

基于文献计量学的国内外食品 3D 打印 技术研究进展

Research progress of food 3D printing technology at home
and abroad based on bibliometrics

李春丽¹ 唐甜甜² 张 懋²

LI Chun-li¹ TANG Tian-tian² ZHANG Min²

(1. 江南大学《食品与生物技术学报》编辑部, 江苏 无锡 214122; 2. 江南大学食品学院, 江苏 无锡 214122)

(1. Editorial Department of Journal of Food Science and Biotechnology, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China; 2. School of Food Science and Technology, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China)

摘要:利用文献计量学对在 Web of Science 核心集数据库和知网数据库上发表的食品打印相关研究论文进行了分析,发现国内外食品 3D 打印文章的发文量与被引频次呈逐年上升趋势,中国、澳大利亚、美国是发文量和被引量最高的国家,但从文章的单篇被引频次来看,中国论文质量仍需提升。由 Zhang M、Bhandari B、Prakash S 等领导的团队在食品 3D 打印方面的研究处于领先地位,相关研究主题涉及原料的可打印性分析、后处理研究、个性化营养需求和食品定制。当前适合老人、吞咽困难患者的食品 3D 打印和 4D 打印研究正在被重点关注,建议在未来应加强国内外科学研究合作网络建设,注重提升研究质量。

关键词:文献计量学;高被引;3D 打印;食品打印;研究趋势

Abstract: This paper analyzes the related research papers on food printing published on the Web of Science core collection and CNKI database by using bibliometrics, and finds that the number of articles published and the citation frequency of 3D printed articles on food in China and abroad are increasing year by year. China, Australia and the United States are the countries with the highest number of articles published and cited, but from the point of view of the single citation frequency of articles, the quality of articles in China still needs to be improved. The team led by Zhang M, Bhandari B, and Prakash S are leading the research on

基金项目:江苏省期刊协会立项课题(编号:2022JSQKB22);中国高校科技期刊研究会专项基金项目(编号:CUJS2021-034);国家自然科学基金面上项目(编号:31872902)

作者简介:李春丽,女,江南大学副编审,硕士。

通信作者:张懋(1962—),男,江南大学教授,博士。

E-mail: min@jiangnan.edu.cn

收稿日期:2022-08-03 **改回日期:**2022-12-10

food 3D printing, with related research topics covering printability analysis of raw materials, post-treatment research, individualized nutrition requirements, and food customization. At present, the research on food 3D printing and 4D printing suitable for the elderly and patients with dysphagia is being focused on. It is proposed that the construction of domestic and foreign scientific research cooperation network should be strengthened in the future, with emphasis on improving the quality of the research.

Keywords: bibliometrics; highly cited; 3D printing; food printing; research trends

三维(3D)打印,也称增材制造、实体自由成型制造,自出现以来,即被视为一场潜在的工业革命。该技术是一种在三维空间中逐层构建的方法,最初应用于打印塑料和金属等合成物质,以创造具有新特性的定制材料,之后逐渐被应用于建筑、汽车制造、医疗保健和航空航天。增材制造技术因其众多优势而受到行业、公众和学术界的强烈关注,研究^[1]显示,在全球市场规模上,3D 打印产品和服务的年增长率约为 26%,预计到 2024 年将达到 400 亿美元。在食品领域,2007 年,康奈尔大学的研究人员首次报道了 3D 打印技术在食品结构设计中的相关应用^[2]。2011 年,英国埃克塞特大学研发出世界首台 3D 巧克力打印机,并于次年推向市场^[3]。2014 年,3D Systems 公司推出了 3D 打印糖果。2015 年,意大利面食公司 Barilla 与荷兰技术公司 TNO 合作研发了以小麦粗粉和水为原料的 3D 打印意大利面。西班牙创业公司 Natural Machines 研制出的可以打印披萨、手指巧克力、意大利面等的 Foodini 食品 3D 打印机。2016 年,世界上第一家 3D 美食店 Food ink 进行了为期 3 d 的试营业。2019 年,已经研发出了可以用于定制 3D 打印食品的 APP^[4]。截至

目前,包括巧克力、糖果、意大利面、披萨、蛋糕、饼干、面包、冰淇淋在内的多种食品均可以通过 3D 打印机制作(图 1)。

3D 打印技术用于食品工业具有若干潜在优势:

(1) 缓解粮食危机。通过使用非传统食品材料(例如昆虫、藻类、高纤维植物基材料及动植物副产品废料)来拓宽可用食品材料的来源,可以减少粮食浪费,为不断增长的全人口提供可持续发展的营养和有吸引力的食物。

(2) 满足个性化或特殊膳食营养需求。3D 打印技术通过开发营养强化、低盐低糖或保健食品,可以为有特定营养需求的人提供科学合理的健康饮食,实现营养精准调控,例如儿童、航天员、运动员、孕妇、老年人或吞咽困难的患者。

(3) 突破传统工艺限制,实现食物造型艺术性设计。3D 打印可以实现人工或工业模具难以完成的花纹图案样式,自由地为食品设计新造型,增加趣味性。



来源:Microsoft Bing

图 1 部分 3D 打印食品展示

Figure 1 Partial 3D printed food display

一定时期内某一研究领域出版的学术研究成果,其传播与扩散能力大小,表明该学术成果对科研活动的学术贡献程度,也能反映出社会对其学术价值与应用价值的认知水平与认同程度,彰显该研究成果在相关应用领域的发展前景。近 10 年,食品 3D 打印相关研究势头强劲,受到学术界的重视,其科学出版物也显著增加。利用文献计量学方法统计不仅可以分析食品 3D 打印技术发展历程,厘清该技术研究过程的学术脉络,还可以从中发现并明晰 3D 打印技术在食品领域的未来研究方向与应用前景。

课题组首先搜索了与食品 3D 打印领域相关的文献(英文文献搜索时间截止到 2022 年 8 月 1 日,中文文献搜索时间截止到 2022 年 11 月 2 日)。中文文献来源于中国知网数据库,以“3D AND 食品 AND 打印”为检索词进行主题检索,手动剔除无关文献,共获得 197 篇文章;外文文献来源于 Web of Science 核心合集数据库,根据 Fasogbon 等^[5]的研究以“3D AND food AND printing”为检索词进行主题检索,共获得 860 篇文献,然后将获得的文档限制为论文、综述论文、在线发表、会议摘要、书籍章节,最终获得 854 篇文章。将检索到的数据及信息(关键词、引文、摘要、作者和书目信息)以制表符分隔文件和 Excel 格式下载。使用 VOS viewer 软件(版本 1.6.17)对

