

编者按:食品是人类赖以生存的物质基础,而传统的食品研发、生产与管理方式正面临着诸多挑战,存在创新性不足的问题。近年来,人工智能(AI)技术发展迅猛,正深刻地影响着人类的思维、生产模式以及生活方式。AI技术是通过计算机模拟人类智能行为的一种技术,它包括机器学习、深度学习、自然语言处理、计算机视觉等多个领域。AI技术也赋能食品行业,其应用不断深化与拓展,已成为全行业创新发展的新质生产力与驱动力。目前,AI技术已被用于食品安全与监管、食品分析与检测、食品加工与生产、食品研发与创新、食品营养与健康等诸多领域。本刊现开设“人工智能+食品”特约专栏,连续刊载相关文章。

(本刊编辑部。客座编辑:江南大学人工智能与计算机学院吴小俊教授。)

人工智能在食品安全中的最新应用及进展

左敏^{1,2}, 纪慧卓^{1,3}, 苏礼君^{1,3}, 张玉玉³, 颜文婧^{1,4}, 张青川^{1,4}, 孔建磊^{1,4*}

(¹北京工商大学农产品质量安全追溯技术及应用国家工程研究中心 北京 100048

²北京物资学院信息学院 北京 101126

³北京工商大学食品与健康学院 北京 100048

⁴北京工商大学计算机与人工智能学院 北京 100048)

摘要 食品安全关乎国计民生,对社会经济稳健发展和人类健康至关重要。随着食品工业的快速发展与全球化趋势的加速推进,食品安全问题愈发严峻,成为亟待全球共同应对的重大议题。随着科技的飞速进步,以人工智能(AI)为代表的新兴技术在食品安全领域的应用日益广泛,展现出巨大的潜力与价值。AI以其强大的数据处理能力、精准的模式识别与预测分析功能,为食品安全问题预测与监管提供了强有力的技术支持,有效提升了食品安全管理的效率与精确度。AI实现了食品病原体检测与鉴定、新鲜度评估、保质期预测、食品掺假识别及食品安全预警等。本文综述AI在食品安全领域的研究进展。主要介绍AI在食品安全风险因素检测中的应用,尤其聚焦在食品中的微生物污染检测。同时,系统总结AI在食品质量安全评估中的应用,包括食品掺假识别、货架期预测及食品标签真实性检验。此外,阐述AI在食品安全监管中的应用,即食品安全预警系统的构建和食品安全追溯技术的智能化,并讨论当前AI在食品安全领域应用中面临的局限性和未来应用前景,旨在为保障公众健康,促进食品产业健康发展提供支撑。

关键词 人工智能; 食品安全检测; 食品安全监管; 食品追溯; 食品掺假

文章编号 1009-7848(2024)10-0001-13 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2024.10.001

食品安全关乎国家经济发展与民众健康,已成为全球重点关注的问题之一。随着食品工业的迅猛发展和全球化进程的日益加深,食品安全问题日益凸显,影响着民众生命健康、社会稳定与可

持续发展^[1]。据世界卫生组织的最新统计,全球每年约有6亿人患食源性疾病,42万人因食源性疾病死亡^[2]。全球在减少食源性疾病的过程中进展缓慢且面临诸多严峻挑战。如美国,在过去10年间,由沙门氏菌、单核细胞增生李斯特菌等关键食源性病原体引起的疾病发病率保持相对稳定,始终未能达到其“健康人民”计划中设定的多项与食品安全相关的公共卫生目标^[2]。近年来,我国食品安全问题层出不穷,诸如食品污染(微生物污染、化学污染、物理污染)、食品添加剂滥用,虚假标签等问题,导致食品安全事件频发^[3]。虽然传统的食品检验检测方法在保障食品安全方面发挥了重要作用,但是其固有的局限性,如检测周期长、成本高、效率低下以及误差率较高,已难以满足现代社会

收稿日期: 2024-07-22

基金项目: 国家自然科学基金项目(62433002,62476014,62473008);北京市科技新星计划项目(20240484710);国家重点研发计划项目(2021YFD2100605,2022YFF0606803);北京市属高校教师队伍建设支持计划高水平科研创新团队项目(BPHR20220104);北京学者计划项目(099);中华全国供销合作总社课题项目(202407)

第一作者: 左敏,男,博士,教授

通信作者: 孔建磊 E-mail: kongjianlei@btbu.edu.cn

对食品安全快速响应与精确评估的迫切需求^[3-5]。面对日益复杂化和多元化的食品安全问题,以及大食物观背景下食品来源与种类的广泛拓展,传统检测手段亟需创新与优化,从而更好地适应食品安全监管的新形势和新要求。此外,随着人民生活水平的不断提升和饮食结构的多元化,公众对食品安全的标准和期望也越来越高。对食品安全监管体系以及供应链管理等方面提出了更为严格与全面的要求,促使政府有关部门不断探索和完善食品安全保障机制,以满足人民群众日益增长的美好生活需要。

在食品安全问题得到广泛关注的同时,人工智能(AI)正在深刻地改变着人类的思维、生产模式以及生活方式,为食品安全评估和监管领域带来了革命性的变革。不仅极大地提升了食品安全检测的效率与精准度,还显著增强了监管体系的智能化与前瞻性,为构建更加安全、可靠的食品环境奠定了坚实的基础^[6]。目前,AI已实现食品高通量危害检测,如病原体检测;质量安全风险评估与预测,如新鲜度评估、保质期预测、食品掺假识别;以及食品安全智能监管,如风险预警、全链条等^[7-9]。AI在食品安全领域中的广泛应用不仅提高了效率,而且最大限度地降低了风险,确保了监管的合规性。这不仅优化了食品安全管理的各个环节,也为未来食品安全问题的预防和控制提供了有力的技术支持。通过AI的应用,食品安全检测得到全面提升,食品质量得到有效保障,从而使食

品安全保障体系更加完善和高效。

随着AI在食品安全评估、预测与监管领域的功能日益凸显,其在该领域的应用正逐步迈向主要地位,有望成为引领食品安全评估与监管的关键力量。本文综述AI在食品安全领域的最新应用及发展动态。主要介绍AI在食品安全风险因素检测中的应用,尤其聚焦食品中微生物污染检测方面。系统总结AI在食品质量安全评估中的应用,特别是在食品掺假识别、食品标签真实性检验方面的应用。此外,概述AI在食品安全监管中的应用,包括食品安全预警系统的构建和食品安全追溯技术的智能化等。讨论当前AI在食品安全领域应用中面临的局限性并展望未来应用前景,以期为食品安全保障提供更加智能、高效、全面的解决方案,推动食品安全领域的可持续发展,为公众健康福祉保驾护航。

1 食品安全领域常用的人工智能技术

AI是一门利用计算机模拟人类智能行为科学的统称,包括训练计算机使其能够完成自主学习、判断和决策等人类智能活动的相关技术和方法^[8,10]。该领域涵盖多个子领域,包括机器学习、深度学习、自然语言处理、计算机视觉、机器人技术和认知计算等^[11-13]。在食品安全领域,机器学习、深度学习及计算机视觉已成为最常见且至关重要的AI技术(图1)。

