

# 信息化技术在粮食产后节粮减损的应用

谢宇萧<sup>1</sup>, 郑 颂<sup>2</sup>

(澳门城市大学<sup>1</sup>, 澳门 999078)

(福建省储备粮管理有限公司<sup>2</sup>, 福州 350217)

**摘要:**节粮减损是保障国家安全的重要组成部分。本文围绕粮食产后节约减损问题,分析了我国粮食产后各环节损失现状及成因;详细介绍了由物联网、人工智能、区块链等组成的信息化技术在产后干燥、收购、储存、运输、加工和销售环节的研究应用现状;指出当前仍面临传感器可靠性、数据质量、系统兼容性与设备成本等制约应用成效的瓶颈,并提出加强技术研发、推动数据标准化、加大政策支持等解决路径,充分发挥信息化技术在打通数据流、优化决策流、精准控制流的优势,为粮食产后节约减损提供更为坚实的科技支撑。

**关键词:**信息化技术;粮食产后;节粮减损

DOI:10.20048/j.cnki.issn.1003-0174.001280

中图分类号:TP29;TS201 文献标识码:A 文章编号:1003-0174(2026)01-0227-08

网络首发时间:2025-11-27 13:17:41

网络首发地址:<https://link.cnki.net/urlid/11.2864.TS.20251127.1118.002>

## Application of information technology in grain loss reduction during post-harvest processes

Xie Yuxiao<sup>1</sup>, Zheng Song<sup>2</sup>

(City University of Macau<sup>1</sup>, Macau 999078)

(Fujian Grain Reserves Co., Ltd.<sup>2</sup>, Fuzhou 350217)

**Abstract:** Grain loss reduction is recognized as a crucial component of safeguarding national food security. Focusing on the issue of post-harvest grain loss reduction, the current situation and causes of losses in various post-harvest stages in China are analyzed in this paper. The research and application status of information technologies – including the Internet of Things (IoT), artificial intelligence (AI), and blockchain – in post-harvest processes such as drying, purchasing, storage, transportation, processing, and sales are elaborated in detail. Existing application bottlenecks are highlighted, such as sensor reliability, data quality, system compatibility, and equipment costs. Furthermore, corresponding solutions are proposed, including strengthening technological research and development, promoting data standardization, and increasing policy support. By leveraging the advantages of information technology in connecting data flow, optimizing decision-making flow, and enabling precise control flow, stronger technological support is expected to be provided for post-harvest grain loss reduction.

**Key words:** information technology; post-harvest gain processes; grain loss reduction

随着信息化技术飞速发展,大数据技术日益成熟,数实融合进一步深化,粮食产后大数据的创新应用正逐渐成为推动节粮减损的重要途径。2024年11月,为贯彻落实党中央、国务院关于厉行节约、反对浪费的决策部署,深入实施全面节约战略,推动落实

《中华人民共和国粮食安全保障法》、《中华人民共和国反食品浪费法》,加快形成切实管用的粮食和食物节约长效机制,着力解决粮食损失和食品浪费问题,《粮食节约和反食品浪费行动方案》强调利用信息化推动粮食产后节约减损行动。

节粮减损是指通过技术、管理、政策以及社会行动等多维度干预,减少粮食在供应链各环节中的非必要损失和浪费,旨在提高粮食利用率、保障粮食安全并减轻环境负担的综合性措施<sup>[1]</sup>。

信息化技术在粮食产后流通中的应用主要包括感知层、分析层和执行层的技术构成、核心功能及典型应用场景<sup>[2]</sup>。感知层是指数据采集神经末梢,其核心技术是环境与物体状态的实时数据捕获,包括物联网、射频识别(RFID)、机器视觉和卫星定位等关键技术<sup>[3]</sup>,典型应用于粮情监测平台;分析层是指智能决策中枢,其核心技术是数据价值挖掘与决策优化,包括大数据分析、人工智能(AI)、数字孪生、知识图谱等关键技术<sup>[4]</sup>,典型应用于粮仓智能通风的决策系统和虫害智能诊断平台;执行层是指精准控制操作,其核心技术是基于分析的自动化干预,包括智能装备、工业机器人、智能控制系统、区块链等关键技术<sup>[5]</sup>,典型应用于粮食水分干燥控制和区块链溯源平台。

本文综述了物联网、人工智能、区块链等信息化技术在粮食产后流通中的应用,揭示了其通过动态监测-智能决策-精准执行的闭环机制实现节粮减损的路径。通过分析粮食产后各环节损失情况与原因,列举信息化技术在节粮减损的研究应用,指出存在的应用瓶颈及解决办法,以期对粮食产后流通、消费过程技术改造、数字化转型提供方向,为推动粮食产后节粮减损从“经验管控”向“监测-预警-处置-学习”的主动风险拦截的管理模式的变化提供参考。

