人工智能在功能性食品领域的研究进展与应用展望

李潇[1,2]，张德权[2]，黄彩燕[2*]，程杰[1]

（1.成都大学食品与生物工程学院，肉类加工四川省重点实验室，四川成都 610106）

（2.中国农业科学院都市农业研究所，四川成都 610213）

摘要：随着生活节奏加快，功能性食品市场得到快速发展。人工智能（Artificial Intelligence, AI）技术的兴起为功能性食品产业提供了新思路。本文通过综述与案例分析相结合，梳理了AI技术在功能性食品检测、工艺优化及市场预测等环节的应用。旨在探讨目前AI技术优化功能性食品的研发、生产与监管的途径，以解决行业现存的产品质量参差不齐、创新不足等瓶颈。结果发现机器学习（Machine Learning, ML）、深度学习（Deep Learning, DL）和计算机视觉（Computer Vision, CV）等技术通过分析理化数据、光谱图像等可实现快速质量评估（准确率达90%以上），可显著提升食品检测的精度与效率。此外，AI在食品安全监管、个性化营养推荐等方面也展现出较大潜力。然而，AI技术在功能性食品领域的应用仍面临数据标准化不足、技术落地难等挑战。因此，未来研究应聚焦于优化算法适应性、加强跨学科协作，以推动功能性食品向数字化、智能化、精准化和个性化方向发展。本文为AI技术与食品科学的深度融合提供了参考，并指明了未来的创新路径。

关键词：功能性食品；人工智能；机器学习；食品研发

文章编号：1673-9078(2026)10-394-402 DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2026.10.0685

Research Progress and Application Prospects of Artificial Intelligence in the Field of Functional Foods

LI Xiao[1,2], ZHANG Dequan[2], HUANG Caiyan[2*], CHENG Jie[1]

(1.College of Food and Biological Engineering, Meat Processing Key Laboratory of Sichuan Province, Chengdu University, Chengdu 610106, China)(2.Institute of Urban Agriculture, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Chengdu 610213, China)

Abstract: With the acceleration of the pace of life, the functional food market has experienced rapid growth. The emergence of artificial intelligence (AI) technology has provided innovative approaches for the functional food industry. Through a combination of literature review and case analysis, this paper systematically investigates the application of AI technology in functional food testing, process optimization, and market forecasting. The objective was to explore how state-of-the-art AI technology can be employed to optimize the research and development, production, and regulation of functional food, thereby addressing existing industry challenges, such as inconsistent product quality and a lack of innovation. Analytical findings revealed that machine learning (ML), deep learning (DL), and computer vision (CV) technologies enable rapid quality assessment (with accuracy exceeding 90%) through the analysis of physicochemical data and spectral images, significantly improving the precision and efficiency of food testing. Furthermore, AI demonstrated considerable potential in food safety regulation and personalized nutrition recommendations. However, the application of AI in the field of functional foods still faces challenges, including limited data standardization and difficulties in technological implementation. Therefore, future research should prioritize optimizing algorithmic adaptability and fostering interdisciplinary collaboration to advance the digitalization, intelligent automation, precision production, and

收稿日期：2025-05-16；修回日期：2025-09-10；接受日期：2025-09-16

基金项目：四川省科技计划项目（2024ZHCG0186）

作者简介：李潇（2000-），男，硕士研究生，研究方向：畜禽肉加工与贮藏工程，E-mail：1619074917@qq.com

通讯作者：黄彩燕（1992-），女，博士，助理研究员，研究方向：畜禽肉加工与贮藏工程，E-mail：huangcaiyan@caas.cn

personalization of functional foods. This study provides a valuable reference for the deep integration of AI and food science while outlining potential innovation pathways for future development.

Key words: functional foods; artificial intelligence; machine learning; food research and development

引文格式：

李潇,张德权,黄彩燕,等.人工智能在功能性食品领域的研究进展与应用展望[J].现代食品科技,2026,42(10):394-402.

LI Xiao, ZHANG Dequan, HUANG Caiyan, et al. Research progress and application prospects of artificial intelligence in the field of functional foods [J]. Modern Food Science and Technology, 2026, 42(10): 394-402.

21 世纪以来，随着社会经济的快速发展和生活方式的深刻变革，功能性食品产业迎来了前所未有的发展机遇。在全球健康意识不断提升的背景下，功能性食品不仅提供基础营养，还具有提高免疫力、调节肠道菌群、抗氧化等积极的特殊功效，逐渐成为消费者日常健康管理的重要组成部分[1]。市场研究数据，中国功能性食品市场规模持续扩大，预计到 2025 年将增长至 2 800 亿元，展现出强劲的增长潜力和广阔的市场前景[2]。然而，我国功能性食品产业的高质量发展仍面临诸多挑战。一方面，行业需加强上下游产业链的融合与延伸，精准挖掘消费者需求，培育具有市场竞争力的核心单品[3]，另一方面，功能性食品加工领域仍存在功能性成分单一、研发方向分散、产品同质化严重、个性化不足等问题。因此，如何借助先进技术优化功能性食品的研发与生产流程，成为推动行业突破的关键。

AI 技术的兴起为功能性食品产业的创新发展提供了新的解决方案。AI 技术最早可追溯至 20 世纪 50 年代，并在西方国家率先发展，而我国则于 1978 年才开始相关研究[4]，2016 年随着 Alpha-Go 在人机围棋大战中的出色表现，AI 技术再次引发全球关注并进入高速发展阶段。如今，AI 技术的快速进步正在重塑食品行业[5]。凭借其强大的数据处理能力和模式识别能力，AI 在食品安全检测、配方优化、供应链管理和市场营销等方面展现出了巨大的应用前景。特别是在功能性食品研发过程中，AI 技术能够加速活性成分筛选、优化产品配方、提高生产效率，并为消费者提供个性化的营养方案，从而推动行业创新发展。

