为把握农产品追溯系统发展趋势、研究热点、应用瓶颈提供有益参考。

关键词: 农产品; 追溯; 新一代信息技术; 人工智能; 大数据; 区块链; 食品安全

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2020.05.021

中图分类号: TP301; S23

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2020)-05-0182-10

钱建平, 吴文斌, 杨 鹏. 新一代信息技术对农产品追溯系统智能化影响的综述[J]. 农业工程学报, 2020, 36(5): 182—191. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2020.05.021 http://www.tcsae.org

Qian Jianping, Wu Wenbin, Yang Peng. Review on agricultural products smart traceability system affected by new generation information technology[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2020, 36(5): 182—191. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2020.05.021 http://www.tcsae.org

0 引 言

食品安全问题已成为重要的全球性问题^[1]。追溯系统作为食品质量安全保障的有效手段, 从为应对疯牛病问题被引入至今已有近 30 a^[2]。虽然对于可追溯性的定义, 目前还没有完全统一, 但大部分定义均强调: 追溯不只是食品本身还应包含其原料、组分等, 追溯应该是覆盖生产、加工、流通的所有阶段, 追溯需具备跟踪追寻痕迹的能力^[3-4]。在技术体系上, 集产品标识、信息感知、数据交换等为基础的追溯技术体系已基本形成^[5]; 在系统应用上, 欧盟、美国、加拿大、澳大利亚等国家及地区相继建立了针对牛肉、果品、水产品等的追溯系统^[6-7]。中国追溯系统的研究和应用虽起步较晚, 但发展较快, 基本形成了与国外主流研究保持同步的态势^[8-12]; 并形成了以政府为主导的外部追溯和以企业为主导的内部追溯等应用模式^[13]。

从农田到餐桌的追溯系统是以供应链为基础的, 供应链各组织间的物流形成了单向或多向的信息流, 组成

了一个共同参与、相互协同的网链^[14]。由于网链中的批次转换、信息传递使得物流与信息流无法有效衔接, 导致追溯断链^[15]; 另一方面, 已有的信息采集和录入方式对供应链各主体没有有效的约束机制, 使得数据的真实性不能得到保证, 导致信任缺失^[16]; 而且, 目前的追溯系统以信息管理和追溯查询为主, 对于质量安全的预测预警能力偏弱, 导致质量安全控制不足^[17]。因此, 迫切需要在已有追溯技术及系统的基础上进行智能化提升, 以降低追溯断链化、增强追溯可信度、提升质量控制力。

作为七大战略性新兴产业之一, 新一代信息技术产业不仅可以形成具有一定规模的新兴增长点, 而且为传统产业转型构建了关键基础^[18]。以大数据、人工智能、区块链等为代表的新一代信息技术也为追溯技术和系统的智能化提升提供了有力的支撑。本文通过理清追溯系统发展的脉络; 分析了新一代信息技术的内在联系及技术特征; 从人工智能技术降低追溯过程断链程度、大数据技术提升质量安全预警能力、区块链技术增强全程追溯可信度等 3 个方面综述了追溯技术及系统的发展趋势。通过综述和分析, 本文首次提出了追溯系统从 1.0 到 3.0 的发展历程, 分析了追溯系统的智能化提升趋势, 为把握追溯系统发展趋势、研究热点、应用瓶颈提供有益参考。

1 追溯系统发展历程

对于追溯及追溯系统的研究, 笔者整理了从 2013 年至今发表的有代表性的综述文献, 如表 1 所示。从

收稿日期: 2019-11-18 修订日期: 2020-01-22

基金项目: 国家自然科学基金项目 (31971808); 中国农业科学院科技创新工程引进英才“智慧农业”项目 (962-3)

作者简介: 钱建平, 博士, 研究员, 主要从事农产品智慧供应链管理与追溯技术研究。Email: qianjianping@caas.cn

*通信作者: 杨 鹏, 博士, 研究员, 主要从事农业资源管理与智慧农业研究。Email: yangpeng@caas.cn

表中可见，已有文献大多从追溯系统的重要性、法律法规、标准规范、技术体系及应用情况进行总结和分

析，同时结合区块链技术探讨追溯的可能应用场景也成为热点。

表 1 2013 年至今有代表性的追溯综述文献

Table 1 Review literatures on agricultural products traceability from 2013

作者（年） Authors (Year)	题名 Title	关键词 Key words	核心内容 Main content
Creydt and Fischer (2019) ^[19]	Blockchain and more - Algorithm driven food traceability	Block chain; Traceability; Food fraud; Authenticity; Food chain	区块链技术的介绍及其在食品工业中的可能应用场景
Olsen and Borit (2018) ^[20]	The components of a food traceability system	Traceability; Food traceability; Traceability system; Traceability resource unit; Product attribute; Product identification; Product transformation	重点从追溯资源单元及其转化方面进行了分析
Bai et al. (2017) ^[21]	Traceability technologies for farm animals and their products in China	Food traceability; Meat traceability; Traceability technologies; Packaging traceability; Identification	根据畜及畜产品从识别、数据库、信息流等方面进行了综述并介绍了中国的应用
Badia-Melis et al. (2015) ^[15]	Food traceability: New trends and recent advances. A review	Food traceability; Food control; Traceability systems; Internet of things	综述了射频识别（radio frequency identification, RFID）、近场通信（near field communication, NFC）、同位素分析、DNA 测序等新技术在食品追溯上的使用
杨信廷等(2014) ^[22] Yang et al. (2014)	农产品及食品质量安全追溯系统关键技术研究进展 Key technologies for establishment agricultural products and food quality safety traceability systems	追溯；农产品；食品；质量安全；技术体系 Traceability; Agricultural products; Food; quality safety; Technology system	从编码标识、信息采集、预警决策、数据交换四方面综述了国内外研究进展，并提出了物联网下的技术体系框架
王东亭等(2014) ^[23] Wang et al. (2014)	世界主要农业发达地区农产品追溯体系发展现状 Development of agri-products traceability in main developed agriculture region of the world	农产品；标准；信息系统；追溯；法律；实施 Agricultural products; Standards; Information systems; Traceability; Law; Implement	从追溯法律与法规、标准与规范、推动与实施 3 个层面阐述了世界主要农业发达地区农产品追溯体系的推进和最新发展情况
傅泽田等(2013) ^[24] Fu et al. (2013)	食品质量安全可追溯关键技术研究 Development trend of food quality safety traceability technology	食品安全；可追溯系统；关键技术 Food safety; Traceability system; Key technology	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

