

在新时代，人民对于食品的需求已经从基本的“保障供给”向“营养健康”转变。食品工业与人民生活质量密切相关，是满足人民日益增长的美好生活需要的民生基石。据世界卫生组织报告和《柳叶刀》研究，膳食是仅次于遗传而影响人类健康的第二大因素，约 16.2% 的疾病负担归因于膳食。

我国食品产业位居全球第一，是国民经济的支柱产业，2017 年产值 11.4 万亿，占全国 GDP 的 9%，对全国工业增长贡献率达 12%，拉动全国工业增长 0.8 个百分点。预计未来十年，中国的食品消费将增长 50%，价值超过 7 万亿元。

## 1 中国食品科技：现状、问题、趋向

我国食品领域发展迅速，但依然面临以下六个方面的问题：

### 一、引领性基础研究少

2008 年至 2018 年间，自然科学三大顶级期刊《Cell》、《Nature》和《Science》上发表食品相关论文分别为 48，62 和 42 篇，其中我国作为主要完成单位的论文仅分别为 1，5 篇和 3 篇。

### 二、领跑技术比例小

美国、日本和德国在食品领域领跑技术比例分别占 48%，29% 和 13%，而我国在食品领域领跑技术比例仅占 5%，与主要发达国家差距明显。发达国家主要以企业研发为主，产业化阶段技术比例在 80% 以上，而我国食品技术产业化比例低。

### 三、装备自主创新能力低

美国、日本和欧盟等食品智能装备专利占全球 80% 以上，而我国食品装备年进口额近 300 亿元，大型食品企业 80% 的关键高端装备依赖进口。

### 四、加工增值和资源利用不足

美国和日本食品工业产值与农业总产值之比分别为 3.7 : 1 和 11.7 : 1，而我国食品工业产值与农业总产值之比小于 2 : 1。我国食品工业消耗巨大资源和能源，包括年用水约 100 亿 t、耗电 2500 亿 kW·h、耗煤 2.8 亿 t、废水 50 亿 m<sup>3</sup>、废物 4 亿 t。

### 五、食品毒害物侦测国外依赖度高

我国快速检测产品集中以农兽药残留为主（占比 80%），受国际认可不足 10%。食源性致病菌等核心检测试剂和毒素标准物质高度依赖进口。复杂基质分离材料国产产品占比不足 15%，用于 8 种微生物快速检测的 84 个检测产品几乎没有国产产品。

### 六、生鲜食品储运损耗大

美国蔬菜加工运输损耗率 1% 至 2%，荷兰向世界配送果蔬损耗率 5%，日本生鲜农产品产后商品化 100%。而我国生鲜农产品物流损耗率较大，分别为：果蔬 20%、肉类 8%、水产品 11%、粮食 8%，生鲜食品冷链流通率仅 8%，储运损耗方面损失高达千亿元。

随着生物技术、人工智能、大数据技术和先进制造等技术领域的快速兴起和蓬勃发展，我国食品科技发展战略趋向表现在以下 6 个方面：

一、食品合成生物学	构建食品细胞工厂，以可再生物质为原料，利用细胞工厂生产肉类、牛奶、鸡蛋、油脂、糖等，颠覆传统的食品加工方式，形成新型生产模式。
二、食品精准营养与个性化制造	基于食物营养、人体健康、食品制造大数据，靶向生产精准营养与个性化食品。
三、食品装备智能制造	利用数字化设计和制造技术，结合感知物联和智能控制技术，开发食品工业机器人、食品智能制造生产线和智慧厨房及供应链系统。
四、增材制造（3D 打印）	基于快速自动成形增材制造、图像图形处理、数字化控制、机电和材料等工业化数字化技术，生产传统食品和新型食品。
五、全程质量安全主动防控	基于非靶向筛查、多元危害物快速识别与检测、智能化监管、实时追溯等技术的不断革新，食品安全监管向智能化、检测溯源向组学化、产品质量向国际化方向发展。通过提升过程控制和检测溯源，构建新食品安全的智能监管。
六、多学科交叉融合创新产业链	大数据、云计算、物联网、基因编辑等信息、工程、人工智能、生物技术等深度交叉融合正在颠覆食品传统生产方式，催生一批新产业、新模式、新业态。