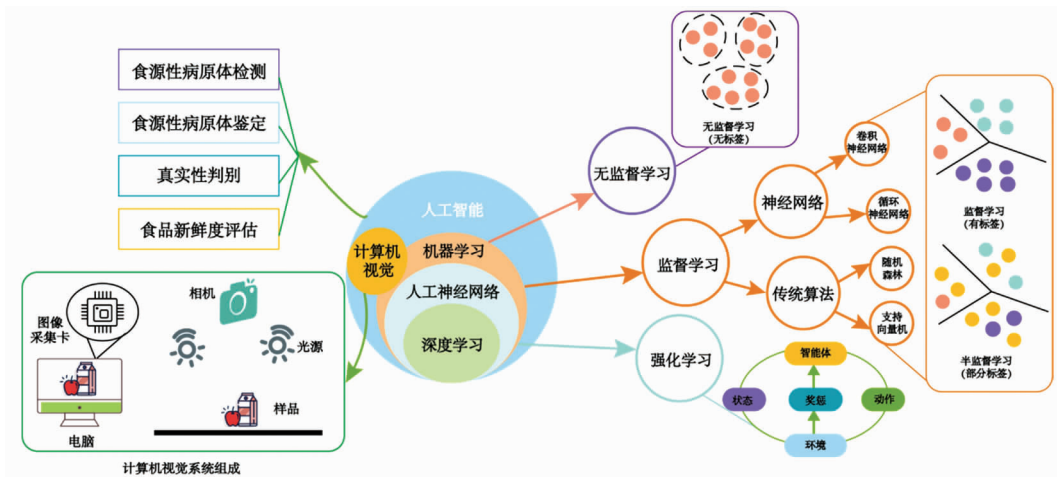


图1 食品安全领域常用的AI算法

Fig.1 AI algorithms commonly used in food safety

1.1 机器学习

机器学习是一种能够自动从数据中汲取信息、提取关键特征,并据此进行预测、决策或执行特定任务的系统^[14-15]。机器学习的核心目标在于赋予计算机一定程度上自主学习能力,并从数据中获得知识,设定目标并降低决策过程中的风险^[16]。与基于知识的 AI 不同,该模型完全由数据驱动,不依赖于人类专家制定的规则^[8]。机器学习算法与模型构成了机器进行预测分析的重要基石,当这些预测基于过去的的数据构建时,它们通常被归类为监督学习和无监督学习方法^[17];而学习方法中的 AI 系统通过与现实世界或用户的交互经验中学习,则被称为强化学习方法^[18]。鉴于机器学习在提升预测精度与准确性方面的显著优势,其在食品安全领域的应用备受瞩目。

1.2 深度学习

基于神经网络的深度学习也在 AI 系统中占据着举足轻重的地位。深度学习是机器学习的一个重要分支,涉及基于复杂度提升和计算单元的层算法,这些计算单元被称为人工神经网络中的神经元,用于模拟人类大脑^[19-20]。其强大的处理器、庞大的数据集以及灵活的软件库共同推动了深度学习成为当今应用最广泛的机器学习方法之一^[21]。深度学习是一种由多个处理层组成的模型,每一层能够以不同的抽象层次对数据进行表示和构建^[22]。此模型实现了对食品样本的自动识别和分类,减少了人为干预,从而确保了极小的误差范围^[23]。深度学习为食品安全等领域中的一系列复杂问题提供了前沿解决方案,深刻影响着人们的生活。

在机器学习和深度学习领域,人工神经网络、卷积神经网络、循环神经网络、随机森林、支持向量机等算法被广泛应用于食品安全问题的解决方案中,展现出广泛的应用前景。其中,人工神经网络凭借其强大的非线性映射与学习能力,为复杂食品质量预测与检测提供了有力支撑;卷积神经网络在食品图像识别、缺陷检测及成分分析等方面展现出卓越性能;循环神经网络则擅长处理序列数据,有效应用于食品供应链中的安全监控预测;此外,随机森林作为一种集成学习方法,显著提升了食品安全风险评估的准确性与鲁棒性;而支持向量机则以其出色的分类与回归能力,在食

品真伪鉴别、微生物污染检测等任务中发挥着重要作用。每个算法有其独特的优势和局限性,算法的选择取决于特定的任务或问题。这些算法的综合运用,不仅拓宽了食品安全研究的视野,也为保障公众健康与提升食品安全管理水平开辟了新途径。

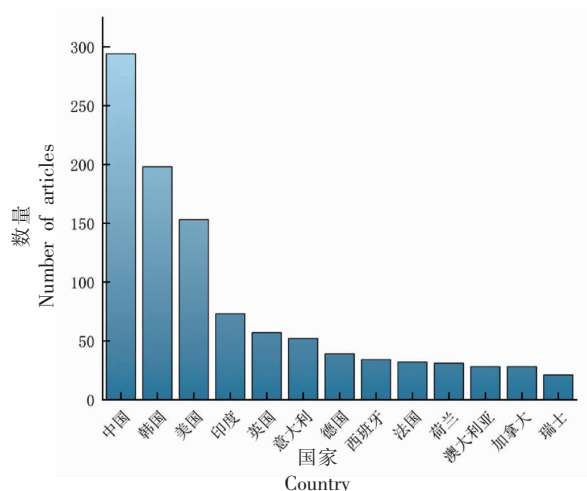
1.3 计算机视觉

计算机视觉技术是指计算机生成并分析真实场景图像,以获取信息或控制过程,是一种快速、经济、稳定且非接触式的检测方法。这种非破坏性且非化学性的检测系统能够消除直接人为干预,而食品工业对此类系统的需求远比其他行业更为迫切,这是因为食品工业直接关乎人类健康。当前,食品工业被列为使用视觉机器技术的十大行业之一^[24-25]。过去 10 年间,计算机软硬件性能的飞跃式提升与软件技术的不断创新,促进了视觉机器技术的显著进步。图像处理是计算机视觉的核心,通过引入更为高效、智能的算法体系,极大地增强了系统的处理能力与识别精度,使得该技术能够在多个复杂场景中实现精准应用与高效运作^[24]。计算机视觉技术以其卓越的速度与准确性,成为保障食品质量安全不可或缺的关键工具。该技术已广泛应用至食品质量安全评估的各个领域,包括肉类、果蔬、坚果等食品类别^[26]。通过对食品外观、色泽、形状乃至内部结构的精细分析,计算机视觉技术能够及时发现并预警潜在的质量问题,如食品污染、腐败变质等,从而在源头上筑起一道坚实的食品安全防线^[14,27]。这一技术的广泛应用,可以保障消费者的饮食安全,为促进食品行业可持续发展提供强有力的技术支撑。此外,AI 大模型在食品安全领域展现出显著的应用潜力。通过集成先进的图像识别、自然语言处理及深度学习技术,大模型能够自动检测农产品在种植、收获、加工及流通等各个环节中的质量与安全状况,及时发现并预警潜在风险。同时,结合大数据分析,模型还能追溯食品来源,确保供应链的透明度与可追溯性,为食品安全监管提供强有力的技术支持。