尽管 AI 在功能性食品领域展现出广阔的应用前景，但其发展仍面临多重挑战。例如，如何确保 AI 驱动的配方推荐具有科学性和安全性？如何建立标准化的食品大数据体系？如何在技术创新与数据隐私保护之间取得平衡？这些问题的解决将直接影响 AI 技术在功能性食品领域的落地效果。基于此，本文系统梳理了 AI 在功能性食品领域中的应用的最新研究进展，深入探讨其核心应用场景、现存挑战及未来发展趋势，以期为行业技术创新和可持续发展提供有价值的参考。

1 功能性食品

功能性食品作为一种特殊的食品类别，在《GB 16740-2014 食品安全国家标准 保健食品》[6]中功能性食品与保健食品被区分为不同概念，卢卫红等[7]指出，功能性食品是一类具有特殊保健功能的食品，这类食品不仅提供足够的营养外，能对人体产生一般食品所不具备的积极调节作用。田明等[8]进一步指出，功能性食品是以健康为目标，经过专门设计与加工，含有高活性成分、具有科学验证的保健功效，并以促进健康为目的的安全食品。综上，功能性食品是经过科学优化的普通食品，兼具营养强化和健康促进功能。功能性食品通常利用天然功能因子，例如，苦荞、黄芪中的黄酮、皂苷等活性成分[9-11]；茶叶中的茶多酚、咖啡碱[12]，食用菌的多糖与氨基酸[13]，以及益生菌[14]，

功能性食品与保健食品的界定在我国尚未形成统一的共识，二者既有联系又有区别。保健食品需经注册审批并声称特定保健功能，而功能性食品作为更宽泛的概念，涵盖通过天然活性成分调节机体功能的食品（详见表 1）。另外，功能性食品还不同于药物，后者以治疗为目的，需临床验证；而功能性食品用于调节功能、改善健康。自 2014 年国家标准实施以来，功能性食品被正式纳入食品分类体系。在《食品安全国家标准》中，食品可以分为普通食品、保健食品和特殊膳食用食品[6,15,16]，在《中华人民共和国食品安全法》中，则将食品分为普通食品、特殊食品来管理[6,17]。

目前我国保健食品分为 5 大类，24 个亚类，而功能性食品的分类可参考保健食品分类，初步分为 2 大类，10 个亚类（详见表 2）[18-20]。

表 1 功能性食品与保健食品核心区分

Table 1 The core distinction between functional foods and health foods

	功能性食品	保健食品
定义	没有明确的法律定义	法规上有明确的定义，指声称并具有特定保健功能或者以补充维生素、矿物质等营养物质为目的的食品，即适宜于特定人群食用，具有调节机体功能，不以治疗疾病为目的，并且对人体不产生任何急性、亚急性或慢性危害的食品
生产许可	产品上市销售前无需注册或备案	产品在上市销售前需要申请并获得保健食品注册证书或备案凭证
功能性试验	没有强制要求，企业自主选择是否对产品做功能试验	注册制类需要开展动物试验或 / 和人体试验、毒理性试验；备案制产品按照国家规定的原材料目录和剂量要求，无须开展实验
批准文号	无批准文号	国食健字 G/J+4 位年份代码 +4 位顺序号；食健备 G/J+4 位年代号 +2 位省级行政区域代码 /00+6 位顺序编号

表 2 功能性食品分类与应用实例

Table 2 Classification and application examples of functional food in China

功能分类	功能宣称	功能效果	功能性成分	应用案例
代谢调节类	增强免疫力	调节免疫细胞活性	免疫球蛋白；活性多糖；乳酸菌；大蒜素；维生素 A、维生素 C、维生素 E、脂肪代谢调节肽等	黑木耳降脂饼干、葡萄发酵醋、骆驼乳、富硒功能性饼干、藏灵菇发酵乳、秀珍菇高抗氧化饼干[21,22,23]
	心血管健康	降低血压、血脂，维护心血管健康		
	降低血糖	改善胰岛素敏感性或延缓糖分吸收		
	抗氧化	清除自由基，延缓细胞氧化损伤		
	改善睡眠	调节神经递质		
	减肥	控制脂肪和糖分的吸收		
身体机能调节类	缓解疲劳	补充能量物质	膳食纤维；多糖；叶黄素；益生元；叶酸等；维生素 B、维生素 D；钙、锌、铜等	黄精芡实汤、桃金娘酸奶、杭白菊药食同源饮品[21,24-30]
	调节肠胃健康	通过益生元或益生菌平衡肠道微生态，保护胃黏膜		
	改善骨骼健康	提供骨骼所需营养，降低骨质疏松风险		
	缓解视力疲劳	保护视网膜健康		

