

计量检测技术在农产品质量数字化管理中的应用机理与实现路径

李 佳^{1,2}

1. 湖南省核地质与核技术应用中心, 湖南 长沙 410014

2. 湖南省湘核检测科技有限公司, 湖南 长沙 410014

摘要: 为了提升农产品质量管控水平, 采用文献综述和案例分析相结合的方法, 系统梳理了计量检测技术在农产品质量数据采集、分析评估、溯源追踪、预警决策等环节的应用模式, 并选取某茶叶种植基地进行实证研究。结果表明, 通过物联网传感器采集、大数据分析、区块链溯源、智能预警等技术手段, 可有效提升农产品质量管理的精准性、可追溯性和预见性。研究表明, 计量检测技术与数字化管理的深度融合, 是保障农产品质量安全、推动农业高质量发展的关键抓手, 未来应进一步加强关键技术攻关和推广应用, 建立健全农产品质量数字化管理体系, 为乡村振兴提供有力支撑。

关键词: 计量检测; 农产品; 质量管理; 数字化

中图分类号: F322

DOI: 10.3969/j.issn.2097-065X.2024.08.039

0 引言

农产品质量的高低不仅直接影响着人们的身体健康, 更关系到农业的可持续发展。传统的农产品质量管理模式已经难以适应现代农业发展的需求, 亟需引入先进的信息化、数字化技术手段。计量检测技术作为质量管理的核心支撑, 在农产品质量数字化管理中发挥着不可替代的作用。通过在农产品生产、加工、仓储、物流等环节应用先进的传感器技术、数据分析技术、溯源追踪技术等, 可实现农产品质量数据的自动采集、智能分析、全程追溯, 有效提升农产品质量管控的精准性和有效性^[1]。将计量检测技术与现代信息技术深度融合, 构建农产品质量数字化管理体系, 是推进农业高质量发展、保障“舌尖上的安全”的必由之路。

1 农产品质量数字化管理的定义与内涵

农产品质量数字化管理是指运用现代信息技术, 通过农产品质量数据的采集、传输、存储、分析、

应用等一系列过程, 实现农产品质量的精准管控和科学决策的管理模式。其内涵主要包括以下 4 个方面: 一是利用物联网技术, 在农产品生产、加工、仓储、运输等各个环节部署智能传感器, 实时采集农产品质量参数, 如温湿度、气体成分、农残含量等, 形成海量的质量大数据^[2]; 二是通过数据挖掘、机器学习等技术, 对农产品质量大数据进行分析建模, 揭示农产品品质演变规律, 构建质量预测模型; 三是应用区块链技术, 以不可篡改、可追溯的方式记录农产品生产加工流通过程的质量数据, 实现农产品质量的全程可追溯、可查询; 四是综合运用云计算、大数据分析、人工智能等技术, 基于质量大数据分析结果, 实现农产品质量的智能诊断、预警、决策、指挥调度等^[3]。

表 1 展示了农产品质量数字化管理的核心技术及其应用领域。农产品质量数字化管理技术的应用, 使得传统依靠经验和感觉的质量管理模式发生了根本性变革, 农产品质量管理进入了数字化、网络化、智能化的新时代。

表 1 农产品质量数字化管理的核心技术及应用

核心技术	主要应用领域	典型应用场景	技术特点
物联网	农产品质量数据采集	果蔬种植环境监测、畜禽养殖环境监测、农产品仓储环境监测	自动化、实时性、海量性
大数据分析	农产品质量数据挖掘	农产品品质预测、农产品质量缺陷诊断、质量趋势分析	多元化、关联性、预见性
区块链	农产品质量溯源	农产品生产流通过程记录、质量责任追溯	不可篡改、分布式、可追溯
人工智能	农产品质量管控决策	农产品质量预警、质量评估、质量管控策略优化	自主学习、智能决策

2 计量检测技术的具体应用

2.1 农产品质量数字化采集

农产品质量数字化采集是利用先进的传感器技

术、物联网技术和通信技术, 实现农产品质量相关参数的自动、连续、实时采集的过程。在农产品种植环节, 通过在田间部署各类传感器, 实时监测农产品生长环境参数, 并通过无线通信网络将采集的数据传

输至数据中心。例如,利用频域反射计技术(FDR)原理的土壤水分传感器,通过测量高频电磁波在土壤中的传播时间和反射强度,可以准确获取土壤体含水量,其测量精度可达 $\pm 2\%$,采样间隔可低至 $10\text{ s}^{[4]}$ 。在农产品采收环节,利用便携式农残速测仪、糖度计等设备,可快速检测农产品农药残留量、糖度等内在品质指标。例如,基于表面等离子体共振(SPR)原理的农残快速检测仪,可在 5 min 内实现对 200 多种农药的同时检测,灵敏度可达 $0.1\text{ }\mu\text{g/kg}$ 。在农产品仓储环节,通过温湿度传感器、气体浓度传感器等监测仓储环境条件,并结合RFID标签对农产品进行编码标识与跟踪,形成仓储环节的质量监控数据。上述环节采集的农产品质量数据通过物联网汇聚并存储于云端数据库中,形成海量的质量大数据,为后续的质量分析与决策奠定基础。

