未来食品基础科学问题

李兆丰[1]，徐勇将[1]，范柳萍[1]，张德权[2]，孙崇德[3]，藏明伍[4]，陈 坚[5]，刘元法[*1]

（1. 江南大学 食品学院，江苏 无锡 214122；2. 中国农业科学院 农产品加工研究所/农业农村部 农产品加工重点实验室，北京 100193；3. 浙江大学 农业与生物技术学院，浙江 杭州 310058；4. 中国肉类食品综合研究中心，北京 100068；5. 江南大学 生物工程学院，江苏 无锡 214122）

摘要：新一轮科技革命加速重构全球食品创新版图、重塑全球食品产业结构。未来食品基础科学将成为食品未来高科技发展的关键支撑，将会促进“后动物生物经济”的形成，也带动后工业时代的跨越发展。作者通过分析食品组学、食品感知学、食品合成生物学和食品纳米科学等基础科学问题，讨论未来食品面临的机遇与挑战，展望未来食品发展趋势和前景。

关键词：未来食品；食品组学；食品感知学；食品合成生物学；食品纳米科学

中图分类号：TS 201　**文章编号：**1673-1689(2020)10-0009-09　**DOI：**10.3969/j.issn. 1673-1689.2020.10.002

Fundamental Research in Future Foods

LI Zhaofeng[1]，*XU Yongjiang*[1]，*FAN Liupin*[1]，*ZHANG Dequan*[2]，*SUN Chongde*[3]，*ZANG Mingwu*[4]，*CHEN Jian*[5]，*LIU Yuanfa*[*1]

(1. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 2. Institute of Food Science and Technology, Chinese Academy of Agricultural Science / Key Laboratory of Agro-Products Processing, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100193, China; 3. College of Agriculture and Biotechnology, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China; 4. China Meat Research Center, Beijing 100068; 5. School of Biotechnology, Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: The new round of scientific and technological revolution has accelerated the reconstruction of the global food innovation landscape and reshaped the global food industry structure. Future food fundamental science is the guideline of the development of high-tech food in the future, and the promotion of a 'post-animal bioeconomy', which will drive the leapfrog development in the post-industrial era. This article analyzed fundamental science issues such as food omics, food perception, food synthetic biology and food nanoscience, discussed the opportunities and challenges of future food, and looked forward to future food development trends and prospects.

Keywords: future foods, foodomics, food perception, food synthetic biology, food nanoscience

食品产业关系国计民生，是衡量一个国家或地区经济发展水平和人民生活质量的重要标志，在促进经济增长、提高居民生活水平、扩大劳动就业等方面发挥重要的作用。随着人口增长、环境污染和

收稿日期：2020-04-05

基金项目：国家自然科学基金项目(31722040)。

作者简介：李兆丰(1979—)，男，博士，教授，博士研究生导师，主要从事淀粉生物技术研究。E-mail：zfl@jiangnan.edu.cn

* **通信作者：**刘元法(1974—)，男，博士，教授，博士研究生导师，主要从事油脂营养健康与绿色制造研究。E-mail：yfliu@jiangnan.edu.cn

气候变化,未来食品生产将面临 4 个方面的巨大挑战:1) 人口增长问题:2030 年全球人口预计达到86亿,对食物的需求将增加 50%。2050 年人口预计达 98 亿,对食物需求将增加 70%;2)环境气候劣化问题:预计到 2100 年,由于环境气候条件劣化,各类主粮作物或将大幅减产,减幅分别为:玉米 20%~45%,小麦 5%~50%,稻米 20%~30%,大豆 30%~60%;3) 食物资源浪费问题:世界范围内每年有约 13 亿吨食物被浪费或损耗,约占全球食物供给量 1/3;4)营养健康问题:全球营养不足与营养过剩问题日益突出,不合理饮食导致的慢病人群不断增多[1]。

基于对未来人类生存环境和生活保障的科学判断,要解决全球食物供给和质量、食品安全和营养、食品方便和美味等问题,以人造食品、3D 打印食品、智能制造等为代表的未来食品产业发展迅猛,食品合成生物学、3D 打印机、厨房机器人、纳米机器人、食品智慧感知等颠覆性技术和装备不断涌现,未来食品研究和发展成为人类的首选。未来食品是以解决全球食物供给、资源环境、质量安全、营养健康、饮食方式和精神享受等问题为目的,利用合成生物学、脑科学、物联网、人工智能、增材制造等颠覆性前沿技术,加工更健康、更安全、更营养、更美味、更高效的食品,是未来人类生存和发展的基本保障。

近年来,组学技术、传感技术、大数据管理系统和材料科学等领域的重大科学进展为未来食品的发展奠定了坚实的基础。未来食品科技将发展成为综合系统生物学、合成生物学、物联网、人工智能、增材制造、医疗健康、感知科学等多技术多学科交叉的集成,从食品加工扩展到食品组学、食品感知学、食品合成生物学和食品纳米科学等基础科学问题,构成多学科交叉体系,支撑未来食品领域的健康和可持续发展。因此,作者将以食品组学、食品感知学、食品合成生物学和食品纳米科学为重点进行介绍。

