

食品基本味觉研究的文献计量分析

范淑雯¹, 李雨彤¹, 陈子航², 章鑫怡¹, 陈可先^{1*}

¹浙江工商大学食品与生物工程学院 杭州 310018

²西安工程大学电子信息学院 西安 710000)

摘要 食品基本味觉与人们生活和食品研究密不可分。该领域已取得大量的标志性成果,形成了一些较为成熟的机理、规律及其应用的共识,然而其研究现状、主要学术脉络和未来发展趋势缺乏系统的分析与总结。为此,本文以 Web of Science 核心数据库中筛选获得 2012 年至 2021 年间的 15 445 篇文献为源数据,借助文献计量分析方法,分析食品基本味觉的发文量及其分布,主要学术脉络及其关键词的演化趋势。结果表明,食品基本味觉研究不仅涉及食品风味和食品感官,还涉及食品质构、生物化学、分子生物学、分子模拟技术、传感器、生物活性和心理学等多学科交叉融合领域。味觉发文量正逐步演变成以下规律:甜味>酸味>苦味>鲜味>咸味,其中前 3 种味觉是目前研究的主流味觉。美国、中国和日本是研究基本味觉排名前三的国家,国家间的合作较为频繁。中国的总发文量、H 指数和总被引频次均为世界第 2,仅在鲜味领域的发文量、单个机构或者作者的发文量进入前十。此外,通过味觉组合的文献分析和关键词的突跃分析,解析近年来基本味觉研究热点的演化趋势和主要实现关键词。本文可为食品科学等领域的专家、学者整体把握食品基本味觉研究的科学方向、发展规律和研究热点提供指导,也可为食品风味产业的决策提供理论支持。

关键词 食品风味;基本味觉;研究热点;文献计量分析;科学引文索引

文章编号 1009-7848(2024)10-0470-15 **DOI:** 10.16429/j.1009-7848.2024.10.043

食品风味是人对视觉、嗅觉、味觉、触感和听觉的一种综合感觉,是影响食品品质的关键指标,也是影响消费者购买意向和实现未来食品智造的重要属性。其中,味觉是食品最主要的风味特征,包括酸味、甜味、苦味、咸味和鲜味 5 种基本味觉和麻辣味(Pungency)^[1-2],以及近几年新提出的厚味(Kokumi)^[3]、脂肪味^[4]和金属味,其研究不仅赋予食品美味,还有助于食品加工企业调和食品的整体风味。食品味觉的研究有着悠久的历史,然而,科学家对它们的研究与讨论从未停止。大量研究表明^[5-10],食品味觉是以食品科学、心理物理学、生物学、化学、生理学和神经科学等多学科交叉为基础的领域,其主要源于咖啡因、辣椒素、山椒素、5'-鸟苷酸和咸味肽等生物活性组分,这些物质不仅可作为食品调味剂应用于食品生产过程中,也受到制药企业的广泛关注。

目前,有大量的文献报道了 5 种食品基本味觉研究,主要围绕以下几个方面:1)味觉组分的来源挖掘、结构鉴定、分离提取、合成制备、生物活性和稳定性研究^[10-13];2)基于化学和生物化学的味觉机理研究^[5,8,14];3)味觉组分与味觉间的构效关系^[12,15];4)苦味掩蔽、鲜味增强等味觉调控方法研究^[9];5)基于味觉机理的健康应用,比如科学减盐^[8];6)味觉相乘、相抵和变调等味觉交互研究^[16-25]。通过文献查阅与初步分析,发现大量的综述文献报道了食品基本味觉研究进展^[8-12,19],然而大都以单种基本味觉的综述为主,很少对几种味觉进行综合分析 with 总结。

本文基于国外核心数据库,采用文献计量分析方法对近十年食品基本味觉研究进行系统分析,有助于把握近十年该领域的现状、研究前沿与发展趋势,找准我国在这些味觉研究领域的国际地位与差距,为食品风味深度研究与味觉相关产业的发展决策提供理论依据。目前,文献计量分析方法已在食品科学领域多个方向做了大量的应用^[26-29],比如食品科学高被引论文、食品安全认知、鱼糜研究、分子感官分析、食品包装和麻辣科学研究等。

收稿日期: 2023-10-14

基金项目: 浙江省新苗人才计划项目(2022R408A034);国家级大学生创新创业训练计划项目(202410353014)

第一作者: 范淑雯,女,本科

通信作者: 陈可先 E-mail: kxchem@zjgsu.edu.cn

1 材料与方法

1.1 数据来源

文献数据来自 Web of Science (WOS) 核心库,检索时间范围为 2012—2021 年,检索时间为 2022 年 5 月 31 日,检索文献类型为 Article 和 Review。文章检索的关键词为 [TS=(“sweet*” OR “sour” OR “sourness” OR “acid* taste” OR “acidity” OR “umami” OR “salty” OR “bitter*” OR “saltiness”)] AND [TS=(“tast*” OR “flavor” OR “flavour” OR “sensory” OR “organoleptic” OR “sensorial” OR “gustation” OR “gustatory” OR “savor” OR “savory” OR “perception”)],在此基础上排除了关键词 Area Studies, Arts Humanities Other TOPics, Astronomy Astrophysics, Automation Control Systems, Biodiversity Conservation, Business Economics, Communication, Cultural Studies, Energy Fuels, Family Studies, Geography, Geology, Government Law, Imaging Science Photographic Technology, Information Science Library Science, Mechanics, Metallurgy Metallurgical Engineering, Meteorology Atmospheric Science, Mineralogy, Music, Orthopedics, Paleontology, Parasitology, Philosophy, Physical Geography, Public Administration, Religion, Remote Sensing, Rheumatology, Robotics, Social Sciences Other TOPics, Sociology, Thermodynamics, Transplantation, Virology, Water Resources。最后,共计 15 445 篇源文献用于分析。