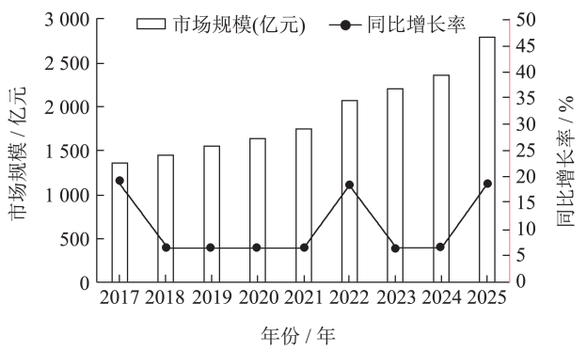


图 1 中国 2017 年至 2025 年功能性食品市场规模趋势

Fig.1 The market size trend of functional foods in China from 2017 to 2025

1.1 功能性食品的现状与发展趋势

我国功能性食品行业正处于快速发展期，政策支持、文化基础和市场需求共同驱动其增长。2017 年国家发展改革委与工信部提出“加快发展功能性食品”，为行业提供政策指引[8]。“药补不如食补”的传统观念也推动了消费认同。市场方面，预计 2025 年行业规模将超 2 800 亿元[2]，消费者对益生菌、维生素、膳食纤维等功能成分需求强劲。未来发展将呈现五大趋势：个性化、适老化、科技驱动、信息透明和标准完善，行业正朝规范化、科学化、多元化方向迈进。

然而，行业在快速发展的同时面临着若干关键技术瓶颈，首先是活性成分的稳定性与生物利用度问题，典型如多酚类和益生菌在加工储存过程中的易失活特性；其次是功效验证缓慢，以及产品设计中的感官平衡难；最后是原料供应链的标准化挑战，包括天然原料的批次差异和合成生物制造技术的不成熟。

2 AI技术概述

AI 技术是指通过模拟人类智能来实现自动化任务和决策的技术体系，其核心目标在于提升效率并解决复杂问题。该技术概念最早于 1956 年被正式提出，经过数十年的发展已形成包含多种方法和工具的完整技术体系，主要涵盖了机器学习（Machine Learning, ML）、深度学习（Deep Learning, DL）、自然语言处理以及计算机视觉等重要分支[31]。

在技术架构层面，ML 作为 AI 的核心研究领域，主要采用统计分析方法处理海量数据并实现预测功能。

根据学习方式的不同，其可分为有监督学习和无监督学习两大类别，其本质是通过算法使计算机系统具备自主学习和持续优化的能力。而 DL 作为 ML 的重要分支，通过模拟人脑神经网络的信息处理机制，能够自动从大规模数据中提取有效特征。值得注意的是，近年来我国在 DL 领域的研究取得显著进展，多项成果已达到或接近国际先进水平[4,32,33]。

AI 大语言模型（Large Language Model, LLM）作为基于深度学习和海量数据训练的 AI 技术，通过分析文本数据的统计规律和语义关系，实现了对人类语言的理解与生成能力。该技术能够执行对话交互、内容创作、语言翻译、逻辑推理等多种复杂任务，展现出广泛的应用前景。当前，以 DeepSeek、GPT-4 等为代表的先进 LLM 技术正加速向各行业渗透，逐步成为推动数字化转型的关键技术引擎。这些模型凭借其卓越的自然语言理解能力、知识推理功能以及自动化内容生成特性，正在深刻重塑传统产业运行逻辑，并催生出一系列创新商业模式。

从具体应用维度来看，LLM 技术主要在以下领域展现出显著价值：首先，在生产力提升方面，通过自动化内容生成、智能编程辅助和高效数据分析等功能，大幅提升了工作效率；其次，在商业模式创新方面，依托个性化服务和虚拟助手等应用，创造了全新的商业价值；再次，在教育领域，该技术不仅能够辅助文献翻译，还能实现个性化学习指导，有力推动了教育科研的创新发展；最后，在医疗健康领域，LLM 技术在辅助诊断和自动化报告生成等方面也展现出重要应用价值。

在食品科技领域，特别是功能性食品研发中 AI 技术展现出独特价值。这种跨界应用不仅延续了 AI 在数据分析、知识挖掘方面的优势，更通过精准营养、组分优化等创新路径，为功能性食品产业带来了突破性的技术支撑。当前，AI 技术正深度融入功能性食品的原料筛选、配方设计、功效验证等关键环节[34]，其应用现状与未来潜力值得深入剖析。

3 AI技术在功能性食品领域中的应用

当前功能性食品产业面临生产加工效率低下、资源消耗过大及产品质量稳定性不足等关键性挑战。针对这些问题，AI 技术的应用提供了有效的解决方案。陈坚[35]在《中国食品科技：从 2020 到 2035》中指出，随着消费升级，我国居民食品需求已从基础保障向“营养健康”方向转变，这直接推动了功能性食品市场需求的快速增长。在此背景下，我国食品科技发展呈现出两大战略特征：一是产品研发趋向个性化定制，二是技术创新强调多学科交叉融合。特别值得注意的是，食品加工领域正在经历以智能化装备为核心的技术革命，这将为功能性食品产业的高质量发展提供重要支撑。



图 2 人工智能在功能性食品中的应用

Fig.2 The application of artificial intelligence in functional foods

3.1 食品安全与质量管理

功能性食品富含活性成分，但其光热敏感性易引发质变风险，传统检测方法难以满足安全管控需求。需通过先进保藏技术维持成分稳定性，并融合 AI 技术实现全流程智能监控，构建精准高效的双重安全保障体系。

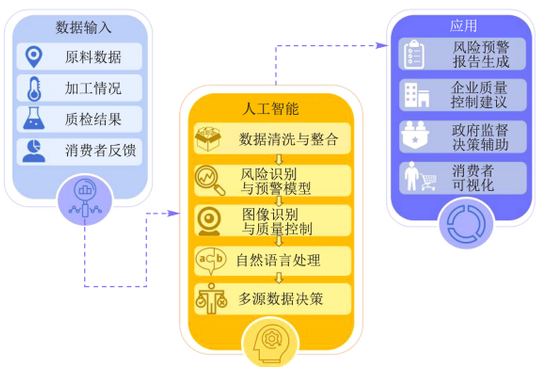


图 3 人工智能在食品质量与安全监管中的应用

Fig.3 The application of artificial intelligence in food quality and safety supervision

