

全球食品安全与健康研究热点与趋势

(中国食品科学技术学会 北京 100048)

摘要 为强化全球食品安全与健康领域学术研究与产业创新,服务政府决策和回应行业热点,中国食品科学技术学会(CIFST)与国际食品科技联盟(IUFoST)共同启动全球食品安全与健康研究热点工作。基于当前研究和全球相关领域顶尖专家的建议,凝练出全球食品安全与健康最新研究热点与趋势。这对推动学科交叉,预测全球食品安全与健康领域未来研究趋势,把握食品领域科技创新主动权和发展主动权,引领产业创新发展提供重要借鉴。

关键词 食品新生产系统;合成生物学;人工智能;可持续食品包装与食品供应链;新质蛋白;新污染物;食品真实性鉴别技术;食药同源;老年食品;菌群靶向性食品

文章编号 1009-7848(2024)11-0494-10 DOI: 10.16429/j.1009-7848.2024.11.045

食品工业是国民经济的支柱产业,在我国发展战略和经济建设中具有十分重要的地位^[1-2]。在“大食物观”背景下,人民群众对食品的需求更加多元,逐步从数量、质量安全向营养、健康方面拓展,这给食品工业带来了诸多挑战和机遇。从新兴技术的应用到政策法规的完善,从食品供给系统的转型到个性化营养的定制,从可持续食品包装的探索到供应链的优化,每一个环节都在推动着食品安全与健康的不断进步。

食品工业已经成为提升我国国际竞争力的重要支撑^[3]。2023 年软科发布的世界一流学科排名中,食品科学与工程前 10 所高校均为中国大学,取得了前所未有的突破性进展,其中,江南大学已连续多年排名第一。为强化全球食品安全与健康领域学术研究与产业创新,本文基于 2023 年 1 月 1 日至 2024 年 3 月 30 日发表在 CNKI 和 Web of Science 数据库的 3.5 万篇文章,结合我国政府部门和相关组织的公开数据以及国际食品科技联盟(IUFoST)和美国食品科技协会(IFIT)等国际组织的前瞻性观点,经过多轮研讨,凝练形成全球食品安全与健康研究热点与趋势。热点涵盖食品新生产系统、合成生物学、人工智能、可持续食品包装与食品供应链设计、新质蛋白、新污染物风险评估与控制、食品真实性鉴别技术、食药同源、老年食品、菌群靶向性食品共十大研究方向。该热点的提

出将为推动学科交叉融合发展,把握食品科技领域创新与发展主动权,抢占未来科技发展先机提供重要借鉴。

1 研究热点的主要内容

1.1 食品新生产系统已成为保障未来食品供给的新质生产力

随着全球人口的不断增长和气候变化的加剧,传统的食品供给模式面临着土地资源有限、环境污染严重等多重挑战^[4]。食品新生产系统是应对未来食品供给挑战的关键,其核心在于创新技术的应用,包括纳米组装、生物制造、精准农业、人工智能等。这些技术的应用是推动传统食品生产模式向可持续转变的有效手段,正在为食品工业带来革命性的变化,为提高食品生产的效率、质量和可持续性提供了新的解决方案^[5-9]。以纳米组装技术为例,其通过在纳米尺度上调控物质的性质,从而制造出具有特定功能和结构的材料,这种技术在食品工业中具有广阔的发展前景,可应用于食品制造、绿色包装、活性物质递送及食品安全检测等领域^[10]。首先,纳米组装技术可以更精确地保护和递送易受环境影响的食品营养成分,还可以改良食品品质,定制化地生产出营养与口感兼备的食品^[11]。其次,可以利用纳米组装技术设计能智能感应食品内部环境变化的新型食品包装材料,实时监测食品的质量变化,为食品的储存和运输提供更加精确的控制^[12]。在食品安全检测领域,纳米传感器能够快速、灵敏地检测食品中的微生物和

收稿日期: 2024-11-29

通信作者: 中国食品科学技术学会

E-mail: cifst@126.com

化学污染物,提高了食品安全的监管效率^[13]。此外,纳米组装技术还有助于提高原料的利用率和生产效率。例如,纳米催化剂可以加速食品加工中的化学反应,减少能源消耗和废物产生。还可以用于开发新型的食品原料,如通过纳米技术改良植物蛋白的结构和功能,使其具有与传统动物蛋白相似的营养价值和口感,为满足日益增长的蛋白质需求提供新的途径^[14]。

食品新生产系统凭借其高效、环保、可持续的特点,正在成为保障未来食品供给的新质生产力。通过技术创新、可持续发展、供应链优化、新质蛋白源开发以及政策和社会支持,各种食品新生产系统将为全球食品安全和环境可持续性发展做出重要贡献。