1.2 统计方法

采用 WOS 自带的分析功能精炼文献,并导出文献数据。运用 CiteSpace 6.1.R2 软件(<https://citespace.podia.com/>)过滤与转换数据,剔除重复文献,设置时间跨度、时间切片(1)、算法类型(Pathfinder)和节点类型,如共被引分析用 Reference,突现词分析用 Keywords,再提取文献的关键词、引文、作者等信息后进行聚类分析、共被引分析和突现分析。将去重后的文本导入 VOSviewer 1.6.15 软件(<https://www.vosviewer.com/>),选取对应分析单元和类型,调整数据阈值,统一处理大小写及同义词后,生成聚类视图。采用 COOCurrence 12.6 软件^[30]在“WOS 数据库去重”

模块提取文献信息,再使用“频次统计”模块对“附件关键词”所在列计算词频,用 Origin 2018 软件绘制条形图,并将词频列表导入 <https://me.bdp.cn/home.html> 绘制味觉组合的词云图。

2 结果与分析

2.1 食品基本味觉研究的主要现状及其发展趋势预测

图 1 为 2012—2021 年期间酸味、甜味、苦味、咸味和鲜味研究及其整体的年发文章量和预测结果。由图 1 可总结出以下特点:1)整体味觉研究数量呈强势递增趋势,说明当前食品风味科学研究整体发展势头良好;2)味觉的年发文章量为甜味>苦味≈酸味>鲜味≈咸味,其中甜、苦和酸味年发文章量在 2013 年后增速较快,鲜味和咸味的年发文章量增速缓慢,说明近十年科学家注重减糖、减盐、脱苦、增鲜和甜酸比等健康、情绪和感官科学方面的研究;相较于其它味觉,鲜味和咸味研究尚有诸多不足。通过拟合近十年各味觉年发文章量与时间的关系(图 1),预测出未来 6 年的年发文章量:各味觉的年发文章量虽持续增加,但会拉开差距,主要规律变为甜味>酸味>苦味>鲜味>咸味,该规律与 2023 年 5 月 19 日获得的 2022 年各味觉发文章量的规律一致,其中鲜味的发文章量显著增加。

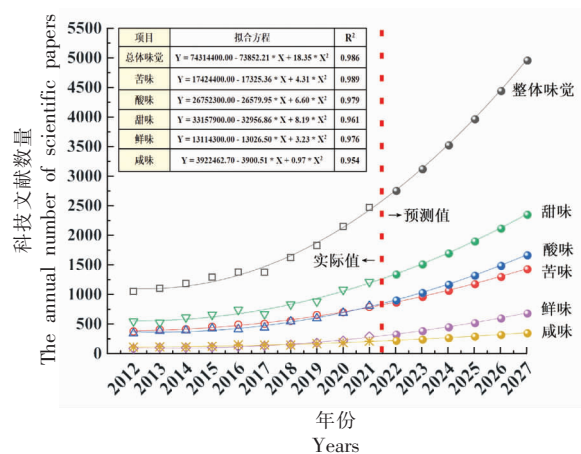


图 1 基本味觉研究的年发文章量及其预测情况

Fig.1 The annual and predicted number of scientific papers in the field of basic taste research

2.2 食品基本味觉研究的主要脉络分析

2.2.1 不同国家的发文章量及其合作关系分析 2012—

2021 年间发文量排名前 10 国家的名单及其被引频次等统计信息见表 1。美国、中国、巴西、意大利、日本、西班牙、德国、英国、印度、韩国、土耳其、伊朗、丹麦和澳大利亚是研究食品基本味觉的主要国家。从整体味觉研究分析,美国的发文量、H 指数、总被引频次和篇均被引频次均排第 1;中国的发文量、H 指数和总被引频次均排第 2,而篇均被引频次还远低于美国、德国和英国;H 指数高于 50 的国家为美国、中国、英国、德国、西班牙和意大利;从年均被引增率来看,巴西排名第 1,其次是韩国、中国、意大利和英国(均远大于 100%),远大于美国。从单种味觉研究的结果分析,美国的酸味、甜味、苦味和咸味发文量均排名第 1,鲜味则排名第 2;中国的鲜味发文量排名第 1,酸味、甜味和苦味排名第 2,咸味排名第 3;各味觉排名前 10 发文量的国家相似,排名前三的几乎均为美国、中国和日本。虽然我国的食物基本味觉研究与部分国家间尚有差距,但潜力强劲,目前已起到举足轻重的引领作用。