AI 技术通过全流程智能化管控显著提升功能性食品安全性。在原料端，AI 实现种植环境实时监测与溯源[36]。在加工与运输环节，计算机视觉、模拟建模等技术可自动检测产品缺陷并发出预警[37,38]，而 ML 算法则能通过分析光谱和传感器数据，实时监测关键指标（如含水量、pH 值等），为安全管理提供决策支持，实现供应链可视化[36,39,40]。具体应用包括：物联网驱动的冷链优化[41]、多光谱微生物检测[42]（准确率达 95%），以及神经网络反向预测原料变质[43]。此外，智能机器人技术通过无菌操作和自动化生产，既降低了污染风险，又保证了产品一致性[37]。这些技术的综合应用不仅提升了功能性食品的安全管理水平，还优化

了整体供应链效率。

AI 技术为功能性食品的真伪鉴别与质量控制提供了高效解决方案。针对高值活性成分易掺假的特性，研究者整合 AI、物联网和区块链技术构建智能溯源体系[44]。例如开发出基于物联网的多传感器 AI 技术系统，能够以 96% 的准确率检测生牛乳掺假情况；Aqeel[45]和 Tian[46]等学者则通过将 ML 与传统分析技术相结合，建立了食用油掺假识别模型。此外，AI 还赋能电子鼻、超声波等检测技术，实现成分分析与缺陷检测精准化与无损化[47]。

3.2 研发创新与产品优化

功能性食品作为兼具营养价值和健康功效的特色产品，正日益受到消费者青睐。然而，该产业在发展过程中面临着多重挑战：在研发端存在活性成分筛选困难、新功能成分发现缓慢等问题，在生产环节则受限于配方单一、工艺复杂等技术瓶颈，在流通领域还需应对特殊储运条件的严格要求。AI 技术的快速发展为这些问题的解决提供了创新性方案。

在研发创新方面，AI 技术通过 ML、DL 等先进技术，显著提升了活性成分的发现效率。Brightseed 公司[48,49]运用 AI 技术平台成功从黑胡椒和工业大麻废料中鉴定出具有改善脂肪代谢功能的 N-反式咖啡酰酪胺（NCT）和 N-反式阿魏酰酪胺（NFT），并在蔓越莓中发现 7 种以上与人体健康相关的萜烯类物质。Lin 等[50]开发的 MAMPs-PredML 模型，以及 Panyayai 等[51]构建的活性肽数据库，都为功能性成分的高效筛选提供了有力工具。AI 除了提升功能性成分的发现效率，也加速了功能性食品配方的复配创新，在 FBIF2025 饮料论坛上，HELL Energy 公司推出了一款完全由 AI 设计的产品“HELL AI”，AI 不仅优化了维生素与功能成分的配比，还通过电子舌和电子鼻模拟“品尝”，选出最佳风味。国际食品巨头雀巢采用 AI 技术优化植物蛋白饮料配方，既提高了蛋白质的生物利用度，又改善了产品口感。在国内，浙江大学也正在与佐力药业合作，利用 AI 构建食药同源知识图谱，优化乌灵菌粉及其发酵液的功能因子组合，开发具有免疫调节和抗氧化的乌灵菌功能食品。

AI 技术在功能性食品加工工艺优化中发挥着关键作用。由于功能性物质的含量和活性对加工参数极为敏感，传统工艺优化方法（如正交试验）存在工作量大、效率低等局限性。AI 技术通过神经网络预测、遗传算法推演和 DL 分析等技术手段，为这一难题提供了创新解决方案。在发酵工艺方面，李海亮等[52]采用 BP 神经网络与遗传算法相结合的智能优化方法，显著提升了黑木耳糙米醋的醋酸含量，同时降低了发酵和冷却过程的能耗。智能仿生技术[53]的应用则实现了对发酵过程中食品色泽、香气、味道等品质指标的实时监测，通过大数据分析自动调节发酵参数。在烘焙和干燥工艺中，AI 技术同样展现出显著优势。研究人员将模糊逻辑、人工神经网络与动力学模型相结合，成功预测了白桑葚的最佳干燥条件[54-57]。John 等[58]采用超光谱成像技术，实现了对紫色斑点山药片干燥过程的精准监控，最大程度保留了产品品质。在冷冻工艺环节，AI 技术通过建模分析冰晶形成机制，优化了冷冻和解冻过程中的温度、时间等关键参数。这种方法不仅提高了冷冻功能性食品的质量，还显著降低了能耗[59]。

3.3 个性化定制与市场营销

随着消费者健康意识的不断提升，功能性食品因其具备免疫调节、肠道健康、血糖控制、运动营养支持等特定营养功能，正日益成为食品工业的重要发展方向。然而，受个体在遗传背景、代谢状态、肠道微生物群构成及生活方式等方面差异的影响，传统“一刀切”式的功能性食品配方已难以满足消费者多样化与个性化的健康需求。基于此，将 AI 技术与功能性食品研发深度融合，推动个性化定制，已成为该领域的重要发展趋势。