1.2 合成生物学的兴起赋予重构未来食品新的动力

合成生物学涉及生物学、基因工程及计算机模拟等多学科、领域的高度交叉融合,逐渐成为解决食品科学领域面临的资源受限、环境污染等困境的有效工具^[15]。目前合成生物学的研究主要集中在化学和医药相关领域,在食品领域的研究和应用还处于初步阶段,主要集中在食品成分的合成、营养强化和安全性提升等方面^[16-17]。生物制造技术的蓬勃发展为食品生物合成领域带来了新机遇,合成生物学的应用使得构建细胞工厂成为可能,进而推动了食品蛋白、食用油脂、食品配料(如酶制剂和母乳低聚糖)以及食品营养素生物合成技术的发展。这些技术不仅能提升传统食品的色、香、味、形和营养,也是未来食品任务的强力支撑。合成生物学可以用于设计生产具有可持续属性的食品成分,并将其应用于肉、蛋、奶等常见的食品中,从而减少空气污染、能源消耗和土地利用面积,降低可能由畜牧业引起的动物传染病风险等^[18]。细胞培养肉就是利用合成生物学的完美案例^[19]。近年来,通过对大肠杆菌、酵母菌等微生物进行遗传修饰来合成血红蛋白的方法已经取得成功,这将有助于赋予产品更真实的肉香味^[20-21]。还可以通过生物合成学设计具有抗菌和抗病毒功能的生物系统,从而有效减少食品中的有害微生物,提升食品的安全性。

总体而言,通过设计和构建新的食品成分、生

产途径和生物系统,合成生物学不仅可为食品生产带来新的可能性,也为未来食品的安全性、营养性和可持续性提供新的动力。随着技术的不断进步和应用的逐渐推广,合成生物学必将在未来食品领域发挥更重要的作用。

1.3 人工智能技术为食品科技带来变革性的发展机遇

人工智能技术以神经网络和深度学习为核心理念,是一种利用计算机、机器人和数字设备来模拟人的推理能力和智力的新型数字化技术,已成为推动技术创新和产业变革的重要力量^[22]。食品科技发展也在人工智能的推动下迎来前所未有的发展模式。

人工智能在食品加工中最重要的用途是使食品加工过程自动化,使食品质量控制便捷化。通过引入机器人和自动化设备,食品生产过程中的许多环节,如原料处理、加工、包装等,都可以实现高度自动化。这不仅提高了生产效率,还减少了人为操作带来的误差和污染风险^[23]。通过图像识别、传感器和大数据分析,人工智能技术可对食品的质量进行实时监控和评估,建立食品安全和质量的可追溯性系统,预测和预防潜在的质量问题,确保食品的稳定性和一致性^[24]。对数据极强地归纳、整理和分析能力是人工智能的重要优势。人工智能可以通过分析与个人基因、健康和饮食习惯相关的数据,提供个性化的营养建议和饮食方案^[25]。在产品创新和研发方面,人工智能可以快速筛选和分析大量的产品特性和原料数据,发现新的食品配方^[26]。人工智能技术还可以通过大数据分析和预测模型,对供应链进行优化和管理^[27]。

人工智能作为一项变革性技术,在食品生产、质量控制、个性化营养、供应链管理和产品创新等方面已被投入应用,不仅提高了食品行业的效率和竞争力,还为消费者提供了更安全、更健康和更具创新性的产品。未来,人工智能必将为食品发展带来无限可能。

1.4 可持续食品包装与食品供应链设计为循环与安全发展提供新引擎

随着全球环境问题的日益严重和消费者对食品安全关注的不断提高,食品行业正面临着前所未有的挑战,如资源过度消耗、环境污染、食品浪

费和食品安全问题等^[28]。可持续食品包装与食品供应链设计作为应对这些挑战的重要手段,正在成为推动循环经济和发展的新引擎^[29]。

使用可持续的食品包装,可以在生产过程中及消费者使用后减少对环境的污染,更符合环境友好的绿色发展方针。设计可持续性的食品包装的关键,是使用安全、无毒的可再生材料并做到可循环使用,同时还需构建完善的回收系统^[30]。许多天然生物聚合物(如淀粉、壳聚糖、角叉菜胶、聚乳酸等)因环保、可生物降解、无毒且具有生物相容性等特点被应用于设计可持续的食品包装^[31-34]。当前限制生物聚合物基食品包装材料发展的主要因素是其机械强度相对较弱,并且对水分较为敏感,可通过原料混合配比的优化、增强剂的添加以及创新加工技术的引入来改善生物聚合物的性能^[35]。可持续的食品包装不仅涉及包装材料的选择和设计,还涉及从原材料的采购、加工、包装、运输、储存到最终的销售和消费者使用的食品供应链的各个环节。

透明、高效、安全和可持续的食品供应链设计在确保食品安全与质量,提高供应效率,促进社会和环境的可持续发展等方面具有重要作用^[36-37]。借助区块链技术和物联网,记录食品从生产到销售的全过程信息,使食品供应链中的各个环节实现信息的实时共享和追溯,防止假冒伪劣产品进入市场,同时保障产品的售后服务^[8,38]。在食品供应链的设计中,还可借助大数据分析和人工智能技术,对供应链中的各个环节进行优化和管理,提高食品的流通速度和市场响应能力,确保食品及时到达消费者手中^[39]。

1.5 新质蛋白持续助力人类健康与自然可持续发展

据估计,到2050年,世界人口将增长到98亿。人口增长,随之带来的是蛋白质资源的短缺。在此大环境下,新质蛋白因其较低的碳排放和资源消耗以及较高的营养价值而备受关注,被认为是解决全球饥饿和食品蛋白质需求问题的重要途径之一^[40-41]。