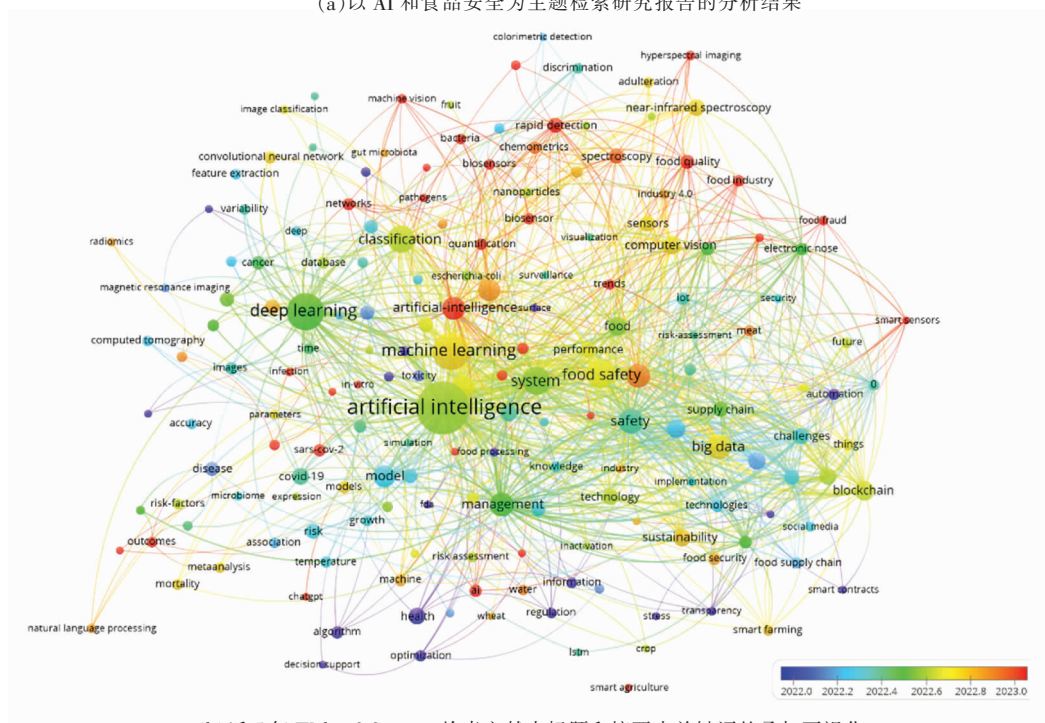
随着技术的不断成熟与普及,AI 的应用为食品安全领域带来了新的机遇。图 2 总结了近 5 年 AI 在食品安全领域的研究进展。以 AI 和食品安

全为主题,在 Web of Science 中检索相关文献,对不同国家的发文量进行比较分析,发现文章主要来自亚洲、北美和欧洲国家,其中,中国、韩国、美国发文量超过 150 篇,分别为 294,198,153 篇(图 2a)。此外,机器学习、深度学习与计算机视觉是 AI 在食品安全中常用的算法(图 2b)。

AI 在保障食品质量、监控生产流程、预防食品安全风险等方面展示了巨大的潜力和价值,显著提高了食品安全检测的效率与精确性。此外,AI 加强了食品安全溯源体系的建设,通过深入挖掘和分析食品检验数据,为食品安全监管提供了强有力的数据支持和决策依据,实现了食品安全的智能监管。



(a) 以 AI 和食品安全为主题检索研究报告的分析结果



(b) 近 5 年 Web of Science 检索文献中标题和摘要中关键词的叠加可视化

图 2 AI 在食品安全中的最新研究进展

Fig.2 Recent research advances of the application of AI in food safety field

2 人工智能在食品安全风险因素检测及实时监控中的应用

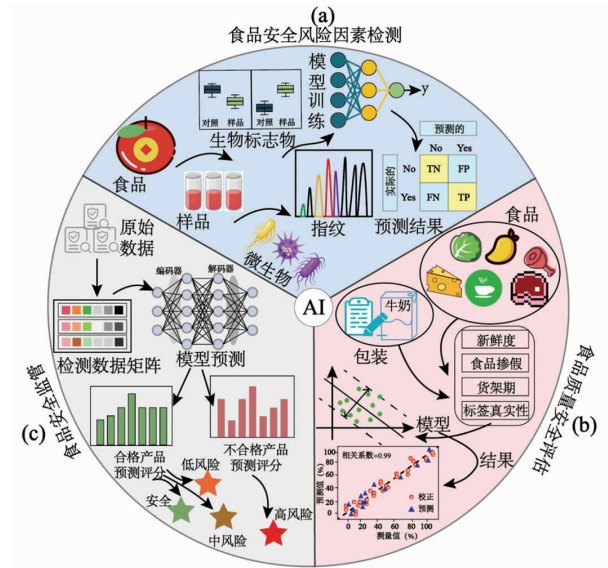
食品安全是当今世界所共同面临的一项重大

公共卫生挑战。每年,食品污染导致的疾病不仅威胁公众健康,而且给社会经济带来沉重负担。从原材料的生产、加工、贮藏,直至最终送达消费者餐

桌, 食品供应链的全链条中各个环节都可能面临微生物污染、化学污染与物理污染等多种风险因素^[27-28]。其中, 微生物侵染(细菌、真菌及病毒等病原体的侵袭污染)与化学污染(农药残留和重金属超标)对人类健康的威胁尤为严峻, 可能导致食源性疾病乃至长期健康问题的发生^[7]。此类风险因素传统的检测方法面临着检测速度低与准确性差的双重挑战。AI 在食品安全风险因素检测中的应用(图 3a), 有效克服了传统检测方法的局限性, 提高了检测的速度与准确性, 增强了食品安全预防的能力, 加快了食品风险因素检测的步伐, 对保障食品安全, 维护公众健康与促进社会经济可持续发展具有重要的意义。

深度学习与代谢指纹图谱的结合已成为病原体检测的一种强大而创新的方法。这种组合能够根据病原体独特的代谢特征快速、准确和可靠地识别病原体^[29]。Wang 等^[30]以核磁共振光谱数据作为输入, 通过代谢组学进行光谱分析, 并训练人工神经网络模型, 成功预测实验环境中未鉴定的微生物。将不同微生物在含有相同无蛋白培养基中培养 4 h, 然后使用核磁共振光谱分析培养基中的代谢物, 获得来自 10 种微生物菌株的 80 个核磁共振光谱的数据集。在数据上训练多层人工神经网络, 并使用由此产生的深度学习模型来预测未知微生物的光谱。当使用简单的特征选择方法时, 模型预测未知微生物的平均准确率高达 99.2%。与其它机器学习模型比较发现, 人工神经网络在准确性方面优于随机森林模型和支持向量机, 突显了深度学习技术在代谢组学数据分析中的显著优势。这种方法只需要 4 h 的孵育期, 显著减少了培养扩增所需时间, 与目前的标准方法相比, 大大缩短了鉴定时间。

同样, 据 Krishna 等^[6]的报道, AI 促进了食品中污染物、过敏原和病原体的快速识别, 极大地降低了食源性疾病的风险。面对各种来源的数据, 如传感器读数与图像数据等, AI 算法可以对历史数据进行分析与模式识别, 实现了对潜在污染物来源的识别, 这种主动的识别机制确保受污染食品在送达消费者之前被有效拦截, 保障了公众的饮食安全, 也促进了食品行业严格遵守食品安全法规。Wang 等^[31]基于图像的检测方法, 利用细菌在