AI 技术通过 ML、DL 及大数据分析等手段，可对消费者健康数据进行精准建模与解析，进而结合食品科学、营养学及生物技术等领域知识，实现功能性食品的个性化研发。Hernández-Vera 等[60]基于模糊逻辑系统，构建可根据用户需求调节食品研磨程度的自适应控制模型，实现个性化加工。在模糊建模过程中，系统可采集消费者对食品的感官反馈信息，并基于接受度、拒绝度及喜好排名等数据，形成动态学习机制，以在后续购买中实现个性化推荐[61]。Aneselm 和 Godoy 等[62,63]开发出具有实时监控的智能应用程序，可根据用户健康状态提供饮食建议、营养评估等个性化服务。目前已有多家企业开始尝试通过 AI 个性化系统进行产品销售，例如，在 2019 年雀巢在日本就推出了定制化胶囊，个性化定制过程中使用 AI 技术，分析用户基因数据，预测用户未来可能出现的健康问题，进而为其调整胶囊中的产品结构，Blueglass 推出了全球首个 AI 定制酸奶服务，通过“面诊 + 舌诊 + 健康问卷”三重智能诊断系统，分析用户健康数据，AI 从六大功能营养袋（如益生菌组合、维生素矿物质等）中动态匹配 1~3 种成分，并计算最佳剂量，实现“一人一配方”的精准营养干预。

除消费者端的个性化营养服务外，企业亦可利用 AI 技术优化市场营销策略与产品研发流程。一方面，采用自然语言处理（Natural Language Processing, NLP）技术分析社交媒体中的大众饮食趋势，另一方面，基于历史消费数据的 ML 可辅助企业预测消费者偏好，从而实现精准营销。因此，通过 AI 技术企业不仅可及时调整产品策略、优化营销内容，还能依据市场需求与库存信息科学制定生产计划，有效减少资源浪费。Dehghan-Dehnavi 和 Kellogg（家乐氏公司）通过大数据分析帮助企业识别消费偏好，并据此开发符合市场趋势的新产品[64]；Chang 等将咖啡品鉴者的感官数据结合近红外光谱技术，借助 ML 与 DL 模型对不同咖啡风味进行预测，从而筛选出更具市场潜力的产品[65]。此外，Nestlé（雀巢）、PepsiCo（百事公司）、Unilever（联合利华）、Mondelez（亿滋国际）等国际知名食品企业亦广泛应用 AI 技术，开展社交媒体分析、健康饮食趋势预测、广告内容优化与精准投放等工作，以推动功能性食品的创新研发并提升消费者满意度。

综上所述，AI 技术正逐步重塑功能性食品行业的研发与营销格局。从精准的消费者洞察、个性化产品推荐，到供应链及营销流程的智能优化，AI 技术有力推动了品牌竞争力的提升。未来，AI 技术将与生物技术、精准营养学等前沿学科进一步融合，持续推进功能性食品产业向智能化、个性化方向迈进。

4 AI技术在功能性食品研究领域的发展趋势与挑战

4.1 AI技术在功能性食品研究领域的发展趋势

AI 技术作为现代科技的重要驱动力，正在深刻重塑功能性食品的研发模式。近年来，智慧农业、智能机器人、3D 打印以及数字孪生等技术不断涌现[66,67]，为功能性食品的智能化发展注入新动能。从产品优化到个性化营养定制，AI 技术在功能性食品领域展现出广阔的应用前景。当前，AI 技术正与基因组学、微生物组学等多组学技术深度融合，依托大数据分析与基因检测手段，构建面向个体健康特征的食品推荐系统，可满足消费者在免疫调节、体重管理、延缓衰老等方面的多样化需求。深度学习与知识图谱的融合应用将突破传统成分筛选的局限，实现从“单靶点”到“多靶点网络调控”的研究范式转变。同时，AI 技术助力下的功能性成分数据库不断扩展，为成分筛选、配方优化及产品稳定性提升提供了强有力的技术支撑。AI 技术与物联网（Internet of Things, IoT）的集成也显著提升了食品生产过程的智能化水平，在减少人为操作误差的同时，有效提高了生产效率与产品质量的稳定性[34]。AI 技术还可用于精准营销与消费者互动，有助于提升品牌价值与市场竞争力。值得关注的是，绿色 AI 技术正在兴起，通过算法优化降低计算能耗，与可持续发展理念相契合。

4.2 AI技术在功能性食品研究领域的伦理与挑战

随着人工智能技术在功能性食品研发中的深入应用，其在活性成分筛选、功效评价及个性化推荐等方面的优势日益凸显。然而，这一技术革新也引发了诸多伦理争议。一是个性化推荐需依赖大量敏感的个体健康信息，如基因组数据、生活方式与健康状况等[68]，若数据安全无法得到有效保障，可能引发信息泄露，进而削弱消费者对 AI 技术的信任与接受度[69]。目前存在数据匿名化处理不彻底，商业机构对客户数据过度采集和滥用。其次，当 AI 系统推荐的功能性食品引发健康风险时，存在复杂的责任认定问题。传统的产品责任框架难以适用于 AI 决策场景，开发者、算法提供方、生产企业之间的责任边界模糊。特别是在深度学习等“黑箱”算法中，决策过程缺乏可解释性，进一步增加了责任认定的难度。针对以上挑战，可以借鉴 GDPR 等国际经验，建立功能性食品领域的专项数据保护制度，如《个人信息保护法》。明确数据采集的“最小必要”原则，避免信息的过度采集，探索学习隐私计算技术，提供动态知情同意，允许用户随时调整数据使用权限。同时构建“预防性”责任评估体系，将责任审查置前，明确责任划分，当出现问题能够及时做出应对措施，保障数据安全的前提下再谈技术创新。