植物蛋白是最常见的新质蛋白,目前对植物蛋白中的豆类蛋白研究较多。近年来,植物肉研究

又为新质蛋白提供了新的生机^[42-43]。以植物蛋白(如大豆蛋白)为原料制得的可以媲美真肉的人造肉已有许多成功的产业化案例。除常见的植物蛋白外,藻类蛋白^[44]、昆虫蛋白^[45]和微生物蛋白^[46]也因自身独特的优势而逐渐被科学家们重视起来。在技术创新和市场需求的推动下,我国微生物蛋白产业正经历着快速的发展阶段。2023年,酵母蛋白获批成为我国可用作食品原料的第一类微生物蛋白^[47],部分企业年生产规模已达到万吨级。细胞培养肉作为一种动物蛋白生产新技术,已逐渐从基础科研阶段迈向产业化阶段,生产规模逐渐扩大,生产成本大幅降低。目前,我国细胞培养肉的生物反应器产能已进入千升阶段,每公斤生产成本降至千元级^[48-50]。可以预见的是:植物蛋白的高品质开发,微生物蛋白的大规模生产,细胞培养蛋白的低成本制造技术的突破以及替代肉制品大规模的产业化,将持续保障食品安全,助力人类健康与全球的可持续发展。

1.6 新污染物的风险评估与控制已成为主动保障食品安全的新支撑

在全球化和工业化进程加速的背景下,食品安全保障面临前所未有的挑战。污染物带来的食品安全保障问题广泛存在,持续影响食品安全供应。重金属、农药残留等的危害已引起广泛关注,而全氟化合物、微塑料等新污染物的涌现给食品安全保障带来全新的挑战^[51-52]。研究表明,这些污染物可通过食物链累积对人类健康产生不良影响,包括干扰内分泌、损伤免疫系统^[53-54]。为了应对新污染物带来的挑战,欧盟、美国等发达国家和地区建立了新污染物的监测和评估体系。在国内,国家卫生健康委员会、国家市场监督管理总局等多部门协作发布多项政策和标准,规范食品中重金属、农药残留及新污染物的检测与控制。此外,科研机构 and 高校积极开展相关研究,改进传统的检测方法,实现对含氟化合物、微塑料等污染物的高灵敏度检测^[55-56]。未来的研究目标应包括加强新污染物的风险评估体系建设,提升监测和控制技术水平,推进国际合作与信息共享,实现以预防为重点的可持续、安全的食品供应,以更快、更有效地作出反应。

1.7 食品真实性鉴别技术为破解食品欺诈难题提供了新方向

在全球食品行业中,以掺假、造假为代表的食品欺诈,是全球食品行业中的痼疾,日益呈现复杂性、多样性,且危害大,需高度重视并重点防治。这些行为在影响食品质量的同时,损害了消费者的权益,带来严重的健康风险,也扰乱市场秩序,对食品供应链的诚信和安全构成严重的威胁。为了应对食品欺诈问题,国内外开发了多种食品真实性鉴别技术,例如利用食品中 DNA 的独特序列,鉴别食品的真实来源;利用近红外光谱、拉曼光谱等,通过分析食品中的化学成分,鉴别其真实属性;利用高效液相色谱、气相色谱等技术,绘制食品的化学指纹图谱,鉴别食品的真伪和纯度^[57-58]。其中最具代表性的是蜂蜜真伪的鉴别技术,通过色谱联用技术、光谱法、碳同位素法、差示扫描量热法等分析方法,可以检测蜂蜜中是否存在我国标准规定之外的添加物,例如检测外源糖浆的掺入^[59]。此外,利用人工智能和大数据技术,可实现食品真实性鉴别的智能化和自动化,提高检测效率和准确性。通过不断创新和完善食品真实性鉴别技术,可以有效破解食品欺诈难题,保障消费者权益,提升食品安全水平,推动食品行业的可持续发展。目前,食品真实性鉴别技术已成为全球范围内治理食品欺诈的一种管理手段和创新举措,是落实食品生产经营者主体责任的重要抓手^[60]。加强食品真实性鉴别技术的基础研究与应用,完善其法规和标准体系,构建食品真实性鉴别的社会共建共治生态,有利于提升我国食品安全监管水平,培育食品行业高质量发展的新质生产力。

1.8 食药同源助力实现个性化健康需求

与饮食相关的慢性疾病已成为威胁公众健康的全球性问题,成为当今世界面临的重大挑战之一,给社会造成了巨大的医疗负担和生产力损失。饮食结构与健康之间关系紧密,对于预防和降低慢性病的患病风险以及调节亚健康状态具有至关重要的作用^[61-62]。“食养结合”理念涵盖了定制膳食、精准营养干预计划等多个方面,旨在满足不同群体的个性化健康需求。在食品科学中融合营养学和传统中医等学科理论,倡导将食药物质资源融入日常饮食中,除了在提供营养方面发挥重要

作用外,也能够发挥积极的预防、辅助治疗效果^[63]。针对疾病特点制定饮食计划和医学处方下的治疗性膳食,可以预防或辅助治疗疾病,并成为促进康复的有力工具^[64]。采用以食物为基础的营养计划和干预措施,可减轻与饮食有关疾病的健康负担和经济成本。通过更健康的饮食模式促进营养吸收,增强免疫功能和对感染的抵抗力等满足不同群体的个性化健康需求。基于食物营养与人体健康关系,靶向生产精准营养与个性化食品,合理利用食物进行疾病干预和健康管理,实现饮食调控与健康干预的有机结合^[65-66]。