收集到的文献计量信息进行分析和图形可视化,Microsoft Excel 用于其他一般指标的可视化。

1 国际食品 3D 打印研究进展

1.1 国外相关出版物发表趋势

每年发表的出版物数量可以很好地反映特定学科领域的发展趋势,对出版物发表量的分析可以提供有关近期的研究趋势的信息。图 2 显示了国际食品 3D 打印相

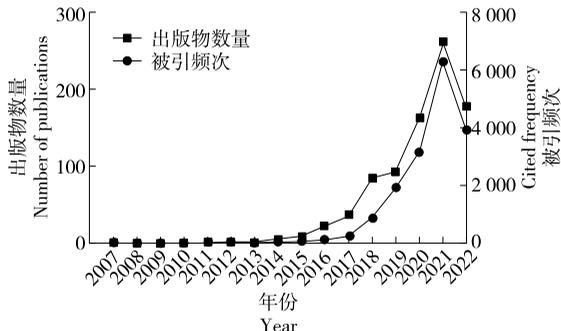


图 2 国际食品 3D 打印相关出版物逐年发文章和被引频次

Figure 2 Published quantity and citation frequency of international food 3D printing related publications year by year

关出版物的发文量和累计被引频次的趋势图。食品 3D 打印相关技术研究始于 2007 年, Brogårdh^[6] 首次提出食品行业将是未来机器人/3D 视觉产品发展的驱动力之一。直至 2014 年, 食品 3D 打印研究开始逐渐引起关注, 当年有 6 篇论文出版。此后论文发表数量呈逐年升高趋势, 特别是在 2018 年之后数量有明显上升。2021 年发表数量为 260 篇, 月均 22 篇; 截止发稿前, 2022 年的出版物发表量已达 176 篇, 月均 25 篇。预计到 2022 年结束时发表量将超过 2021 年。

从出版物逐年发文量可以看出, 越来越多的研究人员开始关注食品 3D 打印加工技术。截止发稿前, 食品 3D 打印出版物总被引频次 16 701 次, 篇均 19.56 次。每年出版物的被引频次与发文量变化趋势相同, 2021 年出版物的被引频次最高, 为 6 320 次。截至目前, 2022 年出版物的总被引频次为 3 894 次。

1.2 国际发文学者和发文机构的文献计量评价

论文的被引频次能在一定程度上反映出同领域学者对该研究内容的认可, 是文章重要性的体现, 更是反映了一个研究团队的活跃度和生命力。影响引文数量的因素有很多, 包括研究热度、发表时间、篇幅长度、发表的期刊等。表 1 统计了 3 178 名发文学者的总被引频次、发文量、H 指数等重要指标, 显示在该领域发表过 8 篇及以上科学文献的作者为 18 名。其中, 中国江南大学张懋研究

团队在该领域发文量和被引频次最多, 发表文章 65 篇, 被引用 2 097 次, 对食品 3D 打印领域出版物的贡献率(发文量占总出版物数量的百分比)最高, 为 7.611%。其次是澳大利亚昆士兰大学 Bhandari B 课题组, 发表 35 篇, 被引用 1 756 次, 贡献率为 4.098%。Prakash S 和 Liu Z B 被引频次分别为 881 和 627 次, 均发表 16 篇出版物。这 4 位学者在国际食品 3D 打印研究中存在合作关系, 主要涉及马铃薯/紫薯淀粉、莲藕粉凝胶、山药、柠檬汁凝胶、芒果汁凝胶、草莓汁凝胶、鱼糜凝胶、糙米、面团、谷物、复合乳制品、巧克力、肉制品等食物材料的 3D 打印和打印参数优化, 以及打印品的前处理和后处理研究。此外, 中国华南理工大学陈玲、郑波, 西北农林科技大学江昊也在国际期刊发表食品 3D 打印相关文章 8 篇以上。

食品 3D 打印领域的 854 篇出版物共涉及 1 080 个机构, 在该方向发文量超过 10 篇的机构为 16 个(表 2), 中国的江南大学、中国农业大学、浙江大学、华南理工大学和大连工业大学均位于其中。总被引频次排名前三的机构分别为江南大学、昆士兰大学和瓦格宁根大学, 发文量分别为 84, 46, 19 篇。昆士兰大学、福贾大学、瓦格宁根大学、加州大学的篇均被引频次相对较高, 中国江南大学的发文量最多, 但篇均被引频次相对较低, 说明论文质量有待进一步提高。

表 1 食品 3D 打印方向发文量超过 8 篇的国际学者(排名依据总被引频次)

Table 1 International scholars with more than eight articles published in food 3D printing direction (Ranking based on total cited frequency)

排名	作者	所属国家	所属机构	被引频次	篇数	篇均被引频次	h-指数
1	Zhang M	中国	江南大学	2 097	65	32.26	27
2	Bhandari B	澳大利亚	昆士兰大学	1 756	35	50.17	22
3	Prakash S	澳大利亚	昆士兰大学	881	16	55.06	11
4	Liu Z B	中国	江南大学	627	16	39.19	9
5	Derossi A	意大利	福贾大学	520	13	40.00	10
6	Severini C	意大利	福贾大学	520	13	40.00	10
7	Guo C F	中国	江南大学	329	12	27.42	9
8	Park H J	韩国	高丽大学	301	19	15.84	7
9	Kim H W	韩国	高丽大学	299	19	15.74	7
10	Anandharamakrishnan C	印度	印度政府	269	18	14.94	8
11	Moses J A	印度	印度政府	269	18	14.94	8
12	Anukiruthika T	印度	印度政府	178	9	19.78	6
13	Devahastin S	泰国	国王科技大学	175	10	17.50	6
14	Chen L	中国	华南理工大学	159	9	17.67	6
15	Zheng B	中国	华南理工大学	158	8	19.75	6
16	Jiang H	中国	西北农林科技大学	132	8	16.50	5
17	Mills T	英国	伯明翰大学	113	10	11.30	5
18	Mujumdar A S	加拿大	麦吉尔大学	84	10	8.40	3

表 2 食品 3D 打印方向发文量超过 10 篇的国际机构(排名依据总被引频次)

Table 2 International organizations with more than ten articles published in food 3D printing direction (Ranking based on tota cited frequency)

排名	机构	中文名称	所属国家	被引频次	篇数	篇均被引频次	h-指数
1	Jiangnan university	江南大学	中国	2 412	84	28.71	28
2	University of queensland	昆士兰大学	澳大利亚	2 250	46	48.91	25
3	Wageningen university research	瓦格宁根大学	荷兰	607	19	31.95	10
4	University of foggia	福贾大学	意大利	543	14	38.79	10
5	INRAE	法国国家农业食品与环境研究院	法国	533	18	29.61	10
6	University of california system	加州大学	美国	476	16	29.75	10
7	Korea university	高丽大学	韩国	301	22	13.68	7
8	China agricultural university	中国农业大学	中国	282	11	25.64	4
9	Centre national de la recherche scientifique cnrs	法国国家科学研究中心	法国	246	11	22.36	6
10	GOVT INDIA	印度政府	印度	223	13	17.15	6
11	Zhejiang university	浙江大学	中国	195	14	13.93	6
12	Southchina university of technology	华南理工大学	中国	179	13	13.77	6
13	Kingmongkuts university of technology thonburi	国王科技大学	泰国	175	10	17.50	6
14	Dalian polytechnic university	大连工业大学	中国	152	11	13.82	5
15	University of birmingham	伯明翰大学	英国	146	14	10.43	6
16	Mcgill university	麦吉尔大学	加拿大	134	16	8.38	4