除了伦理争议，在实际应用与管理方面也存在诸多挑战。一方面，目前功能性食品领域尚缺乏统一的技术标准与监管框架，产品功效评价体系不健全，虚假宣传等问题依然存在。随着 AI 技术的广泛应用，亟须构建科学规范的技术标准体系，以确保产品安全性与功能真实性，以及政府、企业、科研机构共建数据库，共同监管，例如中国营养健康数据库。另一方面，AI 技术的预测与决策能力高度依赖于数据的质量与覆盖范围，而功能性食品研发涉及多种复杂生物活性成分与个体差异，数据来源的准确性与代表性直接影响 AI 技术模型的有效性与推广性[70]。因此，必须通过高质量、多维度、结构化的数据获取与科学验证手段，确保 AI 的决策具有科学性和安全性，如：临床前验证、真实世界研究、多组学数据整合。更为关键的是，AI 技术在功能性食品领域的高效应用需依托深度的跨学科合作，涉及 AI 技术、食品科学、营养学、生物技术

与医学等多个专业领域。然而，当前兼具多学科知识背景的复合型人才储备仍显不足，成为制约技术落地与成果转化的重要瓶颈。所以，各高校可以采用“高校＋企业＋科研机构”三位一体模式，让学生在真实产业环境中成长，开设交叉学科专业或有关课程，培养复合型人才。政府和各研究团队可以鼓励科研人员跨领域合作，打破学科界限。

综上所述，AI 技术为功能性食品的研发与产业化提供了强有力的技术支撑，并正在推动其向精准化、智能化和个性化方向迈进。未来，应在保障数据安全、完善技术标准、推动人才培养等方面持续发力，充分释放 AI 技术在功能性食品领域的创新潜能，助力行业实现高质量发展。

5 结论

随着社会经济的发展和消费者健康意识的不断提升，功能性食品市场需求持续增长，成为食品工业的重要发展方向。AI 技术的发展为功能性食品的研发与产业升级带来了重要契机。在食品安全与质量控制方面，AI 技术结合大数据分析、计算机视觉与 IoT 等技术手段，构建了贯穿供应链全流程的智能监测系统，实现从原料采购、加工生产到终端销售的全过程可追溯与动态监管，显著提升了食品的安全性与质量稳定性。在配方设计与生产工艺优化方面，AI 技术借助 ML、DL 等算法，能够对大量活性成分进行高效筛选，优化成分配比，提升产品的营养价值和功能性，缩短研发周期，降低试错成本。在个性化营养定制与市场营销领域，AI 技术通过大数据分析与 NLP 精准洞察消费者需求与偏好，实现个性化功能性食品的智能推荐与配方调整。同时，企业可基于消费者行为数据优化市场策略，提升产品契合度与市场响应速度，从而增强品牌竞争力。尽管 AI 技术在功能性食品领域展现出广阔应用前景，但其发展仍面临多重挑战。一方面，个性化产品设计依赖大量用户健康数据，如何在确保数据隐私和安全的前提下进行有效利用，仍需完善法规与伦理框架。另一方面，当前功能性食品领域缺乏统一的技术标准与行业规范，AI 技术模型的有效性也受到数据质量与多样性的制约。此外，功能性食品研发的复杂性要求研发团队具备跨学科背景，迫切需要食品科学、营养学、生物信息学与 AI 技术等领域的协同合作。因此，未来可基于 AI 技术与基因组学、微生物组学等前沿技术深度融合，推动功能性食品向更加智能化、精准化、个性化方向发展。依托跨学科融合与技术协同，AI 技术将在推动功能性食品高质量发展、满足多元化健康需求方面发挥关键作用。

参考文献

[1] 赵永明,李赫宇,王磊.功能性食品中功能性成分的生理作用机制与临床研究[J].中国食品工业,2024,12:171-173.

[2] 高飞.功能性食品选择动机及其对消费意愿的影响研究[D].北京:中国农业科学院,2023.

[3] 中国食品报.功能性食品行业迎发展新机遇[J].保鲜与加工,2024,24(4):48.

[4] 蔡自兴.中国人工智能40年[J].科技导报,2016,34(15):12-32.

[5] 腾讯研究院,中国信息通信研究院互联网法律研究中心,腾讯AI Lab,等.人工智能[M].中国人民大学出版社,2017.

[6] 李京虎,张逸璇,高飞,等.功能性食品在我国食品分类中的定位及思考[J].中国农业科技导报,2024,26(12):7-17.

[7] 卢卫红,程翠林.食品功能原理及评价[M].哈尔滨工业大学出版社:2014.

[8] 田明,王玉伟,冯军,等.我国功能性食品与保健食品的比较研究[J].食品科学,2023,44(15):390-396.

[9] GULZAR S, TAGRIDA M, BELLOSO M O, et al. Impact of tannic acid addition on the structural and functional properties of soy protein-based high-moisture extruded meat analogues optimized using artificial intelligence [J]. Food Structure, 2025, 43: 100407.

[10] 沈灵智,盛宇华,鲁清峰,等.苦荞功能性及食品开发研究进展[J].食品研究与开发,2021,42(19):192-199.

[11] HAN X, LIU Q, LI Y, et al. Synergizing artificial intelligence and probiotics: A comprehensive review of emerging applications in health promotion and industrial innovation [J]. Trends in Food Science & Technology, 2025, 159: 104938.

