

基于3D打印与美学设计技术对未来食品设计的浅析

杨清昊¹, 张一博², 罗海波^{1*}

¹南京师范大学食品与制药工程学院, 江苏 南京

²山西大学美术学院, 山西 太原

收稿日期: 2022年8月1日; 录用日期: 2022年8月29日; 发布日期: 2022年9月5日

摘要

随着时代的快速发展, 人们对食品的要求已不仅仅局限于吃饱吃好, 科学健康饮食均衡和精神感官体验成为未来食品新趋势。食品3D打印技术作为一项新兴技术, 集成了数字化、个性化等优势与特征, 能够根据需求对成分构成进行优化, 有效供应优质食品, 满足各人群需求; 美学设计可提升食品感知性能, 使人们得到食品视觉方面的满足, 从而将良好的食品视觉性能导向科学良好的心理体验。本文简要介绍了食品设计, 重点总结了近年来国内外对食品打印技术、美学设计的研究进展, 以及3D打印技术、美学设计与食品科学的交叉融合, 并对未来食品设计提出了构想, 以为未来食品的深入研究提供参考与借鉴。

关键词

未来食品, 3D打印, 美学设计, 4D打印

Analysis of Future Food Design Based on 3D Printing and Aesthetic Design Technology

Qinghao Yang¹, Yibo Zhang², Haibo Luo^{1*}

¹School of Food Science and Pharmaceutical Engineering, Nanjing Normal University, Nanjing Jiangsu

²School of Fine Arts, Shanxi University, Taiyuan Shanxi

Received: Aug. 1st, 2022; accepted: Aug. 29th, 2022; published: Sep. 5th, 2022

Abstract

With the rapid development of the times, people's requirements for food are no longer limited to

*通讯作者。

eating well. Scientific, healthy, balanced diet and spiritual sensory experience have become the new pursuit for future foods. Food 3D printing technology, as an emerging technology, integrates advantages and characteristics of digitalization and personalization. It can optimize the composition of ingredients according to the needs, effectively supply high-quality food and meet the needs of various groups. Aesthetic design can improve food perception performance, so that people can get food visual satisfaction, so as to guide the good food visual performance to scientific and good psychological experience. This paper briefly introduces food design, focuses on summarizing the research progress of food printing technology and aesthetic design at home and abroad in recent years, as well as the intersection and integration of 3D printing technology, aesthetic and food science, and puts forward ideas for future food design, in order to provide reference for future food in-depth research.

Keywords

Future Foods, 3D Printing, Aesthetic Design, 4D Printing

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 食品与设计

食品,指各种供人食用或者饮用的成品和原料以及按照传统既是食品又是中药材的物品[1]。它不仅在日常生命活动中为人类提供足够的热量与营养,而且在日常生活中充当着必不可少的角色。食品设计自1999年荷兰设计师Marjie Vogelzang开始从事相关项目起,到现在已有20多年的发展史,这一概念的出现,将食品与设计相融合,二者相辅相成,致力于将设计融入至食品科学领域,使“吃”这件事变得更加的轻松愉悦且符合逻辑性[2]。

近几年随着我国社会生产力的不断进步与发展,消费结构不断升级,居民对美味多元、安全优质、营养健康的美好饮食需求日益增加,我国食品产业未来的任务由供给保障、食品安全保障逐步提升至食品可持续供给与营养健康保障等更高的层面,食品设计的概念逐渐被引入国内[3]。基于贫富将二者进行分类,对于贫困地区,饥饿仍然是目前面临的主要挑战,需利用科学设计消除饥饿,减少地区的相关疾病;对于富裕地区,在食品基本需求得以满足的前提下,感官和精神方面的需求被放大,精神感官体验以及科学健康饮食均衡成为其最大诉求[4]。

食品设计应以人为本,将美学设计思维融入食品科学,从而提升食物品质、改善食物生产可持续性、减少食物浪费和污染、改善人类生存与健康状况,使食品更好地服务于人类。本文也将从科学与艺术两大维度进行食品设计的浅析。