1.3 国际高被引、高发文量国家和期刊的文献计量评价

有 73 个国家在食品 3D 打印领域发表过文章,发文量至少 10 篇的国家有 24 个(表 3)。中国、澳大利亚和美国是被引频次最高的国家,同时也是发文量最高的国家,被引频次分别为 5 457,3 408,3 050 次,发文量分别为 250,84,139 篇,对 3D 打印领域文章的贡献率分别为 29.274%,9.836%,16.276%。与其他国家相比,新西兰的研究被引用次数最少,13 篇文章仅获得 93 次引用。瑞士的篇均被引频率最高,12 篇文章获得了 1 648 次的引用量,平均 137.33 次/篇,其次为德国(58.5 次/篇)、新加坡(44.95 次/篇)和澳大利亚(40.57 次/篇)。中国的篇均被引频次处于中间位置(21.83 次/篇),h-指数最高。从发文量和被引频次来看,食品 3D 打印出版物大部分来自中国,提示中国在食品 3D 打印的研究处于领先地位。

表 4 列出了在食品 3D 打印领域发表 7 篇以上的出版物期刊。共 23 种期刊,最受欢迎的期刊是 Journal of food engineering,发表了 66 项研究,被引用 2 341 次。其次是 Food hydrocolloids,发表 46 篇文献,被引用 700 次。LWT-food science and technology 以 669 的被引频率排在第三,发文量 24 篇。Foods 的发文量为 31 篇,但仅被引 129 次,排名第 12。Trends in food science & technology 以仅 7 篇的发文量获得了 633 的被引频次,篇均被引频次超过 90,可能是该刊的高影响因子(16.002)吸引了学者。Journal of food engineering(35.47 次/篇)和 Food and

bioprocess technology(35 次/篇)的篇均被引频次也相对较高。这 23 种期刊的影响因子介于 2.889 (Journal of food process engineering, Q3)和 16.002 (Trends in food science & technology, Q1),平均影响因子 7.58,包含 19 篇一区、3 篇二区和 1 篇三区期刊。因此可以发现,食品 3D 打印因其高的新颖性和创新性的研究内容,大部分发表在一区食品类期刊上。

1.4 ESI 全球排名前 1%的相关高被引文章

根据 ESI(Essential science indicators)数据库的界定,高被引论文是指近 10 年内发表且被引次数排在相应学科领域全球前 1%以内的论文。854 篇食品 3D 打印相关出版物中的 ESI 高被引论文共有 39 篇,包括 26 篇研究性论文和 13 篇综述。单篇最高和低被引频次分别为 1 403 和 24 次。被引频次最高的文章是 Ligon 等^[7]的工作,回顾了用于 3D 打印和定制增材制造的聚合物加工,及其在建筑、食品加工、光学、能源技术、牙科、药物输送和个性化医疗领域中的应用。其次是 Godoi 等^[8]的综述文章,被引 350 次,介绍了 3D 打印技术应用于食品设计的现状与前景,特别强调了 3D 打印技术的优势/局限性,及对打印食品结构的影响。高被引文章共涉及 147 位作者,Zhang M 是发文量最多的作者(10 篇),对高被引文章的贡献率为 25.641%。Zhang M 与包括 Bhandari B、Guo C F 在内的 16 名研究人员有直接关系,表明这些作者参与了合作研究。

表 3 在食品 3D 打印方向发文量超过 10 篇的高被引国家(排名依据总被引频次)

Table 3 Highly cited countries with more than ten articles published in food 3D printing direction (Ranking based on total cited frequency)

排名	国家或地区	中文名称	被引频次	篇数	篇均被引频次	h-指数	排名	国家或地区	中文名称	被引频次	篇数	篇均被引频次	h-指数
1	China	中国	5 457	250	21.83	39	13	India	印度	603	71	8.49	13
2	Australia	澳大利亚	3 408	84	40.57	32	14	Canada	加拿大	503	41	12.27	11
3	USA	美国	3 050	139	21.94	30	15	Finland	芬兰	463	13	35.62	8
4	Germany	德国	1 872	32	58.50	12	16	Belgium	比利时	203	11	18.45	6
5	Switzerland	瑞士	1 648	12	137.33	8	17	Thailand	泰国	189	18	10.50	6
6	England	英国	1054	64	16.47	18	18	Japan	日本	185	19	9.74	7
7	France	法国	915	31	29.52	15	19	Brazil	巴西	168	22	7.64	7
8	Italy	意大利	871	39	22.33	16	20	Portugal	葡萄牙	146	15	9.73	8
9	Singapore	新加坡	854	19	44.95	12	21	Greece	希腊	136	12	11.33	5
10	South Korea	韩国	748	57	13.12	16	22	Malaysia	马来西亚	123	10	12.30	3
11	Netherlands	荷兰	714	31	23.03	12	23	New Zealan	新西兰	93	13	7.15	5
12	Spain	西班牙	628	44	14.27	14							

表 4 在食品 3D 打印方向发文量超过 7 篇的高被引期刊(排名依据总被引频次)

Table 4 Highly cited journals with more than seven articles published in food 3D printing direction (Ranking based on total cited frequency)

排名	期刊名称	被引频次	篇数	篇均被引频次	影响因子(2022)	JCR 分区
1	Journal of food engineering	2 341	66	35.47	6.203	Q1
2	Food hydrocolloids	700	46	15.22	11.504	Q1
3	LWT-food science and technology	669	24	27.88	6.056	Q1
4	Trends in food science & technology	633	7	90.43	16.002	Q1
5	Food and bioprocess technology	630	18	35.00	5.581	Q1
6	Innovative food science emerging technologies	574	24	23.92	7.104	Q1
7	Critical reviews in food science and nutrition	379	17	22.29	11.208	Q1
8	Food research international	367	18	20.39	7.425	Q1
9	ACS applied materials & interfaces	250	11	22.73	10.383	Q1
10	Micromachines	235	7	33.57	3.523	Q2
11	Food chemistry	144	12	12.00	9.231	Q1
12	Foods	129	31	4.16	5.561	Q1
13	Food quality and preference	116	7	16.57	6.345	Q1
14	Sensors and actuators B-chemical	114	7	16.29	9.221	Q1
15	Biosensors & bioelectronics	111	7	15.86	12.545	Q1
16	International journal of bioprinting	108	8	13.50	7.422	Q1
17	Carbohydrate polymers	104	8	13.00	10.723	Q1
18	Scientific reports	99	7	14.14	4.996	Q2
19	Polymers	87	9	9.67	4.967	Q1
20	International journal of biological macromolecules	77	7	11.00	8.025	Q1
21	Journal of food process engineering	76	8	9.50	2.889	Q3
22	International journal of food science and technology	61	8	7.63	3.612	Q2
23	Materials	48	8	6.00	3.748	Q1