## 1 粮食产后损失的情况与原因

### 1.1 损失情况与原因分析

粮食产后各环节主要损失类型及原因包括<sup>[1,6]</sup>:干燥环节的损失,因干燥设备的水分监测探头分布不科学,控温模块精准度不高导致过度干燥,引起籽粒爆腰、热损伤粒增多,同时干燥能耗增加。收购环节的损失,因传统人工扦样样品的代表性较弱,未能及时发现高水分粮食及人工感官检验的误差引起的等级误判,导致的损失主要体现在高水分粮食引起的籽粒生霉、生芽、变色变质,不同等级的粮食混收。储存环节的损失,因粮情监测滞后,气调、低温储藏应用成本较高,仓储设施老化等原因,导致粮食自身代谢引起的粮堆温湿度异常导致的虫害、粮食籽粒损伤,粮食呼吸作用引起的品质下降。运输环节的

损失,因包装与运输工具密封性差、途中环境监控缺失和路径规划不科学的原因,在运输过程中因撒漏、雨淋、污染导致霉变或品质下降,同时因运输路径不合理增加损耗风险和时间。加工环节的损失,因加工设备精度不足、原料品质判断不准确影响工艺适配度,导致过度加工造成的出品率低和营养损失,而工艺不当则导致稻谷破碎率以及副产品利用率低。销售环节的损失,因缺乏精准的市场需求预测和库存管理系统引起的供需信息不对称,可能导致临期、过期粮食浪费的现象产生,还因库存积压导致品质下降。

### 1.2 损失成因的技术关联性

粮食产后的损失并非孤立发生的,其本质是信息断层、决策滞后和执行粗放等问题交织作用的结果,而信息技术正是破解这一关联链条的关键。

信息断层是指在传统模式下,各环节数据是相互割裂独立形成信息孤岛,从而导致认知盲区的出现,造成被动损失。例如粮食储存环节,根据 GB/T 29890—2013《粮油储藏技术规范》储粮害虫检查限期要求,引发虫害、霉变的粮食局部升温情况可能延迟 7 d 以上被发现<sup>[7]</sup>,因此错过黄金处置时期。销售环节,传统的需求预测误差率高达 35%,导致商品的缺货与临期报废情况同时存在而引起过期食物的浪费<sup>[8]</sup>。

可以通过物联网传感器深埋式的温湿度探头,及时监测粮仓发热点;区块链溯源、POS 系统数据融合等技术,构建全链条数字镜像,全程信息同步,消除因信息断层导致的被动损失的产生。

决策滞后是指缺乏实时数据的分析能力,引起响应失效进而造成损失扩大。例如加工环节,缺少原粮质量在线检测手段,从而使用固定工艺参数处理不同品质原粮,导致碎米率增加;储存环节,粮食虫害发生以后的补救措施的迟滞性,可能会导致害虫密度增加,从而增加处理难度和成本。可以通过原粮在线检验分析设备、粮情监测传感器结合 AI 算法,实现从“事后补救”到“事前预警”,决策响应周期从数天压缩至数秒。

执行粗放是指操作精准度不足加剧损耗的发生。例如储存环节,凭经验启停风机,可能导致无效通风或增加水分损失。可以通过智能通风系统依托数据指令精准执行,实现对粮食储存过程中的温度、湿度等关键参数的高精度控制<sup>[9]</sup>。

损失本质是“数据缺失-决策失准-执行偏差”的正反馈循环。信息技术通过打通数据流、优化决

策流、精准控制流,将传统被动式、经验化的损失应对模式,重构为主动式、智能化的“数字免疫”体系。

## 2 信息化技术在粮食产后节粮减损的研究应用

### 2.1 干燥环节

粮食收获后需干燥至安全水分,以符合加工或储存的要求。粮食干燥过程中不均匀,部分粮食因失水过快、过多导致品质下降,而部分粮食因干燥不到位导致水分过高引起虫害霉变等问题,可通过粮食精准干燥控制从而达到适度干燥、储存安全、保持品质、节约能源的效果。

粮食精准干燥控制主要是通过物联网传感器实时在线监测粮食水分、温度和热风参数,建立起基于粮食种类、初始水分、目标水分、环境条件的智能干燥模型,根据模型自动调节热风温度、风量、干燥时间,实现动态优化控制。