1 食品组学

随着现代科技的飞速发展,现代食品基础科学研究已迈入组学时代。食品组学是在基因组学、转录组学、蛋白组学、代谢组学、化学计量学和生物信息学的基础上发展起来。食品组学 (Foodomics)于 2009 年被定义为一门全新的学科,它通过先进的组学技术平台和方法,应用于食品安全和营养学的前沿研究,以提高消费者的福利、健康和自信。

1.1 食品组学的发展

食品组学技术依托高通量、高分辨率、高精度的分析仪器,通过海量数据处理和分析,为打破食品领域安全性、营养性、功能性等方面的研究瓶颈提供了解决方案。在 Web of Science 数据库中检索得到文章主题(topic)涉及食品组学的共有 234 篇,其中标题(title)直接含有食品组学的共 100 篇,研究内容涉及食品科学与技术、生物化学与分子生物学、仪器分析与设备以及营养学与毒理学等多个方面(见表 1)。

高通量、高精确的先进分析技术将逐渐突破食品成分的复杂性和巨大变异的限制;计算机技术特

表 1. Web of science 中检索的食品组学代表性文献

Table 1 Literture in web of scrence representative foodomics

题目	主要内容	作者	年份
Food analysis and foodomics	定义食品组学概念并列举相关食品组学技术应用的文章。	Cifuentes A	2009[35]
Recent advances in the application of capillary electromigration methods for food analysis and foodomics	文章综述了毛细管电泳在食品分析中的应用,同时指出该法在食品组学研究中有广阔应用前景。	Castro -Puyana M, García -Canas V, Simó C 等	2010[36]
CE -TOF MS analysis of complex protein hydrolyzates from genetically modified soybeans - a tool for foodomics	文章采用 CE-TOF MS 方法对大豆蛋白混合物中的水解产物进行了分析鉴定,展示了食品组学技术在分析复杂多肽混合物方面的应用。	Simó C, Domínguez-Vega E, Marina M L 等	2010[37]
Foodomics: MS-based strategies in modern food science and nutrition	文章综述了食品组学方法在食品科学与营养研究中的应用,并评价了质谱分析在其中发挥的重要作用,同时提出质谱发展方向。	Herrero M, Simó C, García-Canas V 等	2012[38]
Present and future challenges in food analysis: Foodomics	文章综述了各类化学分析方法在食品领域中的应用现状及其发展方向,并提出要在分子水平提高对食品成分的认识,食品组学技术也就应运而生。	García -Canas V, Simó C, Herrero M 等	2012[39]

续表 1

题目	主要内容	作者	年份
Applications of ion mobility spectrometry (IMS) in the field of foodomics	综述了离子迁移光谱在食品组学中的应用,指出了该技术在食品分析领域具有充足的发展潜力。	Karpas Z	2013[40]
Foodomics platform for the assay of thiols in wines with fluorescence derivatization and ultra performance liquid chromatography mass spectrometry using multivariate statistical analysis	系统介绍了基于食品组学方法测定葡萄酒中硫醇的过程,包括目标物质衍生化、仪器分析和数据处理 3 部分,可为类似物质研究提供参考。	Inoue K, Nishimura M, Tsutsui H 等	2013[41]
Nuclear magnetic resonance for foodomics beyond food analysis	从核磁共振技术的数据收集与处理角度,结合实例说明了该技术在食品组学应用中的优势及缺陷。	Laghi L, Picone G, Capozzi F	2014[42]
Comprehensive foodomics study on the mechanisms operating at various molecular levels in cancer cells in response to individual rosemary polyphenols	采用食品组学技术研究了迷迭香中主要成分鼠尾草酸和鼠尾草酚对结肠癌细胞 HT-29 增殖的抑制作用,并且阐明了相关信号通路。	Valdés A, García-Canas V, Simoó C 等	2014[43]
Foodomics in microbiological investigations	综述了食品组学技术在食品微生物研究领域的应用,说明基于高通量分析技术和生物信息学工具的食品组学是系统研究食品微生物的重要手段。	Xu Y J, Wu X	2015[44]
Trends in the application of chemometrics to foodmics studies	概述了部分食品组学中常见的化学计量学方法并提供了应用实例,同时对常见食品组学分析平台的数据生成利用情况进行说明。	Khakimov B, Gürdeniz G, Engelsen S B	2015[45]
The evolution of analytical chemistry methods in foodomics	从分析化学角度综述了食品组学中涉及的物质分析方法及其在微生物检测、农药和毒素检测、过敏原检测等方面的应用,提出了充分整合组学数据以应对全球粮食安全的食品科学发展方向。	Gallo M, Ferranti P	2016[46]
Principal component analysis of molecularly based signals from infant formula contaminations using LC-MS and NMR in foodomics	基于食品组学方法采用 LC-TOF-MS 和 ^{1}H-NMR 技术对婴儿配方奶粉中的污染物分子进行测定,结果数据经主成分分析后可区别污染物成分。	Inoue K, Tanada C, Hosoya T 等	2016[47]
Foodomics as a promising tool to investigate the mycobolome	比较了 Orbitrap™、TOF 和 FT-ICR-MS 技术在霉菌毒素研究中的应用,并且强调了高分辨率质谱在数据处理中的优势。	Rychlik M, Kanawati B, Schmitt-Kopplin P	2017[48]
Green foodomics. Towards a cleaner scientific discipline	基于绿色化学理念倡导绿色食品组学技术,提出了功能性食品配料生产新趋势以及采用绿色工艺的代谢组学、蛋白质组学和计量化学研究方法。	Gilbert-López B, Mendiola J A, Ibáñez E	2017[49]
Mass spectrometry based proteomics as foodomics tool in research and assurance of food quality and safety	介绍了基于质谱技术的蛋白质组学分析能力、样品制备方法和定量策略以及最新进展,为食品中的蛋白质分析提供参考。	Andjelkovic U, Josic D	2018[50]
The role of foodomics to understand the digestion / bioactivity relationship of food	综述了全球采用食品组学技术研究消化过程及其与产物生物活性相关性的进展,强调了不同组学整合的重要性。	Pimentel G, Burton K J, Vergères G 等	2018[51]
High-throughput foodomics strategy for screening flavor components in dairy products using multiple mass spectrometry	基于高通量的 GC-MS 和 LC-MS 分析,建立了快速判定牛奶、乳制品中是否含有香精成分的 Fisher 模型。	Jia W, Wang H, Shi L 等	2019[52]
Monitoring molecular composition and digestibility of ripened bresaola through a combined foodomics approach	联合蛋白质组学、多肽组学等多种食品组学方法,分析了成熟意大利牛肉干在体外模拟消化的分子变化及其生物利用率,为肉类消化研究提供了新方法。	Picone G, De Noni I, Ferranti P 等	2019[53]