国际合作交流有助于提升食品打印的影响力,创造更多有价值的研究成果。有 22 个国家参与发表了高被引文章,中国、澳大利亚、新加坡和美国是发表高被引文章最多的国家,分别有 18,9,5,5 篇,对高被引文章的贡献率分别为 46.154%,23.077%,12.821%,12.821%。高被引论文通常涉及广泛的国际合作,国际合作通常会提高论文的知名度,并在引用方面被证明是有用的。Pislyakov 等^[9]发现大约 92%的俄罗斯高被引论文涉及国际合作,部分学科国际合著论文比例达到 100%。Aksnes^[10]指出 63%的挪威高被引论文有来自其他国家的合著者。Fu 等^[11]称 47%的中国高被引论文是有国际合作的。对于食品 3D 打印领域,有 53.8%的高被引论文(21 篇)涉及国际合作,说明了国际合作在产出高被引论文方面发挥关键作用。

使用 VOS viewer 对 39 篇高被引论文进行可视化分析,

关键词共现分析涉及 311 个关键词(图 3)。图中,节点表示关键词,节点越大代表关键词出现的频次多,颜色越黑说明关键词出现的时间越晚。分析结果表明,“3d 打印(16 次)”“优化(11 次)”和“增材制造(10 次)”是出现频次最高的关键词。“流变特性(6 次)”“流变(6 次)”“质地(5 次)”“可印刷性(5 次)”“凝胶(4 次)”等关键词的重复使用,说明流变特性是评估打印食品可印刷性和机械性能的一个重要参数。根据目前所发表的文章,食品 3D 打印技术研究主要集中在模型设计、配方优化、后处理方法和吞咽困难患者饮食开发方面。此外,通过外部刺激和交互机制来驱动打印食品动态变化的 4D 打印已经受到学术界和工业界的广泛关注,且在 3D 和 4D 打印基础上,原则上可以打印复杂结构,具有更高的强度和更少的材料的 5D 和 6D 打印已经被提出^[12]。这项工作有望将传统的单一材料 3D 打印食品扩展到多材料食品,并为开发丰富多彩的食品提供新的方向。

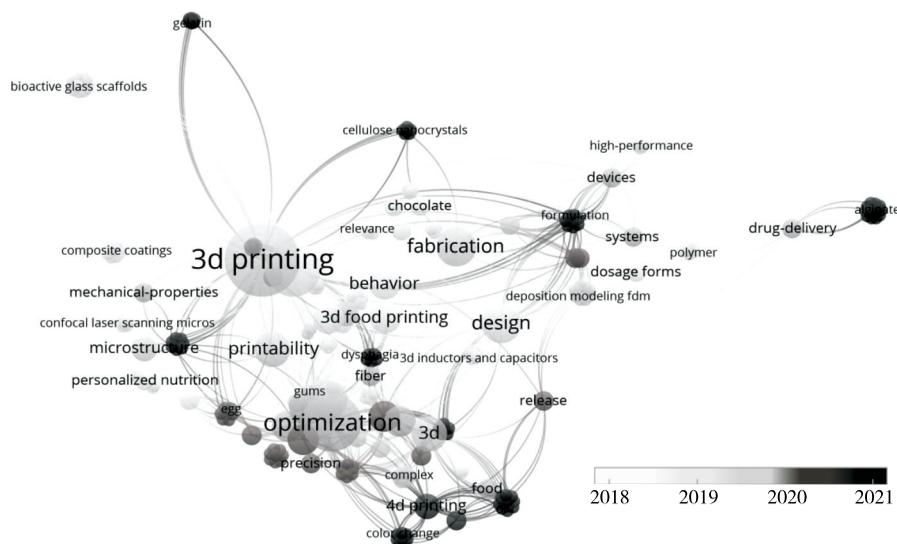


图 3 食品 3D 打印领域高被引文章(ESI 全球前 1%)关键词共现分析

Figure 3 Keyword co-occurrence analysis of highly cited articles (ESI top 1% in the world) in 3D food printing field

2 中国食品 3D 打印研究进展

2.1 中国相关出版物发表趋势

图 4 显示了基于中国知网数据库检索出的中国学者食品 3D 打印论文发表情况,呈逐年递增趋势,且增长幅度较大。共检索到 197 篇文章,涉及 151 篇期刊、40 篇硕博学位论文。首篇关于食品 3D 打印的报道发表于 2011 年,题目为《食品“打”出来》,刊登于《中学生天地(B 版)》,报道了美国康奈尔大学成功研制出了“3D 食物打印机”,装着奶酪、巧克力、蛋糕糊等特殊“墨水”的机器会根据电子设计图,逐行逐层“打印”出食物来^[13]。紧接着,在 2012 年,《食品与机械》介绍了荷兰国家应用科学研究院研发出一台食品 3D“打印机”^[14],这是首篇由食品类专业期刊做出的报道。直到 2014 年,食品类期刊《中国食品

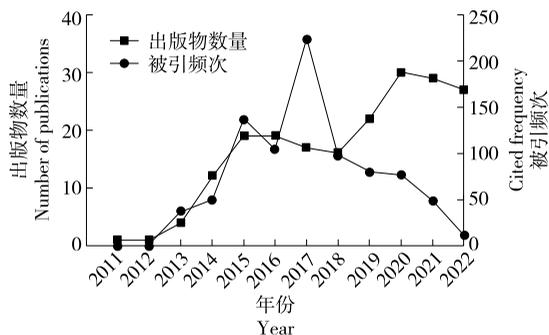


图 4 国内食品 3D 打印相关出版物逐年发文量和被引频次

Figure 4 Published quantity and citation frequency of domestic food 3D printing related publications year by year

学报》和《食品与生物技术学报》报道了西班牙创业公司 Natural Machines 研制出世界上第一台名为“Foodini”的食品 3D 打印机,可用于打印比萨、手指巧克力、意大利小方饺在内的一系列食品^[15-16]。此后,食品 3D 打印逐渐引起关注,论文发表数量呈逐年升高趋势,2015 年发表了 19 篇相关文章。2020 和 2021 年,食品 3D 打印相关文章年发表数量为 30 和 29 篇,截止到该调查撰写时,2022 年的出版物发表量已达 27 篇,有望超过 2021 年。

迄今为止,国内食品 3D 打印出版物被引频次总被引 869 次,篇均被引频次 4.41 次。2017 年论文的被引频次最高,为 224 次。近几年,总被引频次较低,可能与文章发表时间较短有关。总之,从近年来的发文量看,越来越多的国内学者开始了食品 3D 打印研究。