采用 VOSviewer 软件设置以下参数,绘制味觉研究领域不同国家间的合作关系图(图 2):共同作者文献数上限为 25 篇,最小发文数为 50 篇,一共筛选出 51 个国家。圆圈和标签构成一个元素;元素的大小反映该国家对味觉的贡献程度;元

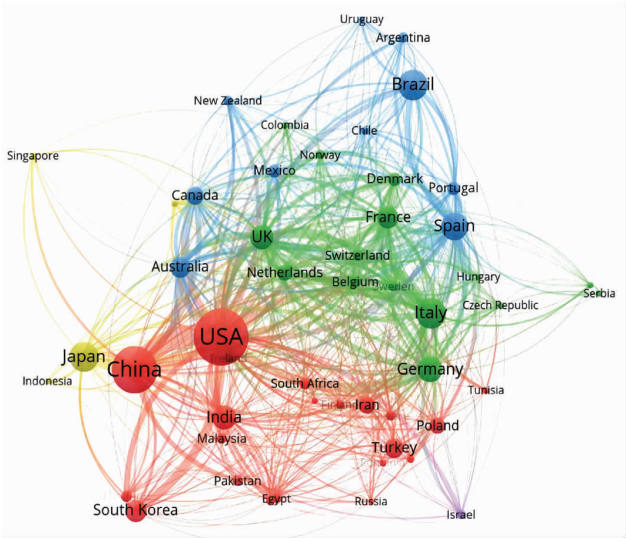


图 2 2012—2021 年期间基本味觉研究领域
主要国家间的合作关系图

Fig.2 The cooperation plot in the field of basic taste
research among the main countries
between 2012 and 2021

素的颜色代表其所属的簇类;元素间的连线越粗,距离越近,代表国家间的合作越密切。由图可知,中国与美国、日本,韩国与印度,巴西与西班牙,意大利与德国和法国等国家间有着较为密切的合作。

表 1 2012—2021 年期间基本味觉研究发文量为前十的国家

Table 1 The top 10 countries whose papers published are the most in the field of basic taste research
between 2012 and 2021

领域	排名	国家	总被引	篇均被	H 指数	年均被	领域	排名	国家	总被引	篇均被	年均被
			频次/ 次	引频 次/次		引增 率/%				频次/ 次	引频 次/次	引增 率/%
5 种基 本味觉	1	美国	68 955	22.12	95	86.80	酸味	1	美国	14 072	21.35	55
	2	中国	28 723	13.47	60	126.23		2	中国	6 916	12.48	38
	3	巴西	12 800	12.3	46	247.31		3	巴西	5 306	10.36	35
	4	意大利	17 495	17.12	54	121.95		4	西班牙	6 496	17.9	39
	5	日本	11 694	11.85	46	78.67		5	意大利	5 957	17.47	38
	6	西班牙	16 889	19.06	57	94.98		6	印度	2 780	8.58	28
	7	德国	16 266	21.63	58	73.19		7	土耳其	2 893	10.12	28
	8	英国	17 275	24.54	59	112.44		8	伊朗	2 962	12.82	28
	9	印度	7 540	11.01	36	88.62		9	日本	2 422	12.11	27
	10	韩国	6 793	11.59	35	162.78		10	韩国	1 905	10.08	22

(续表 1)

领域	排名	国家	总被引 频次/ 次	篇均被 引频 次/次	H 指数	年均被 引增 率/%	领域	排名	国家	总被引 频次/ 次	篇均被 引频 次/次	H 指数	年均被 引增 率/%
甜味	1	美国	46 388	23.39	84	79.82	苦味	1	美国	32 198	25.1	73	87.85
	2	中国	12 122	12.92	48	111.12		2	中国	10 169	13.8	43	100.47
	3	日本	7 107	13.26	41	81.30		3	日本	5 944	12.7	37	86.63
	4	意大利	7 768	16.89	43	97.46		4	意大利	8 380	18.38	43	116.60
	5	巴西	6 596	14.37	38	290.47		5	德国	9 349	22.1	47	74.41
	6	英国	10 698	23.26	49	101.51		6	英国	7 701	26.93	45	110.21
	7	西班牙	7 836	20.68	43	95.97		7	西班牙	4 565	17.76	33	72.91
	8	德国	8 214	21.85	47	64.91		8	巴西	3 098	13.53	31	191.34
	9	澳大利亚	7 372	22.68	44	153.68		9	法国	4 403	20.2	33	74.07
	10	法国	6 479	22.04	41	79.13		10	澳大利亚	4 223	20.7	35	278.42
咸味	1	美国	7 473	22.37	45	112.62	鲜味	1	中国	8 215	15.62	46	94.40
	2	日本	1 775	11.38	23	187.22		2	美国	9 467	28.86	50	68.39
	3	中国	1 691	11.2	21	86.45		3	日本	3 947	14.84	33	73.45
	4	巴西	1 570	15.39	24	277.93		4	韩国	1 124	12.63	17	84.09
	5	德国	1 566	18.21	22	76.16		5	德国	1 819	25.99	23	84.80
	6	意大利	1 519	17.66	23	141.13		6	英国	1 486	26.54	20	186.61
	7	韩国	709	8.44	16	229.49		7	意大利	1 045	20.49	19	123.63
	8	西班牙	1 424	18.03	24	64.82		8	澳大利亚	1 139	24.23	20	159.15
	9	法国	1 266	18.35	23	71.09		9	西班牙	654	15.95	15	92.46
	10	英国	1 292	19	23	70.32		10	丹麦	719	17.98	15	68.29