追溯系统的基本要素是产品跟踪与识别、供应链信息采集与管理、数据集成与查询分析；这些要素与信息技术有着密切关联，且目前已有的追溯系统都是以各类

信息技术的综合应用为基础的，因此本文以信息技术发展主线为依据总结了追溯系统 1.0-3.0 的发展历程，结果如表 2 所示。

表 2 追溯系统 1.0-3.0 发展历程及其特征

Table 2 Development stages and features of traceability system from 1.0 to 3.0

阶段 Stages	时间 Period	特征 Features	表现 Expressions
追溯系统 1.0 Traceability system 1.0	20 世纪 90 年代—2007 年左右 Around 1990s—2007	信息记录为主 Information record	更多是从法律法规层面对食品追溯进行明确和约定；简单的信息记录系统，不管是纸质记录还是电子记录；中国虽起步较晚，但整体推进较快。物联网技术发展为追溯信息实时感知提供了重要支撑；各环节信息的整合已成为全供应链追溯的迫切要求；构建适合粒度的追溯系统已成为可持续应用的重要问题。
追溯系统 2.0 Traceability system 2.0	2008—2015 年左右 From 2008 to 2015	数据整合为主 Data integration	智能化决策已成为深入发展的需求；人工智能等新一代信息技术的发展为智能提升提供了条件。
追溯系统 3.0 Traceability system 3.0	2016 年至今 Until 2016 to date	智能决策为主 Intelligent decision-making	

1.1 追溯系统 1.0（20 世纪 90 年代-2007 年左右）：信息记录为主

20 世纪 80 年代，受可持续发展思想的影响，可持续农业的概念得以确立，并在全世界范围内传播，农业的可持续发展要求之一就是保障农产品的质量安全，农产品及食品的质量安全问题逐渐引起了人们的重视^[25]。1996 年，以疯牛病为代表的食品安全危机爆发，从欧盟到美国、日本再到中国，一系列食品安全事件使食品安全问题受到高度关注^[26]。农产品及食品追溯系统最初由欧盟为应对疯牛病问题开始被引入并逐步建立^[27]，形成了以《第 178/2002 号法案》为核心的食品质量安全管理法律体系^[28]。同时，欧盟从 2002 年开始推动了基于 30 多个子追溯计划的系统，致力于促进欧盟食品追溯的研究与实施^[27]。美国食品药品监督管理局（food and drug administration, FDA）提出了从业者登记制度，以便进行

食品安全跟踪与追溯，并要求于 2003 年 12 月 12 日前必须向 FDA 登记；《食品安全跟踪条例》也于 2004 年 5 月公布，要求相关企业建立并保全食品流通的全过程记录^[23]。日本的追溯制度最先从牛肉建立，2003 年 12 月 1 日开始实施《牛只个体识别情报管理特别措施法》；2004 年 12 月开始立法实施牛肉以外食品的追溯制度^[29]。

中国自 2003 年原国家质量监督检验检疫总局启动“中国条码推进工程”，推动采用 EAN.UCC 系统以来，各部委及地方政府积极开展追溯系统的应用。农业农村部自 2004 年实施“城市农产品质量安全监管系统试点工作”，探索建立种植业、农垦、动物标识及疫病、水产品 4 个专业追溯体系^[30]；南京市以优质农产品标志为质量溯源的重要载体，启动农产品质量 IC 卡管理体系^[31]；天津市以“放心菜”工程为依托，开展了蔬菜追溯系统的示范应用^[32]。

纵观这一时期的追溯系统,可以看出:1)追溯系统是作为质量安全保障的有效措施被引入食品工业的,这一时期更多是从法律法规层面对食品追溯进行明确和约定;2)根据追溯系统是加强食品安全信息传递、控制食源性疾病危害和保障消费者利益的信息记录体系的初衷,此时的追溯系统不管是纸质记录还是电子记录,更多是一种简单的、单环节的信息记录系统;3)中国的农产品和食品追溯系统虽然起步较晚,但总体推进较快。

1.2 追溯系统 2.0 (2008—2015 年左右): 数据整合为主

物联网技术的发展及其在追溯系统中的应用可以作为追溯系统 1.0 和 2.0 阶段的分水岭。物联网概念自 1999 年由美国麻省理工学院提出^[33];以 2008 年底 IBM 向美国政府提出“智慧地球”战略为标志,物联网迅速在世界范围得到高度关注^[34],如欧盟的“物联网行动计划”,日本的“i-Japan 战略 2015”^[35]。中国提出了“感知中国”的物联网发展战略;2013 年,国务院发布了《关于推进物联网有序健康发展的指导意见》,并启动实施物联网发展专项行动计划^[36]。

物联网技术可划分为 4 个层次,即感知层、传输层、处理层和应用层^[37]。物联网技术的发展为构建集全面感知、实时传输、智能决策为一体的全供应链追溯系统奠定了基础。杨信廷等基于物联网构建了“一核、双轴、三链”的追溯体系框架:即以实现农产品质量安全溯源的核心目标,以农产品从农田到餐桌的供应链为横轴、以物联网技术层次为纵轴,面向供应生命周期的产品链、面向供应链主体的服务链和面向物联网架构的技术链^[22]。

纵观这一时期的追溯系统,可以看出:1)以条码、RFID 为代表的自动识别技术为追溯个体或群体的标识起到了重要作用,以无线传感器网络(wireless sensor network, WSN)技术为代表的信息感知技术为供应链各环节信息的快速采集和实时监测提供了有力支撑,从而促进了数字化、电子化追溯系统的深入应用;2)物联网的应用为信息的有效传递提供了基础,通过整合生产、加工、物流、仓储、交易等各环节数据,实现全供应链追溯的需求越来越迫切;3)追溯系统的建设需要付出额外的成本,基于成本收益的核算构建适合粒度的追溯系统已成为追溯系统可支持应用中面临的重要问题。

1.3 追溯系统 3.0 (2016 年至今): 智能决策为主

追溯系统的深入应用面临着各种问题,如各部门标准不能统一、内容无法衔接,数据共享困难;系统只提供单一的信息记录功能,无法真正为企业提高质量安全水平服务,应用积极性不高;产品供应链长,不确定因素多,监管成本高;供应链各主体的追溯信息采集和录入没有有效的约束机制,使得数据的真实性不能得到保证,信息真实性存疑。

人工智能的概念从正式提出到现在已有 60 多年,其间经历了 3 次浪潮:第一次浪潮发生在 20 世纪 60 年代,人工智能刚起步,处于科研探索阶段;第二次浪潮发生在 20 世纪 80 年代,主要表现是通过专家系统的思想来实现语音识别;第三次浪潮发生在 21 世纪,也是目前正