别是人工智能的迅猛发展,大数据处理时间明显缩短,为食品组学的发展提供有力保障。食品组学研究将推动从精准食品成分分析到系统分子作用网络研究,从人群膳食建议到个性化食品营养定制的转变。另一方面,食品组学实现了非靶向筛查、多元危害物快速识别与检测、智能化监管、实时追溯,将形成高标准食品安全监测体系,保障食品安全。

1.2 食品组学与食品营养

食品组学为食品营养研究提供了大量的新技术、新思路和新方法。通过对食品营养成分进入机体后变化情况进行系统研究，分析海量组学数据，构建分子网络，研究食品营养成分的分子作用通路，推动了食品营养研究的深入发展。借助基因组学技术，科研人员对营养成分与个体基因组在细胞、组织和器官等不同层次的相互作用展开研究，探明饮食与宿主肠道菌群之间的关系。Marques 等[2]和 Lu 等[3]通过 16S rRNA 基因测序技术分别检测了共轭亚油酸和短链脂肪酸摄入对小鼠肠道菌群的影响，阐明了这些营养成分对小鼠脂质代谢的调节作用。转录组学在 RNA 水平上分析营养成分与宿主基因的相互作用，对生物遗传物质做出全局分析，直观展现营养成分对基因表达的影响。Navarro-González 等[4]采用人类基因表达阵列(Affymetrix PN/901837)对肥胖患者摄入番茄汁后的肝细胞进行转录组分析，发现在肝细胞凋亡相关通路中有 116 个基因表达差异明显，尤其是番茄汁中的番茄红素可激活肿瘤抑制基因，导致细胞周期阻滞或凋亡，证明了番茄制品具有良好的肝脏保健功能。蛋白质组学研究能够对食品中的蛋白质组成及其消化吸收过程进行分析，表征和量化其中的活性多肽或生物标记物，探究食品来源蛋白质在维持人体生理健康中的作用机制。Smolenski 等[5]采用 MudPIT 和 2-DE-MS 技术对牛奶中的蛋白质组成进行表征，分析得到 2 000 多种蛋白质和多肽，鉴定出 15 种蛋白质与机体的免疫系统相关。代谢组学分析不同饮食情况或膳食干预条件下人体内小分子代谢产物的变化，有助于了解各种营养成分在人体内的代谢调控机制，明确相关生物标记物并阐明营养代谢与生理、病理变化间的关系，为制定精准营养而提供依据。Wu 等[6]对纯素食组和杂食组志愿者的粪便、尿液以及空腹血液样本进行了代谢组学分析，表明纯素食者血浆代谢物中细菌代谢产物较多，而脂质和氨基酸代谢产物较少，说明食品作为影响细菌代谢的底物作用比作为调节肠道菌群因素的作用更加明显。

1.3 食品组学与食品安全

食品组学带来的精准、快速、灵敏的分析检测方法，有效保障了食品从农田到餐桌的安全性，同时通过对食品样品的 DNA、蛋白质、代谢产物等进行大数据统计分析和生物信息学研究，甄别食品相关特性，还能为食品溯源提供充足信息。因此，食品组学在食品安全检测与质量控制中发挥了越来越重要的作用。以食品中有害成分检测为例，Pérez-Ortega 等[7]利用代谢组学的方法在番茄、橙子和婴儿食品中同时检测出 600 多种农、兽药，霉菌毒素和全氟烷基污染物。Gu 等[8]利用蛋白质组学的方法对巧克力中的过敏原进行研究，筛选鉴定出了敏感性极强的多肽标记物。食品组学研究建立的一系列食源性致病菌的基因图谱、代谢图谱，极大缩短相关致病菌的检测时间，提升了样品检测量和准确度。Kupradit 等[9]以线粒体 16S rRNA 和物种特异性基因 *fimY*、*ipaH*、*prfA* 以及 *uspA* 构建基因芯片，再经目的菌增殖、DNA 提取、PCR 扩增和基因芯片杂交等步骤，大大提高了新鲜鸡肉中的沙门氏菌、志贺氏菌、单增李斯特菌和大肠杆菌的检测效率。Xu 等[10]通过对沙门氏菌感染猪肉的挥发性成分和可溶性代谢小分子进行检测并基于主成分分析（MB-PLA)和最小二乘法分析(MB-PLS)的数据处理，建立了猪肉沙门氏菌的检测方法，提供了肉类腐败过程的信息。