2. 食品打印技术现状

目前的食品打印技术以3D打印技术为主,3D打印技术最早出现于20世纪90年代,又称快速成型技术,也称增材制造或增量制造,是一种以数字模型文件为基础,运用粉末状金属或塑料等可粘合材料,通过逐层打印的方式来构造物体的技术。3D打印技术也被称为第三次工业革命的标志性技术之一[5][6]。该技术综合了数字建模技术、信息技术、机电控制技术、材料科学与化学等诸多方面的前沿技术知识,是一种具有很高科技含量的综合性应用技术[7][8]。2016年,科技部编制的《“十三五”食品科技创新

专项规划》中,将食品 3D 智慧制造作为一项重要研究内容,使得 3D 打印技术在食品中的应用成为了一种热潮[9] [10]。这也正说明了食品 3D 打印技术的前沿性与重要性。

食品打印技术始于 2011 年由英国制造的巧克力打印机,早期主要应用于巧克力等可塑性强的食品原料。经过 3 年的发展,西班牙 Natural Machines 公司推出了一款功能较为完善且可制作多种类食物的 3D 食品打印机,将食品打印的应用领域进行拓宽。目前已广泛应用于仿真肉、结构化食物、食品添加剂等领域。

食品打印技术的出现,为食品行业的发展提供了推动力。在过去的十年内食品打印技术快速发展,而近年来食品打印技术出现了瓶颈期,这主要是因为原材料短缺、工艺流程繁琐、人机交互不畅、设计与美感缺失等问题使食品打印技术无法融入到大众的日常生活,其中最应该关注的便是打印原料。现有的食品打印原料可以分为 3 种类型:天然可打印原料、不可打印原料以及选择性打印原料(新食品资源) [11] [12]。利用 3D 打印技术进行食品加工,最早是由美国康奈尔大学实施操作,科研人员使用奶酪、巧克力等食材,在特定温度下进行保温使其处于半固体状态,将其预先放入“容器”内,根据食物的三维模型数据[13],在计算机的辅助控制下进行食品打印,从而制作出具有个性化定制特征的甜品[14]。此后不久,英国开展了一项昆虫“打印”食品的实验——“昆虫焗”项目,将昆虫碾磨成粉末,辅助其他食品材料,通过 3D 打印技术合成一款外观容易让人接受的食物,昆虫焗营养成分丰富,其中含有大量的蛋白质和矿物质成分[15]。此外,荷兰 TNO 公司和意大利面食生产商 Barilla 将传统小麦粗粉与水作为原料进行打印,生产出与众不同的意大利面,Natural Machine 公司打印出了番茄酱披萨[16] [17]。这些案例都说明食品打印技术与原材料实验开发的迅速发展对于食品设计以及未来食品的成熟与发展提供着源源不断的动力。

解决了原材料的问题,面对新鲜事物与消费者间的隔阂,食品设计的普遍性与必要性逐渐显现了出来。为当下食品问题寻求解决方案,为未来存在的隐患未雨绸缪,为人类不断提升的需求谋划设计,这些都是未来食品设计所需要做的。在打印技术的不断发展驱动下,未来食品设计也将得以在食品系统中被推向高潮。

3. 未来食品设计

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、更高效的食物,是未来人类生存和发展的基本保障[18]。未来食品设计针对食物的未来展开构想与设计。在不远的将来,食品合成生物学、智能制造、设计与重组食品加工等颠覆性新技术将不断涌现,而学科交叉创新则会成为其核心推动力[19]。我们国家为推进健康中国的建设,提升人民的健康水平,提出“健康中国 2030”规划纲要,并以此作为重要战略方针。食品产业作为人民营养健康的重要基石,是实施“健康中国”战略中不可或缺的部分。所以针对未来食物的设计不仅紧贴着国家的战略政策,更是与人民的健康幸福生活紧密连接,其重要性不言而喻。