1.9 老年食品助推健康老龄化产业高质量发展

随着全球人口老龄化问题的日益严重,老年人的健康状况成为社会关注的焦点。随着年龄的增长,老年人的消化吸收能力逐渐下降,咀嚼和吞咽功能也会减弱,导致营养摄入不足。据统计,我国近半数 60 岁以上老年人存在营养风险,约 75% 的 60 岁及以上老年人至少患有 1 种慢性病。这不仅影响老年人的生活质量,也给社会带来沉重的医疗负担和经济压力^[67-68]。因此,开发满足老年人营养需求的食品显得尤为重要^[69-70]。这类食品需要在质地和口感上进行特殊设计,使其易于咀嚼和吞咽,同时保持良好的营养价值。老年人由于生理功能的退化,容易缺乏某些关键的营养成分,如蛋白质、钙、维生素 D 以及 B 族维生素等。针对这些营养缺乏,开发营养强化食品是有效的解决方案^[71-72]。此外,随着身体机能退化,特别是免疫、消化和心血管系统的减弱,有针对性的特殊功能食品可以有效改善老年人的健康状况^[73]。通过这些措施,可以显著改善老年人的营养状况和健康水平,提升生活质量,并推动健康老龄化产业的高质量发展。

1.10 菌群靶向性食品正在成为生命健康领域的新热点

肠道菌群与人体健康密切相关,被誉为人体的“第二基因组”。肠道菌群在消化、免疫调节、代谢等方面发挥着重要作用,其平衡对整体健康至关重要^[74]。膳食是调节菌群平衡最直接、有效的手段,通过合理的饮食结构,可以显著改善肠道菌群的组成和功能。菌群靶向性食品正是在这一背景下应运而生。这类食品专门设计用来调节肠道菌

群的平衡,区别于传统食品仅满足人体营养需求的目标,菌群靶向性食品更多关注对肠道菌群的精准、定向调节。目前,菌群靶向性食品已成为生命健康研究与产业关注的新热点。近年来,科学研究不断揭示肠道微生物组与饮食之间的密切关系。例如,低聚果糖和菊粉等益生元可以显著增加有益菌,如双歧杆菌和乳酸杆菌的数量,同时减少有害菌,如致病性大肠杆菌的数量^[75-76]。再如,富含多酚的食物,如蓝莓和绿茶,通过促进有益菌的生长,改善肠道微生态平衡^[77-78]。这些菌群靶向性饮食不仅对肠道微生物组,而且对人体免疫系统也有积极影响^[79]。在应用方面,菌群靶向性食品在缓解营养不良、肥胖、肠道炎症等菌群紊乱相关疾病方面有着重大发展潜力^[80]。例如,高纤维饮食通过靶向肠道菌群中的短链脂肪酸生成菌,有效改善2型糖尿病患者的血糖控制能力^[81]。另外,菌群靶向性食品还可有效缓解慢性疾病的发展历程,例如补充抗性淀粉和菊粉等复合碳水化合物,可有效缓解慢性阻塞性肺病症状,改善肺功能,并延缓疾病进展^[82]。通过调节肠道菌群的组成和功能,菌群靶向性食品可以有效改善这些疾病的症状和预后,为患者提供新的治疗选择^[83]。随着科学研究的深入和技术的发展,菌群靶向性食品有望在未来成为生命健康领域的重要组成部分,为人类健康带来更多益处。

2 结语与展望

2023—2024年度全球食品安全与健康领域的十大研究热点,展示了当前科技与产业变革的前沿趋势,不仅反映人类在面对食品安全与健康挑战时的最新成果,还为未来食品供给和人类健康提升提供了新的解决方案和方法。

随着科学技术的不断进步和全球合作的加强,这些研究热点将继续推动食品安全与健康领域的变革。未来研究中将看到更多跨学科的研究和技术创新,促进食品产业的智能化、个性化和可持续发展。食品新生产系统将进一步优化资源利用效率,减少环境足迹,实现绿色生产。合成生物学将带来更多突破,满足全球多样化的食品需求。人工智能将在食品领域发挥更大作用,从精准农业到个性化营养方案,全面提升食品安全和健康

水平。可持续食品包装与供应链设计将推动循环经济的发展。新质蛋白有望成为未来食品供应的主要组成部分,解决全球蛋白质供应问题。新污染物的风险评估与控制技术将确保食品供应链的安全性,食品真实性鉴别技术将全面提升消费者信任。食药同源理念将引领个性化健康管理,老年食品研发将支持健康老龄化,菌群靶向性食品将为解决更多健康问题提供新途径。未来通过多学科的交叉融合和技术创新,食品产业将迎来更加智能化、个性化和可持续化的发展新阶段,为全球食品安全和人类健康做出更大贡献。

顾问

孙宝国 中国工程院院士、北京工商大学

陈坚 中国工程院院士、江南大学

谢明勇 中国工程院院士、南昌大学

李宁 国家食品安全风险评估中心

参与讨论和编写本文的专家(按姓氏汉语笔画排序)

王硕 南开大学

江连洲 东北农业大学

陈宏达 美国农业部国家粮食与农业研究所

范大明 江南大学

饶平凡 国际食品科学院

黄建 中国疾病预防控制中心营养与健康所

隋晓楠 东北农业大学

翟齐啸 江南大学

樊永祥 国家食品安全风险评估中心

工作组秘书

陈铮 中国食品科学技术学会

张悦 中国食品科学技术学会

参 考 文 献

- [1] 孙宝国,刘慧琳.健康食品产业现状与食品工业转型发展[J].食品科学技术学报,2023,41(2):1-6.
SUN B G, LIU H L. Current situation of healthy food industry and transformation and development of food industry[J]. Journal of Food Science and Technology, 2023, 41(2): 1-6.
- [2] 沈麓.沈麓:充分发挥协会产业资源聚集效应 开创产教融合新局面[J].中国食品工业,2023(8):13.
SHEN C. Shen Chi: Give full play to the agglomer-