2.2 中国发文期刊、机构和学者的文献计量评价

图 5 显示了食品 3D 打印相关中文文章的类型分布、主要发表的期刊和发文机构。食品 3D 打印相关涉及 151 篇期刊、40 篇硕博学位论文、3 项会议论文、2 项科研成果、1 项报纸。期刊类文章主要来源于《食品与机械》《食品发酵工业》《食品工业科技》《食品科学》《食品工业》《现代食品科技》《农业工程学报》以及《食品与生物技术学报》,分别发表了 12,9,7,6,5,5,4,3 篇。《食品与机械》是首个报道食品 3D 打印研究的食品类专业期刊,也是目前最受欢迎、发文量最多的期刊。其所刊登的 12 篇食品 3D 打印报道,总下载量 9 419 次,均篇下载量 784 次,总被引 91 次,均篇被引 7.58 次。该刊物所发表的 3D 打印文章主要为食品 3D 打印机的设计^[17-19]和食品 3D 打印技术应用进展类综述文章^[20-22]。其中江阴职业技术学院李光玲^[23]所发表综述文章《食品 3D 打印的发展及挑战》下载量和被引频次最多,分别为 3 291 次和 41 次。与其他食品类期刊相比,《食品与生物技术学报》发文量较少,3 篇文章的总下载次数为 869,总被引 3 次,包括麻薯配方

与打印特性类研究^[24]和 4D 食品打印热点报道^[25]。

发表食品 3D 打印相关文章的机构主要为江南大学、大连工业大学、南京农业大学、华南理工大学、广东海洋大学、沈阳农业大学、西北农林科技大学、上海海洋大学和沈阳师范大学等,发文量分别为 16,10,7,7,7,6,4,4,4 篇。江南大学的发文包括 9 篇期刊类和 7 篇硕博学位论文,总被引 86 次,总下载量 11 457 次。江南大学学者张懋、范大明,大连工业大学学者董秀萍,南京农业大学学者徐幸莲,华南理工大学学者陈玲、王小英,沈阳农业大学学者李春强、孟宪军,西北农林科技大学学者陈琳,广东海洋大学学者刘书成、孙钦秀等研究团队的发文量和培养的硕博士较多。

2.3 中国食品 3D 打印高被引文章和发展方向

目前,国内食品 3D 打印领域被引频次最高的出版物多数为综述性论文,其中题目为《熔融沉积成型 3D 打印技术应用进展及展望》^[26]、《3D 打印技术在食品加工中的发展前景和建议》^[27]、《食品 3D 打印的发展及挑战》^[23]三篇综述的总被引频次最高,分别为 71,41,41 次,发表在《工程塑料应用》《中国农业科技导报》和《食品与机械》上。表 5 总结了被引频次排名前十的研究性论文,主要涉及马铃薯、蓝莓、鱼糜、鲑鱼糜等材料的打印特性分析,以及奶油、冰激凌等食品 3D 打印机的设计。所发表刊物有 3 篇来源于《现代食品科技》,研究方向主要为油墨的优化和打印效果研究,有 2 篇来源于《食品与机械》,主要研究食品打印机的设计。

根据目前发表的论文,国内关于食品 3D 打印技术研究集中在:

- (1) 3D 打印机的设计与研发、打印软件的优化。如多材质、对称啮合双螺杆式 3D 打印机的研发,以及糖果、巧克力、冰激凌、奶油等打印机的设计。
- (2) 3D 打印食品工艺研究。如打印原料配方改良、

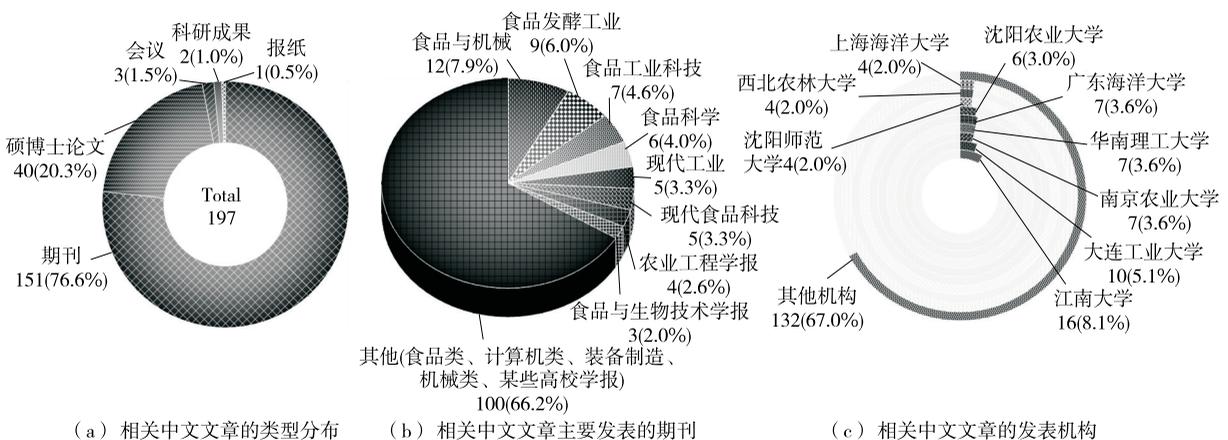


图 5 中文食品 3D 打印相关文章的类型分布、主要发表的期刊和发文机构

Figure 5 Type distribution, major published journals and publishing institutions of Chinese articles related to food 3D printing

表 5 被引频次排名前十的食品 3D 打印研究性论文
Table 5 Top 10 research papers on food 3D printing with cited frequency

文章名称	作者	所属机构	发表刊物	被引频次	参考文献
马铃薯淀粉 3D 打印工艺及其 3D 打印结构的研究	冯传兴,周泉城	山东理工大学	《现代食品科技》	16	[28]
3D 打印技术应用在奶油食品工业中的方案设计	姚青华	河南财经政法大学	《食品与机械》	14	[19]
3D 奶油打印机方案设计	孙铁波,李萌,李春节	江苏食品药品职业技术学院机电工程系	《机电技术》	14	[29]
魔芋胶对蓝莓凝胶体系 3D 打印特性的影响	王浩,谭畅,陈静,等	沈阳农业大学	《食品科学》	10	[30]
淀粉原料 3D 打印特性	余阳玲,全兆斌,江昊,等	西北农林科技大学	《食品与发酵工业》	8	[31]
不同打印条件的鱼糜 3D 打印成型效果分析	金立明,赵子龙,焦熙栋,等	上海理工大学、江南大学	《现代食品科技》	8	[32]
鲑鱼糜和海参复配 3D 打印食品材料	潘禹希,于婉莹,赵文宇,等	国家海洋食品工程技术研究中心、大连工业大学	《现代食品科技》	7	[33]
食品 3D 打印喷头流道有限元优化分析	延浩立,郭韵,何芑	上海工程技术大学	《计算机时代》	7	[34]
基于 3D 打印技术的个性化冰激凌成型机设计	洪健,王栋彦,李飞,等	天津工业大学	《食品与机械》	7	[18]
气动挤压式 3D 打印食品单层单道形貌预测研究	任传奇,魏正英,张志同,等	西安交通大学	《食品工业》	6	[35]

凝胶混合体系打印特性研究、打印参数对成型效果的影响等。

相较于其他国家,在食品 3D 打印相关领域,中国论文发表情况现已位居世界第一。但中国国内各地区、各机构间的研究团队相对孤立,具有前瞻性、高质量、高创新性的研究仍较少。