未来食物的探索过程中,根据未来栖息地进行食物设计、在地性创新、通过食物的相关疗养等一系列可能性源源不断地涌现出来。例如:最近爆火的元宇宙通过穿戴式设备、3D 打印技术、食品科学等多方面小科学技术,将虚拟美食呈现于使用者面前;个性化食物根据客户的身体需求进行食物的定制,有效解决了个体所缺乏营养元素不同的问题;情绪食物为使用者舒缓压力,降低焦躁情绪;优化的种植方式与资源的再分配为食物的大量浪费、后续相关的环境与健康问题以及自然食物的可持续性发展等问题提供了解决方案。以上这些都是目前对于未来食物探索的重要方向,它们无一不反映出未来食物良好的发展前景[20] [21]。

未来食品设计拥有着广阔的视野以及无穷的可能性，但单方向的发展总是狭窄而紧促的，科技与艺术的交叉融合已成为必然趋势，我们应该从社会学、心理学、营养学等不同角度审视未来食品设计，结合科学技术与美学设计，使其紧密交织，共同发展。相信随着公众需求的变化以及科技的发展，未来食品会更倾向于朝着私人化、定制化、多元营养化、资源创新化、可持续性无害化等方向发展，以技术为基础，美学设计浸润其中，最终的产品必将是“沁人心脾”[22]。

目前的食品设计普遍存在的问题是美感与技术交融不平衡。国内一方面在美感上局限于食品的包装设计，只在食品的包装样式上下功夫，而未能真正地将美与食品的本质相联系；另一方面针对于食品技术，国内的食品发酵、防腐等加工技术已相对完备，但加工过程中是否将美学融入其中还有待考究。笔者本次的探索正是针对此问题提出一些相对合理的猜想、假设与推理。

4. 科技、艺术与食品交融

3D 打印技术、美学设计、食品科学，三者单独为伍时丰富且生动，两两相伴时虽可行，却伴随着诸多问题的产生。3D 打印与食品科学相结合时，会存在打印出的食物口感一般，打印速度过慢、食物易接受程度低等缺陷，使之无法真正地走进群众的日常生活当中；美学设计与食品科学相结合时，食品的食用过程、食用环境、食用品质等方面得到了很大的改善，但却缺乏一定的科学基础，难以应对未来的诸多不确定因素。这些都初步体现出三者作为个体时的相对局限性，由此引申出的三者融合的“生机”以及其良好的延展性。

多学科交叉融合创新是未来食品科技的核心竞争力，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[23]。

三者相融合，使得科学与艺术更好地服务于未来食品。随着全球化背景下的经济迅速发展，快节奏生活理念的渗透，人类对食物的便捷性、卫生性、安全性等食物特性要求大幅提升，大众会更加注重食物的健康性以及其营养成分的多元性，以保证自身每日所摄入的食物更加符合人体营养科学标准。在此背景下，食品 3D 打印技术的出现很好地填补了这一需求。3D 打印是一种以计算机控制平台移动，通过激光装置或者喷墨打印的方式快速制造复杂形状 3D 物体的新型数字化成型技术[24] [25]。食品科学可以将不同食品的营养成分进行提取，通过 3D 打印技术辅助的压缩合成等步骤，将人体所需营养合成在单个食品当中，这样的单品再加以个人定制化服务，便可以有效地生成营养多元化的个性化食品[26]。

但时代发展潮流的快速席卷，人类对食物的需求早已不仅仅停留于此，从之前的解决温饱，到后来人们对食品包装设计以及品尝食品时环境的要求，便可以看出人类对美的追求逐渐提升。而追求食品本质美，可以从人类的感官以及品尝过程等方面去进行探索。滋味也是美学设计中的一部分，虽说风味特征研发具有一定的复杂性，但恰到好处的风味更加地偏向于一门艺术，控制食物风味的释放曲线，通过对多感官的预设，使得艺术融入跨模态对应的设计，食物从被食用者看到的那一刻便被“精心设计安排”，通过技术调节味道在食物中的传播速度，一直到肠胃系统之后的回味，每一处都充斥着艺术对食品设计的影响。