2 食品感知学

食品风味是指由甜、酸、苦、辣、咸、涩、鲜味混合，以及许多赋予食品芳香的化合物构成。食物风味刺激感官(视觉、声音、嗅觉、味觉、三叉神经/触觉)形成特殊的食品感知。食品感知科学是一门基于对食品复杂的物理化学特性以及生理心理特征展开研究的交叉学科，主要研究内容包括食物感官刺激的物质基础、感觉形成的生理途径以及客观刺激感受与消费者情感反馈的关系。

2.1 食品感知学的发展

早期由于仪器检测水平的限制、鉴定手段的不全面，食品感知科学面临巨大的挑战。随着食品科技的快速发展，食品感知科学也得到了蓬勃发展。通过食品感知科学的研究，食品风味由原先的“混沌理论”变成一种清晰的可定性定量的科学理论，从分子层面解释、预测食品的感官现象。2019 年《细胞》杂志报道了酸味受体的鉴定结果，同时确定了酸、甜、苦、咸、鲜 5 种味道的神经元结构。研究表明，酸味使用舌头专用的味觉受体细胞(TRC)，以精细调节大脑中的味觉神经元以触发厌恶行为[11]。因

此,食品感知科学可以为食品感官评定、理化性质测定、工艺形成、消费嗜好等食品科学和消费科学的基本问题提供数据基础。

2.2 食品感知学与食品制造

在全球化发展背景下,消费者对美味和个性化食品的需求,对食品认知的驱动,导致世界范围美味概念的不断演变。未来食品在满足人们基本营养需求基础上,仍然需要回归到食品的感官品质,满足消费者个性化、美味和健康食品的需求。人类的肠道和大脑是相互沟通的,它们通过各种途径互相传递信息,而肠道的健康状况会影响大脑的反馈,而大脑反馈支配了各种分泌过程,最终影响人的全身健康,这就是我们所说的脑肠轴协调。未来食品质构研究就是基于脑肠轴概念的质构、消化特性,对食物质构、消化特性进行量化调节,实现未来食品的健康、美味设计。

未来食品设计过程中,食品感知学将与未来食品制造的各环节加速融合,利用食品宏观或微观结构设计实现食品风味与质构创新,打破美味与营养、健康的传统对立,满足消费者感官需求和健康需求,实现食品感官品质与健康属性的完美统一。

2.3 食品感知学与人工智能嗅觉设计

人类大脑大概有 1 000 亿个神经元,1 000 万亿个突触,能够处理复杂的视觉、听觉、嗅觉、味觉,具有强大的语言能力、理解能力、认知能力、情感控制、人体复杂机构控制、复杂心理和生理控制能力[12]。由于嗅觉数据量比较小、标注不容易标准化等因素,传统人工智能主要集中在视觉(机器视觉)和听觉(语音识别)上,人工智能嗅觉研究较少。随着食品感觉科学和类脑计算技术的发展,新的人工智能技术被引入到嗅觉研究,形成人工智能嗅觉新体系。用人工智能来模拟人类的嗅觉,首先把化学传感器对各种气味的反应转变成电信号,然后被传送给人工智能芯片,之后再由人工智能芯片的电路对人类嗅觉背后的大脑电路进行模拟。与传统的人工嗅觉、嗅觉仿生产品不同,人工智能嗅觉真正尝试去模仿人类嗅觉系统对气味的感知,并诱导大脑产生出相应的学习和识别机制,是一项全新的嗅觉识别体系。2020 年 3 月,《自然智能医学》发表文章,英特尔公司和康奈尔大学基于人工智能芯片和传感器,开发出了具有类似人类嗅觉能力的新方案,能够准确分析几十种有毒的化学气味[13]。

3 食品合成生物学

食品合成生物学是在传统食品制造技术基础上,采用合成生物学技术,特别是食品微生物基因组设计与组装、食品组分合成途径设计与构建等。创建具有食品工业应用价值的人工细胞,将可再生原料转化为重要食品组分、功能性食品添加剂和营养化学品,解决食品原料和生产过程中存在的不可持续的问题,实现更安全、更营养、更健康和可持续的食品获取方式。随着生命科学与技术的快速进步与发展,食品合成生物学已经催生了以细胞工厂、微生物工厂为代表的一系统新业态。

3.1 食品合成生物学的发展

如图 1 所示,合成生物学的发展经历了探索时期(1961—1999 年),创建时期(2000—2003 年),扩张和发展时期(2004—2007 年),快速创新和应用转化期(2008—2013 年)以及合成生物学新阶段(2014—至今)。