在经历的。2016 年,以 AlphaGo 为标志,人工智能开始逐步升温;计算能力提升、数据爆发增长、机器学习算法进步、投资力度加大推动了人工智能的快速发展^[38]。以人工智能为代表的新一代信息技术的发展为解决追溯系统面临的问题提供了技术支撑,追溯系统也迎来了以智能决策为主的 3.0 阶段。

2 新一代信息技术

2.1 内在关系

以物联网、云计算、大数据、人工智能、区块链为代表的新一代信息技术,既是单项技术的纵向提升,也是融合技术的横向渗透。作为当今世界创新最活跃、渗透性最强、影响力最广的领域,新一代信息技术正在全球范围内引发新一轮的科技革命,并正在转化为现实生产力,引领科技、经济和社会创新发展^[39]。据预测,新一代信息技术将支撑 2020 年全球信息产业收入的 40%和增长份额的 98%^[40]。

新一代信息技术之间虽各有侧重,但也相互关联,其逻辑关系如图 1 所示。物联网的主要功能是负责各类数据的自动采集,以智能手机为核心的移动互联网的发展让每个人都成为了数据产生器;海量的结构化和非结构化数据,形成了大数据;数据量的增大、结构的复杂需要云端服务器来进行记忆和存储,反过来云计算的并行计算能力也促进了大数据的高效智能化处理;而基于大数据深度学习的人工智能的目标是获得价值规律、认知经验和知识智慧;人工智能模型的训练也需要大规模云计算资源的支持,构建的智能模型也能反作用于物联网,进行更优化更智能地控制各种物联网前端设备;区块链解决了信息被泄露、篡改的安全性问题,对物联网、大数据、云计算等提供基础支撑及重塑信任机制。

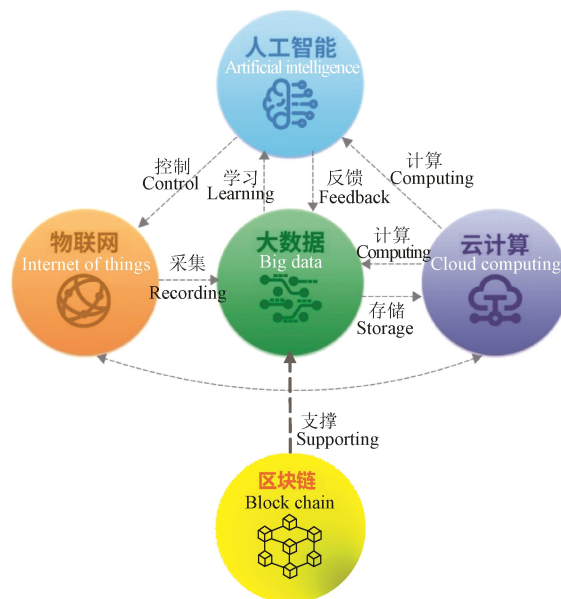


图 1 新一代信息技术之间的相互关系

Fig.1 Relationship of new generation information technology

2.2 技术发展

大数据技术的发展促进了大数据的价值挖掘,其技

术是统计学方法、计算机技术、人工智能技术的延伸与发展；当前的热点方向包括：互操作技术、存算一体化存储与管理技术、大数据编程语言与执行环境、大数据基础与核心算法、大数据机器学习技术、大数据智能技术、可视化与人机交互分析技术、真伪判定与安全技术等^[41]。

为了实现从逻辑到计算的不断提升，人工智能注重从感知到认知的过程。当前的人工智能是从闭环到开环、从确定到不确定的系统，是由弱到强的智能；未来的人工智能将实现从有限到无限、从理性到感性、从专门到综合的发展。利用脑科学与认知科学揭示有关脑结构与功能机制，利用计算和控制的数学物理进行形式化、模型化分析与优化，为提升人工智能发展提供重要支撑^[42]。

区块链框架中最核心且最基本的技术是密码学、共识机制和区块链网络。目前区块链已经发展到3.0时代，从金融领域扩展到数字金融、物联网、智能制造、供应链管理、数字资产交易等多个领域。随着区块将被广泛关注和应用，关于其隐私性、安全性和性能等方面存在的问题和优化方案越来越受到关注^[43]。

3 追溯系统智能化发展趋势

3.1 人工智能：降低追溯过程断链程度

农产品及食品供应链涉及多个环节、需要多方协作、具有多维特征。追溯单元拆分重组是供应链中的普遍现象，也是导致追溯断链的核心问题。钱建平等根据追溯单元的重组情况不同，概括为：“一对多”的批次拆分、“多对一”的批次聚合及“多对多”的批次融合^[44]；并尝试利用标识对应的方法解决拆分和聚合等简单批次重组下的追溯问题，但存在着成本高、操作复杂等问题^[45]。

追溯粒度由 Bertolini 等提出，表示追溯单元的尺度，细粒度的优势是能附加更多信息到追溯单元^[46]。进一步，Qian 等以宽度、深度和精确度为核心，构建了一个包含2层结构、7个因子的可量化的多因素追溯粒度评价模型^[47]。供应链之间及供应链内部的追溯单元拆分重组易引起追溯粒度的变化，因此，以全供应链为基础，建立追溯优化模型，提高追溯粒度，降低追溯断链化，是实现全供应链追溯的有效途径。以批次分散模型（batch dispersion model）为基础，构建智能化的追溯优化模型，已成为研究热点^[48-50]。批次分散模型最初由 Dupuy 等提出的，通过采用 Gozinto 图方法将产品加工流程分为原料、部件和成品3个层次，并以香肠加工业的产品召回为例进行了验证^[51]。批次清单（bill of lots, BOL）可加载更多加工过程信息，通过构建基于 BOL-Petri 的小麦粉加工过程追溯模型，可更好描述追溯单元的变迁过程^[52]。由于粮食加工中不同流通载体对包装大小要求不同，Thakur 和 Hurbrugh 在集成定义建模（integrated definition modeling, IDEF0）基础上详细设计了不同情况下的批次数据结构，丰富了批次分散模型的内涵^[53]。

以降低原料混合程度为目标构建批次分散模型，能有效提升追溯效果、降低召回规模。邢斌等提出了一种面向鲜切蔬菜加工过程追溯的原料批次混合模型，并采

用遗传算法对订单的加工次序和原料批次的选取次序进行优化，优化后的批次召回规模减少了16.7%^[54]。加工流程的复杂化使3层批次分散模型不能满足实际需求，Lobna 和 Mounir 在部件和成品两层之间加入了半成品，建立了4层的批次分散模型^[55]。随着批次数量的变大和结构的增加，模型求解时间也呈几何级增长，而采用遗传算法^[56]、改进粒子群^[57]等进行优化，在获得次优解的基础上，降低了运算复杂度。