点、线、面是艺术构成的三大基本元素，目前的食品打印存在着食品成品美观问题，美观性对食用的影响也是未来食品中的一项重要问题。根据对 3D 打印技术的研究，以及对艺术中点线面的剖析，可以将三大元素融入食品打印中，从而增强未来食品的艺术特性。平面构成的形式美，例如对称与平衡、节奏与韵律、主从与重点、虚实与留白[27]等，将未来食品进行有效地“填充”。这样使得人们对于食品感官的层次得到了丰富，平衡食品打印过程，把握食物本质中的韵律与节奏，将其代入有序与无序交叉

的秩序空间, 增强了未来食品的感知力, 艺术与科技的交织中, 将未来食品推向新的高峰。

预计在 2050 年, 全球人口将达到 90 多亿, 越来越多的人口向城市中心迁移。根据联合国食品农业组织的预测, 随着全世界人口数量的增长与生活水平的提高, 未来几十年内, 人类对肉类食品的需求会接近翻倍[28] [29]。其中为追寻食品营养均衡, 海洋食品成为了必不可少的选择, 人造海鲜的急迫性得以体现。

人造调理海鲜食品的制作, 将解决肉类需求可能性进行延展, 食品 3D 打印技术的开发, 自下而上地设计和制造, 基于分子与纳米级别地对食物外观、味道等进行设计。搜集海洋内各种食材丰富的营养成分, 通过美学设计使其整体的品用过程, 如同亲临海洋一般, 终而得出营养、口感、滋味多元化的调理食品, 将调理食品推向一个不一样的方向, 健全了人类对于海洋食品以及海洋所含成分元素的摄入。

目前未来食品的理论研究方面已经取得了一定的突破, 如上文提到的植物蛋白肉, 细胞培养肉, 人造海鲜等, 这些成果有望成为现有传统食品工业原料的替代品或者说补充品。但就现有的加工技术和工艺, 并不能很好的实现这些理论。例如目前的人造肉结构与真肉依旧存在明显差异, 肉质结构松散, 无法产生真实咀嚼感等问题。基于这些问题, 3D 打印介入将成为必然趋势。3D 打印技术可以将真实肉的结构进行建模, 搭建与真肉高度匹配的人造血管, 实现致密的肌肉组织模拟效果, 完美控制肉质的饱满度, 柔韧性[30]。美国宾夕法尼亚大学已经利用糖、脂肪、蛋白质和肌肉细胞等原材料打印出人造肉, 其在外观、口感和纹理上都与真肉十分相近, 肉里的微细血管同样可以进行有效还原[31]。为了模拟生物体内的环境, 体外细胞肌肉培养必须借助合适的支架体系, 使之形成细胞组织纹理和微观结构, 这正是 3D 打印技术在细胞培养肉中的重要角色。同时增强人造肉的艺术特性, 提升其内在结构与外在表层的秩序感, 将科学与艺术更好地融入至人们日常的饮食生活。

此外, 3D 打印对成分和营养的精确程度也是传统食品无可比拟的, 3D 食品打印技术未来的发展有望使人按需获取营养。今后的量子化 3D 打印技术或将实现细胞水平的结构重组, 有望实现高精度生产, 滋味等因素精细化的设计也将被积极研发设计利用。

除了上述的技术问题外, 还有一个不可避免的问题是人们对食品接受程度的高低, 未来人们是否会接受这种与从前截然不同的形式。而美学设计的加入, 通过巧妙的设计食物的外观以及食用体验流程, 结合科技建立食品的秩序感, 通过大众感知相通的形式将未来食品呈现出来, 将使得这一问题迎刃而解。美学设计的引入, 食品感知性能提升, 不仅使人们得到了食品视觉方面的满足, 从而将良好的食品视觉性能导向科学良好的心理体验, 将食品科学纵向与横向两大维度同时延申。