注: a. AI 在食品安全风险因素检测中的应用; b. AI 在食品安全质量评估中的应用; c. AI 在食品安全监管中的应用。

图 3 AI 在食品安全领域的应用

Fig.3 The application of AI in the food safety field

琼脂平板上具有不同形态的特点进行研究。该检测系统结合图像预处理和深度学习算法进行菌落分类, 能够在短时间内迅速检测出 1 个菌落形成单位的大肠杆菌和总大肠菌群。此方法不仅操作简便, 而且具有很好的适应性, 可以扩展应用于其它培养基和微生物, 允许在菌落清晰可见之前对基于平板的测试进行解读, 尤其是对于那些背景微生物群落水平较高的不同食物基质、培养基和平板。AI 的应用大大提高了食源性病原体检测的效率和准确性。Yi 等^[32]基于目标细菌与噬菌体的相互作用产生的微观模式, 使用深度学习模型来识别和量化目标细菌。该模型在放大的数据集上进行训练, 以最大限度地提高数据效率, 使用选定细菌物种的输入图像, 然后在混合培养物上进行微调。对基于实验室数据训练后的模型, 在真实水样本进行验证。结果表明, 在实验室培养的细菌上训练的 AI 模型, 在真实世界的水样上实现了快速预测, 准确率为 80%~100%, 该研究凸显了 AI 在食品中微生物水质污染监测中的潜在应用价值。计算机视觉也实现了食源性病原体的检测。有研究报道使用高光谱线性扫描的荧光成像技术检测苹果表面污染的可能性, 并开发了一种简单的多维算法, 成功识别出受感染苹果中超过 99% 的病

变区域,该系统在苹果快速加工线上使用,有望预防食源性疾病,确保食品质量并降低风险^[24]。

近期,Xie等^[33]基于机器学习结合代谢组学生物标志物开发了高精度模型,该模型能够提前47 d有效检测出农产品中的产黄曲霉毒素菌种,对提升食品安全具有重要意义。该研究分析了568个现场采样的黄曲霉的代谢差异,并进行生物标志物分析。结果发现杂色霉素B、11-羟基-O-甲基杂色霉素等代谢产物与黄曲霉毒素的产生密切相关。通过分子网络分析,进一步阐明了黄曲霉毒素、生物标志物及潜在新兴霉菌毒素之间的关联。此外,以生物标志物为变量,构建了极端梯度提升模型,实现了对产黄曲霉毒素菌种的识别,准确性达97.8%。随后,利用来自其它16种真菌分离株的验证数据集及代谢组学分析,证实了这些生物标志物的稳健性和特异性。结果表明,该模型在农产品中生物标志物的早期检测方面切实可行,能够提前预测黄曲霉毒素污染风险。研究证明了代谢组学生物标志物与机器学习模型相结合,可用于霉菌毒素污染的早期预测,将加强真菌生长控制或污染食品剔除措施,从而保护消费者健康并减少经济损失。此外,殷勇等^[34]将深度学习技术融入黄曲霉毒素检测领域,不仅实现了对不同霉变等级玉米的判别,而且能够直接对玉米中黄曲霉毒素B1含量准确测定。研究通过高光谱技术对5种霉变程度的玉米进行全波长数据采集,通过偏最小二乘回归系数法筛选了7个特征波长。利用Fisher判别分析对霉变玉米鉴别分析,发现在特征波长下模型鉴别准确性均高于98%,表明特征波长对不同霉变等级玉米的强大表征能力。此外,通过偏最小二乘回归模型与反向传播神经网络模型对玉米中黄曲霉毒素含量预测,反向传播神经网络模型实现了更高的预测性能,相关系数和均方根误差分别为0.99与0.18。该研究通过将深度学习算法与高光谱技术相结合,不仅极大地提升了黄曲霉毒素检测的准确性和效率,还赋予检测过程智能化、自动化的新特性。此研究对实时监测和预测农产品中毒素的存在及其分布具有重要意义,有望为食品安全保障提供强有力的技术支持,推动农业生产和食品安全检测领域的科技进步。此外,监督机器学习方法,包括分类和回归算

法,已被报道应用于检测作物中的农药残留及重金属污染^[27,35]。借助AI可以有效提升农药残留检测的效率和准确性,同时,通过对检测数据进行深入分析,AI能够更准确地识别农药残留的模式,进而预测潜在风险,优化检测流程,为食品安全检测提供了强有力的技术支持与保障^[36]。

3 人工智能在食品质量安全评估中的应用

在过去几十年中,随着全球人口的增长,食品需求不断增加,而AI促进了食品质量安全控制领域的深刻变革,提高了消费者满意度,减少了浪费,加强了食品安全性。AI在食品质量安全评估领域的深度应用,不仅革新了传统评估手段,还显著提升了食品行业的质量控制效率与精准度。其应用范畴涵盖了食品质量判定、食品分类与预测,从而极大地激发了食品行业对AI技术的迫切需求^[8]。具体而言,AI技术实现了对食品新鲜度的预测,能够迅速识别并预警食品变质风险;预测食品掺假,AI通过复杂的数据分析模型,有效揭露并预防食品欺诈行为;同时,对食品货架期的精准预测,有助于人们避免食用过期食品,保障消费者健康;此外,AI在食品标签真实性验证上,通过智能识别与比对技术,确保食品信息的准确无误(图3b)。因此,AI在食品质量安全评估中的广泛应用,不仅推动了食品工业的技术革新与产业升级,也为保障食品安全,提升食品品质,促进可持续发展提供了强有力的技术支持与保障。

王文秀等^[37]结合机器学习和近红外光谱成功构建了一种高效判别猪肉新鲜度的方法。该研究连续采集猪肉储藏1~15 d的光谱信息,以挥发性盐基氮为外界干扰,提取出17个与新鲜度相关的特征变量。基于归一化处理的光谱,利用特征波长建立支持向量机模型判别猪肉新鲜度,准确性达98.28%。该研究为肉制品新鲜度的快速、无损检测开辟了新的路径,有望显著提升肉制品行业的质量控制效率,保障消费者的饮食安全与健康。Liu等^[38]在香肠储藏期间腐败程度判别中取得显著进展,通过采用深度学习结合智能手机技术,构建了一种高效、便捷的香肠新鲜度智能评估系统。该研究共收集4 096张图片,并对基于卷积神经网络的模型进行训练和测试,实现了对香肠新鲜度的

判别,准确率为97.10%。此外,研究开发了Android应用程序,方便用户快速获取香肠保质期预测结果。这一成果为香肠等肉制品的新鲜度监测提供了一种快速、便携的智能解决方案,有效降低了传统检测方法的成本与时间,对于保障食品安全具有重要意义。此外,Luo等^[39]通过计算机视觉技术结合机器学习模型,基于牛肉的黏弹性实现了牛肉新鲜度的判别。反向传播神经网络在评估牛肉的pH值中表现最佳,测试集和验证集的相关系数分别为0.7669与0.7636。