人工智能技术的快速发展将在2个方面为解决追溯断链问题提供技术支撑。一方面，在供应链内部尤其是加工环节，根据批次混合程度分析供应链内部的批次混合特征，建立供应链内部批次转换仿真模型，明确批次混合下追溯单元变化规律，构建多重约束下的智能柔性追溯模型，采用遗传算法、支持向量机、粒子群算法等方法优化模型，提升追溯粒度；另一方面，在供应链之间，预测追溯单元流动路径，研究基于深度学习的追溯属性数据自学习机制，提高数据缺失下的追溯信息补偿方法，建立追溯信息分级传递模型，构建智慧供应链背景下的追溯耦合模型，降低追溯断链程度。

3.2 大数据：提升质量安全预警能力

查询和召回是质量安全控制体系不可或缺的组成部分，也是发生质量安全问题时缩小影响范围、降低损失的重要措施；与这种“事后治理”相比，以质量安全预警与分析决策为核心的“事前预防”，对于农产品及食品质量安全控制体系更为重要^[58-59]。预警与分析决策的关键是预测，传统预测是基于随机抽样数据和逻辑推理相关性^[60]。

生产过程的病虫害预测预警、物流过程的货架期预测等是保障农产品和食品质量安全的有效手段。以积累的环境气象资料为自变量，以作物病虫害发生或流行的程度为因变量，通过回归分析构建回归模型是病虫害预警常见的方法^[61]。Moh 等利用多元回归分析构建了温度、湿度、接种菌量与马铃薯块茎软腐病征的关系模型，结果表明模型对马铃薯软腐病有良好的响应和预测能力^[62]。李明等以黄瓜霜霉病为例，构建了病情指数，采用逐步回归分析方法进行拟合，通过参数调整得到优化模型，为温室黄瓜霜霉病初侵染预警提供决策支持^[63]。通过物联网进行环境信息实时感知、通过遥感技术提取作物多光谱特征，能有效提高病虫害预测预警精度^[64-65]。货架期预测研究主要集中于以温度为主要影响因素的化学品质衰变分析、感官品质的 Weibull 生存分析与微生物生长分析^[66-67]。García 等测定了去内脏和未去内脏的鳕鱼特定腐败菌的生长情况，从而建立了冷链物流过程波动温度下特定腐败菌生长的动力学模型和置信区间，能够较好的判别鳕鱼的品质等级^[68]。刘寿春等分析了物流过程猪肉的感官特征，采用敏感性和回归分析获得感官评价的关键指标，进而设计质量控制图展示感官特征的波动性，为猪肉感官品质控制提供了科学的管理方法^[69]。

从宏观尺度入手，进行质量安全预测预警对于全面掌控质量安全状况进而进行决策分析具有重要作用。高

翔等设计了基于季节、时间分析方法与零膨胀负二项式 (zero-inflated negative binomial, ZINB) 模型的禽霍乱风险分析方法, 对中国禽霍乱的分布特征进行描述, 利用模型分析结果与网络地理信息 (WebGIS) 技术建立禽霍乱监测预警系统^[70]。章德宾等以中国实际食品安全监测数据为样本, 研究基于 BP 神经网络的食品安全预警方法, 结果表明该方法能有效识别、记忆食品危险特征, 能够对输入样本进行有效的预测^[71]。

大数据预测具有“全样非抽样、效率非精确、相关非因果”的特征, 其在追溯方面的应用可以从 3 个层面展开。从微观层面, 针对病虫害预测预警、货架期预测等核心环节, 构建集病虫害特征、视频信息、专家知识为一体的数据平台, 挖掘病虫害发生规律和微生物生长规律, 构建环境变化下的预测模型, 变事后处置为提前预警, 实现质量安全预测; 从中观层面, 面向库存分析、市场供求分析等关键过程, 构建集库存数据、产品周期数据、消费数据等多源数据融合的数据仓库, 采用聚类分析、决策树分析、关联分析等方法, 建立消费数据为导向的供应链分析系统, 实现供应链优化与调控; 从宏观层面, 构建“环节衔接、品类整合”的农产品及食品安全大数据中心, 全面掌控监管态势, 深入分析农产品及食品风险, 构筑起立体化、精准化、信息化监管网络, 变被动发现为提前研判, 增强决策分析能力。

3.3 区块链: 增强全程追溯可信度

农产品及食品供应链时空跨度大、参与主体众多且分散、中心化方式管理与运作困难, 加之数据采集时缺乏约束机制, 易造成信息不透明, 导致追溯信息可信度不高。提高追溯可信度已成为追溯系统可持续应用中面临的重要问题。

区块链技术具有分布式台账、去中心化、集体维护、共识信任等特点^[72], 被证明在解决目前追溯系统可信度问题方面具有先天技术优势^[73-74]。Kamble 等选取了农产品供应链采用区块链技术的 13 个因素, 并采用解释结构模型 (interpretive structural modelling, ISM) 和决策试验与评价实验室方法 (decision-making trial and evaluation laboratory, DEMATEL) 分析了这些驱动因素, 结果表明, 可追溯性是采用区块链技术的最重要原因^[75]; Leng 等提出了基于双链架构的农业供应链系统公共区块链, 研究了链结构及其存储模式、资源寻租与匹配机制和共识算法, 结果表明, 以农业供应链为基础的产业链在双链结构上可以考虑到交易信息的开放性和安全性以及企业信息的隐私, 可以自适应地完成寻租和匹配资源, 大大提高了公共服务平台的公信力和整体效率^[76]。钱建平等提出了由供应链层、数据层、网络层、共识层、激励层和应用层组成的农产品可信追溯系统^[77]。

随着区块链技术的不断成熟及应用场景的日益丰富, 区块链追溯的商业化应用也不断推进^[78]。如表 3 所示, 研究者、公司等根据不同农产品及食品的特点和供应链特征, 建立了面向产品的供应链管理与追溯系统。沃尔玛 (Walmart) 和克罗格 (Kroger) 公司是最早将区

块链引入到供应链中的, 最初的应用案例是中国猪肉和墨西哥芒果^[79]; 应用结果表明在使用区块链技术以后, 确定芒果从超市到农场的来源和路径只需要几秒钟就可以完成, 而未使用前则需 6.5 d^[80]。家乐福 (Carrefour) 正在使用区块链进行产品标准的验证和肉、鱼、水果、蔬菜和乳制品的追溯^[81]。另一个例子是, 电子商务平台京东 (JD.com) 监控在内蒙古生产的牛肉, 这些牛肉被销售到中国不同的省份, 通过扫描 QR 码, 可以看到有关动物的详细信息, 包括营养、屠宰和肉类包装日期, 以及食品安全检测的结果^[82]。