何开宇等<sup>[10]</sup>使用模糊PID下粮食烘干机作业计量控制技术,接收传感器的温度实时监测数据,根据实际值与目标值的偏差,采用模糊PID算法自动调节燃油供给、风量,实现了燃油炉的风温自动化计量控制,该技术控制时间不超过15s,超调量低;容错系数达到0.90以上,粮食爆腰率低于1.5%,有效保证粮食品质。谭新圆等<sup>[11]</sup>研究的粮食烘干机温度控制系统,其32位温度控制器单片机和PCB板的布局布线,可根据传感器监测的实时温湿度、粮食含水量数据,判断粮食干燥状态,进而控制加热功率,最终实现自动化、节能、高品质的粮食干燥目标。

### 2.2 收购环节

粮食经营者在执行政府粮油储备收购入库质量安全检验时,对每一车次粮食进行常规质量指标和食品安全指标检测。传统依靠人工完成的粮食扦检工作,存在工作效率低、信息不对称等问题。通过智能收购与质检技术的应用推动粮食扦检实现自动化、智能化。

智能收购与质检技术由近红外光谱、机器视觉、物联网传感器、移动终端App和区块链等技术集成应用,可开展粮食自动扦检、常规质量指标和主要食品安全指标的检测,替代传统人工扦样、粮食验质定等,具有自动化称重、信息实时录入与上传,减少人为误差的优势;基于检测数据可实现智能定价与分级入库;区块链记录收购信息,可保证来源透明、数据不可篡改。

在自动扦样方面,机器视觉技术融合摄像头的特征提取识别功能和激光雷达的扫描生成几何参数、三维重建识别功能,可自动抓取识别装粮车信息,辅以智能算法在规则规范内生成扦样点位<sup>[12,13]</sup>,避免了人工扦样选点随意的风险,使所扦取的样品更具代表性,且扦样效率较传统人工方式提高1倍以上<sup>[14]</sup>。粮食常规质量指标外观品质检测方面,将深度学习算法中的卷积神经网络与机器视觉技术结合,张博<sup>[15]</sup>设计的ResNet模型能在56s内完成小麦籽粒的不完善粒、杂质的识别,正确率达96.3%;范保江<sup>[16]</sup>选取VGG19训练模型完成的稻谷出糙率检测结果与国家标准测定相似度达91.4%,检测速度也有显著提升;王建宇<sup>[17]</sup>在Faster R-CNN的基础上提出的可直接输入彩色图像的玉米籽粒品质精选检测模型,检测正确率为96.8%。收购全流程数据溯源方面,采用物联网技术使系统管控可视化,实现粮食从入库到定等定级全链条无人干预<sup>[18]</sup>,星际文件系统提高数据可用性、安全性和信息透明度<sup>[19]</sup>,全流程可追溯防篡改。

### 2.3 储存环节

粮食储存过程中的发热、虫害、霉变对储粮安全造成威胁。采用智能仓储管理技术,构建“智慧粮仓”管理体系,推动传统储粮模式实现从“靠经验”向“靠科技”的转变。

智能仓储管理技术,通过融合物联网传感器网络、大数据分析、人工智能、云计算、智能通风及气调控制等技术,可实现全方位实时多层次监测粮堆内部温湿度、氧气和二氧化碳浓度、虫害情况、粮食霉变等信息,提前发出预警、自动或辅助决策最佳通风,降低霉变、虫害发生风险,延缓粮食品质劣变,减少化学药剂使用,降低物理损耗,提高仓储管理效率和安全性。

在温湿度、气调方面,龚春艳<sup>[20]</sup>设计了基于混沌理论和改进的RBF神经网络模型的储粮温度预测和智能通风系统,结合MySQL数据库和LORA无线通信模块,搭配机械通风降温技术设计智能化粮储系统,实现对异常粮情的及时预警、及时控制;柳航<sup>[21]</sup>设计了基于IPSO优化CNN-BiGRU-Attention储粮温度预测模型的智能通风控制系统,将采集的温湿度粮情数据传至粮情测控主机,并同步至云服务器进行存储,随后进行温度模型预测,决定是否采取通风,经测试该系统能够降低粮库保管员工作量、提高通风效率;李行<sup>[22]</sup>构建了基于PatchTST建立起在降温通风、降水通风、防结露通风、排积热通风、调质通

风等模态下的粮情多模态控制算法,以及时调整优化通风控制策略,实现粮仓温湿度的快速调节。马雪迪<sup>[23]</sup>将 BP 神经网络模型与数字孪生技术融合预测最高粮温,利用 CFD 方法获得通风时的粮温变化数学模型,将预测粮温与实时采集粮温反馈给粮仓孪生体模型进行再学习,优化通风调控策略。朱龙<sup>[24]</sup>运用传统 PID 控制模型和模糊 PID 控制模型对储粮仓温湿度控制系统动态响应特征进行具体分析,得出了模糊 PID 控制模型在储粮仓温湿度自动控制方面具有优越性。丰寿强等<sup>[25]</sup>设计的通过智能算法、物联网、大数据等技术精确控制氮气体积分数和储存环境参数,可实现储存过程中粮食品质良好比例提高 10% 以上,气调储粮能耗下降 5% 左右。