[12] FIBRIANTO K, BIMO I A, WULANDARI E S, et al. Functional and relaxing properties of coffee leaf tea: An integrative food cognition approach [J]. Applied Food Research, 2025, 5(2): 101141.

[13] KHANAL S, SHARMA A, PILLAI M, et al. Artificial intelligence-driven innovation in *Ganoderma* spp.: potentialities of their bioactive compounds as functional foods [J]. Sustainable Food Technology, 2025, 3(3): 759-775.

[14] AMIN M R, BISWAS A P, TASNIM M, et al. Probiotics and their applications in functional foods: a health perspective [J]. Applied Food Research, 2025, 5(2): 101193.

[15] GB 13432-2013,预包装特殊膳食用食品标签[S].

[16] GB/T 15091-1994,食品工业基本术语[S].

[17] GB 16740-2014,保健食品[S].

[18] 程音.功能性食品发展现状与趋势[J].食品安全导刊,2023,13:108-110.

[19] GB 2760-2024,食品添加剂使用标准[S].

[20] GB 14880-2012,食品营养强化剂使用标准[S].

[21] VICTORIA OBAYOMI O, FOLAKEMI OLANIRAN A, OLUGBEMIGA OWA S. Unveiling the role of functional foods with emphasis on prebiotics and probiotics in human health: A review [J]. Journal of Functional Foods, 2024, 119: 106337.

[22] 余洁枝,李晴,罗洁莹,等.功能性食品桃金娘酸奶的配方筛选[J].中外食品工业,2024,14:108-110.

[23] 刘绍昱.藏灵菇发酵乳在功能性食品中的应用分析[J].现代食品,2023,29(18):121-123.

[24] 王淇,赵欣蕾,陈西军,等.富硒桑叶曲奇饼干制备研究[J].农产品

加工,2023,21:27-30.
[25] 陈璐.葡萄发酵醋饮酿造工艺优化及功能性评价[D].乌鲁木齐:新疆农业大学,2022.
[26] 艾毅斯,TSEND-AYUSH Chuluunbat, TUYATSETSEG Jambal,等.骆驼乳——一种辅助治疗糖尿病及其并发症的功能性食品[C]//阿右旗人民政府,中国畜牧业协会骆驼分会.“一带一路”骆驼科技、产业与文化国际研讨会暨第五届中国骆驼产业发展大会论文集,2017:9-25.
[27] 王华昆.黄精芡实汤联合揿针疗法对轻型糖尿病患者的临床疗效分析[J].糖尿病新世界,2021,24(20):98-100.
[28] 栾淑莹.黑木耳多糖降血脂功能及黑木耳降脂饼干的研究[D].哈尔滨:东北林业大学,2016.
[29] LUO J, LUO J, SHENG Z, et al. Latest research progress on anti-microbial effects, mechanisms of action, and product developments of dietary flavonoids: A systematic literature review [J]. Trends in Food Science & Technology, 2025, 156: 104839.
[30] ZHAO R, LUO C, ZHANG Q, et al. Deep learning-based phenotypic analysis and intelligent environmental control in edible mushrooms: Advances, challenges, and prospects [J]. Smart Agricultural Technology, 2025, 12: 101330.
[31] BORUGADDA P, KALLURI H K. A comprehensive analysis of artificial intelligence, machine learning, deep learning and computer vision in food science [J]. Journal of Future Foods, 2025, 7: 002.
[32] YU D, DENG L. Deep learning and its applications to signal and information processing [Exploratory DSP] [J]. IEEE Signal Processing Magazine, 2011, 28(1): 145-154.
[33] MENG X, LANG Y, LI X, et al. Progress in the application of AI in the standardization of traditional Chinese medicine: A review based on machine learning and deep learning [J]. Pharmacological Research - Modern Chinese Medicine, 2025, 16: 100639.
[34] SHWETA, MOHAMMED A, MOHAMMADI M, et al. Assessment of advancements and applications of robotics, artificial intelligence, and automated technology in the modern food sector [J]. Applied Food Research, 2025, 5(2): 101261.
[35] 陈坚.中国食品科技:从2020到2035[J].中国食品学报,2019,19(12):1-5.
[36] BESTELMEYER T B, MARCILLO G, MCCORD E S, et al. Scaling up agricultural research with artificial intelligence [J]. IT Professional, 2020, 22(3): 33-38.
[37] CHENG H, LIU L, ZHANG H, et al. Artificial intelligence-enhanced bioavailability studies: Advancing the quality of food [J]. Trends in Food Science & Technology, 2025, 163: 105203.
[38] ZHANG L, ZHANG M, MUJUMDAR S A, et al. From farm to market: Research progress and application prospects of artificial intelligence in the frozen fruits and vegetables supply chain [J]. Trends in Food Science & Technology, 2024, 153, 104730.
[39] BAHADUR K C. Applications of artificial intelligence and machine learning in food quality control and safety assessment [J]. Food Engineering Reviews, 2024, 16(1): 1-21.
[40] CONRAD A K, KUMAR A S. Optimal control in dynamic food supply chains using big data [J]. Computers & Operations Research, 2021, 126: 105117.
[41] BADIA-MELIS R, CARTHY M U, RUIZ-GARCIA L, et al. New trends in cold chain monitoring applications-A review [J]. Food Control, 2018, 86: 170-182.
[42] ABEER A, VASS K S. An intelligent decision support system for the detection of meat spoilage using multispectral images [J]. Neural Computing and Applications, 2017, 28(12): 3903-3920.
[43] BALASUBRAMANIAN S, PANIGRAHI S, M LOGUE C, et al. Neural networks-integrated metal oxide-based artificial olfactory system for meat spoilage identification [J]. Journal of Food Engineering, 2009, 91(1): 91-98.
[44] LIU Z, YU X, LIU N, et al. Integrating AI with detection methods, IoT, and blockchain to achieve food authenticity and traceability from farm-to-table [J]. Trends in Food Science & Technology, 2025, 158: 104925.
[45] MUHAMMAD A, AHMAD S, MUHAMMAD I, et al. Hyperspectral identification of oil adulteration using machine learning techniques [J]. Current Research in Food Science, 2024, 8: 100773.
[46] TIAN H, WU D, CHEN B, et al. Rapid identification and quantification of vegetable oil adulteration in raw milk using a flash gas chromatography electronic nose combined with machine learning [J]. Food Control, 2023, 150: 109758.
[47] 李娜.智能感官技术关于花椒和花椒油品质的应用研究[D].杭州:浙江工商大学,2020.
[48] LINDSEY M C, WANG C, CHRISTINA K. Decoding the total bioactive health potential of the cranberry through AI [J]. Current Developments in Nutrition, 2024, 8: 102608.
[49] KARLA E F, CLAY S B, MATTHEW J B, et al. Hemp hull fiber and two constituent compounds, N-trans-caffeoyltyramine and N-trans-feruloyltyramine, shape the human gut microbiome *in vitro* [J]. Food Chemistry: X, 2024, 23: 101611.
[50] LIN Y, CAI Y, LIU J, et al. An advanced approach to identify antimicrobial peptides and their function types for penaeus through machine learning strategies [J]. BMC Bioinformatics, 2019, 20(8): 291.
[51] THITIMA P, CHUMPOL N, SISSADES T, et al. FeptideDB: A web application for new bioactive peptides from food protein [J]. Heliyon, 2019, 5(7): e02076.
[52] 李海亮,王莹,张洁,等.基于人工神经网络和遗传算法的黑木耳糙米醋发酵条件优化[J].中国酿造,2011,7:141-143.
[53] ZHANG Y, ZHU X, WANG N, et al. Synergy of traditional practices and modern technology: Advancing the understanding and applications of microbial resources and processes in fermented foods [J]. Trends in Food Science & Technology, 2025, 157: 104891.
[54] 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.
[55] 刘东红,许唯栋,闫天一,等.智能感知技术在食品制造过程中的应用研究进展[J].中国食品学报,2021,21(3):1-10.
[56] 赵勇.食品加工机械智能化生产技术的发展研究——评《食品加工机械与设备》[J].有色金属(冶炼部分),2021,1:99.
[57] JAHEDI R S, KAVEH M, SHARABIANI V R, et al. Fuzzy logic, artificial neural network and mathematical model for prediction of