- ation effect of industrial resources in the association and create a new situation of industry education integration[J]. *China Food Industry*, 2023(8): 13.
- [3] 陈坚. 中国食品科技: 从2020到2035[J]. *中国食品学报*, 2019, 19(12): 1-5.
CHEN J. Food science and technology in China: From 2020 to 2035[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2019, 19(12): 1-5.
- [4] 陈萌山. 以营养健康为导向推动我国食物系统转型升级[J]. *中国食物与营养*, 2024, 30(2): 5-7.
CHEN M S. Promoting the transformation and upgrading of China's food system guided by nutrition and health[J]. *Food and Nutrition in China*, 2024, 30(2): 5-7.
- [5] 刘涛, 李帅, 张海波, 等. 活性包装与智能包装在果蔬贮藏保鲜中的应用进展[J]. *食品研究与开发*, 2024, 45(7): 196-203.
LIU T, LI S, ZHANG H B, et al. Application progress of active packaging and intelligent packaging in the storage and preservation of fruits and vegetables[J]. *Food Research and Development*, 2024, 45(7): 196-203.
- [6] LIN Q, GE S, MCCLEMENTS D J, et al. Advances in preparation, interaction and stimulus responsiveness of protein-based nanodelivery systems [J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2023, 63(19): 4092-4105.
- [7] MALIK S, MUHAMMAD K, WAHEED Y. Nanotechnology: A revolution in modern industry [J]. *Molecules*, 2023, 28(2): 661.
- [8] PANDEY K, PANDEY M, KUMAR V, et al. Bioprocessing 4.0 in biomanufacturing: Paving the way for sustainable bioeconomy [J]. *Systems Microbiology and Biomanufacturing*, 2024, 4(2): 407-424.
- [9] AHMAD A, QURASHI A, SHEEHAN D. Nano packaging-progress and future perspectives for food safety, and sustainability [J]. *Food Packaging and Shelf Life*, 2023, 35: 100997.
- [10] LI Y J, LIU J B, ZHANG H, et al. A comprehensive review of self-assembled food protein-derived multicomponent peptides: From forming mechanism and structural diversity to applications [J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2023, 71(30): 11304-11319.
- [11] MENG Y X, QIU C, LI X J, et al. Polysaccharide-based nano-delivery systems for encapsulation, delivery, and pH-responsive release of bioactive ingredients [J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2024, 64(1): 187-201.
- [12] THIRUMALAI A, HARINI K, PALLAVI P, et al. Nanotechnology driven improvement of smart food packaging [J]. *Materials Research Innovations*, 2023, 27(4): 223-232.
- [13] 张群. 基于功能纳米材料及自组装的食品安全检测原理及方法[J]. *食品与生物技术学报*, 2014, 33(12): 1338-1338.
ZHANG Q. Principles and methods of food safety testing based on functional nanomaterials and self-assembly [J]. *Journal of Food Science and Biotechnology*, 2014, 33(12): 1338-1338.
- [14] PALIYA B S, SHARMA V K, SHARMA M, et al. Protein-polysaccharide nanoconjugates: Potential tools for delivery of plant-derived nutraceuticals [J]. *Food Chemistry*, 2023, 428: 136709.
- [15] 徐显皓, 刘龙, 陈坚. 合成生物学与未来食品[J]. *中国生物工程杂志*, 2024, 44(1): 61-71.
XU X H, LIU L, CHEN J. Synthetic biology and future food [J]. *China Biotechnology*, 2024, 44(1): 61-71.
- [16] ABEDIN M M, CHOURASIA R, PHUKON L C, et al. Lactic acid bacteria in the functional food industry: Biotechnological properties and potential applications [J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2024, 64(29): 10730-10748.
- [17] RAFIQ S, BHAT M I, SOFI S A, et al. Bioconversion of agri-food waste and by-products into microbial lipids: Mechanism, cultivation strategies and potential in food applications [J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2023, 139: 104118.
- [18] ARUN K, ANOOPKUMAR A, SINDHU R, et al. Synthetic biology for sustainable food ingredients production: Recent trends [J]. *Systems Microbiology and Biomanufacturing*, 2023, 3(1): 137-149.
- [19] ROY N K, PANDA S, DEY G. Engineering a sustainable protein revolution: Recent advances in cultured meat production [J]. *Food Bioengineering*, 2023, 2(4): 301-316.
- [20] XUE J K, ZHOU J W, LI J H, et al. Systematic engineering of *Saccharomyces cerevisiae* for efficient synthesis of hemoglobins and myoglobins [J]. *Biore-source Technology*, 2023, 370: 128556.