在虫害监测方面,将深度学习技术融合害虫图像识别、声音检测是当前粮仓虫害检测智慧化发展的方向。马爱霞<sup>[26]</sup>使用深度学习算法中的 YOLO、SSD 和 Retina Net 等 3 种模型,对害虫图像信息进行采集,通过 ZigBee、LoRa 和 NB-IOT 等 3 种技术对采集信息进行传输。借助云平台强大的存储、计算和分析数据的能力,运用深度学习算法对数据进行深入精准的分析,如机器学习可用于诱捕数量的研究,深度学习可用于害虫声音信号的提取等,实现粮仓害虫的预测、精准诱捕、科学熏蒸等工作。刘玉娟等<sup>[27]</sup>基于 TDLAS 建立的储粮 CO<sub>2</sub> 浓度、温度及湿度于一体的现场检测系统,实现弱信号调理、CO<sub>2</sub> 体积分数计算及多参数云图、水势图显示分析等人机交互功能,能够全面反映粮仓虫害、霉变等状况;王殿轩等<sup>[28]</sup>提出用诱捕器、CO<sub>2</sub> 检测仪、摄像头等建立的储粮害虫在线监测技术;许景<sup>[29]</sup>提出基于 CNN-LSTM 的粮食虫害预测模型,编写可接入现有粮情测控平台的虫害预测功能的微服务器,弥补了粮情监测系统虫害预测方面的较弱的问题,指导精准施药或物理防治。

赵亚茹等<sup>[30]</sup>研发的粮仓中害虫实时监测系统和设备,使整仓的监测结果与预测的准确率超过 90%,并且可预测未来 1 周害虫的发生趋势,以提高储粮害虫预警能力,每年可减少 1~2 次磷化氢熏蒸,可产生 30~50 万元经济效益。同时,由于减少了杀虫剂使用带来的环境污染与资源浪费,从源头上提高粮油品质和安全保障水平,实现从“被动应对”向“主动保障”的转变。

## 2.4 运输环节

目前,我国粮食运输损失率基本控制在 3% 以内,部分企业可控制在 1% 以内<sup>[31]</sup>。智慧物流与运

输体系技术强化运输企业节粮减损观念,发展规范化、标准化、信息化散粮运输服务体系,探索应用粮食高效减损物流模式。

智慧物流与运输技术,主要融合了物联网、地理信息系统、大数据分析、人工智能、区块链和射频识别等技术。通过传感器、RFID 技术和物联网设备实时监测车厢箱内温湿度、货物状态<sup>[32]</sup>,保障运输过程载具符合食品安全要求;基于交通、天气、成本、时效和损耗风险等因素生成的智能路径规划功能可优化运输路线<sup>[33]</sup>;车辆调度与状态监控功能提高车辆利用率,监测车辆行驶状态提升在途行驶安全;以射频识别技术和区块链为基础的全程追溯功能<sup>[34]</sup>,可记录运输节点信息,确保过程透明,实现快速定位。

郭少华<sup>[35]</sup>设计基于北斗/5G 的粮食多式联运实时监控系,绘制 SPC 控制图,实现对动态粮情的实时监控和预警,设计 BDS/SINS 组合导航方案解决复杂地形和天气对车辆精确定位的影响,构建高维多目标下的粮食多式联运优化模型,筛选最优路径,减少运输损耗。曹浩浩<sup>[36]</sup>设计了基于区块链与物联网融合的粮食供应链溯源系统(BIFTS),将来自物联网采集传输的信息作为区块链上信息的数据源,减少人为干预,保障了全链条信息的真实可信。

## 2.5 加工环节

粮食的粗放化加工模式因加工技术落后、过度加工和产业链过短等问题,造成粮食加工环节的损失率达 6.03%<sup>[37]</sup>。智能加工技术强化精细化管理与智能化控制,提升加工精度与效率,减少传统加工方式中因操作不当、设备落后等因素导致的原料损耗<sup>[38]</sup>。

智能加工技术主要融合了机器视觉、传感器、自动化控制、大数据、人工智能和工业互联网平台等技术。实现通过品质在线检测实时调整大米加工工艺;提高设备精准控制能力,控制凉米温度、碾磨压力、时间等,以减少过度加工和碎米的产生。