white mulberry drying kinetics [J]. Heat and Mass Transfer, 2018, 54(11): 3361-3374.

[58] NDISYA J, GITAU A, MBUGE D, et al. Vis-NIR Hyperspectral Imaging for online quality evaluation during food processing: A case study of hot air drying of Purple-Speckled Cocoyam (*Colocasia esculenta* (L.) Schott) [J]. Processes, 2021, 9(10): 1804.

[59] BHAGYA R G V S, DASH K K. Comprehensive study on applications of artificial neural network in food process modeling [J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2020, 62(10): 21-28.

[60] BEATRIZ H V, ALBERTO A A L, MIGUEL G C C, et al. Expert system based on Fuzzy logic to define the production process in the coffee industry [J]. Journal of Food Process Engineering, 2017, 40(2): e12389.

[61] K V, K V S, WINNY R, et al. Application of Fuzzy logic in sensory evaluation of food products: a comprehensive study [J]. Food and Bioprocess Technology, 2020, 13(1): 1-29.

[62] LUCA A, ALESSANDRO M, FRANCO D M. An artificial intelligence framework for compensating transgressions and its application to diet management [J]. Journal of Biomedical Informatics, 2017, 68: 58-70.

[63] GODOY J L, SERENO J E, RIVADENEIRA P S. Meal detection and carbohydrate estimation based on a feedback scheme with application to the artificial pancreas [J]. Biomedical Signal Processing and Control, 2021, 68: 102715.

[64] YOST E, CHENG Y. Customers' risk perception and dine-out motivation during a pandemic: Insight for the restaurant industry [J]. International Journal of Hospitality Management, 2021, 95: 102889.

[65] NUNES C A, RIBEIRO M N, DECARVALHO T C L, et al. Artificial intelligence in sensory and consumer studies of food products [J]. Current Opinion in Food Science, 2023, 50: 101002.

[66] TAO F, XIAO B, QI Q, et al. Digital twin modeling [J]. Journal of Manufacturing Systems, 2022, 64: 372-389.

[67] ZENG F, ZHANG M, LAW L C, et al. Harnessing artificial intelligence for advancements in Rice/wheat functional food Research and Development [J]. Food Research International (Ottawa, Ont.), 2025, 209: 116306.

[68] 曹莉.大数据时代企业人力资源管理变革策略[J].中国农业会计,2024,34(12):109-111.

[69] SHIN D D. Chapter 6-Privacy-preserving AI: strategies and ethical imperatives [M]. SHIN D D. Minds, Machines, and Misinformation. Elsevier, 2026: 149-171.

[70] 孙宇恒.大数据时代信息系统项目的风险管理与技术应用分析[J].信息系统工程,2024,11:76-79.