表 3 区块链追溯商业化应用

Table 3 Blockchain commercial applications in agricultural products traceability

产品 Products	开发者 Developers	目标 Objectives
芒果 Mango	Walmart, Kroger, IBM ^[79]	供应链管理追溯, 增强追溯召回效率 Supply chain management and traceability to enhancing recall efficiency
猪肉 Pork	Walmart, Kroger, IBM ^[79]	猪肉供应链管理追溯, 提高追溯能力 Pork supply management and traceability to improving traceability
火鸡 Turkey	Hendrix Genetics ^[83]	增强追溯能力, 实现动物福利 Enhancing traceability and implementing animal welfare
肉、乳制品等 Meat, dairy product	Carrefour ^[81]	产品标准验证及追溯 Product standard validating and traceability
啤酒 Beer	Downstream ^[84]	将啤酒原料、酿造方法等信息记录到区块链, 以实现透明化和真实性 Recording the beer information about materials and brewing methods to blockchain to implementing transparent and authenticity
牛肉 Beef	JD.com ^[82]	追溯以增强消费者对于高质量肉的信任 Promoting customer's trust about high-quality products
鸡肉 Chicken	Fast Company ^[85]	通过记录原产地构建消费者信任机制 Constructing customer's trust mechanism through recording origin information
海产品 Seafood	Intel ^[86]	使用感知设备记录有关鱼类位置和储存条件的信息并建立分布式账本, 促进海鲜供应链的可追溯性 Establishment distributed ledger through recording position and storage conditions about fish to promoting supply chain traceability

目前, 对于区块链打造透明供应链、提升追溯可信度中的作用已经达成共识, 相关的技术框架也被提出, 原型的系统也被试点应用。后期的研究重点从追溯区块链结构优化、隐私保护、区块链共识算法等方面开展。传统的区块之间是由链表来组织, 用树和图来组织区块的方案已经被提出^[87]; 根据供应链特征及追溯系统要求, 选择合适的区块结构需要被深入研究。供应链上下游涉及一定的商业机密, 引入零知识证明、同态加密等隐私保护方案, 是基于区块链追溯亟待解决的问题。共识机制已成为区块链系统性能的关键瓶颈, 融合 PoW 与 PBFT 优势的共识算法应用于追溯系统是值得关注的问题。

4 结论与展望

追溯过程断链、质量安全预警能力弱、全程追溯可信度低, 已成为农产品及食品追溯系统研究与应用近 30 a

来面临的重要问题。本文基于上述问题,从新一代信息技术的应用和发展提升追溯系统智能化方面入手,通过文献分析和综合研究,得到如下结论:

1) 首次提出了追溯系统从 1.0-3.0 的发展历程,追溯 1.0 阶段以信息记录为主、追溯 2.0 阶段以数据整合为主、追溯 3.0 阶段以智能决策为主。

2) 在分析文献的基础上,描述了以物联网、大数据、云计算、人工智能、区块链等为核心的新一代信息技术之间在信息感知、数据处理、高效计算、智能分析、加密防伪等方面各有侧重又相互关联的内在关系。

3) 重点归纳总结了人工智能技术在降低追溯过程断链程度、大数据技术在提升质量安全预警能力、区块链技术在增强全程追溯可信度等方面的影响及作用。

新一代信息技术的发展既是单项技术的纵向提升,也是融合技术的横向渗透,其在追溯方面的研究方向展望如下:

1) 人工智能技术的快速发展将为供应链内部尤其是加工环节智能柔性追溯模型构建提供有利支撑,从而提升追溯粒度;在供应链之间,通过构建智慧供应链背景下的追溯耦合模型,进一步降低追溯断链程度。

2) 大数据在微观层面,针对病虫害预测预警、货架期预测等核心环节,构建融合数据挖掘和作用机理的预测模型,变事后处置为提前预警;在中观层面,面向库存分析、市场供求分析等关键过程,实现供应链优化与调控;在宏观层面,通过构建农产品及食品安全大数据中心,变被动发现为提前研判。

3) 区块链在追溯中的应用还处于原型系统阶段,后期的研究和应用重点更多应根据供应链的不同场景及质量安全管理的需求特征,从追溯区块链结构优化、隐私保护、共识算法等方面开展。

4) 人工智能、大数据、区块链等技术都有不同特点,在解决特定问题是具有一定优势,但技术的深入融合能更好的取长补短;在解决追溯系统面临的深度问题时,也更应注重不同技术的融合。

[参 考 文 献]

- [1] Kennedy S. Why can't we test our way to absolute food safety[J]. *Science*, 2009, 322(5908): 1641—1643.
- [2] McEntire J C, Arens S, Bernstein M, et al. Traceability (product tracing) in food systems: An IFT report submitted to the FDA, volume 1: Technical aspects and recommendations[J]. *Comprehensive Reviews in Food Science & Food Safety*, 2010, 9(1): 92—158.
- [3] Tarjan L, Senk I, Tegeltija S, et al. A readability analysis for QR code application in a traceability system[J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2014, 109(11): 1—11.
- [4] Karlsten 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] 钱建平, 宋英卓, 王姗姗, 等. 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.
- [6] 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.
- [7] Smith G C, Tatum J D, Belk K E, et al. Traceability from a US perspective[J]. *Meat Science*, 2005, 71(1): 174—193.
- [8] Stewart W G. Food authentication and traceability: An Asian and Australian perspective[J]. *Food Control*, 2017, 72(2): 168—17.
- [9] 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 Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2006, 22(6): 218—220. (in Chinese with English abstract)
- [10] 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)
- [11] 任晰, 傅泽田, 穆维松, 等. 基于 Web 的罗非鱼养殖质量安全信息可追溯系统[J]. *农业工程学报*, 2009, 25(4): 163—167.
Ren Xi, Fu Zetian, Mu Weisong, et al. Traceability system for tilapia breeding quality safety information based on Web[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2009, 25(4): 163—167. (in Chinese with English abstract)
- [12] 熊本海, 傅润亭, 林兆辉, 等. 生猪及其产品从农场到餐桌质量溯源解决方案: 以天津市为例[J]. *中国农业科学*, 2009, 42(1): 230—237.
Xiong Benhai, Fu Runtong, Lin Zhaohui, et al. A Solution solution on pork quality safety production traceability from farm to dining table: Taking Tianjin city as an example[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2009, 42(1): 230—237. (in Chinese with English abstract)
- [13] Qian J, Yang X, Wang X, et al. Framework for an IT-based vegetable traceability system integrated two different operating mechanisms in China on comparison with two cities[J]. *Journal of Food Agriculture & Environment*, 2013, 11(3/4): 317—323.
- [14] 吴林海, 刘晓琳, 谢林柏, 等. 基于 Logistic 模型的食品可追溯系统决策方法[J]. *系统管理学报*, 2016, 25(4): 644—651.
Wu Linhai, Liu Xiaolin, Xie Linbai, et al. Decision-making