## 2 未来食品面临的挑战和需要具备的特点

随着环境污染、气候变化和人口增长，安全、营养和可持续的食品供给面临巨大挑战，主要表现在以下 4 个方面：

**第一**，生态效应方面，食品生产产生 25% 温室气体并需要 40% 耕地，对生态造成巨大压力。

**第二**，人口方面，随着全球人口的增长和生活水平提升的需求，预计到 2050 年全球需要蛋白增量将达到 30% 至 50%。

**第三**，气候变化方面，世界上 70% 的饥饿人口生活在气候变化最为严重的地区，对食品的供给造成严峻挑战。

**第四**，公共健康方面，因现代饮食方式产生的慢性疾病而造成年死亡人数增加 500 万。

未来面临的挑战对未来食品供给和功能提出了新的要求：

- 食品需要成为人类未来生产方式和生活方式改变的代表性物质；
- 食品科技发展应该成为系统生物学、合成生物学、物联网、人工智能、增材制造、医疗健康、感知科学等技术的集成研究；
- 未来食品在解决全球食物供给和质量、食品安全和营养等问题基础上，满足人民对美好生活的更高需要；
- 未来食品的标签是“更安全、更营养、更方便、更美味、更持续”。

植物基食物发展是未来食品技术发展的重要方向。2013—2017 年全球植物蛋白、活性物质、甜味剂、药物和调料、色素的复合年增长率高达 62%，未来仍将呈高速增长趋势。

未来食品技术组成将更加完备，将从食品加工领域扩展到营养健康、食品生物工程、智能制造等相关领域，构成多技术体系协同推进未来食品发展，构成未来食品技术结构树，支撑未来食品领域的健康和有序发展。

### 3.1 食品合成生物学

合成生物学是新的生命科学前沿，以工程化设计理念对生物体进行有目标的设计、改造乃至重新合成，是从理解生命规律到设计生命体系的关键技术。

合成生物学成功的产业化案例是 2013 年美国 Amyris 和法国 Sanofi 利用合成生物学技术联合开发出能高效合成青蒿酸的酿酒酵母细胞工厂，并在此基础上通过化学合成的方法将青蒿酸转化为青蒿素，实现商业化生产。100m<sup>2</sup> 车间相当于近 5 万亩（3333.3 公顷）种植产量，从而建立了青蒿素从植物提取到生物合成的颠覆性生产性路线。合成生物学技术在生物医药领域的成功应用促使全球合成生物学研究蓬勃兴起，世界各国迅速推进该领域发展。合成生物技术的研究和产业化应用正在重塑世界。

然而，目前合成生物学研究主要集中在医药和化学品生产领域，食品领域合成生物学的基础和应用研究起步相对较晚，发展相对薄弱。率先推进食品合成生物学的技术研究并且实现食品合成生物学技术的产业化，将抢占世界的科技前沿和产业高地。

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能力的人工细胞，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，来解决食品原料和生产方式过程中存在的不可持续的问题，实现更安全、更营养、更健康 and 可持续的食品获取方式。

**食品合成生物学** 既是解决现有食品安全与营养问题的重要技术，也是面对未来食品可持续供给挑战的主要方法，能够解决传统食品技术难以解决的问题，主要包括以下 4 个方面：

- 变革食品生产方式；
- 开发更多新的食品资源；
- 提高食品的营养并增加新的功能；
- 重构、人工组装与调控食品微生物群落。

食品合成生物技术主要研究领域包括食品细胞工厂设计与构建、食品生物合成优化与控制 and 重组食品制造与评价。

#### **食品合成生物学发展需要经历以下 3 个阶段：**

**第 1 阶段** 通过最优合成途径及食品分子修饰，实现重要食品功能组分的有效、定向合成和修饰，为“人造功能产品”细胞的合成做准备。

**第 2 阶段** 建立高通量高灵敏筛选方法，筛选高效的底盘细胞工厂，实现重要食品功能组分的高效生物制造；初步合成具有特殊功能的“人造功能产品”细胞。

**第 3 阶段** 实现 AI 辅助的全自动生物合成的设计及实施；通过精确靶向调控，大幅度提高重要食品功能产品在异源底盘和原底盘细胞中的合成效率，最终实现全细胞利用。

人造食品的总体技术路线是构建细胞工厂种子，以车间生产方式合成奶、肉、糖、油、蛋等，具有营养与经济竞争力，实施颠覆性技术路线，缓解农业压力，满足日益增长的需求。相比于传统食品制造，基于细胞工厂种子的人造食品制造能够将土地使用效率提高 1 000 倍，每吨粮食可节约用水 90% 以上，并且生产过程不需使用农药化肥。主