在食品掺假检测中使用AI,包括通过正品和假冒产品的数据集来训练算法,以发现详细的成分差异。然后,基于这些差异构建模型,可以判定食品的真实性^[40]。此方法在人类感官或传统实验室方法难以检测到的掺假方面显示出卓越的识别能力。对于食品生产商与零售商而言,AI在食品掺假检测中的应用是一种降本增效的方法,可以筛查大量产品中可能存在的掺假物质,从而保障食品供应链的安全性与产品质量的稳定性。随着AI从新数据中学习和适应能力的提高,可以不断提升其检测的精确度与鲁棒性。AI已越来越多地应用于肉类、食用油及饮料等食品的掺假^[41-45]。Wei等^[46]将机器学习技术与分光光度法相结合,依据茶浸提液的光谱特性,采用多层感知神经网络建立红茶中胭脂红快速检测的预测模型。实现了对红茶中胭脂红的快速检测,定性模型准确率达100%。在定量分析方面,测试子集和独立数据集中的红茶样品相关系数分别为0.988与0.972。配对 t 检验结果显示,两者在统计学上无显著性。此研究建立的方法对红茶中胭脂红的检测快速、可靠,可作为鉴别市场上红茶掺假行为的有效工具。

Goyal等^[47]采用时间延迟神经网络模型成功预测了加工奶酪的保质期。研究选用贝叶斯正则化算法作为训练函数,并灵活调整单层及多层隐藏层中神经元数量(1~20个),确保了模型的适应性。在最多100个训练周期的优化下,利用均方根误差等指标评估了模型的预测性能。结果显示,模型能够有效且准确预测储存于7~8℃条件下加工奶酪的保质期。该研究成果为加工奶酪保质期的预测提供了一种创新方法,显著降低了传统物理测试所需的时间和成本。此外,研究人员基于芒果

在不同储存条件下的呼吸速率和成熟度差异,以及不同的供应链场景,构建了预测芒果保质期的AI模型^[48]。该模型基于深度卷积神经网络,通过对1524张芒果图像数据的精细调整,实现了对芒果成熟度的高精度分类,为芒果保鲜管理提供了科学依据。Xu等^[49]结合机器学习和傅里叶变换红外光谱技术,对不同存放时间(29~161d)的豆腐样品进行货架期预测。在构建偏最小二乘和支持向量机多变量模型之前,研究测试了不同的预处理方法,并进行统计分析。结果表明,支持向量机模型的预测均方根误差最低,显示了其在货架期预测的优势。鉴于支持向量机和偏最小二乘模型性能差异极小,作者建议选择复杂度较低的偏最小二乘模型。

食品标签真实性对维护食品安全,保障公众健康及促进食品产业经济发展至关重要。如食品有效期的误标问题,若标注日期晚于实际安全食用期限,则消费者可能面临疾病风险,增加个体健康及国家公共卫生系统的负担。若有效期标注过早,则可能误导消费者,导致食品资源浪费,损害企业信誉,并加剧产品召回带来的经济损失与运营压力。因此,准确、合理标注食品有效期,对于保障公众健康,促进资源节约,维护市场秩序及保障企业利益具有重要意义。Ilianna等^[50]将AI应用于零售包装食品的自动检测,实现了对食品标签有效期的快速识别与验证。研究采集了来自英国中部6个地点的30000多张食品包装图像,分为两类(存在有效日期和不存在/无效日期)。数据集按照比例分配,训练集、验证集与测试集占比分别为70%,10%,20%。通过构建全卷积神经网络与卷积循环神经网络经微调后的组合模型,以检测和识别过期日期。经微调后的模型在过期日期检测中的准确率达到98.2%,优于其它流行的深度神经网络,并显著减少了误报和漏检。该研究在零售包装食品自动检测中,对食品有效期进行最佳识别和验证,助力食品加工企业实现无人操作,确保食品安全和人民健康。

4 人工智能在食品安全监管及可信溯源中的应用

当前,食品安全事件频发,食品安全风险呈现

出更加多样和复杂的特征,公众对食品安全问题的关注度日益提升。迫切要求食品安全监管部门不断创新与升级监管策略与技术手段,以更加灵活、高效的方式应对层出不穷的风险挑战,从而确保食品安全,满足人民群众对安全、健康食品日益增长的需求。随着AI的飞速发展,为食品安全监管带来了一场革命性的变化。借助AI强大的数据处理与分析能力,监管部门可以对大量的监管数据进行挖掘和分析,快速发现食品安全的潜在风险与异常情况,实现食品安全问题的提前预警并及时采取措施^[51]。AI的应用将成为推动食品安全监管向智能化、高效化转型的关键驱动力,有助于提升监管的精准度与效率,实现对食品生产、流通及消费各环节监管和精细化管理,强化风险预警与应急处置能力并提供智能化的决策支持,助力构建更加全面、安全、可靠的食品安全保障体系^[51]。

Zuo等^[9]提出了一种基于异常评分的风险早期预警系统,如图3c所示,系统包含3个组成部分:原始数据处理、特征提取及产品风险分类。首先,将原始检测数据转换为特征提取器可识别的数据矩阵。随后,将处理后的数据输入AI模型中,并通过模型训练输出每个产品的风险值。最后,依据风险值将产品划分为3个风险等级:安全、低风险和中风险,从而实现对食品安全风险的早期预警。该系统利用无监督自编码器对检测产品进行早期高效预警,通过重构误差对合格与不合格产品进行分类。研究采用早期预警阈值法对合格样本的早期预警分析。将该方法应用于乳制品检测数据,结果表明,无监督异常检测模型能够高效分析乳制品检测数据,预测准确率和故障检测率分别为0.9954和0.9024,且耗时仅0.54s。同时,研究提出一种基于预警阈值的风险分析方法,并由食品安全专家小组对模型预测结果进行风险修正。AI提高了专家小组的工作效率,而专家小组的介入增强了模型的可靠性。本研究为检测数据提供了一种快速、经济、有效的食品安全早期预警方法,有助于市场监管部门有效控制食品安全风险。Geng等^[52]提出一种融合层次分析法的深度径向基函数神经网络预警建模方法,旨在针对复杂食品安全检测数据进行高效预警建模。该模型在巴氏杀菌乳的风险预警应用中,相较于径向基神

经网络、反向传播神经网络及改进的多层反向传播神经网络,展现出更卓越的泛化能力与效果。此外,预警模型还用于预测和分析检测数据的风险,其结果有助于相关部门开展预警工作,为科学指导提供依据,进而促进食品质量的提升与食品安全风险的降低。

宋洁等^[53]分析了AI在粮食安全监管中的重要作用,AI凭借其强大的数据分析能力,能够精准捕捉粮食管理系统中的细节逻辑,从而显著增强系统的预警监测效能。AI的应用提升了监管系统在面对潜在风险时的灵敏度,极大地促进了智慧决策水平的提升,为粮食监管部门提供了更为科学、高效的决策支持。在突发粮食危机或紧急情况下,AI技术的引入为粮食应急管理注入了新的活力,通过快速响应与精准施策,有效保障了粮食供应的稳定与安全,对于维护国家粮食安全具有不可估量的价值^[11]。最近,刘迎旺等^[54]提出将AI应用于食品包装安全监管,旨在提升食品包装安全监管效率、可靠性及可控性。具体包括将AI应用于食品包装相关数据分析与预测,实现包装安全隐患及时预警;应用于图像识别与检测中,通过图片比对,可以有效识别并预防食品因包装而导致的污染问题;将AI与传感器技术深度融合,实现对包装全链条过程的监控与数据采集,通过数据和图像对比分析,为食品包装安全检查提供了强有力的技术支持;应用区块链技术,确保食品包装生产中的信息在生产、消费乃至运输过程中透明化、可追溯,提高食品包装安全性;AI也可以提供自动化的处理与决策,提高包装安全监管效率,为监管部门提供更加全面、可靠的监管依据,从而全方位提升食品包装的安全性。