- [21] LIU X, YANG C, QIN J X, et al. Challenges, process technologies, and potential synthetic biology opportunities for plant-based meat production [J]. *LWT*, 2023, 184: 115109.
- [22] HASSOUN A, JAGTAP S, TROLLMAN H, et al. Food processing 4.0: Current and future developments spurred by the fourth industrial revolution[J]. *Food Control*, 2023, 145: 109507.
- [23] KAKANI V, NGUYEN V H, KUMAR B P, et al. A critical review on computer vision and artificial intelligence in food industry[J]. *Journal of Agriculture and Food Research*, 2020, 2: 100033.
- [24] 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.
- [25] COHEN Y, VALDÉS-MAS R, ELINAV E. The role of artificial intelligence in deciphering diet-disease relationships: Case studies[J]. *Annual Review of Nutrition*, 2023, 43(1): 225-250.
- [26] 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.
- [27] SHAH H M, GARDAS B B, NARWANE V S, et al. The contemporary state of big data analytics and artificial intelligence towards intelligent supply chain risk management: A comprehensive review[J]. *Kybernetes*, 2023, 52(5): 1643-1697.
- [28] HASSOUN A, BOUKID F, OZOGUL F, et al. Creating new opportunities for sustainable food packaging through dimensions of industry 4.0: New insights into the food waste perspective[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2023, 142: 104238.
- [29] PERERA K Y, JAISWAL A K, JAISWAL S. Biopolymer-based sustainable food packaging materials: Challenges, solutions, and applications[J]. *Foods*, 2023, 12(12): 2422.
- [30] TARDY B L, RICHARDSON J J, GRECA L G, et al. Advancing bio-based materials for sustainable solutions to food packaging[J]. *Nature Sustainability*, 2023, 6(4): 360-367.
- [31] ZHANG W L, KHAN A, EZATI P, et al. Advances in sustainable food packaging applications of chitosan/polyvinyl alcohol blend films[J]. *Food Chemistry*, 2024, 443: 138506.
- [32] KUMAR S, REDDY A R L, BASUMATARY I B, et al. Recent progress in pectin extraction and their applications in developing films and coatings for sustainable food packaging: A review[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2023, 239: 124281.
- [33] DONKOR L, KONTOH G, YAYA A, et al. Bio-based and sustainable food packaging systems: Relevance, challenges, and prospects[J]. *Applied Food Research*, 2023, 3(2): 100356.
- [34] 安艳霞, 刘欣, 雷永伟, 等. 生物基活性食品包装材料的研究进展[J]. *食品安全质量检测学报*, 2023, 14(18): 190-200.
- AN Y X, LIU X, LEI Y W, et al. Advance in bio-based active food packaging materials[J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2023, 14(18): 190-200.
- [35] SUDHEER S, BANDYOPADHYAY S, BHAT R. Sustainable polysaccharide and protein hydrogel-based packaging materials for food products: A review[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2023, 248: 125845.
- [36] ZAMBUJAL-OLIVEIRA J, FERNANDES C. The contribution of sustainable packaging to the circular food supply chain[J]. *Packaging Technology and Science*, 2024, 37(5): 443-456.
- [37] MARTIN-RIOS C, ROGENHOFER J, ALVARADO M S. The true cost of food waste: Tackling the managerial challenges of the food supply chain[J]. *Trends in Food Science & Technology*, 2023, 131: 190-195.
- [38] BURKE H, ZHANG A, WANG J X. Integrating product design and supply chain management for a circular economy[J]. *Production Planning & Control*, 2023, 34(11): 1097-1113.
- [39] DING H H, TIAN J W, YU W, et al. The application of artificial intelligence and big data in the food industry[J]. *Foods*, 2023, 12(24): 4511.
- [40] ZHANG X, ZHANG T Y, ZHAO Y, et al. Structural, extraction and safety aspects of novel alternative proteins from different sources[J]. *Food Chemistry*, 2023, 436: 137712.
- [41] MOURA M A F E, MARTINS B D A, OLIVEIRA G P D, et al. Alternative protein sources of plant, algal, fungal and insect origins for dietary diversification in search of nutrition and health[J]. *Critical*