许永健<sup>[39]</sup>设计基于机器视觉的大米加工品质在线检测及反馈控制系统,通过图片识别算法,大米品质在线识别准确率分别为加工精度 91.63%、垩白度 93.75%、碎米率 94.76%、爆腰缺陷 72.97%,单幅图像平均检测耗时 754 ms,根据品质判别结果动态调整碾米机工作状态。黄文雄等<sup>[40]</sup>设计由数据检测与处理、可编程逻辑控制器为核心的联动控制系统、人机交互等部分组成的碾米线精准加工的多级联控系统,碎米率平均降低 8% 左右,电耗平均降低 10 kWh/t,温升平均降低 15 °C,改善了加工质量,节省

能耗。曹峰等<sup>[41]</sup>设计由测温电缆、湿度计、料位器、显示仪表、PLC控制系统等组成的智能凉米系统,可使生产大米的新鲜度更高、爆腰率更低。

## 2.6 销售环节

销售环节通过数字化技术的应用实现库存控制智能化,减少食物因过期、变质导致的浪费,以及减少食物过量采购与不合理烹饪导致的损失和浪费。建立消费者饮食健康监测系统,帮助形成符合消费者自身需求的粮食消费结构<sup>[42]</sup>。

智慧销售与消费引导技术,主要融合大数据分析、需求预测和动态定价的人工智能、电子商务平台、溯源系统等技术。构建通过区块链溯源时钟、电子价签系统,实现智能监测;通过需求预测、动态补货公式及调控策略建立供需智能决策模型实现动态调控。

陈诚<sup>[43]</sup>提出基于食材库存控制的智慧餐饮模型,通过历史菜品的销售量预测食材的采购量,使出入库达到动态平衡,实现食材零库存管理,并借助EIO前后端交互技术实现了智慧餐饮系统。孙胜男<sup>[44]</sup>设计基于移动端的校园智慧餐饮系统,自动生成最优采购清单,有效减少食材浪费。朱福全等<sup>[45]</sup>设计的智能餐厨管理系统,其数据处理方法及介质,结合人脸识别技术、光盘识别技术和大数据分析,可提升用餐者的环保意识,优化和降低餐厅管理的成本。Kayikci等<sup>[46]</sup>通过实时数据、物联网技术、人工智能和大数据分析来优化定价,以减少食品浪费。

## 3 应用瓶颈与解决方案

信息化技术在粮食产后各环节的应用,为节粮减损提供了有力支撑,有效提升了粮食资源利用效率,但仍面临技术瓶颈亟待解决。

在感知层方面,传感器因粮堆压力过大易变形损坏,粮仓粉尘导致敏感元件污染堵塞,低温使传感器响应变慢、测量失真。传感器失效或失真会造成监测数据不准确,无法及时发现粮情异常,甚至导致智能系统瘫痪,直接影响粮食管理调控,加剧产后损耗。

在分析层方面,粮食产业高质量数据匮乏,制约模型深度学习效果;数据可靠性不足直接降低分析精度与预测能力;精准粮情建模耗时过长导致预警延迟;不同时期、厂商的信息系统技术架构与数据标准不一,形成“数据孤岛”,阻碍数据共享与综合利用,难以通过数据分析实现精准减损。

在执行层方面,精细化控制设备使用维护成本高、对操作人员要求高,且企业设备改造升级易产生停产损失,导致智能机械装备普及率低,无法通过高效执行手段落实减损措施。

因此,需构建“政策引导、技术驱动、人才支撑”的路径,解决数据质量、设备可靠性、成本及数据共享等问题,深化节粮减损成效。

政策层面,加强顶层设计与制度保障。一是制定强制与引导结合的标准体系,统一粮食流通全链条数据标准与云平台接口,建立智能粮仓设备准入、定期校准及维护规程,从源头提升数据质量与设备稳定性。二是加大财政金融支持,通过专项补贴、税收减免、贷款贴息,降低企业智能装备购置、系统升级成本;推广智能装备租赁、粮情监测云服务,搭建公共服务平台。

技术层面,聚焦核心攻关与集成创新。一是研发抗压、防尘、自校准专用传感器,提升故障诊断技术,优化布点方案,确保数据精准。二是构建“云-边-端”协同架构,强化边缘计算缩短响应时间,云端优化模型并下发至边缘节点,提升预警及时性。三是运用小样本学习、生成对抗网络技术,利用有限数据生成高质量模拟数据,加速模型训练;融合多源信息构建知识图谱,实现深度因果分析与决策支持,推动产后管理从“人防”升级为“技防”,实现深度减损。

人才层面,加快培育复合型队伍。高校设立智慧农业、粮食信息技术交叉学科,校企合作培养专业人才;开展在职人员技能培训,强化智能装备操作、数据解读等能力;制定专项政策引进高端技术人才,提升行业创新能力,为节粮减损提供人才保障。