近年来,食品追溯体系为食品安全监管提供了全方位的支持,有助于提升食品安全管理水平,强化风险管理,增强监管效能。随着科技的持续进步和应用的不断深入,食品追溯在食品安全监管中的作用日益凸显^[55]。在AI的助力下,食品追溯体系的功能得到进一步的拓展与优化,其在确保食品安全、提升监管效率方面的作用愈发显著。通过AI算法,可以实现食品从生产到销售各环节的数据记录、追踪与分析,从而对供应链全程追溯。实现了食品的智能监管与溯源,从而保障食品安

全^[3,56]。此外, AI 与区块链的结合在提升食品供应链全程的可追溯性和透明度方面取得重大突破。Bestelmeyer 等^[57]强调其在监控食品从源头到消费全过程中的关键作用, 利用 AI 对区块链数据的分析, 能够在食品污染或召回事件中迅速、准确地识别来源。AI 与区块链的融合提升了追溯系统的效能, 保障了消费者健康, 并提高了纠正措施的效率。此外, 二者的深度融合, 为供应链各利益相关方提供了实时洞察, 提高了责任意识 and 诚信度。通过营造透明化的环境, 这些前沿技术正引领食品安全进入新时代, 增强了消费者的信心, 并提升了全行业标准^[6]。Mao 等^[58]提出一种基于 AI 与区块链相结合的信用评价体系, 旨在提升食品供应链中的监督和管理效率。该系统通过区块链上的智能合约收集交易商的信用评价文本, 利用长、短期记忆网络对文本分析, 得出交易商的信用评估结果。该结果成为监管机构进行监督和管理的重要依据。通过深度学习与区块链技术结合, 确保交易商在交易和信用评价过程中的行为可追溯且可追责。监管机构因此能够收集到更可靠、真实且充分的交易商信息^[58]。

5 总结与展望

本文重点综述 AI 在食品安全研究中的最新进展, 介绍食品安全研究中常用的 AI 技术, 主要包括机器学习、深度学习及计算机视觉技术。深入探讨了 AI 在食品安全风险因素检测、质量安全评估及食品安全监管中的应用。AI 在食品安全风险因素检测的应用, 实现了污染物来源鉴定, 病原体快速识别, 显著提升了毒素检测与农药残留检测的灵敏度和准确性, 有效克服了传统检测方法的局限性, 提高了检测的速度与准确性。在食品质量安全评估领域, AI 技术有效实现了对食品新鲜度、掺假及货架期的精确预测, 并能验证食品标签的真实性。不仅保障了食品安全, 提升了食品品质, 还促进了食品工业的可持续发展, 为食品安全提供了坚实的技术支持。此外, AI 在食品安全监管领域的应用, 实现了食品安全风险早期预警、食品及其包装安全智能监管。通过与区块链的结合, 提升了食品供应链全程可追溯性和透明度, 同时大幅提高了监督和管理效率。AI 促进了食品安全

监管向智能化、高效化转型, 有助于提升监管的精准度, 强化风险预警与应急处置能力, 并提供智能化的决策支持, 从而助力构建更加全面、安全、可靠的食品安全监管体系。

AI 在食品安全领域的应用前景十分广阔, 有望为保障公众健康和促进食品产业健康发展提供强有力的技术支持。然而, 当前食品安全领域缺乏一个适用于各种场景的统一模型。未来应综合评估算法的各项性能指标, 如计算成本、复杂性和可靠性, 以确定特定应用的最佳算法。同时, 数据采集、质量控制和真实性评估的标准化程序缺失, 仍是该领域发展的瓶颈。针对数据集, 未来应整合多种仪器技术以训练模型。此外, 增强模型的可解释性, 有助于更深入理解 AI 在预测和管理食品安全风险中的作用。由于数据共享和合作研发的不足, 因此食品安全领域的 AI 技术在商业化进程中相对滞后。未来应着重应用数据隐私保护方法, 提升数据标准化水平, 并构建合作生态系统, 以推动 AI 在食品安全领域的创新应用。期待通过 AI 技术迭代与创新, 不断突破现有瓶颈, 为食品安全保障提供更加智能、高效、全面的解决方案, 共同推动食品安全领域的可持续发展, 为公众健康福祉保驾护航。

参 考 文 献

- [1] 朱伟志, 袁舟, 郑瑜颖, 等. 食品安全问题及其控制策略探讨[J]. 食品安全导刊, 2024(12): 18-20.
ZHU W Z, YUAN Z, ZHENG Y Y, et al. Discussion on food safety issues and control strategies[J]. China Food Safety Magazine, 2024(12): 18-20.
- [2] QIAN C, MURPHY S, ORSI R, et al. How can AI help improve food safety?[J]. Annual Review of Food Science and Technology, 2023, 14(1): 517-538.
- [3] 刘怡琳. 计算机信息技术在食品质量安全与检测中的实践[J]. 大众标准化, 2023(15): 181-183.
LIU Y L. The Practice of computer information technology in food quality safety and inspection[J]. Popular Standardization, 2023(15): 181-183.
- [4] 鲁丽花, 任玮, 刘佳丽, 等. 新兴技术在食品检验检测中的应用[J]. 食品安全导刊, 2024(13): 178-180.