注:计算年均被引增长率时,不考虑发文量为 0 的年份。

2.2.2 不同研究机构的发文量及其合作关系分析

表 2 为发文量排名前 10 的研究机构名单及其 H 指数。从表中机构出现频次分析,法国国家农业食品与环境研究院、莫奈尔化学感官中心、加州大学和法国国家科学研究中心是研究味觉最多的机构。从味觉研究的整体分析,发文量前十的机构中,发文量最多的来自美国,其次是法国;瓦尔宁根大学和印度农业研究理事会分别排名第 9 和第

10;莫奈尔化学感官中心和加州大学的总被引频次和篇均被引频次最高。从单种味觉研究的结果分析,酸味、苦味、甜味、鲜味和咸味发文量最多的机构分别为印度农业研究理事会、莫奈尔化学感官研究中心、加州大学、莫奈尔化学感官研究中心和法国国家农业食品与环境研究院;我国研究机构仅在鲜味领域发文量进入前 10。

表 2 2012—2021 年期间基本味觉研究方面发文量前十的研究机构

Table 2 The top 10 institutions whose papers published are the most in the field of basic taste research between 2012 and 2021

领域	排名	机构名称	H 指数	领域	排名	机构名称	H 指数	领域	排名	机构名称	H 指数
5 种基本 味觉	1	法国国家农业食品与 环境研究院	41	酸味	1	印度农业研究理事会	15	甜味	1	加州大学	41
	2	加州大学	49		2	法国国家农业食品与 环境研究院	25		2	法国国家农业食品与 环境研究院	30

(续表 2)

领域	排名	机构名称	H 指数	领域	排名	机构名称	H 指数	领域	排名	机构名称	H 指数
苦味	3	法国国家科学研究中心	32	3	西班牙最高科研理事会	20	3	莫奈尔化学感官研究中心	42		
	4	莫奈尔化学感官研究中心	47	4	巴西国家农业研究公司	11	4	瓦格宁根大学	30		
	5	西班牙最高科研理事会	30	5	伊斯兰阿萨德大学	15	5	佛罗里达州立大学	30		
	6	佛罗里达州立大学	34	6	美国农业部	18	6	北卡罗来纳大学	27		
	7	Udice French Research Universities	39	7	加州大学	26	7	法国国家科学研究中心	25		
	8	L'Institut Agro	33	8	佛罗里达州立大学	15	8	L'Institut Agro	25		
	1	莫奈尔化学感官研究中心	42	咸味	1	法国国家农业食品与环境研究院	21	鲜味	1	莫奈尔化学感官研究中心	23
	2	加州大学	39	2	法国国家科学研究中心	21	2	北京工商大学	14		
	3	法国国家农业食品与环境研究院	28	3	L'Institut Agro	20	3	上海海洋大学	16		
	4	德国慕尼黑理工大学	25	4	Agrosup Dijon	20	4	江南大学	19		
	5	Udice French Research Universities	25	5	法国勃艮第大学	20	5	日本九州大学	16		
	6	宾夕法尼亚大学	33	6	莫奈尔化学感官研究中心	20	6	味之素公司	16		
	7	法国国家科学研究中心	21	7	瓦格宁根大学	14	7	哥本哈根大学	13		
	8	佛罗里达州立大学	25	8	巴西圣保罗大学	10	8	上海交通大学	11		

采用 VOSviewer 软件通过设置以下参数绘制不同研究机构间的合作关系图(图 3):共同作者上限为 15 人,最小发文数为 40 篇,一共筛选出 106 个学术机构。由图可知,限制条件后,莫奈尔化学感官研究中心、加州大学戴维斯分校、江南大学和中国科学院大学等机构的发文量较大,这些机构间的合作较为频繁,我国机构已在该领域具备一定的影响力。

2.2.3 主要学术期刊的发文量及其相互引用关系分析 近十年发表味觉论文数量前十的学术期刊依次为 Food Chemistry、LWT、Journal of Agriculture and Food Chemistry、Journal of Food Science、Food Quality and Preference、Foods、Journal of Food Science and Technology Mysore、Food Research International、Journal of the Science of Food and Agriculture、Journal of Food Processing and Preference。发表酸味、甜味、苦味、鲜味和咸

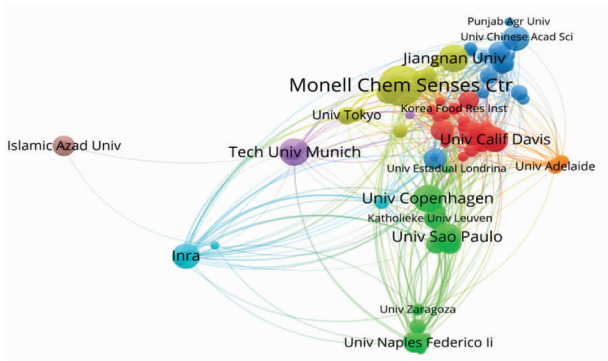


图 3 2012—2021 年期间基本味觉研究领域主要学术机构间的合作关系图

Fig.3 The cooperation plot in the field of basic taste research between the main institutions between 2012 and 2021