## 4 结语

粮食产后节粮减损是保障国家安全的重要组成部分,信息化技术的应用在粮食产后节粮减损中发挥着重要作用。本文通过分析粮食产后各环节损失情况与原因,信息化技术在粮食产后节粮减损的应用,指出存在的应用瓶颈及解决办法,阐述了信息化技术的“监测-预警-处置-学习”主动防控模式是推动粮食产后节粮减损的可靠途径。然而,当前的信息化技术在粮食产后的应用尚处起步阶段,面临传感器、精细化控制设备等硬件投入大,数据分析模型训练可靠性等多方面挑战。未来需要加大在政策支持、技术创新和人才培养等方面的扶持,充分发挥

信息化技术在打通数据流、优化决策流、精准控制流的优势,为粮食产后节粮减损提供更为坚实的科技支撑。

### 参考文献

- [1] 朱嘉敏. 粮食供应链减排减损决策与协调研究[D]. 郑州: 河南农业大学, 2025: 9  
Zhu J. Research on decision-making and coordination for emission reduction and loss reduction in the grain supply chain [D]. Zhengzhou: Henan Agricultural University, 2025: 9
- [2] 苏宇, 薛斌, 黄明士. 基于语言大模型的工业机器人智能作业综合实验设计[J]. 实验技术与管理, 2025, 42(10): 48-53  
Su Y, Xue B, Huang M. Comprehensive experimental design of industrial robot intelligent operation based on language large model[J]. Experimental Technology and Management, 2025, 42(10): 48-53
- [3] 孙其博, 刘杰, 黎彝, 等. 物联网: 概念、架构与关键技术研究综述[J]. 北京邮电大学学报, 2010, 33(3): 1-9  
Sun Q, Liu J, Li S, et al. Internet of Things: summarize on concepts, architecture and key technology problem[J]. Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications, 2010, 33(3): 1-9
- [4] 魏瑾, 李伟华, 潘炜. 基于知识图谱的智能决策支持技术及应用研究[J]. 计算机技术与发展, 2020, 30(1): 1-6  
Wei J, Li W, Pan W. Research on intelligent decision support technology and application based on knowledge graph [J]. Computer Technology and Development, 2020, 30(1): 1-6
- [5] 王健, 罗香. 制药智能制造技术与应用实践[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2022  
Wang J, Luo X. Pharmaceutical intelligent manufacturing technology and its application practice [M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 2022
- [6] 高利伟, 许世卫, 李哲敏, 等. 中国主要粮食作物产后损失特征及减损潜力研究[J]. 农业工程学报, 2016, 32(23): 1-11  
Gao L, Xu S, Li Z, et al. Main grain crop postharvest losses and its reducing potential in China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2016, 32(23): 1-11
- [7] 国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 粮油储藏技术规范: GB/T 29890—2013[S]. 北京: 中国标准出版社, 2014
- [8] Beullens P, Ghiami Y. Waste reduction in the supply chain of a deteriorating food item - Impact of supply structure on retailer performance[J]. European Journal of Operational Research, 2022, 300(3): 1017-1034
- [9] 罗书克, 李珍萍. 基于 LoRa 平台的智能通风控制系统研究[J]. 许昌学院学报, 2022, 41(5): 103-107  
Luo S, Li Z. Research of intelligent ventilation control system based on LoRa platform[J]. Journal of Xuchang University, 2022, 41(5): 103-107
- [10] 何开宇, 江浩, 李鹏飞, 等. 模糊 PID 下粮食烘干机作业计量控制技术[J]. 粮食与饲料工业, 2025(3): 55-60  
He K, Jiang H, Li P, et al. Operation metering and control technology for grain dryers based on fuzzy PID[J]. Cereal & Feed Industry, 2025(3): 55-60
- [11] 谭新圆, 朱文学, 白喜婷, 等. 粮食烘干机温度控制系统的设计[J]. 包装与食品机械, 2021, 39(3): 68-72  
Tan X, Zhu W, Bai X, et al. Design of temperature control system for grain dryer[J]. Packaging and Food Machinery, 2021, 39(3): 68-72
- [12] 赵国川, 马浩然, 李月, 等. 基于激光雷达扫描定位的粮车扦样点自动生成方法及系统: CN120107368B[P]. 2023-06-20
- [13] 张芳薇. 车载散粮取样系统关键技术研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2014: 61-62  
Zhang F. Research of sampling system's key techniques for bulk grain loaded by truck[D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2014: 61-62
- [14] 白俊艳, 王岩虎, 罗云飞, 等. 传统固定式粮食扦样机智能化改造[J]. 粮食储藏, 2023, 52(5): 49-53  
Bai J, Wang Y, Luo Y, et al. Intelligent transformation of traditional fixed grain cutting sample machine[J]. Grain Storage, 2023, 52(5): 49-53
- [15] 张博. 基于深度学习的小麦外观品质机器视觉检测研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2019: 48-49  
Zhang B. Machine vision inspection of wheat appearance quality based on deep learning[D]. Yangling: Northwest A & F University, 2019: 48-49
- [16] 范保江. 基于机器视觉的稻米外观品质检测系统研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2022: 43-44  
Fan B. Research on rice appearance quality detection system based on machine vision[D]. Baoding: Hebei Agricultural University, 2022: 43-44
- [17] 王建宇. 基于卷积神经网络的玉米籽粒精选系统研制[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2019: 68-69  
Wang J. Development of corn kernel selection system based on convolutional neural network[D]. Haerbin: Northeast Agricultural University, 2019: 68-69
- [18] 李月, 马浩然, 李艺博, 等. 粮食收购智能扦检系统的研究进展[J]. 粮食储藏, 2024, 53(2): 1-7  
Li Y, Ma H, Li Y, et al. Research progress on grain purchase intelligence sampling and quality index inspection platform[J]. Grain Storage, 2024, 53(2): 1-7