随着人们对食品安全、营养和风味愈加重视,食品合成生物学技术在食品质量安全以及食品废物处理等方面得到了大量的应用,推动未来食品科技持续创新。例如,利用合成生物学方法实现肠道微生物功能的靶向调控,降低低热量甜味剂-稀有糖的生产成本,生产高附加值产品等,为设计新的或改进现有食品及其制造工艺提供了新的机遇[14]。此外,利用合成生物技术开发高灵敏度、快速检测、操作简便和可以连续动态监测的新生物传感器,可以实现在生产源头和生产过程中食品质量的快速检测[15]。另一方面,合成生物学在处理食品生产废弃物方面还具有许多潜在价值,如可以利用生物系统来处理环境中的食品污染物包括重金属、抗生素和杀虫剂等难降解的环境污染物。利用合成生物学技术也可以生产具有良好的生物可降解性和生物相容性的生物材料用于食品包装,在一定程度可以解决食物包装材料造成的环境问题[16]。

3.2 细胞工厂

细胞工厂就是利用合成生物学和系统生物学等手段,构建具有特定合成能力的细胞种子,生产肉类、牛奶、鸡蛋、糖、油脂等人造食物。在天然产物方面,生产白藜芦醇、莽草酸、番茄红素、虾青素等产物及其关键前体化合物的细胞工厂也被成功开发[17-19]。细胞工厂是颠覆传统的食品加工方式,形成

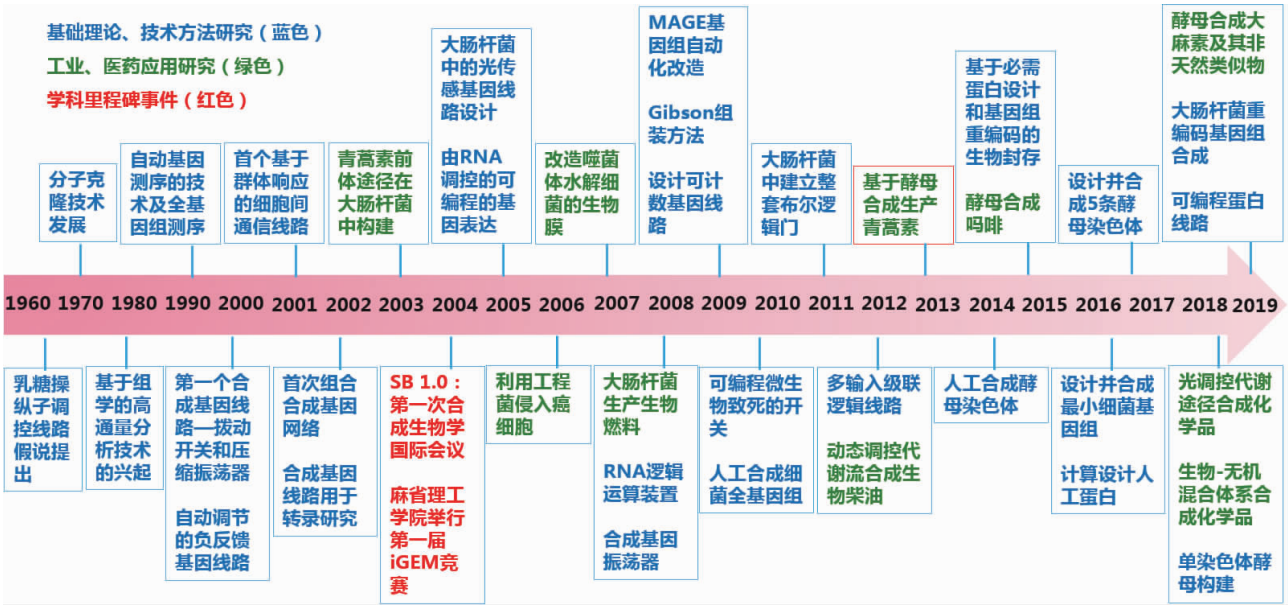


图 1　合成生物学的发展史

Fig. 1　History of synthetic biology

一种更加安全、更加营养、更加健康和可持续的新型食品生产模式，是未来食品工业发展的趋势之一[20]。

3.3　微生物工厂

自然微生物中可以生产的食品组分较少，不能满足未来食品对于营养成分的需求，即使一些微生物可以生产这些成分，但其产量往往也较低，不具备经济可行性。随着食品合成生物学的不断发展，微生物工厂的构建技术可以有效解决微生物生产品种类较少和产量较低的问题，为人类社会的可持续发展作出巨大的贡献。例如，利用合成生物学手段，将光合微生物直接用于转化太阳能和 CO_2 生产一系列天然产物，包括香兰素、姜黄素和白藜芦醇等具有较高市场价值的产物[21-22]。

4　食品纳米科学

食品纳米技术是指在食品生产、加工或包装过程中采取纳米技术手段的一种食品科学技术，主要包括纳米食品加工、纳米包装材料和纳米检测技术[23]。纳米食品是“通过对以人类可食用的天然物、合成物、生物生成物等原料采用工程技术加工制成的可用分子式表示的分子级物质，并根据人体寿命与健康进行不同配制的食品”[24]。采用纳米技术重新编程食品的原子、分子，使某些内部结构发生改变，可以提高某些营养成分的生物利用率，改善食品的品质，延长食品的保质期。