要人造食品包括“人造蛋”、“人造肉”和“人造奶”。目前，美国 Hampton Creek 公司将豌豆和多种豆类植物混合，研发“人造蛋”，产品营养价值和味道与真蛋相似。此类“植物蛋黄酱”已经在香港等地的超市销售。美国 Clara Foods 科技公司通过酵母细胞工厂构建、发酵合成卵清蛋白，是利用生物合成技术创制动物蛋白的范例。

“人造肉”技术被《麻省理工学院技术评论》评为 2018 年全球十大突破技术之一，利用“人造肉”替代传统畜牧业具有重大的生态意义，是全球人造食品研究的热点。

传统养殖业排放的温室气体占到全球温室气体排放量的 14.5%，是所有交通工具燃油排放的总和。利用“人造肉”替代或部分替代传统畜牧业，能够显著降低全球温室气体排放。同时区别于传统素肉，“人造肉”与肉类具有更高的相似度，因而也具有更高的商业潜力。

**“人造肉”** 主要包括 **“植物蛋白肉”** 和 **“细胞培养肉”** 两大类。

实现人造肉产业化生产急需攻克的关键技术环节包括：

- 如何通过植物蛋白提取纯化和全能干细胞分化控制实现植物蛋白、成肌干细胞的高效获取？
- 如何通过大型生物反应器设计和细胞培养人工智能控制获得规模化生物反应器用于人造肉制备？
- 如何实现血红素等风味物质高效制备和维生素等营养物质的高效合成，实现人造肉制品食品化？
- 如何利用植物蛋白纹理结构重组和食品 3D 打印技术实现人造肉制品结构重塑？

关于“人造奶”的开发和应用，美国 Perfect Day 公司分析牛奶中 20 种对人体有益及重要的原料，以合成生物技术组装酵母细胞，实现发酵合成 6 种蛋白与 8 种脂肪酸。在分离纯化后再加入钙、钾等矿物质及乳化剂完成最后加工，口味和营养可与天然牛奶相同，并且不含胆固醇和乳糖。最近与美国食品业巨头 ADM 公司签署联合开发协议，计划 2019 年向食品工业供应人工牛奶。据测算，相比于传统牛奶生产方式，“人造奶”生产将减少 98% 的用水量，91% 的土地需求，84% 温室气体的排放，并节约 65% 的能源。

### 3.2 食品感知科学

**食品感知** (Sensory Perception) 科学是未来食品研究的重要研究领域。食品风味的最基本组成是甜、咸、苦、酸、鲜。味觉与想象力和情感相关，味觉是特有的感官，不同于视觉、听觉和触觉等有共同性的感官。追求食物（渴望、愉悦、释放、满足）的动力对持续掌控生活与积极性更加强而有力。因此，食品感知科学与未来食品对于人们对美好生活的追求息息相关。

基于食品的感知科学研究需要重视的研究包括以下 6 个方面：

- 1 研究食品的感官特性和消费者的感觉
- 2 探究感官交互作用和味觉多元性
- 3 解析大脑处理化学和物理刺激过程，从而实现感官模拟
- 4 理解感官的个体差异
- 5 多学科交叉进行消费者行为分析
- 6 评估感官/消费者的方法学

目前，食品感知科学在基础研究领域获得了众多突破性进展。其中，2019年《Cell》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。

在应用研究领域，食品感知科学在酒产品上头和口干机理的鉴定方面得到了成功应用。该研究首先建立宿醉动物模型，确定上头和口干指标，然后，开展行为学、体外脑组织培养高通量筛选技术、生化和生理学实验，明确宿醉的标志物和引起上头、口干的机理。最后，开展转化研究及人体大脑功能性核磁共振扫描。该研究成果为找出酒产品中引起上头和口干的物质成分，了解其造成宿醉反应的机制，并找到减轻饮后上头、口干的干预措施，为提升酒产品的饮后舒适度提供了重要指导。

## 4 结论

**综上所述**，我国食品科技的发展现状取得了显著的进展。为解决我国食品领域当前存在的问题和应对未来的挑战，未来食品领域发展的趋势将主要集中在以下6各方面：

- 1) 食品营养健康的突破将成为食品发展的新引擎；
- 2) 食品物性科学的进展将成为食品制造的新源泉；
- 3) 食品危害物发现与控制的成果将成为安全主动保障的新支撑；
- 4) 绿色制造技术的突破将成为食品工业可持续发展的新驱动；
- 5) 食品加工智能化装备的革命将成为食品工业升级的新动能；
- 6) 食品全链条技术的融合将成为食品产业的新模式。

——本文转自《中国食品学报》2019年第12期