- method for food traceability system based on logistic model[J]. *Journal of Systems & Management*, 2016, 25(4): 644—651. (in Chinese with English abstract)
- [15] Badia-Melis R, Mishra P, Ruiz-García L. Food traceability: New trends and recent advances. A review[J]. *Food control*, 2015, 57(11): 393—401.
- [16] 李明佳, 汪登, 曾小珊, 等. 基于区块链的食品安全溯源体系设计[J]. *食品科学*, 2019, 40(3): 279—285.
Li Mingjia, Wang Deng, Zeng Xiaoshan, et al. Food safety tracing technology based on block chain[J]. *Food Science*, 2019, 40(3): 279—285. (in Chinese with English abstract)
- [17] Qian J P, Shi C, Wang S S, et al. Cloud-based system for rational use of pesticide to guarantee the source safety of traceable vegetables[J]. *Food Control*, 2018, 87: 192—202
- [18] 邵云飞, 殷俊杰, 杜欣. 新一代信息技术产业联盟组合研究回顾与展望[J]. *电子科技大学学报: 社科版*, 2018, 20(3): 22—30.
Shao Yunfei, Yin Junjie, Du Xin. Review of prospect of new generation of information technology industry alliance portfolio[J]. *Journal of UESTC: Social Sciences Edition*, 2018, 20(3): 22—30. (in Chinese with English abstract)
- [19] Creydt M, Fischer M. Blockchain and more—Algorithm driven food traceability[J]. *Food Control*, 2019, 105: 45—51.
- [20] Olsen P, Borit M. The components of a food traceability system[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2018, 77: 143—149.
- [21] Bai H, Zhou G, Hu Y, et al. Traceability technologies for farm animals and their products in China[J]. *Food Control*, 2017, 79: 35—43.
- [22] 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)
- [23] 王东亭, 饶秀勤, 应义斌. 世界主要农业发达地区农产品追溯体系发展现状[J]. *农业工程学报*, 2014, 30(8): 236—250.
Wang Dongting, Rao Xiuqin, Ying Yibin. Development of agri-products traceability in main developed agriculture region of the world[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2014, 30(8): 236—250. (in Chinese with English abstract)
- [24] 傅泽田, 邢少华, 张小栓. 食品质量安全可追溯关键技术研究[J]. *农业机械学报*, 2013, 44(7): 144—153.
Fu Zetian, Xing Shaohua, Zhang Xiaoshuan. Development trend of food quality safety traceability technology[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2013, 44(7): 144—153. (in Chinese with English abstract)
- [25] Tilman D, Cassman K G, Matson P A, et al. Agricultural sustainability and intensive production practices[J]. *Nature*, 2002, 418: 671—677.
- [26] Wales C, Harvey M, Warde A. Recuperating from BSE: The shifting UK institutional basis for trust in food[J]. *Appetite*, 2006, 47(2): 187—195.
- [27] Bernard A, Broeckaert F, De P G, et al. The belgian PCB/dioxin incident: Analysis of the food chain contamination and health risk evaluation[J]. *Environmental Research*, 2002, 88(1): 1—18.
- [28] 杨天和, 褚保金. “从农田到餐桌”食品安全全程控制技术体系研究[J]. *食品科学*, 2005, 26(3): 264—268.
Yang Tianhe, Chu Baojin. Study on control system of food safety from farm to table[J]. *Food Science*, 2005, 26(3): 264—268. (in Chinese with English abstract)
- [29] Jin S S, Zhou L. Consumer interest in information provided by food traceability systems in Japan[J]. *Food Quality and Preference*, 2014, 36: 144—152.
- [30] 杨信廷, 钱建平, 孙传恒. 现代食品安全控制与策略丛书 农产品质量安全管理与溯源—理论、技术与实践[M]. 北京: 科学出版社, 2016.
- [31] 施泽平. 农产品质量安全实施 IC 卡监管的实践与思考[J]. *农业质量标准*, 2005(6): 24—26.
- [32] 钱建平, 张保岩, 邢斌, 等. 集成实时快速检测信息的蔬菜追溯系统改进与应用[J]. *农业工程学报*, 2015, 31(4): 306—311.
Qian Jianping, Zhang Baoyan, Xing Bin, et al. Improvement and application of vegetable traceability system with integrated real-time rapid detection of information[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2015, 31(4): 306—311. (in Chinese with English abstract)
- [33] Biggs P, Srivastava L. ITU Internet Reports 2005: The Internet of Things[M]. Geneva: International Telecommunication Union, 2005.
- [34] Commission of the European Communities. Internet of things—an action plan for Europe[R]. Brussels: Commission of the European Communities, 2009-06-18.
- [35] 葛文杰, 赵春江. 农业物联网研究与应用现状及发展对策研究[J]. *农业机械学报*, 2014, 45(7): 222—230.
Ge Wenjie, Zhao Chunjiang. State-of-the-art and developing strategies of agricultural internet of things[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2014, 45(7): 222—230. (in Chinese with English abstract)
- [36] 汪懋华. 物联网农业领域应用发展对现代科学仪器的需求[J]. *现代科学仪器*, 2010(3): 5—6.
- [37] 何勇, 聂鹏程, 刘飞. 农业物联网与传感仪器研究进展[J]. *农业机械学报*, 2013, 44(10): 216—226.
He Yong, Nie Pengcheng, Liu Fei. Advancement and trend of internet of things in agriculture and sensing instrument[J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2013, 44(10): 216—226. (in Chinese with English abstract)
- [38] 腾讯研究院, 中国信通院互联网法律研究中心, 腾讯 AI Lab, 等. 人工智能[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2017.
- [39] 梁智昊, 许守任. “十三五”新一代信息技术产业发展策略研究[J]. *中国工程科学*, 2016, 18(4): 32—37.
Liang Zhihao, Xu Shouren. Study on the development strategy for the new generation of information technology