4.1　食品纳米表征

表征与测试技术是科学鉴别纳米材料、认识其多样化结构、评价其特殊性能的根本途径。食品纳米表征主要包括颗粒尺寸与分布、聚集状态以及化学组成等。目前，分析食品中纳米颗粒粒度的方法有激光散射法、色谱法、场流分级法、毛细管电泳法以及显微镜法等。不同检测方法具有不同的原理和特性，因此测得的粒径仅具有等效意义，与实际粒径和分布存在一定差异[25]。成像分析是纳米食品表征中的重要组成部分，包括几何形态、粒度及分布、微区组成以及物象结构等全方位分析。目前常用的分析方法包括扫描电镜、透射电镜和原子力显微镜，其中扫描电镜的应用最为广泛[26]。

食品化学成分的不同决定了其作用和效果的不同，化学成分分析对于纳米食品的理化特性、功能性以及安全性评价具有重要意义。但是，现阶段对于纳米食品中复杂组分的化学成分分析研究有限，最常用的方法为串联质谱法[27]。研究表明，纳米食品的稳定性和安全性评价与其纳米颗粒的聚结状态和相互作用紧密相关。具体的分析方法包括电镜、纳米颗粒追踪分析以及扫描电迁移率颗粒物粒径谱仪等。除此之外，食品纳米表征还包括纳米颗粒的结构、形状以及界面作用等常用检测内容[28-29]。

4.2　食品纳米加工

目前食品纳米加工主要包括食品纳米颗粒制

备技术、纳米包封技术以及纳滤膜分离等技术。由于食品的特殊性,应用在食品纳米颗粒制备上的方法非常有限,最常用的技术主要包括机械破碎、高压均质和超声技术等物理加工方法[30]。纳米包封的主要目的是将一些生物活性物质截留在结构化的纳米系统中,使其免受外界环境的影响,增加生物利用度。常见纳米包封体系包括纳米乳液、纳米凝胶、纳米脂质体、纳米微胶囊以及纳米纤维等[31]。纳滤膜分离技术具有不使用化学试剂、不发生相变化以及营养成分和风味物质损失少等特点,在食品生产加工过程中得到广泛的应用[32]。

食品纳米加工还包括开发纳米结构的食品、纳米尺寸或纳米包封的添加剂以及开发营养食品。纳米结构的食品可以改善口感、风味和质地,延长食品保质期。纳米包封可改善添加剂在食品基质中的分散性,控制两者间相互作用,改善食品品质。纳米营养食品可以增加活性物质的生物利用度,提高其在胃肠道中的稳定性[33]。

4.3 食品纳米包装

食品包装的主要作用是隔离外界物质,防止食品变质,保障食品在运输和保存过程中不受外力的挤压、振动和变形。目前,食品包装材料使用最多的是天然可再生材料如多糖类、脂类等,以上材料存在承重能力差、阻水性能差,极易发生破损等缺陷。而纳米材料具有良好的稳定性、抗菌性、可塑性等,更有助于保证食品安全。目前纳米材料主要包括抗菌性纳米包装材料、保鲜性纳米包装材料、高阻隔性纳米包装材料,并广泛应用在饮料、奶制品、蔬菜水果等产品的包装上[34]。

5 展 望

多学科交叉融合创新是未来食品科技的核心竞争,全球食品科技创新已从单一环节的创新转变为全产业链的链条式交叉融合创新。大数据、云计算、物联网、人工智能、区块链、基因编辑等多学科深度交叉融合,推动了未来食品科技形成以食品组学、食品感知学、食品合成生物学和食品纳米科学为代表的基础科学,产生细胞工厂、智慧厨房、智能制造和精准营养四大新兴业态。

参考文献:

[1] Department of Economic and Social Affairs UN,World Population Prospects 2019 [EB/OL].(2019). https://population.un.org/wpp/.

[2] MARQUES T M,WALL R,O'SULLIVAN O,et al. Dietary trans-10,cis-12-conjugated linoleic acid alters fatty acid metabolism and microbiota composition in mice[J]. **British Journal of Nutrition**,2015,113(5):728-738.

[3] LU Y,FAN C,LI P,et al. Short chain fatty acids prevent high-fat-diet-induced obesity in mice by regulating G protein-coupled receptors and gut microbiota[J]. **Scientific Reports**,2016,6(1):37589.

[4] NAVARRO-GONZALEZ I,GARCIA-ALONSO J,PERIAGO M J. Bioactive compounds of tomato:cancer chemopreventive effects and influence on the transcriptome in hepatocytes[J]. **Journal of Functional Foods**,2018,42:271-280.

[5] SMOLENSKI G,HAINES S,KWAN F Y S,et al. Characterisation of host defence proteins in milk using a proteomic approach [J]. **Journal of Proteome Research**,2007,6(1):207-215.

[6] WU G D,COMPHER C,CHEN E Z,et al. Comparative metabolomics in vegans and omnivores reveal constraints on diet-dependent gut microbiota metabolite production[J]. **Gut**,2016,65(1):63-72.

[7] PEREZ-ORTEGA P,LARA-ORTEGA F J,GARCIA-REYES J F,et al. A feasibility study of UHPLC-HRMS accurate-mass screening methods for multiclass testing of organic contaminants in food[J]. **Talanta**,2016,160:704-712.