味最多的期刊分别为 LWT、Food Quality and Preference、Food Chemistry、Food Chemistry 和 Food Quality and Preference。此外,采用

VOSviewer 软件通过限制最小发文量 65 篇, 获得期刊间的互引关系图(图 4)。由图可知, 食品期刊间的互引较为常见;Molecules、Scientific Reports

和 PLOS One 等非食品类综合期刊也存在较多相关报道与互引, 说明学科交叉融合是该领域研究的趋势之一。

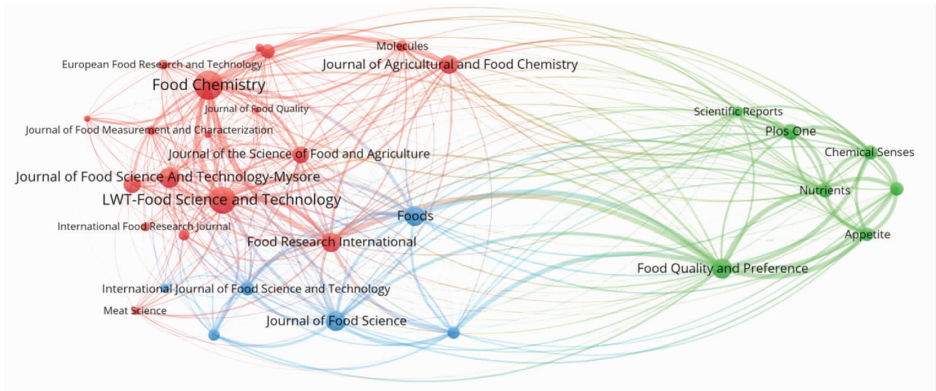


图 4 2012—2021 年期间基本味觉研究领域主要期刊间的互引关系图

Fig.4 The mutual citation plot in the field of basic taste research between the main journals between 2012 and 2021

2.2.4 主要作者的发文量及其合作关系分析
表 3 为发文量排名前 10 的作者名单及其 H 指数。从味觉研究的整体分析, 发文量前 3 的作者均来自德国, 前 10 的作者中, 还有巴西 3 人, 美国 2 人, 荷兰和英国各 1 人。从单种味觉研究的结果分析, 我国科学家在鲜味领域前 10 的作者中占 6 席, 在其它味觉领域尚无席位; 酸味、苦味、甜味、鲜味和咸味领域发文量最多的作者分别为 Bai JH、Meyerhof W、De Graaf C、Zhang YY 和 Prinyawiwatkul W; 大量作者涉足多个味觉领域, 比如 Hofmann T 的研究领域包括咸味、苦味和麻味^[31]; Meyerhof W 的研究领域包括苦味和鲜味, Spence C 的研究领域包括酸味、咸味和甜味。味觉往往是交互的, 比如糖精钠既具有甜味也具有苦味。因此, 科学家并不会仅研究一种味觉。

采用 VOSviewer 软件设置以下参数绘制主要作者间的合作关系图(图 5): 限制最大共同作者上限为 10, 最小发文数为 10 篇, 一共筛选出 209 位作者。其中, 节点的大小反映该作者发文量的多少, 节点间连线越粗越短代表作者间的合作关系越强, 节点间连线越多代表其合作的作者越多, 节点颜色代表合作的群组。由图可知, 味觉领域的合作研究较为频繁, 主要存在于同国家作者之间, 有一部分是同一个课题组成员或同一个单位同事之间; Meyerhof W、Hayes JE 和 Misaka T 等作者均是合

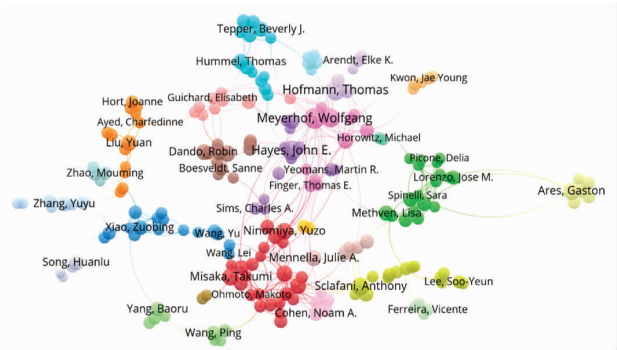


图 5 2012—2021 年期间基本味觉研究领域主要作者间的合作关系图

Fig.5 The cooperation plot in the field of basic taste research between the main authors between 2012 and 2021

作较多的作者。

2.3 食品基本味觉研究的演化趋势分析

2.3.1 味觉研究关键词的时序分析 文献关键词的时序分析可获得某一时期学科领域研究的热点及其演化趋势, 各关键词的共现频次反映出其在研究领域的影响力。取每年中频数排在前 10 的关键词, 共得到 22 个关键词, 分别为 quality(质量)、taste(味道)、perception(感知)、flavor(风味)、fruit(水果)、food(食品)、identification(识别)、expression(表达)、sweet taste(甜味)、sucrose(蔗糖)、storage(储藏)、color(颜色)、sensitivity(敏感性)、