中国的食品 3D 打印技术领域的学术研究十分活跃,具有较强的后劲,为了进一步提高国际影响力,建议从以下方面进行调整:

(1) 应着重培养具备信息技术、机械工程、计算机控制、食品加工和 3D 打印知识的科技复合型人才,弱化学科界限,强化学科交叉,设立新型学科,重点推进数字化技术、打印设备、打印材料等关键技术的研发。

(2) 鼓励科技创新,开发高效率、低成本、高可靠性的食品打印机。

(3) 加强与国内外 3D 打印企业或高校之间的交流与合作,学习国内外先进的 3D 打印技术与经验,充分发挥各自的优势和特色,取长补短,增强实力和竞争力。

(4) 立足中国食品产业,前瞻思考,科学布局,真正地提出科学问题、解决科学问题,提高论文发表和专利申请质量,提高专利或科技成果转让和转化率。

(5) 国家和政府应投入专项经费支持,凝聚更多的研

发力量,利用多方合作平台加强研讨和交流,为 3D 打印食品制定有效的法律框架/立法,确保 3D 打印工艺符合严格的卫生和质量法规,促进食品 3D 打印行业规范、健康发展。

在智能化时代,制造全过程智能化有望成为中国食品工业转型升级的关键。在无需机械加工或模具条件下,以高度灵活和智能化的重复“打印”方式完成传统加工过程中的多个繁琐工序,可以替代传统加工生产线。3D 打印技术在食用工业中显示了越来越重要的作用,把握 3D 打印食品的发展机遇,开展扎实的有科学依据的原创探索,提高 SCI 论文的质量和数量,有利于提升中国在食品增材制造领域的国际权威性,优先取得科研成果的领先权和话语权。

3 总结与展望

从国际和国内食品 3D 打印领域发表论文的趋势看,其研究热度呈快速上升的趋势。增材制造是最有潜力的未来食品制造技术之一,一方面,许多非传统食材,如藻类、真菌、海藻、昆虫、农业或食品加工的副产物等,可以作为可持续和环保的印刷材料来源,从而缓解全球粮食短缺问题;另一方面,以薯类、谷物类、果蔬类、植物胶类和富含蛋白质的动物性原料为主的食品 3D 打印油墨,可以迎合各种不同的饮食习惯,如素食主义、无蛋白、低糖

和低盐人群。值得关注的是,食品3D打印可以将医学和人类营养结合,帮助患者更愉快地进食;针对不同人群营养需求,开发适合肥胖症、糖尿病人、高血压患者和老人食用的特殊膳食食谱,实现精准营养食品个性化定制。

多样化设计、个性化定制、复杂结构打印和节省材料是食品3D打印的优势。但目前该领域面临的技术瓶颈也需加以考虑。

(1) 生产效率是商业食品3D打印面临的一个巨大挑战。虽然可以通过提高打印速度或扩大喷嘴直径获得,但往往会导致打印精度和分辨率的下降。另一种潜在的方法涉及使用多喷嘴打印机同时制造多个物体,但迄今为止,没有工业规模的打印机可提供此功能。目前大多数3D打印机都是实验室规模的,只有有限的用途用于商业环境。与传统制造技术相比,增材制造技术受到成本、时间和大规模生产的限制,这一工程障碍很可能决定了3D打印机的商业化基础。

(2) 确保3D打印食品的安全性和保质期也是一项重大挑战。许多设备,例如食品注射器、喷嘴、材料桶和平台,如果管理不当,可能会受到微生物污染。并且在打印食品的后处理操作中,如微波加热、设备清洗、产品安全检测等,还没有明确的证据来验证3D打印食品的可食用安全性。一些研究^[36]显示,某些基于果蔬的3D打印产品在贮藏期间接触空气时会产生高浓度的微生物,具有潜在的食品安全问题。大多数3D打印食品的保质期有限,3D打印的果泥或面团的流变学特性在生产2 h后发生变化。

(3) 开发具有强可印刷性的营养丰富的材料至关重要^[27]。某些本身不具备可印刷性能的食品原料,可能不可避免地需要使用一些食品添加剂或食用胶,食品添加剂的种类和用量需要考虑。并且打印和后处理操作过程(包括干燥、油炸、烘烤、冷却等)对食品中营养成分、味道和香气质的影响研究尚不清晰,打印后的产品需要能承受烹饪而不变形,这要求严格控制后处理操作条件,如烘烤或加热温度、烹饪时间。目前打印食品仍处于发展初期,需要多次优化试验才能推向市场。

食品3D打印是一个年轻的研究领域,科学出版物仅数百篇,虽然中国在高水平论文发表上处于领先地位,但食品3D打印在国内的科研成果转化和商业化应用极少。目前在工业规模上采用3D打印可能具有挑战性,在下一步的研究方向上,不仅需要开发工业规模的食物3D打印机,还需要进一步研究食品质量,包括适合这种大规模打印的食品材料特性。前处理和后处理的新技术为提高材料的印刷性能提供了很大的空间。此外,需要更多的研究来分析3D打印加工前后的杀菌操作,以提高3D打印食品的安全性,从而增加消费者的接受度。最后,需要进一步加强3D打印与后处理相结合的研究,实现可重复性和流程化的食品加工制造。

近年来,世界各国都在积极尝试将3D打印应用于食品行业,中国许多科研工作者也已经做出了巨大努力。对于3D打印食品,未来的挑战无疑是多方面的、多层次的,但同时也给人们带来很多的遐想和机遇。中国食品加工工业正处于高速发展时期,在科技创新发展战略的驱动下传统食品加工技术必然迎来革命性的变革。增材制造技术为食品生产加工开辟了一条新的道路。与传统食品加工和机器人食品制造技术不同,食品3D打印集成了3D打印和数字美食技术,不仅可以为定制食品设计和个性化营养控制提供解决方案,还具有重构定制食品供应链的潜力。进入新时代,开启新征程,科技工作者迎来新使命,更应以祖国需要为出发点,把论文写在祖国的大地上,把科技成果应用在建设社会主义现代化强国的伟大事业中。最后,鉴于国际期刊报道状况的分析,国内食品类期刊要及时调整报道方向,关注食品3D打印的研究进展。

参考文献

- [1] KEWUYEMI Y O, KESA H, ADEBO O A. Trends in functional food development with three-dimensional (3D) food printing technology: Prospects for value-added traditionally processed food products[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2021, 62(28): 31-38.
- [2] WANG M S, LI D G, ZANG Z H, et al. 3D food printing: Applications of plant-based materials in extrusion-based food printing[J]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2021, 62(26): 7 184-7 198.
- [3] 陈妮. 3D打印技术在食品行业的研究应用和发展前景[J]. *农产品加工(学刊)*, 2014(16): 57-60.
CHEN N. 3D printing technology's research and application and development prospects in food industry[J]. *Academic Periodical of Farm Products Processing*, 2014(16): 57-60.
- [4] 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.
CAO M X, ZHAN Q Y, SHEN X Q, et al. Review on the application of 3D printing technology in the food industry[J]. *Farm Products Processing*, 2021(1): 78-82.
- [5] FASOGBON B M, ADEBO O A. A bibliometric analysis of 3D food printing research: A global and african perspective[J]. *Future Foods*, 2022, 6: 100175.
- [6] BROGÅRDH T. Present and future robot control development: An industrial perspective[J]. *Annual Reviews in Control*, 2007, 31(1): 69-79.
- [7] LIGON S C, LISKA R, STAMPFL J, et al. Polymers for 3D printing and customized additive manufacturing[J]. *Chemical Reviews*, 2017, 117(15): 10 212-10 290.
- [8] GODOI F C, PRAKASH S, BHANDARI B R. 3D printing technologies applied for food design: Status and prospects [J]. *Journal of Food Engineering*, 2016, 179: 44-54.