- Reviews in Food Science and Nutrition, 2023, 63(31): 10691-10708.
- [42] SUI X N, ZHANG T Y, ZHANG X, et al. High-moisture extrusion of plant proteins: Fundamentals of texturization and applications[J]. Annual Review of Food Science and Technology, 2024, 15: 125-149.
- [43] ZHANG X, SHEN A, ZHANG Z N, et al. Advancing molecular understanding in high moisture extrusion for plant-based meat analogs: Challenges and perspectives[J]. Food Chemistry, 2024, 460(Part 1): 140458.
- [44] SAMARATHUNGA J, WIJESEKARA I, JAYASINGHE M. Seaweed proteins as a novel protein alternative: Types, extractions, and functional food applications[J]. Food Reviews International, 2023, 39(7): 4236-4261.
- [45] HASNAN F F B, FENG Y M, SUN T Z, et al. Insects as valuable sources of protein and peptides: Production, functional properties, and challenges[J]. Foods, 2023, 12(23): 4243.
- [46] MA J R, SUN Y F, MENG D M, et al. Yeast proteins: The novel and sustainable alternative protein in food applications[J]. Trends in Food Science & Technology, 2023, 135: 190-201.
- [47] 汪超, 夏路, 李兆丰, 等. 微生物蛋白的关键生产技术体系与食品产业应用[J]. 中国工程科学, 2024, 26(2): 121-131.
- WANG C, XIA L, LI Z F, et al. Key manufacturing technologies of microbial protein and its application in food industry[J]. Strategic Study of CAE, 2024, 26(2): 121-131.
- [48] 关欣, 周景文, 王守伟, 等. 细胞培养肉高效合成的生物学基础与技术挑战[J]. 中国食品学报, 2024, 24(5): 103-125.
- GUAN X, ZHOU J W, WANG S W, et al. Biological basis for efficient synthesis of cultured meat and technical challenges[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2024, 24(5): 103-125.
- [49] 丁世杰, 李春保, 周光宏. 细胞培养肉技术及产业化进展与挑战[J]. 中国食品学报, 2022, 22(12): 33-41.
- DING S J, LI C B, ZHOU G H. Progress and challenge of cultured meat technology and industrialization[J]. Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology, 2022, 22(12): 33-41.
- [50] 孙一文, 周琳, 王晓红. 细胞培养肉商业化进程、制约因素及政策建议[J]. 食品与发酵工业, 2024, 50(19): 397-408.
- SUN Y W, ZHOU L, WANG X H. Commercialization progress, constraining elements, and policy recommendations for cultivated meat[J]. Food and Fermentation Industries, 2024, 50(19): 397-408.
- [51] LIU F Q, JIANG S T, YOU S J, et al. Recent advances in electrochemical decontamination of perfluorinated compounds from water: A review [J]. Frontiers of Environmental Science & Engineering, 2023, 17(2): 18.
- [52] DONG H K, WANG X P, NIU X R, et al. Overview of analytical methods for the determination of microplastics: Current status and trends[J]. TrAC Trends in Analytical Chemistry, 2023, 167: 117261.
- [53] AHMED T, NOMAN M, RIZWAN M, et al. Recent progress on the heavy metals ameliorating potential of engineered nanomaterials in rice paddy: A comprehensive outlook on global food safety with nanotoxicity issues[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2023, 63(16): 2672-2686.
- [54] SHARMA A, PANT K, BRAR D S, et al. A review on Api-products: Current scenario of potential contaminants and their food safety concerns[J]. Food Control, 2023, 145: 109499.
- [55] HAHM G, REDEKER F A, JORABCHI K. Multi-element detection of nonmetals by barium-based post-ICP chemical ionization coupled to orbitrap-MS [J]. Journal of the American Society for Mass Spectrometry, 2024, 35(5): 871-882.
- [56] GAO P R, SHAARANI S M D, MOHD NOOR N Q I. Recent advances in inspection technologies of food safety health hazards for fish and fish products [J/OL]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, (2023-12-07)[2024-08-01]. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10408398.2023.2289077?scroll=top&needAccess=true>.
- [57] LI Y L, ZONG W L, ZHAO S S, et al. Nutrition and edible characteristics, origin traceability and authenticity identification of yak meat and milk: A review[J]. Trends in Food Science & Technology, 2023, 139: 104133.
- [58] YE H P, YANG J, XIAO G S, et al. A comprehensive overview of emerging techniques and chemometrics for authenticity and traceability of animal-

- derived food [J]. *Food Chemistry*, 2023, 402: 134216.
- [59] BOSE D, PADMAVATI M. Honey authentication: A review of the issues and challenges associated with honey adulteration[J]. *Food Bioscience*, 2024, 61: 105004.
- [60] 国家市场监督管理总局. 市场监管总局关于规范食品快速检测使用的意见[EB/OL]. (2023-01-18)[2024-08-01]. https://www.gov.cn/gongbao/content/2023/content_5750635.htm.
State Administration for Market Regulation. Opinions of the State Administration for Market Regulation on regulating the use of rapid food testing [EB/OL]. (2023-01-18) [2024-08-01]. https://www.gov.cn/gongbao/content/2023/content_5750635.htm.
- [61] WANG P, SONG M, ELIASSEN A H, et al. Optimal dietary patterns for prevention of chronic disease [J]. *Nature Medicine*, 2023, 29(3): 719-728.
- [62] 余强, 郑冰, 聂少平, 等. “食药同源”食品产业现状与发展趋势浅析[J]. *中国食品学报*, 2023, 23(9): 1-11.
YU Q, ZHENG B, NIE S P, et al. An overview and analysis of the current status and trends in the ‘food and medicine homology’ food industry [J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2023, 23(9): 1-11.
- [63] WESSELLS K R, MANGER M S, TSANG B L, et al. Mandatory large-scale food fortification programmes can reduce the estimated prevalence of inadequate zinc intake by up to 50% globally[J]. *Nature Food*, 2024, 5: 625-637.
- [64] VENKATESAN P. Food is medicine: Clinical trials show the health benefits of dietary interventions[J]. *Nature Medicine*, 2024, 30: 916-919.
- [65] 国家市场监督管理总局. 市场监管总局公布《保健食品新功能及产品技术评价实施细则(试行)》[EB/OL]. (2023-08-13) [2024-08-01]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202308/content_6900636.htm.
State Administration for Market Regulation. State Administration for Market Regulation announces the implementation rules for the evaluation of new functions and product technologies of health food (trial) [EB/OL]. (2023-08-13) [2024-08-01]. https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/202308/content_6900636.htm.
- [66] 国家市场监督管理总局, 国家卫生健康委员会, 国家中医药管理局. 《允许保健食品声称的保健功能目录 非营养素补充剂(2023年版)》[EB/OL]. (2023-08-13) [2024-08-01]. https://www.gov.cn/lianbo/bumen/202309/content_6901834.htm.
State Administration for Market Regulation, National Health Commission, National Administration of Traditional Chinese Medicine. List of non-nutrient supplements for health benefits claimed by health foods (2023 ed) [EB/OL]. (2023-08-13) [2024-08-01]. https://www.gov.cn/lianbo/bumen/202309/content_6901834.htm.
- [67] PAPAPOPOULOU S K, MANTZOROU M, VOULGARIDOU G, et al. Nutritional status is associated with health-related quality of life, physical activity, and sleep quality: A cross-sectional study in an elderly Greek population[J]. *Nutrients*, 2023, 15(2): 443.
- [68] ALATAŞ H, ARSLAN N. Sleep, malnutrition, and quality of life in elderly hemodialysis patients: A cross-sectional study[J]. *Médecine Palliative*, 2023, 22(5): 260-268.
- [69] MELCHIOR S, MORETTON M, ALONGI M, et al. Comparison of protein *in vitro* digestibility under adult and elderly conditions: The case study of wheat, pea, rice, and whey proteins[J]. *Food Research International*, 2023, 163: 112147.
- [70] CHAO C, LEE J H, KIM I W, et al. Investigation of 3D-printable chickpea-mealworm protein mixtures and their bolus rheology: A soft-textured and safe-swallowing food for the elderly[J]. *Food Bioscience*, 2023, 54: 102924.
- [71] 中国老年学和老年医学学会. 老年营养食品通则: T/LXLY 28-2024[S]. 北京: 中国标准出版社, 2024. China Association of Gerontology and Geriatrics. General rules for nutritional foods for the elderly: T/LXLY 28-2024[S]. Beijing: Standards Press of China, 2024.
- [72] DANIELE G M, MEDORO C, LIPPI N, et al. Exploring eating habits, healthy food awareness, and inclination toward functional foods of Italian elderly people through computer-assisted telephone interviews (CATIs)[J]. *Nutrients*, 2024, 16(6): 762.
- [73] AZIZ T, HUSSAIN N, HAMEED Z, et al. Elucidating the role of diet in maintaining gut health to reduce the risk of obesity, cardiovascular and other age-related inflammatory diseases: Recent challenges