表 3 2012—2021 年期间基本味觉研究发文量前十的作者

Table 3 The top 10 authors whose papers published are the most in the field of basic taste research between 2012 and 2021

领域	排名	作者	研究机构	总被引 频次/次	篇均被引 频次/次	H 指数
五种基本味觉	1	Meyerhof Wolfgang	德国人类营养研究所	2 694	36.41	32
	2	Hofmann Thomas	德国慕尼黑理工大学	1 287	20.11	22
			德国人类营养研究所			
	3	Behrens Maik	德国人类营养研究所	1 740	32.83	26
	4	Spence Charles	英国牛津大学	1 780	34.23	26
	5	Bolini Helena Maria Andre	巴西坎皮纳斯州立大学	1 166	23.32	20
	6	Drake Mary Anne	美国北卡罗来纳州立大学	999	19.98	20
	7	Hayes John	美国宾夕法尼亚州立大学	1 259	32.28	22
	8	De Graaf Cees	荷兰瓦格宁根大学	1 242	25.88	22
	9	Pimentel Tatiana Colombo	巴西巴拉纳联邦教育技术研究所	668	19.65	14
甜味	10	Cruz Zandriano	巴西坎皮纳斯大学	1 624	50.75	25
	1	De Graaf Cees	荷兰瓦格宁根大学	1 194	26.53	21
	2	Bolini Helena Maria Andre	巴西坎皮纳斯州立大学	995	23.69	17
	3	Spence Charles	英国牛津大学	1 487	35.4	24
	4	Drake Mary Anne	美国北卡罗来纳州立大学	789	19.73	17
	5	Sclafani Anthony	纽约市立大学	812	21.37	15
	6	Meyerhof Wolfgang	德国人类营养研究所	1 048	32.75	19
	7	Ares Gaston	乌拉圭共和国大学	633	22.61	14
	8	Misaka Takumi	日本东京大学	441	16.33	11
	9	Dando Robin	美国康奈尔大学	438	16.85	12
咸味	10	Ninomiya Yuzo	日本九州大学	1 038	33.48	18
	1	Prinyawiwatkul Witoon	美国路易斯安那州立大学	156	10.4	8
	2	Thomas-Danguin Thierry	法国勃艮第大学	205	17.08	8
	3	Hummel Thomas	德国慕尼黑理工大学	315	28.64	8
			德国人类营养研究所			
	4	Salles Christian	法国国家农业、食品和环境研究所	289	26.27	9
	5	Spence Charles	英国牛津大学	297	27	9
	6	Hofmann Thomas	德国慕尼黑理工大学	200	20	7
			德国人类营养研究所			
	7	Septier Chantal	法国国家农业、食品和环境研究所	267	26.7	9
酸味	8	Dinnella Caterina	意大利佛罗伦萨大学	260	26	8
	9	De Graaf Cees	荷兰瓦格宁根大学	344	38.22	7
	10	Freitas Monica Queiroz	巴西弗鲁米嫩塞联邦大学	390	43.33	9
	1	Bai JinHe	英国牛津大学	382	13.17	11
	2	Spence Charles	英国牛津大学	705	29.38	16
	3	Plotto Anne	美国农业研究局	320	13.91	10
	4	Baldwin Elizabeth Amory	美国农业研究局	355	16.9	10
	5	Hernández Francisca	西班牙米格尔·埃尔南德斯·德埃 尔切大学	530	29.44	13
	6	Pimentel Tatiana Colombo	巴西巴拉纳联邦教育技术研究所	357	21	8
	7	Laaksonen Oskar	芬兰图尔库大学	208	13.87	9
	8	Velasco Carlos	英国牛津大学	501	33.4	12
	9	Monteleone Erminio	意大利佛罗伦萨大学	449	32.07	10
	10	De Graaf Cees	荷兰瓦格宁根大学	315	22.5	9

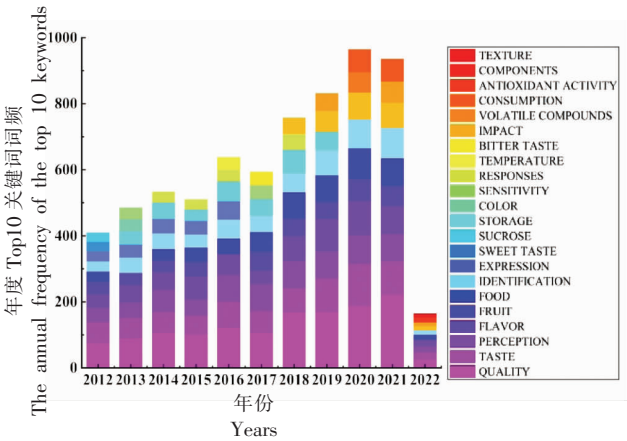
(续表 3)						
领域	排名	作者	研究机构	总被引 频次/次	篇均被引 频次/次	H 指数
苦味	1	Meyerhof Wolfgang	德国人类营养研究所	2 310	37.26	30
	2	Hofmann Thomas	德国慕尼黑理工大学	1 032	21.06	18
			德国人类营养研究所			
	3	Behrens Maik	德国人类营养研究所	1 696	34.61	26
	4	Hayes John	美国宾夕法尼亚州立大学	1 189	33.97	22
	5	Chelikani Prashen	加拿大曼尼托巴大学	638	21.27	16
	6	Lee Robert	美国宾夕法尼亚州立大学	1 640	54.67	20
	7	Palmer James	美国宾夕法尼亚州立大学	1 312	45.24	17
	8	Adappa Nithin	美国宾夕法尼亚州立大学	1 305	46.61	17
	9	Melis Melania	意大利卡里利亚大学	640	23.7	15
鲜味	10	Barbarossa, Lole Tomassini	意大利卡里利亚大学	652	24.15	16
	1	Zhang YuYu	北京工商大学	259	12.33	9
	2	Ninomiya Yuzo	日本九州大学	718	35.9	15
	3	Liu Yuan	上海交通大学	226	12.56	8
	4	Wang XiChang	上海海洋大学	378	22.24	9
	5	Song HuanLu	北京工商大学	278	16.35	7
	6	Wang WenLi	上海交通大学	198	13.2	6
	7	Misaka Takumi	东京大学	432	30.86	9
	8	Margolskee Robert	莫奈尔化学感官研究中心	546	39	11
	9	Maeyerhof Wolfgang	德国人类营养研究所	453	34.85	10
	10	Zhang XiaoMing	江南大学	335	25.77	9