5. 未来食品设计的构想

3D 打印技术发展前景广阔, 目前 3D 打印的技术设备还处于初期阶段, 其制造和维护的价格都很高, 效益与之相形见绌。但也正因如此, 它有着无限的潜力, 未来 15 年内 3D 打印技术将迅速发展, 同时 4D, XD 打印也将陆续进入大众视野。随着技术的完备, 其作用将大幅提升。即时将生产出更方便清洁的打印头, 更广泛的食物选择, 更完备的成分数据库等, 这些将促使食品 3D 打印技术投入家庭使用。

4D 打印是在 3D 打印的基础上增添了时间维度, 人们可以通过软件设定模型、变化程度与时间, 打印产品可以通过温度、湿度、酸碱环境等外界因素的变化来对感官特性和功能特性进行改变[32] [33]。4D 打印技术可以设计具有智能动态变形的结构, 这种变形能力主要依赖于三维空间中智能材料的分布和组合方式, 正确的材料分布可以使结构的变形按顺序发生。4D 打印的结构中至少存在两个稳定状态, 在相应的介质激励下, 结构可以从一个状态转移到另一个状态[34] [35]。与 3D 打印结构相比, 4D 打印结构因为智能材料的使用而具有了自组装、自适应、自我修复的特性[36] [37]。

占据地球面积最大的海洋资源一直是科学家以及学者关注的领域, 在海洋中通过打印技术进行播种,

就是基于 3D 打印技术对食品 4D 打印技术的构想。3D 打印技术衍生下的 4D 打印技术,是贴切于海洋播种的一项技术,利用 4D 打印的自主延展生长特性,预先编辑设计最终产品的生长性与基因,随后通过美学设计进行提前的编程与组成设计,使其整个生长过程以及最终果实可以符合整个大自然的美感以及规律,通过这种思路,借助 CRISPR 技术,有望将适宜海洋中种植的粮食成分组合在一起。CRISPR 作为一种先进的基因编辑技术,其能够精确编辑动植物基因,可以很好的与 4D 打印技术相结合[38]。这样一来,不仅海洋资源得到了有效且妥善的地利用,还使得人类的食品需求得到了根本上的解决。

基于三者的有机结合,我们不禁畅想,未来将会有人利用自己家用的 3D 打印机在家打印菜品,人体对于营养成分的处理似乎取决于基因,人们基于个人遗传因子的未来饮食推荐系统做出来判断,随即去精准的补充自身所缺少的成分。此举将使人工智能与大数据技术有效融合到食品科学领域中,融合过程中可以追踪溯源食品本源,监控食品安全,分析用户口味偏好,创新个性化食谱并进行智能推荐等,使得食品科学获得更好的发展,并为人类提供更好的服务[39]。这些都不是凭空猜想,目前已有科学家做出针对 DNA 提供饮食建议的研究[40],这项研究也更好地帮助上述想法的实现。同时,世界食品巨头已在悄然进行着相关研究,相信在不久的将来,数不胜数的个性化新型食品将被端上餐桌,传统食品将迎来前所未有的革命性改变,科学与艺术更加贴切地在食品领域融合。

在将三者相结合的过程中,同样应该去积极调查世界食品现状,通过在地性定制的方式去帮助不同地区的人群,而不是一味地追逐西方传统加工食品的要求与规范。三者有效融合后,私人化定制是一个非常突出的亮点所在,仿佛一个专属的私人营养师一般环绕在你的身旁。在此之前,通过年龄、性别、职业等简单区分的人群定制化设计同样也很重要,例如,老人应该食用一些易消化吸收且营养较为充分的食品,而运动员更加适合高蛋白的补充与摄入。总而言之,我们在结合的过程中,应去注意优化食品成分、结构、以及消化率影响等因素。