[8] GU S,CHEN N,ZHOU Y,et al. A rapid solid-phase extraction combined with liquid chromatography-tandem mass spectrometry for simultaneous screening of multiple allergens in chocolates[J]. **Food Control**,2018,84:89-96.

[9] KUPRADIT C,RODTONG S,KETUDAT-CAIRNS M. Development of a DNA macroarray for simultaneous detection of multiple foodborne pathogenic bacteria in fresh chicken meat[J]. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**,2013,29(12):2281-2291.

[10] XU Y,CORREA E,GOODACRE R. Integrating multiple analytical platforms and chemometrics for comprehensive metabolic profiling:application to meat spoilage detection[J]. **Analytical and Bioanalytical Chemistry**,2013,405(15):5063-5074.

[11] ZHANG J, JIN H, ZHANG W Y, et al. Sour Sensing from the Tongue to the Brain[J]. **Cell**, 2019, 179(2): 39-402.
[12] 王云. 脑科学成大国"必争之地"[J]. 中国经济报告, 2016(6): 111-113.
[13] IMAM N, CLELAND T A. Rapid online learning and robust recall in a neuromorphic olfactory circuit [J]. **Nature Machine Intelligence**, 2020, 2(3): 181-191.
[14] TANG W L, ZHAO H. Industrial biotechnology: tools and applications[J]. **Biotechnology Journal**, 2009, 4(12): 1725-1739.
[15] HORNER S R, MACE C R, ROTHBERG L J, et al. A proteomic biosensor for enteropathogenic *E. coli* [J]. **Biosensors and Bioelectronics**, 2006, 21(8): 1659-1663.
[16] 李宏彪, 张国强, 周景文. 合成生物学在食品领域的应用[J]. 生物产业技术, 2019(4): 5-10.
[17] 王冬, 戴住波, 张学礼. 酵母人工合成细胞生产植物源天然产物[J]. 微生物学报, 2016, 56(3): 195-208.
[18] BAI Y, YIN H, BI H, et al. De novo biosynthesis of gastrodin in *Escherichia coli*[J]. **Metabolic Engineering**, 2016, 35: 138-147.
[19] ITKIN M, DAVIDOVICH-RIKANATI R, COHEN S, et al. The biosynthetic pathway of the nonsugar, high-intensity sweetener mogroside V from Siraitia grosvenorii [J]. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, 2016, 113(47): 7619-7628.
[20] 陈坚. 中国食品科技: 从 2020 到 2035[J]. 中国食品学报, 2019, 19(12): 1-5.
[21] NI J, LIU H Y, TAO F, et al. Remodeling of the photosynthetic chain promotes direct CO_2 conversion into valuable aromatic compounds[J]. **Angewandte Chemie International Edition**, 2018, 57(49): 15990-15994.
[22] NI J, WU Y T, TAO F, et al. A coenzyme-free biocatalyst for the value-added utilization of lignin-derived aromatics [J]. **Journal of the American Chemical Society**, 2018, 140(47): 16001-16005.
[23] CHEN J, YUQING M, NONGYUE H, et al. Nanotechnology and biosensors [J]. **Biotechnology Advances**, 2004, 22 (7): 505-518.
[24] BLASCO C, PICO Y. Determining nanomaterials in food[J]. **Trac–Trends in Analytical Chemistry**, 2011, 30(1): 84-99.
[25] ZIMMERMANN M B, HILTY F M. Nanocompounds of iron and zinc: their potential in nutrition [J]. **Nanoscale**, 2011, 3(6): 2390-2398.
[26] DUDKIEWICZ A, TIEDE K, LOESCHNER K, et al. Characterization of nanomaterials in food by electron microscopy[J]. **Trac–Trends in Analytical Chemistry**, 2011, 30(1): 28-43.
[27] CALLE I, MENTA M, KLEIN M, et al. Study of the presence of micro- and nanoparticles in drinks and foods by multiple analytical techniques[J]. **Food Chemistry**, 2018, 266: 133-145.
[28] WEI Y, ZHANG L, YU Z, et al. Enhanced stability, structural characterization and simulated gastrointestinal digestion of coenzyme Q10 loaded ternary nanoparticles[J]. **Food Hydrocolloids**, 2019, 94: 333-344.
[29] SOLEIMANIFAR M, JAFARI S M, ASSADPOUR E. Encapsulation of olive leaf phenolics within electrosprayed whey protein nanoparticles: production and characterization[J]. **Food Hydrocolloids**, 2020, 101, 105572.
[30] 钱雪丽, 陶宁萍, 王锡昌. 食品中纳米颗粒的制备、表征及其应用的研究进展[J]. 食品工业科技, 2018, 39(16): 319-323+330.
[31] SAIFULLAH M, SHISHIR M R I, FERDOWSI R, et al. Micro and nano encapsulation, retention and controlled release of flavor and aroma compounds: A critical review[J]. **Trends in Food Science and Technology**, 2019, 86: 230-251.
[32] 王艳领, 田春美. 纳滤膜分离技术在食品中的应用[J]. 农产品加工, 2011(12): 63-64+67.
[33] 吕东, 周小虎. 纳米技术在食品科学工程中的应用[J]. 食品安全导刊, 2016(12): 131.
[34] 王雅立, 孙中琦, 庞杰. 纳米技术在食品科学中的应用研究[J]. 安徽农学通报, 2014, 20(10): 20-22.
[35] CIFUENTES A. Food analysis and foodomics[J]. **Journal of Chromatography A**, 2009, 1216(43): 7109-7100.
[36] CASTRO-PUYANA M, GARCÍA-CAÑAS V, SIMÓ C, et al. Recent advances in the application of capillary electromigration methods for food analysis and Foodomics[J]. **Electrophoresis**, 2010, 33(1): 147-167.
[37] SIMÓ C, DOMÍNGUEZ-VEGA E, MARINA M L, et al. CE-TOF MS analysis of complex protein hydrolyzates from genetically modified soybeans-A tool for foodomics[J]. 2010, 31(7): 1175-1183.
[38] HERRERO M, SIMÓ C, GARCÍA-CAÑAS V, et al. Foodomics: MS-based strategies in modern food science and nutrition[J]. **Mass Spectrometry Reviews**, 2012, 31(1): 49-69.
[39] GARCÍA-CAÑAS V, SIMÓ C, HERRERO M, et al. Present and future challenges in food analysis: foodomics [J]. **Analytical Chemistry**, 2012, 84(23): 10150-10159.