- LU L H, REN W, LIU J L, et al. Application of emerging technologies in food inspection and testing [J]. *China Food Safety Magazine*, 2024(13): 178–180.
- [5] 郭慧. 食品质量检测技术现状与发展探讨[J]. *食品安全导刊*, 2023(22): 162–164.
- GUO H. Current situation and development of food quality detection technology[J]. *China Food Safety Magazine*, 2023(22): 162–164.
- [6] CHHETRI K B. Applications of artificial intelligence and machine learning in food quality control and safety assessment [J]. *Food Engineering Reviews*, 2024, 16(1): 1–21.
- [7] FENG Y, SONI A, BRIGHTWELL G, et al. The potential new microbial hazard monitoring tool in food safety: Integration of metabolomics and artificial intelligence[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2024, 149: 104555.
- [8] THAPA A, NISHAD S, BISWAS D, et al. A comprehensive review on artificial intelligence assisted technologies in food industry [J]. *Food Bioscience*, 2023, 56: 103231.
- [9] ZUO E G, DU X S, AYSA A, et al. Anomaly score-based risk early warning system for rapidly controlling food safety risk [J]. *Foods*, 2022, 11(14): 2076.
- [10] JIMÉNEZ-CARVELO A M, GONZÁLEZ-CASADO A, BAGUR-GONZÁLEZ M G, et al. Alternative data mining/machine learning methods for the analytical evaluation of food quality and authenticity—A review[J]. *Food Research International*, 2019, 122: 25–39.
- [11] 王芹. 人工智能技术在食品中的应用[J]. *农产品加工*, 2024(6): 75–77.
- WANG Q. Application of artificial intelligence (AI) in food [J]. *Academic Periodical of Farm Products Processing*, 2024(6): 75–77.
- [12] TANEJA A, NAIR G, JOSHI M, et al. Artificial intelligence: Implications for the agri-food sector[J]. *Agronomy*, 2023, 13(5): 1397.
- [13] 李紫玥, 丛开源, 吴诗琪, 等. 人工智能技术在先导化合物发现与优化中的应用进展[J]. *药学学报*, 2024, 59(9): 2443–2453.
- LI Z Y, CONG K Y, WU S Q, et al. Advances of artificial intelligence technology in the discovery and optimization of lead compounds[J]. *Acta Pharmaceutica Sinica*, 2024, 59(9): 2443–2453.
- [14] 黄晓琛, 张凯利, 刘元杰, 等. 机器学习与计算机视觉技术在食品质量评价中的研究进展[J]. *食品科学*, 2024, 45(12): 1–10.
- HUAN X S, ZHANG K L, LIU Y J, et al. Research progress on machine learning and computer vision technology in food quality evaluation[J]. *Food Science*, 2024, 45(12): 1–10.
- [15] 王俊彦, 卢金星, 吴强, 等. 基于人工智能和大数据的食品溯源数据采集真实性识别方法探讨[J]. *信息系统工程*, 2021(7): 23–26.
- WANG J Y, LU J X, WU Q, et al. Exploration of authenticity recognition methods for food traceability data collection based on artificial intelligence and big data[J]. *China CIO News*, 2021(7): 23–26.
- [16] MAVANI N R, ALI J M, OTHMAN S, et al. Application of artificial intelligence in food industry—a guideline[J]. *Food Engineering Reviews*, 2022, 14(1): 134–175.
- [17] 苏礼君, 李健, 孔建磊, 等. 机器学习技术在食品风味分析中的研究进展[J]. *食品工业科技*, 2024, 45(18): 19–30, 274.
- SU L J, LI J, KONG J L, et al. Progress in research on machine learning for studies on food flavor analysis[J]. *Science and Technology of Food Industry*, 2024, 45(18): 19–30, 274.
- [18] KUDASHKINA K, CORRADINI M G, THIRUNATHAN P, et al. Artificial intelligence technology in food safety: A behavioral approach[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2022, 123: 376–381.
- [19] BUYUKTEPE O, CATAL C, KAR G, et al. Food fraud detection using explainable artificial intelligence[J/OL]. *Expert Systems*, (2023–06–25)[2024–07–20]. <https://doi.org/10.1111/exsy.13387>.
- [20] ALKABBANI H, AHMADIAN A, ZHU Q, et al. Machine learning and metaheuristic methods for renewable power forecasting: A recent review[J]. *Frontiers in Chemical Engineering*, 2021, 3: 665415.
- [21] JI H Z, PU D D, YAN W J, et al. Recent advances and application of machine learning in food flavor prediction and regulation[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2023, 138: 738–751.
- [22] LECUN Y, BENGIO Y, HINTON G. Deep learning [J]. *Nature*, 2015, 521(7553): 436–444.
- [23] SU L J, JI H Z, KONG J L, et al. Recent advances and applications of deep learning, electroencephalography, and modern analysis techniques in

- screening, evaluation, and mechanistic analysis of taste peptides[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2024, 150: 104607.
- [24] CHEN T C, YU S Y. The review of food safety inspection system based on artificial intelligence, image processing, and robotic[J]. *Food Science and Technology*, 2021, 42: e35421.
- [25] MOGOL B A, GÖKMEN V. Computer vision - based analysis of foods: A non - destructive colour measurement tool to monitor quality and safety[J]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2014, 94(7): 1259-1263.
- [26] MA J, SUN D W, QU J H, et al. Applications of computer vision for assessing quality of agri-food products: A review of recent research advances[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2016, 56(1): 113-127.
- [27] RAKI H, AALAILA Y, TAKTOUR A, et al. Combining AI tools with non-destructive technologies for crop-based food safety: A comprehensive review[J]. *Foods*, 2023, 13(1): 11.
- [28] 陈潜. 传感器技术在食品安全监测中的应用与发展[J]. *中国食品工业*, 2024(3): 93-95.
- CHEN Q. Application and development of sensor technology in food safety monitoring[J]. *China Food Industry*, 2024(3): 93-95.
- [29] FENG Y, WEI X H, CHEN M T, et al. Semi-quantitative fingerprinting based on pseudotargeted metabolomics and deep learning for the identification of *Listeria monocytogenes* and its major serotypes[J]. *Analytical Chemistry*, 2023, 95(15): 6218-6226.
- [30] WANG D H, GREENWOOD P, KLEIN M. Deep learning for rapid identification of microbes using metabolomics profiles[J]. *Metabolites*, 2021, 11(12): 863.
- [31] WANG H D, CEYLAN KOYDEMIR H, QIU Y Z, et al. Early detection and classification of live bacteria using time-lapse coherent imaging and deep learning[J]. *Light: Science & Applications*, 2020, 9(1): 118.
- [32] YI J Y, WISUTHIPHAET N, RAJA P, et al. AI-enabled biosensing for rapid pathogen detection: From liquid food to agricultural water[J]. *Water Research*, 2023, 242: 120258.
- [33] XIE H L, WANG X P, VAN DER HOOFT J J, et al. Fungi population metabolomics and molecular network study reveal novel biomarkers for early detection of aflatoxigenic *Aspergillus* species[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2022, 424: 127173.
- [34] 殷勇, 戴松松, 于慧春. 基于高光谱特征选择的霉变玉米黄曲霉毒素 B1 的检测方法[J]. *核农学报*, 2019, 33(2): 305-312.
- YIN Y, DAI S S, YU H C. Detection method of aflatoxin B1 in moldy maize based on hyperspectral feature selection[J]. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences*, 2019, 33(2): 305-312.
- [35] KANG Z L, ZHAO Y C, CHEN L, et al. Advances in machine learning and hyperspectral imaging in the food supply chain[J]. *Food Engineering Reviews*, 2022, 14(4): 596-616.
- [36] 闵方倩. 浅谈食品检测中农药残留检测技术应用控制的关键[J]. *食品安全导刊*, 2024(7): 180-183.
- MIN F Q. A brief discussion on the key controls in the application of pesticide residue detection technology in food testing[J]. *China Food Safety Magazine*, 2024(7): 180-183.
- [37] 王文秀, 彭彦昆, 孙宏伟, 等. 二维相关可见-近红外光谱结合支持向量机评价猪肉新鲜度[J]. *食品科学*, 2018, 39(18): 273-279.
- WANG W X, PENG Y K, SUN H W, et al. Evaluation of pork freshness using two-dimensional correlation visible/near-infrared spectroscopy combined with support vector machine[J]. *Food Science*, 2018, 39(18): 273-279.
- [38] LIU Y, ZHANG Y Y, LONG F W, et al. CNN-assisted accurate smartphone testing of μ PAD for pork sausage freshness[J]. *Journal of Food Engineering*, 2024, 363: 111772.
- [39] LUO X Z, SUN Q M, YANG T X, et al. Nondestructive determination of common indicators of beef for freshness assessment using airflow-three dimensional (3D) machine vision technique and machine learning[J]. *Journal of Food Engineering*, 2023, 340: 111305.
- [40] OTHMAN S, MAVANI N R, HUSSAIN M, et al. Artificial intelligence-based techniques for adulteration and defect detections in food and agricultural industry: A review[J]. *Journal of Agriculture and Food Research*, 2023, 12: 100590.
- [41] ZHANG Y X, ZHENG M C, ZHU R G, et al. Detection of adulteration in mutton using digital images in time domain combined with deep learning