6. 结论

科学与艺术的交织在食品科学方面具有强大的推动力,3D 打印技术,美学设计必将成为未来新型食品加工的重要辅助手段。在今后的发展中,会有更多的学科交叉为食品行业助力,未来食品在学科的交叉、不同领域的碰撞下,发展前景不可估量。然而,如何将 3D 打印技术和美学设计与未来食品制造有机融合,目前还有许多理论和技术上的问题需要突破。希望本文可以使相关人员对未来食品设计有一个更好的理解与思考,同样希望未来食品设计在二者的推动下可以更加贴切地融入于人类生活,将以人为本的设计理念贯穿与延伸至食品领域。

参考文献

- [1] 全国人民代表大会常务委员会第十四次会议修订《中华人民共和国食品安全法》[Z]. 2015-04-24.
- [2] 周慧. 一线城市白领营养午餐的服务设计研究[D]:[硕士学位论文]. 无锡: 江南大学, 2017.
- [3] 杨阳. 未来食品技术创新中心: 谋划食品产业未来发展蓝图[J]. 中国农业科技, 2020(12): 14-19.
- [4] 杨月欣, 张环美. 《中国居民膳食指南(2016)》简介[J]. 营养学报, 2016, 38(3): 209-217.
- [5] 李小丽, 马剑雄, 李萍, 等. 3D 打印技术及应用趋势[J]. 自动化仪表, 2014, 35(1): 1-5.
- [6] 卢崇雨. DIY 3D 打印机技术方案研究[J]. 海峡科技与产业, 2016(7): 98-99.
- [7] 牛一帆. 3D 打印技术探究[J]. 塑料包装, 2014, 25(5): 22-25+16.
- [8] 杜宇雷, 孙菲菲, 原光, 等. 3D 打印材料的发展现状[J]. 徐州工程学院学报(自然科学版), 2014, 29(1): 20-24.
- [9] 王武强. 科技部: 《“十三五”食品科技创新专项规划》将于近期发布[J]. 中国农村科技, 2017(3): 2.
- [10] 贲宗友, 施宗情, 孙艳辉. 3D 打印在食品中的应用研究进展[J]. 轻工科技, 2018, 34(9): 4-6.
- [11] Sun, J., Peng, Z., Zhou, W., et al. (2015) A Review on 3D Printing for Customized Food Fabrication. *Procedia Manu-*