[40] KARPAS Z. Applications of ion mobility spectrometry （IMS）in the field of foodomics [J]. **Food Research International**, 2013, 54(1): 1146-1151.
[41] INOUE K, NISHIMURA M, TSUTSUI H, et al. Foodomics platform for the assay of thiols in wines with fluorescence derivatization and ultra performance liquid chromatography mass spectrometry using multivariate statistical analysis [J]. **Journal of Agricultural & Food Chemistry**, 2013, 61(6): 1228-1234.
[42] LAGHI L, PICONE G, CAPOZZI F. Nuclear magnetic resonance for foodomics beyond food analysis [J]. **Trac Trends in Analytical Chemistry**, 2014, 59: 93-102.
[43] VALDÉS A, GARCÍA-CAÑAS V, SIMÓ C, et al. Comprehensive foodomics study on the mechanisms operating at various molecular levels in cancer cells in response to individual rosemary polyphenols [J]. **Analytical Chemistry**, 2014, 86(19): 9807-9815.
[44] XU Y J, WU X. Foodomics in microbiological investigations[J]. **Current Opinion in Food Science**, 2015, 4: 51-55.
[45] KHAKIMOV B, GURDENIZ G, ENGELSEN S B. Trends in the application of chemometrics to foodomics studies [J]. **Acta Alimentaria**, 2015, 44(1): 4-31.
[46] GALLO M, FERRANTI P. The evolution of analytical chemistry methods in foodomics [J]. **Journal of Chromatography A**, 2016, 1428: 3-15.
[47] INOUE K, TANADA C, HOSOYA T, et al. Principal component analysis of molecularly based signals from infant formula contaminations using LC-MS and NMR in foodomics [J]. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 2016, 96(11): 3876-3881.
[48] RYCHLIK M, KANAWATI B, SCHMITT-KOPPLIN P. Foodomics as a promising tool to investigate the mycobolome[J]. **Trac–Trends in Analytical Chemistry**, 2017, 96: 22-30.
[49] GILBERT-LOPEZ B, MENDIOLA J A, IBANEZ E. Green foodomics. Towards a cleaner scientific discipline [J]. **Trac–Trends in Analytical Chemistry**, 2017, 96: 31-41.
[50] ANDJELKOVIC U, JOSIC D. Mass spectrometry based proteomics as foodomics tool in research and assurance of food quality and safety[J]. **Trends in Food Science and Technology**, 2018, 77: 100-119.
[51] PIMENTEL G, BURTON K J, VERGERES G, et al. The role of foodomics to understand the digestion/bioactivity relationship of food[J]. **Current Opinion in Food Science**, 2018, 22: 67-73.
[52] JIA W, WANG H, SHI L, et al. High-throughput foodomics strategy for screening flavor components in dairy products using multiple mass spectrometry[J]. **Food Chemistry**, 2019, 279: 1-11.
[53] PICONE G, DE NONI I, FERRANTI P, et al. Monitoring molecular composition and digestibility of ripened bresaola through a combined foodomics approach[J]. **Food Research International**, 2019, 115: 360-368.

科　技　信　息

欧盟食品安全局发布饲料和食品中糖类生物碱的风险评估

2020 年 8 月 11 日，欧盟食品安全局(EFSA)发布关于饲料和食品中糖类生物碱(glycoalkaloids)的风险评估，特别是在马铃薯和马铃薯衍生产品中。

经过评估，由于缺乏数据，无法确定番茄和茄子中糖类生物碱对人类健康的风险。对于农场动物，由于饲料中存在的糖类生物碱以及这些物种中糖类生物碱潜在不利影响的数据不足，因此无法对马铃薯中糖类生物碱进行风险表征。

［信息来源］食品伙伴网. 欧盟食品安全局发布饲料和食品中糖类生物碱的风险评估 [EB/OL]. (2020-08-12). http://news.foodmate.net/2020/08/568982.html