注:该表所收集数据未考虑作者重名的情况。

responses (响应)、temperature (温度)、bitter taste (苦味)、impact(影响)、volatile compounds(挥发性化合物)、consumption (食用)、antioxidant activity (抗氧化活性)、components (成分) 和 texture (质地),如图 6 所示。近十年,每年的 Top10 关键词变化较大,其总量也明显增加,其中 quality、taste、perception、flavor、identification 和 food 等关键词始终保持着热度,说明食品基本味觉的评价、研究、分析与鉴定始终是该领域的主要内容。近年来,texture、components、impact、volatile compounds、antioxidant activity、consumption 和 color 等关键词的出现,说明食品组成及其活性、食品风味与色泽、味觉影响、食品质构与食品消费等在食品基本味觉领域也正在或者曾经获得较多关注。

2.3.2 食品基本味觉研究热点的演化趋势分析

2.3.2.1 Top10 高被引文献分析 文献被引用频次越高,说明其在领域内的影响力越高。酸味、甜味和苦味领域被引频次最高的文献分别为《What controls fleshy fruit acidity? A review of malate



注:2022 年 5 月检索。

图 6 2012—2021 年期间基本味觉研究领域整体年 Top10 高频关键词的演化分布图

Fig.6 The annual distribution map of the top 10 high-frequency keywords per year in the field of basic taste research between 2012 and 2022

and citrate accumulation in fruit cells》^[19]、《Nutrient-sensing mechanisms and pathways》^[20]和《Tuft cells, taste-chemosensory cells, orchestrate para-

site type 2 immunity in the gut》^[21], 咸味和鲜味领域被引频次最高的论文均为《CALHM1 ion channel mediates purinergic neurotransmission of sweet, bitter and umami tastes》^[22]。通过系统分析各味觉被引频次 Top10 论文,可以得到以下规律: 研究论文的影响力并不比综述低; 这些研究均存在大量的味觉交互研究; 研究涉及细胞、离子通道、食物喜好、脂质体包埋、发酵、受体与酶、基因、健康与营养、动植物、化学合成、传感器和药物等多学科交叉综合领域; 酸味和鲜味的高被引论文的重叠程度最高, 而甜味与其它味觉间的重叠程度最低。

2.3.2.2 Top10 频数关键词分析 采用 Citespace 软件共现图谱的绘制功能, 获得不同味觉研究的 Top10 词频关键词(图 7), 其与图 6 中整体味觉的 Top10 高频关键词分布相近。酸味研究主要关注水果、酚类成分、风味物质与抗氧化性, 以及食物的储存与发酵等方面。甜味研究主要关注氨基酸、细胞、强度和饮食习惯等方面。苦味研究主要关注苦味感知、质量、评价及其受体等方面。咸味研究主要关注咸味的感知、质量、食品和喜好以及减盐等方面。鲜味研究主要关注鲜味的质量、氨基酸、受体和组成等方面。