- algorithm[J]. *Meat Science*, 2022, 192: 108850.
- [42] ZHAO H T, FENG Y Z, CHEN W, et al. Application of invasive weed optimization and least square support vector machine for prediction of beef adulteration with spoiled beef based on visible near-infrared (Vis-NIR) hyperspectral imaging[J]. *Meat Science*, 2019, 151: 75-81.
- [43] LIU Y, YAO L Y, XIA Z Z, et al. Geographical discrimination and adulteration analysis for edible oils using two-dimensional correlation spectroscopy and convolutional neural networks (CNNs)[J]. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 2021, 246: 118973.
- [44] LASTRA-MEJIAS M, IZQUIERDO M, TORRE-BLANCA-ZANCA A, et al. Cognitive fluorescence sensing to monitor the storage conditions and locate adulterations of extra virgin olive oil[J]. *Food control*, 2019, 103: 48-58.
- [45] CHAKRAVARTULA S S N, MOSCETTI R, BEDINI G, et al. Use of convolutional neural network (CNN) combined with FT-NIR spectroscopy to predict food adulteration: A case study on coffee[J]. *Food Control*, 2022, 135: 108816.
- [46] WEI L J, YANG Y H, SUN D Y. Rapid detection of carmine in black tea with spectrophotometry coupled predictive modelling[J]. *Food Chemistry*, 2020, 329: 127177.
- [47] GOYAL S, GOYAL G K. Time-delay simulated artificial neural network models for predicting shelf life of processed cheese[J]. *International Journal of Intelligent Systems and Applications*, 2012, 4(5): 30.
- [48] DUTTA J, DESHPANDE P, RAI B. AI-based soft-sensor for shelf life prediction of 'Kesar' mango[J]. *SN Applied Sciences*, 2021, 3(6): 657.
- [49] XU L, YE Z H, CUI H F, et al. Calibrating the shelf-life of Chinese flavored dry tofu by FTIR spectroscopy and chemometrics; Effects of data pre-processing and nonlinear transformation on multivariate calibration accuracy[J]. *Food Analytical Methods*, 2012, 5(6): 1328-1334.
- [50] KOLLIA I, STEVENSON J, KOLLIAS S. AI-enabled efficient and safe food supply chain[J]. *Electronics*, 2021, 10(11): 1223.
- [51] 刘有庆. 畜产品质量安全监管与风险评估研究[J]. *国外畜牧学(猪与禽)*, 2023, 43(4): 111-114.
- LIU Y Q. Research on quality and safety supervision and risk assessment of animal products[J]. *Animal Science Abroad (Pigs and Poultry)*, 2023, 43(4): 111-114.
- [52] GENG Z Q, SHANG D R, HAN Y M, et al. Early warning modeling and analysis based on a deep radial basis function neural network integrating an analytic hierarchy process: A case study for food safety[J]. *Food Control*, 2019, 96: 329-342.
- [53] 宋洁, 张帆, 王榕金子. 新时期我国粮食安全管理的数字化研究[J]. *粮油食品科技*, 2023, 31(4): 36-41.
- SONG J, ZHANG F, WANG R J Z. Research on digitization in Chinese food security management in the new era[J]. *Science and Technology of Cereals, Oils and Foods*, 2023, 31(4): 36-41.
- [54] 刘迎旺. 基于人工智能的食品包装安全监管策略研究[J]. *上海包装*, 2023(8): 17-19.
- LIU Y W. A Study on food packaging safety regulation strategies based on artificial intelligence [J]. *Shang Hai Packaging*, 2023(8): 17-19.
- [55] ZHOU J H, JIN Y, LIANG Q. Effects of regulatory policy mixes on traceability adoption in wholesale markets: Food safety inspection and information disclosure[J]. *Food Policy*, 2022, 107: 102218.
- [56] CHUKWUOGOZIE D C, NJOAGWUANI E I, DAVID K, et al. Combatting food fraud in sub-Saharan africa: Strategies for strengthened safety and security [J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2024, 150: 104575.
- [57] BESTELMEYER B T, MARCILLO G, MCCORD S E, et al. Scaling up agricultural research with artificial intelligence[J]. *IT Professional*, 2020, 22(3): 33-38.
- [58] MAO D H, WANG F, HAO Z H, et al. Credit evaluation system based on blockchain for multiple stakeholders in the food supply chain[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2018, 15(8): 1627.
- [59] ZHOU Q Q, ZHANG H, WANG S Y. Artificial intelligence, big data, and blockchain in food safety [J]. *International Journal of Food Engineering*, 2022, 18(1): 1-14.

Advancements and Modern Applications of Artificial Intelligence in Ensuring Food Safety

Zuo Min^{1,2}, Ji Huizhuo^{1,3}, Su Lijun^{1,3}, Zhang Yuyu³, Yan Wenjing^{1,4}, Zhang Qingchuan^{1,4}, Kong Jianlei^{1,4*}

*(¹National Engineering Research Center for Agri-Product Quality Traceability,
Beijing Technology and Business University, Beijing 100048*

²School of Information, Beijing Wuzi University, Beijing 101126

³School of Food and Health, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048

⁴School of Computer and Artificial Intelligence, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048)

Abstract Food safety is a critical national concern, essential for promoting robust socio-economic development and protecting human health. As the food industry undergoes rapid expansion and globalization intensifies at an unprecedented pace, the issue of food safety has become an increasingly pressing concern. It has become a major issue that requires an urgent global response. With rapid advancements in science and technology, emerging technologies, notably artificial intelligence (AI), are increasingly being utilized in the field of food safety, showing substantial potential and significant value. With its powerful data processing capability, accurate pattern recognition and predictive analytics, AI provides strong technical support for the prediction and supervision of food safety issues, effectively improving the efficiency and accuracy of food safety management. Artificial intelligence has facilitated the detection of food pathogens, assessment of freshness, prediction of shelf life, identification of food adulteration, and issuance of food safety alerts. Therefore, this review summarizes the research progress of AI in the field of food safety. Firstly, the study primarily introduces the applications of AI in the detection of food safety risk factors, with a particular focus on the detection of microbial contamination in food. Furthermore, summarizes the applications of AI in the evaluation of food quality and safety, including the identification of food adulteration, the prediction of shelf life and the verification of food label authenticity. Additionally, the application of AI in food safety supervision is elaborated, including the development of an early warning system for food safety and the enhancement of food safety traceability technology through intelligent solutions. Finally, the current study discusses the current limitations of AI applications in the field of food safety and envisions future prospects, aiming to provide support for safeguarding public health and promoting the healthy development of the food industry.

Keywords artificial intelligence; food safety detection; food safety supervision; food traceability; food adulteration