- [9] PISLYAKOV V, SHUKSHINA E. Measuring excellence in russia: Highly cited papers, leading institutions, patterns of national and international collaboration [J]. *Journal of the Association for Information Science and Technology*, 2014, 65(11): 2 321-2 330.
- [10] AKSNES D W. Characteristics of highly cited papers[J]. *Research Evaluation*, 2003, 12(3): 159-170.
- [11] FU H Z, CHUANG K Y, WANG M H, et al. Characteristics of research in China assessed with essential science indicators [J]. *Scientometrics*, 2011, 88(3): 841-862.
- [12] GHAZAL A F, ZHANG M, MUJUMDAR A S, et al. Progress in 4D/5D/6D printing of foods: Applications and R&D opportunities [J/OL]. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. (2022-02-28) [2022-10-13]. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2045896>.
- [13] 食品“打”出来[J]. *中学生天地(B版)*, 2011(3): 62. Food "print" out[J]. *Middle School Students World (B Edition)*, 2011(3): 62.
- [14] 荷兰发明 3D 食品“打印机”据预存造型喷射食材[J]. *食品与机械*, 2012, 28(6): 102. Holland inns 3D food "printer" to spray food materials according to pre-stored modeling[J]. *Food & Machinery*, 2012, 28(6): 102.
- [15] 西班牙推出世界首台 3D 食品打印机[J]. *中国食品学报*, 2014, 14(1): 177. Spain launches the world's first 3D food printer[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2014, 14(1): 177.
- [16] 西班牙推出世界首台 3D 食品打印机[J]. *食品与生物技术学报*, 2014, 33(2): 203. Spain launches the world's first 3D food printer[J]. *Journal of Food Science and Biotechnology*, 2014, 33(2): 203.
- [17] 王巧兰, 尤晓萍. 常温挤出糖霜 3D 打印机设计[J]. *食品与机械*, 2022, 38(10): 99-103. WANG Q L, YOU X P. The design of 3D icing sugar printer based on room temperature extrusion[J]. *Food & Machinery*, 2022, 38(10): 99-103.
- [18] 洪健, 王栋彦, 李飞, 等. 基于 3D 打印技术的个性化冰激凌成型机设计[J]. *食品与机械*, 2017, 33(1): 101-103, 194. HONG J, WANG D Y, LI F, et al. Design of personalized ice cream machine based on 3D printing[J]. *Food & Machinery*, 2017, 33(1): 101-103, 194.
- [19] 姚青华. 3D 打印技术应用在奶油食品工业中的方案设计[J]. *食品与机械*, 2016, 32(2): 98-100, 110. YAO Q H. Application 3D printing technology in cream industry design[J]. *Food & Machinery*, 2016, 32(2): 98-100, 110.
- [20] 耿涵, 王莉, 陈正行, 等. 谷物基原料 3D 打印的研究进展[J]. *食品与机械*, 2022, 38(2): 1-9. GENG H, WANG L, CHEN Z X, et al. Research progress of 3D printing of cereal-based materials[J]. *Food & Machinery*, 2022, 38(2): 1-9.
- [21] 张鹏辉, 周浩宇, 聂远洋, 等. 原料特性及打印参数对食品 3D 打印制品品质的影响[J]. *食品与机械*, 2021, 37(6): 219-223. ZHANG P H, ZHOU H Y, NIE Y Y, et al. Effects of raw material characteristics and printing parameters on product quality in food 3D printing[J]. *Food & Machinery*, 2021, 37(6): 219-223.
- [22] 赖燕娜, 马顺, 李莺, 等. 从专利申请看 3D 打印技术在食品工业中的应用进展[J]. *食品与机械*, 2018, 34(1): 163-166. LAI Y N, MA S, LI Y, et al. Application progress of 3D printing technology in food industry from patent application[J]. *Food & Machinery*, 2018, 34(1): 163-166.
- [23] 李光玲. 食品 3D 打印的发展及挑战[J]. *食品与机械*, 2015, 31(1): 231-234. LI G L. Development and challenge of 3D print in the food industry[J]. *Food & Machinery*, 2015, 31(1): 231-234.
- [24] 杨帆, 张愨, 王维琴. 麻薯配方与 3D 打印特性研究[J]. *食品与生物技术学报*, 2020, 39(4): 71-75. YANG F, ZHANG M, WANG W Q. 3D printing physical properties of mochi as affected by different compositions [J]. *Journal of Food Science and Biotechnology*, 2020, 39(4): 71-75.
- [25] 张群. 食品材料体系 4D 智能打印技术研究[J]. *食品与生物技术学报*, 2022, 41(2): 112. ZHANG Q. Research on 4D intelligent printing technology of food material system[J]. *Journal of Food Science and Biotechnology*, 2022, 41(2): 112.
- [26] 刘洋子健, 夏春蕾, 张均, 等. 熔融沉积成型 3D 打印技术应用进展及展望[J]. *工程塑料应用*, 2017, 45(3): 130-133. LIU Y Z J, XIA C L, ZHANG J, et al. Application progress and prospect of fused deposition molding 3D-printing[J]. *Engineering Plastics Application*, 2017, 45(3): 130-133.
- [27] 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. WU S J, ZHANG H, JIA J D. Prospect and suggestion of 3D printing in China's food manufacture[J]. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2015, 17(1): 1-6.
- [28] 冯传兴, 周泉城. 马铃薯淀粉 3D 打印工艺及其 3D 打印结构的研究[J]. *现代食品科技*, 2017, 33(9): 183-188. FENG C X, ZHOU Q C. 3D printing processing of potato starch and the changes in its structure and properties[J]. *Modern Food Science and Technology*, 2017, 33(9): 183-188.
- [29] 孙铁波, 李萌, 李春节. 3D 奶油打印机方案设计[J]. *机电技术*, 2013, 36(4): 37-38. SUN T B, LI M, LI C. Scheme design of 3D cream printer[J]. *Electromechanical Technology*, 2013, 36(4): 37-38.
- [30] 王浩, 谭畅, 陈静, 等. 魔芋胶对蓝莓凝胶体系 3D 打印特性的影响[J]. *食品科学*, 2019, 40(23): 104-110. WANG H, TAN C, CHEN J, et al. Effect of konjac gum on 3D printing properties of blueberry gel system[J]. *Food Science*, 2019, 40(23): 104-110.
- [31] 余阳玲, 仝兆斌, 江昊, 等. 淀粉原料 3D 打印特性[J]. *食品与发酵工业*, 2020, 46(3): 194-200. YU Y L, TONG Z B, JIANG H, et al. Characteristics of 3D printing by starch gels model[J]. *Food and Fermentation Industries*, 2020, 46(3): 194-200.