- [19] Farooq M S, Ansari Z K, Alvi A, et al. Blockchain based transparent and reliable framework for wheat crop supply chain[J]. PLOS ONE, 2024, 19(1):e0295036
- [20] 龚春艳. 面向粮仓的新型温度预测模型及其应用研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2025: 63-64  
Gong C. Research on a novel temperature prediction model for grain silos and its applications[D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2025: 63-64
- [21] 柳航. 基于神经网络的储粮温度预测及通风控制系统研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2024: 63-64  
Liu H. Research on storage grain temperature prediction and ventilation control system based on neural network[D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2024: 63-64
- [22] 李行. 基于深度学习的粮情多模态控制算法的研究[D]. 郑州: 河南工业大学, 2024: 49-50  
Li X. Research on multimodal control algorithm for grain situation based on deep learning[D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2024: 49-50
- [23] 马雪迪. 基于数字孪生技术的粮仓智能通风系统设计与实现[D]. 合肥: 安徽大学, 2022: 55-56  
Ma X. Design and implementation of intelligent ventilation system for granary based on digital twin technology[D]. Hefei: Anhui University, 2022: 55-56
- [24] 朱龙. 储粮通风系统结构与通风工艺优化[D]. 芜湖: 安徽工程大学, 2023: 62  
Zhu L. Structure and ventilation process optimization of grain storage ventilation system[D]. Wuhu: Anhui Polytechnic University, 2023: 62
- [25] 丰寿强, 杨自勤, 钱思宇, 等. 储粮氮气调智能化控制系统的设计和应用[J]. 现代食品, 2024, 30(18): 10-14  
Feng S, Yang Z, Qian S, et al. Design and application of intelligent control system for nitrogen gas regulation in grain storage[J]. Modern Food, 2024, 30(18): 10-14
- [26] 马爱霞. 粮仓害虫检测智慧化研究进展[J]. 粮食科技与经济, 2025, 50(3): 83-87  
Ma A. A review on the intelligent detection of grain storage pests[J]. Food Science and Technology and Economy, 2025, 50(3): 83-87
- [27] 刘玉娟, 刘颜达, 赵阳, 等. 基于TDLAS的储粮二氧化碳激光检测系统研制[J]. 农业工程学报, 2022, 38(20): 250-256  
Liu Y, Liu Y, Zhao Y, et al. Development of the carbon dioxide laser detection system for grain storage based on TD-LAS[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2022, 38(20): 250-256
- [28] 王殿轩, 万家鹏, 张浩, 等. 储粮害虫在线监测及其结果的评价利用[J]. 中国粮油学报, 2017, 32(11): 112-116  
Wang D, Wan J, Zhang H, et al. Application and result evaluation on online monitoring of stored grain insect pests[J]. Journal of the Chinese Cereals and Oils Association, 2017, 32(11): 112-116
- [29] 许景. 基于长短期记忆网络的粮仓储粮虫害预测模型研究[D]. 合肥: 安徽大学, 2022: 47-48  
Xu J. Research on prediction model of grain and insect pests in grain storage based on long short-term memory network[D]. Hefei: Anhui University, 2022: 47-48
- [30] 赵亚茹, 鲁玉杰, 苗世远. 雕“虫”小技: 研发应用新型储粮害虫监测与预警设备[J]. 中国粮食经济, 2024(5): 42-43  
Zhao Y, Lu Y, Miao S. Carving “insect” skill: research and application of new monitoring and early warning equipment for stored grain pests[J]. China Grain Economy, 2024(5): 42-43
- [31] 刘慧. 堵住粮食运输“跑冒滴漏”[N]. 经济日报, 2024-12-27(6)
- [32] 牟琳. 基于大数据分析的粮食物流运输效率提升策略研究[J]. 黑龙江粮食, 2025(6): 63-65  
Mu L. Research on improving the efficiency of grain logistics transportation based on big data analysis[J]. Heilongjiang Grain, 2025(6): 63-65
- [33] 随赛, 李军五, 辛烁军, 等. 典型粮食物流通道物流模式探究[J]. 现代食品, 2024, 30(10): 5-7  
Sui S, Li J, Xin S, et al. Study on typical grain logistics channel logistics mode[J]. Modern Food, 2024, 30(10): 5-7
- [34] 王琳, 刘蓝一, 吴枫, 等. 基于区块链的粮食供应链信息协同共享网络研究[J]. 物流技术, 2024, 43(10): 149-160  
Wang L, Liu L, Wu F, et al. Research on grain supply chain information collaboration and sharing network based on blockchain[J]. Logistics Technology, 2024, 43(10): 149-160
- [35] 郭少华. 基于北斗/5G的粮食多式联运实时监控系统的研究与应用[D]. 郑州: 河南工业大学, 2025: 75-76  
Guo S. Research and application of real-time monitoring system of grain multimodal transportation based on Beidou/5G[D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2025: 75-76
- [36] 曹浩浩. 基于区块链与物联网融合的粮食供应链溯源系统研究与实现[D]. 郑州: 河南工业大学, 2023: 49  
Cao H. Research and implementation of food supply chain traceability system based on the integration of blockchain and Internet of Things[D]. Zhengzhou: Henan University of Technology, 2023: 49
- [37] 胡永浩, 胡南燕, 张昆扬, 等. 中国节粮减损政策演进、