- facturing*, **1**, 308-319. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.09.057>
- [12] 戴妍, 袁莹, 张静, 等. 食品 3D 打印技术在现代食品工业中的应用进展[J]. 食品工业科技, 2022, 43(7): 35-42.
- [13] 王琪, 李慧, 王赛, 等. 3D 打印技术在食品行业中的应用研究进展[J]. 粮食与油脂, 2019, 32(1): 16-19.
- [14] 曹沐曦, 詹倩怡, 沈晓琦, 等. 3D 打印技术在食品工业中的应用概述[J]. 农产品加工, 2021(1): 78-82.
- [15] 韩野, 刘艳秋, 孙广仁, 等. 3D 食品打印技术及影响因素的研究进展[J]. 食品工业科技, 2019, 40(24): 338-343+348.
- [16] 常荣民. 荷兰研发 3D 食品“打印机”可“打印”百种形状甜点[J]. 食品开发, 2013(5): 77-77.
- [17] 李兆丰, 徐勇将, 范柳萍, 等. 未来食品基础科学问题[J]. 食品与生物技术学报, 2020, 39(10): 9-17.
- [18] 李兆丰, 孔昊存, 刘延峰, 等. 未来食品: 机遇与挑战[J]. 中国食品学报, 2022, 22(4): 1-13.
- [19] 周景文, 张国强, 赵鑫锐, 等. 未来食品的发展: 植物蛋白肉与细胞培养肉[J]. 食品与生物技术学报, 2020, 39(10): 1-8.
- [20] 吴金鸿, 施依, 陈婷珠, 等. 3D 打印技术在未来食品加工工业中的机遇与挑战[J]. 上海交通大学学报, 2021, 55(S1): 97-99.
- [21] 吴世嘉, 张辉, 贾敬敦. 3D 打印技术在我国食品加工中的发展前景和建议[J]. 中国农业科技导报, 2015, 17(1): 1-6.
- [22] 陈坚. 中国食品科技: 从 2020 到 2035[J]. 中国食品学报, 2019, 19(12): 1-5.
- [23] 杜姗姗, 周爱军, 陈洪, 等. 3D 打印技术在食品中的应用进展[J]. 中国农业科技导报, 2018, 20(3): 87-93.
- [24] Truby, R.L. and Lewis, J.A. (2016) Printing Soft Matter in Three Dimensions. *Nature*, **540**, 371-378. <https://doi.org/10.1038/nature21003>
- [25] 刘焕宝, 周惠兴, 刘小龙, 等. 3D 打印在食品行业中的应用[J]. 中国农业文摘-农业工程, 2017, 29(2): 36-37+60.
- [26] 刘倩楠, 张春江, 张良, 等. 食品 3D 打印技术的发展现状[J]. 农业工程学报, 2018, 34(16): 265-273.
- [27] 王玥. 点, 线, 面视觉元素在食品摆盘设计中的应用[J]. 美与时代: 创意(上), 2017(12): 3.
- [28] Alexandratos, N. and Bruinsma, J. (2012) World Agriculture towards 2030/2050. Esa Working Papers.
- [29] 王淋靓, 许伟, 艾静汶, 等. 3D 打印食品的新发展[J]. 轻工科技, 2015, 31(7): 16-17.
- [30] 刘翀, 徐铭恩, 王玲, 等. 基于 3D 打印细胞培养支架内部血管通道的模拟与构建[J]. 中国生物医学工程学报, 2017, 36(1): 67-74.
- [31] 周涛, 徐书洁, 杨继全. 3D 食品打印技术研究的最新进展[J]. 食品工业, 2016, 37(12): 208-212.
- [32] 邵婷, 冯鑫, 吕天艺, 等. 基于蛋白质材料的 3D 打印技术研究现状及其应用[J]. 食品与发酵工业, 2022, 48(8): 296-303.
- [33] 赵先锋, 汤朋飞, 史红艳, 等. 4D 打印技术研究与应用进展[J]. 华南理工大学学报(自然科学版), 2021, 49(3): 34-46+54.
- [34] Momeni, F., Seyed, M., Xun, L., et al. (2017) A Review of 4D Printing. *Materials & Design*, **122**, 42-79. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2017.02.068>
- [35] Ghi, A. and Rossetti, F. (2016) 4D Printing: An Emerging Technology in Manufacturing? In: Caporarello, L., Cesaroni, F., Giesecke, R. and Missikoff, M., Eds., *Digitally Supported Innovation*, Springer, Berlin, 171-178. https://doi.org/10.1007/978-3-319-40265-9_12
- [36] Roy, D., Cambrej, N. and Sumerlin, B.S. (2010) Future Perspectives and Recent Advances in Stimuli Responsive Materials. *Progressing Polymer Science*, **35**, 278-301. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2009.10.008>
- [37] Stuart, M.A., Huck, W.T., Genzer, J., et al. (2010) Emerging Applications of Stimulus Responsive Polymer Materials. *Nature Materials*, **9**, 101-113. <https://doi.org/10.1038/nmat2614>
- [38] McClements, D.J. (2019) *Future Foods: How Modern Science Is Transforming the Way We Eat*. Springer, Berlin. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-12995-8>
- [39] 崔晓晖, 李伟, 顾诚淳. 食品科学大数据与人工智能技术[J]. 中国食品学报, 2021, 21(2): 1-8.
- [40] Nielsen, D.E., Shih, S. and El-Sohemy, A. (2014) Perceptions of Genetic Testing for Personalized Nutrition: A Randomized Trial of DNA-Based Dietary Advice. *Lifestyle Genomics*, **7**, 94-104. <https://doi.org/10.1159/000365508>