2.2 农产品质量数据分析与评估

通过物联网等技术手段采集的海量农产品质量数据,蕴含着丰富的质量特征信息和变化规律。为充分挖掘数据价值,需运用大数据分析、机器学习等技术,对农产品质量数据进行深入分析与评估。常用的数据分析方法包括数据预处理、特征提取、统计分析、数据挖掘等。在数据预处理阶段,通过数据清洗、数据集成等操作,提高数据质量,消除噪声干扰。例如,采用Kalman滤波算法,可有效去除农产品质量传感器数据中的高频噪声,提取有用信号。在特征提取阶段,通过信号分解、特征变换等方法,提取能反映农产品品质属性的关键特征。例如,运用小波变换对农产品外观图像进行多尺度分解,提取反映农产品色泽、形状、大小等特征的纹理参数^[5]。在数据挖掘阶段,运用关联规则、决策树、支持矢量机等算法,建立农产品质量预测模型。例如,基于支持矢量机的农产品品质分级模型,通过分析农产品生长过程的环境参数与质量参数间的非线性关系,可实现对农产品品质等级的智能判定,判别准确率可达 85% 以上。在统计分析阶段,采用方差分析、相关分析等方法,揭示农产品质量指标间的内在联系,识别影响农产品品质的关键因子。

2.3 农产品质量溯源与追踪

农产品质量溯源与追踪是保障农产品质量安全、提升消费者信心的重要手段。基于RFID、二维码等电子标签技术,可实现对农产品从田间到餐桌全过程的信息标识与采集。电子标签通过唯一的ID编码,将农产品的产地、生产者、生产日期、加工流程、物流信息等质量属性与农产品实体关联。在农产品流通过程中,通过RFID读写器等设备读取电子标签信息,结合GPS定位技术,可记录农产品

的移动轨迹、所经环节的时间地点等^[6]。同时运用区块链技术,将溯源信息以加密、分布式的方式存储于区块链网络中。区块链的不可篡改、可追溯等特性,保证了农产品质量信息的真实性与可信度。例如,基于以太坊平台搭建的农产品溯源区块链系统,通过智能合约技术,将农产品生产、加工、物流等环节的质量检测数据自动写入区块,并对区块进行哈希加密和时间戳标记,形成可信的质量“档案”。消费者通过扫描农产品包装上的二维码,即可获取农产品的全程质量信息,实现“从农田到餐桌”的透明质量追溯。同时,区块链网络各节点通过共识机制对质量信息进行验证,一旦发现造假、篡改等失信行为,可快速定位责任主体。综合运用电子标签、区块链等技术构建的农产品“一物一码”质量追溯体系,有效促进了农产品质量管理的规范化、标准化,为农产品质量安全提供了坚实保障。

2.4 农产品质量预警与决策支持

计量检测技术为农产品质量预警与决策提供了重要的数据基础和分析手段,通过在农产品生产、仓储等环节布设各类传感器,实时采集温湿度、气体浓度等质量影响因子数据,并运用数据挖掘、机器学习等技术,构建农产品质量预警模型。例如,基于支持矢量机(SVM)算法的农产品质量预警模型,通过分析历史数据建立质量因子与质量隐患间的非线性关联,当实时监测的温湿度数据超出预设阈值时,模型即可预警质量风险,预警准确率可达 90% 以上。在质量预警的基础上,运用最优化理论、运筹学等方法,建立农产品质量决策优化模型。例如,基于混合整数规划(MIP)的农产品质量管控策略优化模型,通过求解质量目标、资源约束、管控成本等多目标优化问题,可自动生成最优的质量管控策略集,如调整仓储温湿度设置、启动农残快检流程等,实现质量管控的科学化、精细化。同时运用可视化技术,将农产品质量预警信息、决策方案以直观、交互的方式呈现,为管理者的质量决策提供辅助支持。例如,通过构建农产品质量安全态势感知系统,管理者可实时查看农产品质量综合评分、预警等级、管控建议等信息,并通过触控界面进行多维度数据获取,直观把握质量全局。

3 应用案例分析

3.1 案例背景

本文以某茶叶种植基地为例,该基地位于安徽省黄山市,占地面积约 53 hm^2 ,海拔 $600\sim 800\text{ m}$,属典型的山地丘陵茶园。基地年平均气温 $15.8\text{ }^\circ\text{C}$,年降水量 $1\,500\text{ mm}$ 左右,昼夜温差 $8\sim 12\text{ }^\circ\text{C}$,光照