- industry during the 13th Five-Year Plan[J]. Strategic Study of ACE, 2016, 18(4): 32—37. (in Chinese with English abstract)
- [40] 郭贺铨. 新一代信息技术的发展机遇与挑战[J]. 中国发展观察, 2016(4): 11—13.
- [41] 徐宗本. 把握新一代信息技术, 把核心技术掌握在自己手中[N]. 人民日报, 2019-03-01 (9).
- [42] 蒋昌俊, 王俊丽. 智能源于人、拓于工—人工智能发展的一点思考[J]. 中国工程科学, 2018, 20(6): 93—100. Jiang Changjun, Wang Junli. Intelligence originating from human beings and expanding in industry: A view on the development of artificial intelligence[J]. Strategic Study of ACE, 2018, 20(6): 93—100. (in Chinese with English abstract)
- [43] 蔡晓晴, 邓尧, 张亮, 等. 区块链原理及其核心技术[J]. 计算机学报, 2019, 42(115): 1—15. Cai Xiaqing, Deng Yao, Zhang Liang, et al. The principle and core technology of blockchain[J]. Chinese Journal of Computers, 2019, 42(115): 1—15. (in Chinese with English abstract)
- [44] 钱建平, 杨信廷, 张保岩, 等. 基于 RFID 的蔬菜产地追溯精确度提高方案及应用[J]. 农业工程学报, 2012, 28(15): 234—239. Qian Jianping, Yang Xinting, Zhang Baoyan, et al. RFID-based solution for improving vegetable producing area traceability precision and its application[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2012, 28(15): 234—239. (in Chinese with English abstract)
- [45] 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)
- [46] Bertolini M, Bevilacqua M, Massini R. FMECA approach to product traceability in the food industry[J]. Food Control, 2006, 17(2): 137—145.
- [47] Qian J P, Fan B L, Wu X M, et al. Comprehensive and quantifiable granularity: A novel model to measure agro-food traceability[J]. Food Control, 2017, 74(4): 98—106.
- [48] Donnelly K A M, Karlsen K M, Olsen P. The importance of transformations for traceability: A case study of lamb and lamb products[J]. Meat Science, 2009, 83(1): 68—73.
- [49] Wang L X, Kwok S K, Ip W H. A radio frequency identification and sensor-based system for the transportation of food[J]. Journal of Food Engineering, 2010, 101(1): 120—129.
- [50] Aung M M, Chang Y S. Traceability in food supply chain: Safety and quality perspectives[J]. Food Control, 2014, 39(1): 172—184.
- [51] 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.
- [52] 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)
- [53] Thakur M, Hurburgh C R. Framework for implementing traceability system in the bulk grain supply chain[J]. Journal of Food Engineering, 2009, 95(4): 617—626.
- [54] 邢斌, 刘学馨, 钱建平, 等. 鲜切蔬菜加工过程追溯的原料批次混合优化模型构建[J]. 农业工程学报, 2015, 31(10): 309—314. Xing Bin, Liu Xuexin, Qian Jianping, et al. Establishment of materials batch mixing optimization model for traceability of fresh-cuts fruits and vegetables processing[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2015, 31(10): 309—314. (in Chinese with English abstract)
- [55] Lobna L, Mounir B. A production model to reduce batch dispersion and optimize traceability[C]//4th International Conference on Logistics, Hammamet, Tunisia, 2011: 144—149.
- [56] 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.
- [57] 李锋, 吴华瑞, 朱华吉, 等. 基于改进粒子群算法的农产品召回优化[J]. 农业工程学报, 2013, 29(7): 238—245. Li Feng, Wu Huarui, Zhu Huaji, et al. Optimization of agricultural products recall based on modified particle swarm algorithm[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2013, 29(7): 238—245. (in Chinese with English abstract)
- [58] Cerf O, Donnat E. Application of hazard analysis-critical control point (HACCP) principles to primary production: What is feasible and desirable?[J]. Food Control, 2011, 22(12): 1839—1843.
- [59] Shi C, Qian J, Han S, et al. Developing a machine vision system for simultaneous prediction of freshness indicators based on tilapia (*Oreochromis niloticus*) pupil and gill color during storage at 4°C[J]. Food Chemistry, 2018, 243: 134—140.
- [60] 吕本富, 陈健. 大数据预测研究及相关问题[J]. 科技促进发展, 2014, 10(1): 60—65. Lü Benfu, Chen Jian. The predication based on big data and related issues[J]. Science & Technology for Development, 2014, 10(1): 60—65. (in Chinese with English abstract)
- [61] 王翔宇, 温皓杰, 李鑫星, 等. 农业主要病害检测与预警技术研究进展分析[J]. 农业机械学报, 2016, 47(9): 266—277. Wang Xiangyu, Wen Haojie, Li Xinxing, et al. Research progress analysis of mainly agricultural diseases detection