(下转第 31 页)

- Journal of Food Science and Technology, 2010, 45(6): 1 297-1 302.
- [3] 高年发, 宝菊花. 氨基甲酸乙酯的研究进展[J]. 中国酿造, 2006(9): 1-4.
GAO N F, BAO J H. Research advancement of ethyl carbamate[J]. China Brewing, 2006(9): 1-4.
- [4] 辛茜, 贾少杰, 郑欣欣, 等. 白酒中氨基甲酸乙酯的研究进展[J]. 酿酒科技, 2022(1): 42-46.
XI Q, JIA S J, ZHENG X X, et al. Research progress in ethyl carbamate in Baijiu[J]. Liquor-Making Science & Technology, 2022(1): 42-46.
- [5] 苏金兰, 徐柏田, 林培. 中国白酒香型发展的进展研究[J]. 酿酒科技, 2017(8): 102-108.
SU J L, XU B T, LIN P. Research on the development of Baijiu flavor types[J]. Liquor-Making Science & Technology, 2017(8): 102-108.
- [6] 梁新红. 中国葡萄酒中氨基甲酸乙酯的研究[D]. 西安: 西北农林科技大学, 2007: 25-28.
LIANG X H. Study on ethyl carbamate in Chinese wine[D]. Xi'an: Northwest A & F University, 2007: 25-28.
- [7] 唐云容, 杨军林. 中国白酒氨基甲酸乙酯形成的代谢机制及控制技术进展[J]. 酿酒科技, 2022(5): 108-116.
TANG Y R, YANG J L. Research progress in the forming mechanism and control measures of ethyl carbamate in Baijiu[J]. Liquor-Making Science & Technology, 2022(5): 108-116.
- [8] 田夏琼, 江华明, 关经纬, 等. 浓香型白酒发酵过程中氨基甲酸乙酯形成的关联因子探究[J]. 中国酿造, 2022, 41(1): 59-63.
TIAN X Q, JIANG H M, GUAN T W, et al. Correlation factors of ethyl carbamate formation during the fermentation of strong-flavor Baijiu[J]. China Brewing, 2022, 41(1): 59-63.
- [9] 王开宇, 左惠君, 于欣欣, 等. 同位素稀释—气质法测定白酒中氨基甲酸乙酯的测量不确定度评定[J]. 食品与机械, 2021, 37(5): 66-72.
WANG K Y, ZUO H J, YU X X, et al. Evaluation of uncertainty in the determination of ethyl carbamate in Chinese spirits by isotope dilution GC-MS method[J]. Food & Machinery, 2021, 37(5): 66-72.
- [10] 曹帅, 吴群, 徐岩. 白酒固态发酵过程中不同品种高粱原料对氨基甲酸乙酯形成的影响[J]. 食品与生物技术学报, 2016, 35(7): 677-683.
CAO S, WU Q, XU Y. Effects of different sorghum cultivars on the formation of ethyl carbamate in the solid-state fermentation process of Chinese liquor [J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2016, 35(7): 677-683.
- [11] 李拥军, 陈雯, 皮小弟, 等. 芝麻香型与浓香型白酒固态发酵过程中氨基甲酸乙酯的形成研究[J]. 现代食品科技, 2021, 37(8): 67-74.
LI Y J, CHEN W, PI X D, et al. Ethyl Carbamate formation during solid-state fermentation of sesame-flavored and strongly flavored Baijiu[J]. Modern Food Science and Technology, 2021, 37(8): 67-74.
- [12] 张莹, 樊云, 孙跃鹏, 等. 浓香型白酒中氨基甲酸乙酯含量及控制方法的研究[J]. 食品工业, 2018, 39(4): 191-194.
ZHANG Y, FAN Y, SUN Y P, et al. Contents and control method of EC for strong-flavour liquor[J]. The Food Industry, 2018, 39(4): 191-194.
- [13] 田瑞杰, 张勇, 冯大鸿, 等. 基于宏转录组学的浓香型白酒酒醋活性微生物群落空间异质性研究[J]. 轻工学报, 2022, 37(1): 1-11.
TIAN R J, ZHANG Y, FENG D H, et al. Study on spatial heterogeneity of active microbial community in strong-flavor Baijiu fermented grains based on metatranscriptome[J]. Journal of Light Industry, 2022, 37(1): 1-11.
- [14] 张庄英. 白酒蒸馏和贮存过程中氨基甲酸乙酯的研究[D]. 无锡: 江南大学, 2014.
ZHANG Z Y. The study of Ethyl carbamate in liquor distillation and storage[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2014.
- [15] 王金龙, 程平言, 熊晓通, 等. 存储环境对浓香型基酒中氨基甲酸乙酯的影响[J]. 中国酿造, 2021, 40(7): 189-193.
WANG J L, CHENG P Y, XIONG X T, et al. Effect of storage conditions on ethyl carbamate in strong-flavor base liquor [J]. China Brewing, 2021, 40(7): 189-193.

(上接第 14 页)

- [32] 金立明, 赵子龙, 焦熙栋, 等. 不同打印条件的鱼糜 3D 打印成型效果分析[J]. 现代食品科技, 2020, 36(5): 214-222.
JIN L M, ZHAO Z L, JIAO X D, et al. Effect of printing conditions on 3D printing of surimi[J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(5): 214-222.
- [33] 潘禹希, 于婉莹, 赵文字, 等. 鲢鱼糜和海参复配 3D 打印食品材料[J]. 现代食品科技, 2020, 36(8): 175-183, 30.
PAN Y X, YU W Y, ZHAO W Y, et al. 3D printing food materials made with hypophthalmichthys molitrix surimi and sea cucumber pulp[J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(8): 175-183, 30.
- [34] 延浩立, 郭韵, 何芑. 食品 3D 打印喷头流道有限元优化分析[J]. 计算机时代, 2019(4): 1-4, 8.
YAN H L, GUO Y, HE P. Finite element optimization analysis of food 3D printing nozzle flow channel[J]. Computer Era, 2019(4): 1-4, 8.
- [35] 任传奇, 魏正英, 张志同, 等. 气动挤压式 3D 打印食品单道单道形貌预测研究[J]. 食品工业, 2017, 38(12): 172-176.
REN C Q, WEI Z Y, ZHANG Z T, et al. Research on morphology prediction of food 3D printing in pneumatic extrusion[J]. Food Industry, 2017, 38(12): 172-176.
- [36] SEVERINI C, DEROSI A, RICCI I, et al. Printing a blend of fruit and vegetables. New advances on critical variables and shelf life of 3D edible objects [J]. Journal of Food Engineering, 2018, 220: 89-100.