- and future recommendations[J]. *Gut Microbes*, 2024, 16(1): 2297864.
- [74] DE VOS W M, TILG H, VAN HUL M, et al. Gut microbiome and health: Mechanistic insights[J]. *Gut*, 2022, 71(5): 1020–1032.
- [75] YIN P P, YI S R, DU T Z, et al. Dynamic response of different types of gut microbiota to fructooligosaccharides and inulin[J]. *Food & Function*, 2024, 15(3): 1402–1416.
- [76] MOMO CABRERA P, RACHMÜHL C, DERRIEN M, et al. Comparative prebiotic potential of galacto- and fructo-oligosaccharides, native inulin, and acacia gum in Kenyan infant gut microbiota during iron supplementation[J]. *ISME Communications*, 2024, 4(1): ycae033.
- [77] LI Q, VAN DE WIELE T. Gut microbiota as a driver of the interindividual variability of cardiometabolic effects from tea polyphenols[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2023, 63(11): 1500–1526.
- [78] HAN D D, WU Y J, LU D D, et al. Polyphenol-rich diet mediates interplay between macrophage-neutrophil and gut microbiota to alleviate intestinal inflammation[J]. *Cell Death & Disease*, 2023, 14(10): 656.
- [79] FAN L J, XIA Y Y, WANG Y X, et al. Gut microbiota bridges dietary nutrients and host immunity[J]. *Science China Life Sciences*, 2023, 66(11): 2466–2514.
- [80] HIBBERD M C, WEBBER D M, RODIONOV D A, et al. Bioactive glycans in a microbiome-directed food for children with malnutrition[J]. *Nature*, 2024, 625(7993): 157–165.
- [81] WANG Z, PETERS B A, YU B, et al. Gut microbiota and blood metabolites related to fiber intake and type 2 diabetes[J]. *Circulation Research*, 2024, 134(7): 842–854.
- [82] BUDDEN K F, SHUKLA S D, BOWERMAN K L, et al. Faecal microbial transfer and complex carbohydrates mediate protection against COPD[J]. *Gut*, 2024, 73(5): 751–769.
- [83] 国家卫生健康委员会. 关于假肠膜明串珠菌等 28 种“三新食品”的公告[EB/OL]. (2023–02–07)[2024–08–01]. <http://www.nhc.gov.cn/sps/s7892/202303/aa82bf72d6054f82adced82fc9aac4d9.shtml>. National Health Commission. Announcement on 28 ‘new foods’ including *Candida albicans* [EB/OL]. (2023–02–07)[2024–08–01]. <http://www.nhc.gov.cn/sps/s7892/202303/aa82bf72d6054f82adced82fc9aac4d9.shtml>.

Global Research Hotspots and Trends in Food Safety and Health

(Chinese Institute of Food Science and Technology, Beijing 100048)

Abstract To bolster academic research and foster industrial innovation in the field of global food safety and health, while supporting government decision-making and addressing industry priorities, the Chinese Institute of Food Science and Technology (CIFST), in collaboration with the International Union of Food Science and Technology (IUFoST), had jointly launched an initiative on global research hotspots in food safety and health. Drawing on current research and the insights of leading experts from related fields worldwide, the latest research hotspots and trends in global food safety and health had been distilled and formulated. The outcomes will play a crucial role in promoting interdisciplinary collaboration, forecasting future research trends in global food safety and health, and seizing the initiative in technological and developmental innovation in the food sector, thereby providing valuable guidance for leading industrial innovation and growth.

Keywords new food production system; synthetic biology; artificial intelligence; sustainable food packaging and food supply chain; new quality protein; new pollutants; food authenticity identification technology; food and medicine homology; elderly food; microbial-targeted food