- 内在逻辑及政策优化研究[J]. 农业经济问题, 2024, 45(10):120-133
- Hu Y, Hu N, Zhang K, et al. Grain saving and loss reduction policies in China: evolution, logic, and optimization[J]. *Issues in Agricultural Economy*, 2024, 45(10): 120-133
- [38] 赵依雯. 数字技术赋能全链条节粮减损的价值与路径[J]. 粮食问题研究, 2025(4):52-56
- Zhao Y. Digital technology enabled value and path of the whole-chain grain loss reduction [J]. *Grain Issues Research*, 2025(4):52-56
- [39] 许永健. 基于机器视觉的大米加工品质在线检测及反馈控制研究[D]. 镇江: 江苏大学, 2021: 67-68
- Xu Y. Study on online detection and feedback control of rice processing quality based on machine vision[D]. *Zhenjiang: Jiangsu University*, 2021: 67-68
- [40] 黄文雄, 谢健, 程科, 等. 碾米线精准加工的多级联控关键技术研究与应用[J]. 粮食与食品工业, 2022, 29(2):43-44
- Huang W, Xie J, Cheng K, et al. Research and implementation of multi-stage joint control key technology for precise processing of rice milling line[J]. *Cereal & Food Industry*, 2022, 29(2):43-44
- [41] 曹峰, 张重阳, 陈伟, 等. 智能凉米系统对稻谷加工及品质的影响[J]. 粮食与食品工业, 2024, 31(3):1-5
- Cao F, Zhang C, Chen W, et al. Influence of intelligent cool rice system on rice processing and quality[J]. *Cereal & Food Industry*, 2024, 31(3):1-5
- [42] 林海, 管梦迪. 数字技术对粮食减损的作用与具体做法探析[J]. 粮油食品科技, 2024, 32(6):28-39
- Lin H, Guan M. Analysis on the role and pathway of digital technology in reducing food loss and waste[J]. *Science and Technology of Cereals, Oils and Foods*, 2024, 32(6):28-39
- [43] 陈诚. 智慧餐饮系统的关键技术研究与应用[D]. 广州: 华南理工大学, 2019: 95
- Chen C. Research and application on key technology of smart catering system[D]. *Guangzhou: South China University of Technology*, 2019: 95
- [44] 孙胜男. 基于移动端的校园智慧餐饮系统研究与设计[J]. 现代食品, 2024, 30(20):82-84
- Sun S. Research and design of campus smart dining system based on mobile terminal [J]. *Modern Food*, 2024, 30(20):82-84
- [45] 朱福全, 胡晓亮, 王立进, 等. 一种智能餐厨管理系统、其数据处理方法及介质: CN113688719A[P]. 2021-11-23
- [46] Kayikci Y, Demir S, Mangla S K, et al. Data-driven optimal dynamic pricing strategy for reducing perishable food waste at retailers[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2022, 344:131068.