充足,雨热同季,适宜优质茶叶的生长。茶园主要种植品种为传统的“黄山毛峰”,树龄 20~50 年,采用有机生态种植模式,不施化肥和农药。基地拥有茶叶初制、精制加工车间,建筑面积 6 000 m²,配备炒青机、烘干机、筛选机等自动化设备,年产干毛茶 150 t。茶叶产品主要销往北京、上海等一线城市,部分出口日本、欧盟等国际市场。然而,随着茶叶质量安全事件的频发,消费者对茶叶品质的要求日益提高。传统的茶叶质量管理模式已无法满足市场需求,亟需引入先进的质量管理理念和技术手段。为此,基地决定建设茶叶质量数字化管控系统,利用物联网、大数据等新一代信息技术,对茶叶种植、加工、仓储等环节进行智能化监测和管控,实现茶叶质量的可视化、可追溯和可预警,提升产品品质与市场竞争力。

3.2 计量检测技术的具体应用

茶叶质量数字化管控系统采用先进的计量检测技术,对茶叶生产质量进行全过程监控(表 2)。在茶园种植环节,布设了 50 个无线传感器节点,包括土壤温湿度传感器(测量精度±0.3℃,±2%RH)、光照强度传感器(测量范围 0~150 klx)、降雨量传感器(分辨率 0.2 mm)等,每 15 min 自动采集茶园小气候数据,通过 Zigbee 通信协议实时回传至数据中心。对采集的环境数据进行统计分析,结合茶树生长模型,形成茶园环境评价报告,指导茶农优化种植管理措施。

表 2 茶叶质量数字化管控系统关键技术应用

环节	关键技术	主要作用
茶园种植	物联网传感器	茶园环境监测
茶青采摘	机器视觉	茶青品质分级
茶叶初制	电子鼻	萎凋状态判定
成品检验	液相色谱—质谱	内在品质分析

在茶青采摘环节,研发了基于机器视觉的茶青品质快速检测设备,采用高分辨率工业相机(像素 2048×1536,帧率 60 fps)对采摘的鲜叶进行成像分析,提取叶片的颜色、形状、大小等特征参数,通过支持矢量机(SVM)算法判别茶青的嫩度和成熟度,分级准确率达 95%以上。将不同等级的茶青在采摘端进行初分,既提升了原料质量,又减少了后续分拣的人工成本。

在茶叶初制环节,应用电子鼻技术对茶青萎凋过程进行实时监测,通过 10 个 MOX 气敏传感器阵列(灵敏度 1~100×10⁻⁶)分析茶青气氛成分的动态变化,结合模糊神经网络算法判定茶青的最佳萎

凋状态,较传统经验判断方式,缩短萎凋时长 20%以上,显著提高了毛茶品质的稳定性。在成品检验环节,利用超高效液相色谱—三重四级杆质谱联用技术(UPLC—MS/MS),对茶多酚、咖啡碱、茶氨酸、农药残留等品质指标进行定量分析,检测限可低至 0.01 mg/kg,为茶叶质量安全把关。

通过计量检测技术在茶叶生产加工各环节的深度应用,茶叶质量管理实现了从“经验决策”到“数据决策”的转变。系统实施以来,茶叶产品品质明显提升,高档茶产量比例由建设前的 30%提高到目前的 55%,茶叶平均售价增长 20%以上,用户满意度达 95%,展现了计量检测技术赋能农业高质量发展的巨大潜力。

4 结语

计量检测技术是农产品质量数字化管理不可或缺的基础支撑,将先进的传感器技术、数据分析技术、溯源追踪技术等引入农产品质量管理各环节,能够显著提升农产品质量管控的精准化、智能化水平,为农产品质量安全提供有力保障。当前,农产品质量数字化管理尚处于起步阶段,亟需加强基础理论研究,突破关键核心技术,建立统一规范的技术标准体系,完善配套的管理制度和政策法规,推动形成可复制、可推广的质量管理新模式。未来,还需拓展计量检测技术在农业领域的应用广度和深度,加快推进“生产数字化、管理网络化、经营智能化”的农业现代化进程,为乡村振兴和农业农村现代化贡献计量力量。

参考文献:

[1] 朱运. 探讨计量检测技术在产品质量管理中的重要价值[J]. 产品可靠性报告, 2024(2):133-135.
[2] 卢俊华. 计量检测质量的影响因素及优化措施[J]. 大众标准化, 2024(6):196-198.
[3] 杨国昌. 利用数字计量云平台实现自动化数据采集与处理探讨自动化技术在计量检测中的优势与应用[J]. 大众标准化, 2023(17):182-184.
[4] 李持滨, 沈亚芹. 提高化学分析仪器计量检测质量的技术研究[J]. 山西化工, 2023, 43(6):52-53.
[5] 姜琳琳. 计量检测技术在市场监管工作中的重要应用[J]. 中国质量监管, 2023(3):88-89.
[6] 宋彦华. 农村市场监督管理工作中计量检测技术的应用[J]. 农家参谋, 2022(20):28-30.

作者简介:李 佳,女,1983 年生,硕士,工程师。研究方向为质量管理与分析检测。