- and early warning technologies[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2016, 47(9): 266—277. (in Chinese with English abstract)
- [62] Moh A, Massart S, Jijakli M H, et al. Models to predict the combined effects of temperature and relative humidity on *Pectobacterium atrosepticum* and *Pectobacterium carotovorum* subsp. *Carotovorum* population density and soft rot disease development at the surface of wounded potato tubers[J]. Journal of Plant Pathology, 2012, 94(1): 181—191
- [63] 李明, 赵春江, 杨信廷, 等. 温室蔬菜病害预警体系初探: 以黄瓜霜霉病为例[J]. 中国农学通报, 2010, 26(6): 324—331.
Li Ming, Zhao Chunjiang, Yang Xinting, et al. Towards an early warning framework of greenhouse vegetable diseases—A case of cucumber downy mildew[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2010, 26(6): 324—331. (in Chinese with English abstract)
- [64] 张善文, 张传雷, 丁军. 基于改进深度置信网络的大棚冬枣病虫害预测模型[J]. 农业工程学报, 2017, 33(19): 202—208.
Zhang Shanwen, Zhang Chuanlei, Ding Jun. Disease and insect pest forecasting model of greenhouse winter jujube based on modified deep belief network[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2017, 33(19): 202—208. (in Chinese with English abstract)
- [65] Sankaran S, Ehsani R. Visible near infrared spectroscopy based citrus greening detection: evaluation of spectral feature extraction techniques[J]. Crop Protection, 2011, 30(11): 1508—1513.
- [66] 史波林, 赵镭, 支瑞聪. 基于品质衰变理论的食品货架期预测模型及其应用研究进展[J]. 食品科学, 2012, 33(21): 345—350.
Shi Bolin, Zhao Lei, Zhi Ruicong. Advances in predictive shelf life models based on food quality deterioration theory and their applications[J]. Food Science, 2012, 33(21): 345—350. (in Chinese with English abstract)
- [67] 史策, 钱建平, 韩帅, 等. 水产品货架期预测模型的研究进展[J]. 食品科学, 2017, 38(15): 294—301.
Shi Ce, Qian Jianping, Han Shuai, et al. Progress in shelf life prediction models for aquatic products[J]. Food Science, 2017, 38(15): 294—301. (in Chinese with English abstract)
- [68] García Miriam R, Vilas C, Herrera J R, et al. Quality and shelf-life prediction for retail fresh hake (*Merluccius merluccius*) [J]. International Journal of Food Microbiology, 2015, 208: 65—74.
- [69] 刘寿春, 赵春江, 杨信廷, 等. 猪肉冷链物流感官质量控制图设计与应用[J]. 农业机械学报, 2014, 45(7): 177—182.
Liu Shouchun, Zhao Chunjiang, Yang Xinting, et al. Design and application of control charts in pork sensory quality during cold chain logistics[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(7): 177—182. (in Chinese with English abstract)
- [70] 高翔, 肖建华, 王洪斌. 基于 ZINB 模型和气象因素的禽流感发病预测[J]. 农业工程学报, 2018, 34(15): 176—182.
Gao Xiang, Xiao Jianhua, Wang Hongbin. Prediction of avian pasteurellosis based on ZINB model and meteorological factors[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2018, 34(15): 176—182. (in Chinese with English abstract)
- [71] 章德宾, 徐家鹏, 许建军, 等. 基于监测数据和 BP 神经网络的食物安全预警模型[J]. 农业工程学报, 2010, 26(1): 221—226.
Zhang Debin, Xu Jiapeng, Xu Jianjun, et al. Model for food safety warning based on inspection data and BP neural network[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2010, 26(1): 221—226. (in Chinese with English abstract)
- [72] 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(S1): 387—393.
Yu Li'na, 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(S1): 387—393. (in Chinese with English abstract)
- [73] Zhao G, Liu S, Lopez C, et al. Blockchain technology in agri-food value chain management: A synthesis of applications, challenges and future research directions[J]. Computers in Industry, 2019, 109: 83—99.
- [74] Antonucci F, Figorilli S, Costa C, et al. A review on blockchain applications in the agri-food sector[J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 2019, 99: 6129—6138.
- [75] Kamble S S, Gunasekaran A, Sharma R. Modeling the blockchain enabled traceability in agriculture supply chain[J/OL]. International Journal of Information Management. [2019-11-12] <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.05.023>.
- [76] Leng K J, Bi Y, Jing L B. Research on agricultural supply chain system with double chain architecture based on block chain technology[J]. Future Generation Computer Systems, 2018, 86: 641—649.
- [77] 钱建平, 范蓓蕾, 史云, 等. 基于区块链的农产品可信追溯系统框架构建[J]. 中国农业信息, 2019, 31(3): 48—57.
Qian Jianping, Fan Beilei, Shi Yun, et al. The structure of credible traceability system for agricultural products based on blockchain[J]. China Agricultural Informatics, 2019, 31(3): 48—57. (in Chinese with English abstract)
- [78] Kamilaris A, Fonts A, Prenafeta-Boldv F X. The rise of block chain technology in agriculture and food supply chains[J]. Trends in Food Science & Technology, 2019, 91: 640—652.
- [79] CB Insights. How blockchain could transform food safety [EB/OL]. [2019-11-12] <https://www.cbinsights.com/research/blockchain-grocery-supply-chain>.
- [80] Wass S. Food companies unite to advance blockchain for supply chain traceability[EB/OL]. [2019-11-12] <https://www.gtreview.com/news/fintech/food-companies-unite-to-advance-blockchain-for-supply-chain-traceability>.
- [81] Carrefour. The food blockchain[EB/OL]. [2019-11-12] <https://actforfood.carrefour.com/Why-take-action/the-food-blockchain>.
- [82] JD.com Blog. JD blockchain open platform[EB/OL]. [2019-11-12]

- <https://jdcorporateblog.com/jd-launches-blockchain-open-platform>.
- [83] Hendrix Genetics. New blockchain project involving turkeys and animal welfare[EB/OL]. [2019-11-12] <https://www.hendrix-genetics.com/en/news/new-blockchain-project-involving-turkeys-and-animal-welfare>.
- [84] Ireland Craft Beers. Downstream beer[EB/OL]. [2019-11-12] <http://www.down-stream.io>.
- [85] Fast Company. In China, you can track your chicken on-you guessed it- the Blockchain[EB/OL]. [2019-11-12] <https://www.fastcompany.com/40515999/in-china-you-can-track-your-chicken-on-you-guessed-it-the-blockchain>.
- [86] Hyperledger. Bringing traceability and accountability to the supply chain through the power of HyperledgerSawtooth's distributed ledger technology[EB/OL]. [2019-11-12] <https://sawtooth.hyperledger.org/examples/seafood.html>.
- [87] 邵奇峰, 金澈清, 张召, 等. 区块链技术: 架构及进展[J]. 计算机学报, 2017, 41(5): 969—988.
- Shao Qifeng, Jin Cheqing, Zhang Zhao, et al. Blockchain: Architecture and research progress[J]. Chinese Journal of Computers, 2017, 41(5): 969—988. (in Chinese with English abstract)

Review on agricultural products smart traceability system affected by new generation information technology

QianJianping, Wu Wenbin, Yang Peng^{*}

(Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences/Key Laboratory of Agricultural Remote Sensing, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100081, China)

Abstract: From the problem of mad cow disease to date, the traceability system as effective means to ensure food safety has been introduced for nearly 30 years. Now, reducing breakage degree for traceability chain, enhancing traceability credibility, and improving early warning capacity for agri-food quality and safety, these has increasingly become hot topics of traceability system research, which is also urgent problems in traceability system application. Focusing on these issues, the agricultural products smart traceability system affected by new generation information technologies based on the relevant literature was summarized and analyzed. Firstly, the development stages of traceability system from 1.0 to 3.0 were presented. The features of the three stages were information recording for 1.0, data integration for 2.0, and intelligent decision-making for 3.0, respectively. Secondly, the relationship of new generation information technology including internet of things (IoT), big data, cloud computing, blockchain, artificial intelligence (AI) was described. The new generation of information technology is not only the vertical promotion of single technology, but also the horizontal penetration of technology integration. The development trend about big data, artificial intelligence and block chain were summarized. Finally, the relevant research on the issues of reducing the breakage degree for traceability with AI, improving early warning capability for agri-food quality and safety with big data, and enhancing the traceability credibility of the whole supply chain with blockchain were summarized. The orientation of in-depth study was put forward in the light of the technology development trend. For combing AI, traceability granularity should be improved from within and among supply chains through establishment some flexible and intelligent traceability models. For coming big data, prediction quality and optimization processing model should be enhanced through data mining and analysis from different levels. For coming blockchain, traceability block structure optimization, privacy protection, block chain consensus algorithm should be performed to meet the requirement agri-food. In fact, AI, big data, block chain and other technologies have different characteristics. In order to improve the intelligent level for traceability system, the different technologies should be integrated deeply. This paper provides a useful reference for grasping the development trend of traceability system, for knowing the research hot spot and for understanding the application bottleneck.

Keywords: agricultural products; traceability; new generation information technology; artificial intelligence; big data; block chain; food safety