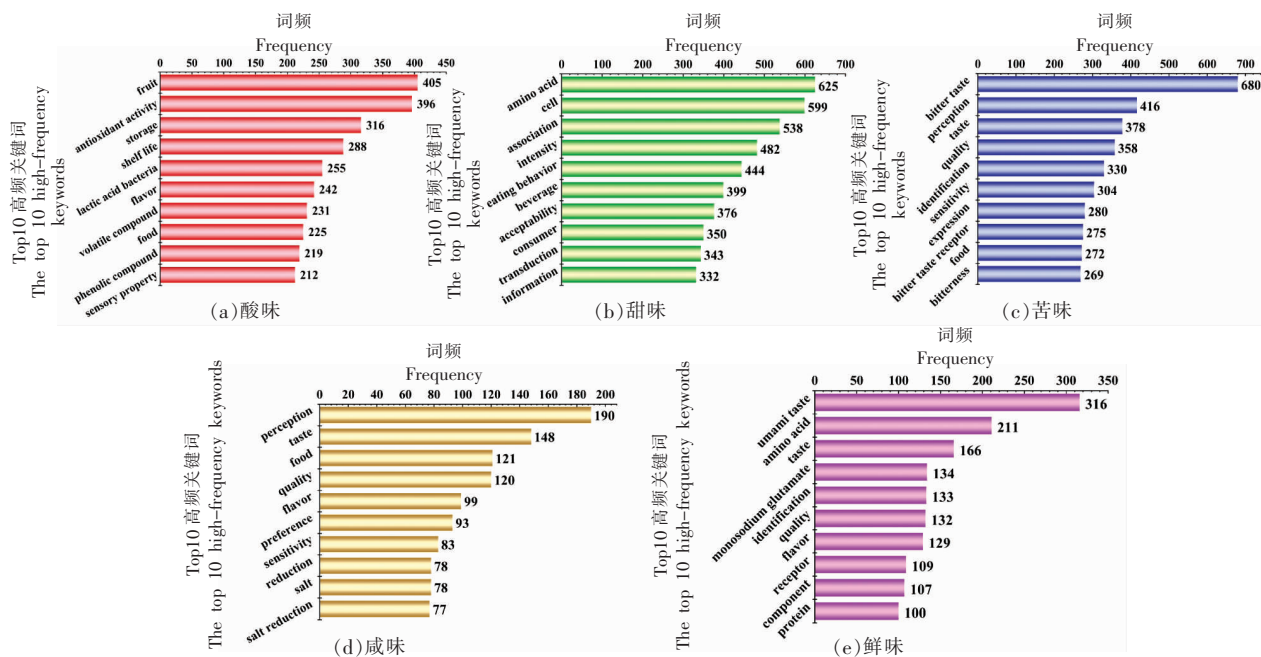


图 7 2012—2021 年期间基本味觉研究 Top10 高频关键词的条形图

Fig.7 The top 10 high-frequency keyword bar chart of five basic taste research between 2012 and 2021

2.3.2.3 基本味觉研究的演化路径分析 采用 Citespace 软件绘制了各味觉研究的文献共被引聚类时间线视图, 以揭示不同类型味觉研究的关注点, 刻画味觉研究的演化路径。聚类模块值(Q 值)在 0.85~0.92 之间, 表明聚类结构显著; 聚类平均轮廓值(S 值)在 0.93~0.97 之间, 表明聚类是可靠的。图 8 中的结果表明味觉研究的文献共被引聚类时间线视图的统计质量优秀, 其中聚类编号为纵坐标轴, 引文发表年份为横坐标轴。圆圈代表文献, 颜色越深, 表示该文献初次被引时间越早, 更

早受到领域关注; 圆圈越大, 表示该文献被引频次越多, 该主题研究热点强度更高; 连线代表共引或共现关系, 连线越粗, 代表相互间联系越紧密。根据各个聚类的时间跨度和研究进程可判断出基础性主题及新兴主题。基础性主题的研究时段较早, 颜色深, 高共被引文献圆点大, 对研究起支撑或铺垫作用。新兴主题的研究时段较晚, 颜色淡, 虽已经取得进展, 但是仍需深入研究。

图 8a 所示, 苦味研究方面, 基础性主题较多, 包括 #0 苦味啤酒花衍生物、#4 胃癌风险、#5 遗传

敏感性、#6 电子舌、#7 环境影响、#8 胃肠道、#13 慢性鼻窦炎、#15 味觉受体细胞、#18 甜味受体、#20 味觉受体基因、#22 味蕾和 #24 果蝇大脑。新兴主题有 #2 口腔微生物群组成、#10 苦味奎宁、#14 黑腹果蝇、#23 计算机分子模拟方法和 #25 岛叶皮层。另外, #0、#11 摄食行为、#13 和 #19 族细胞等主题作为热点一直持续至今。图 8b 所示, 酸味研究方面, 基础性主题有 #4 分子机制、#6 食物幸福感、#7 感官特性、#11 食物喜好、#13 感应和 #18 脂肪味。新兴主题有 #1 代谢综合征、#2 不同类型和 #15 感官性质。处于两者之间的主题有 #13 产品喜好、#8 精油和 #14 蔬菜等。图 8c 所示, 甜味研究方面, 基础性主题主要包括 #5 味觉细胞表达、#7 上皮细胞、#10 口服葡萄糖载量、#15 蛋白偶联受体、#16 葡萄糖低聚物、#19 苦味受体基因、#20 慢性鼻窦炎和 #21 人类脂肪味感知。新兴主题有 #0 胃绕道手术、#12 非营养性甜味剂、#18 丹麦消费者、#22 风味电子烟和 #27 乳酸。图 8d 所

示, 鲜味研究方面, 基础性主题有 #0 膳食谷氨酸、#4 化学感知基因、#7 厚味物质增强剂、#10 味觉受体基因、#13 营养素摄入、#14 行为证据和 #17 膳食味觉模式。新兴主题有 #1 呈味组分、#2 烹饪香料、#3 分子对接研究、#6 电子舌、#15 谷氨酸钠、#16 美拉德反应产物、#18 计算机分子模拟方法和 #19 自然来源。图 8e 所示, 咸味研究方面, 基础性主题有 #0 味觉受体细胞、#1 香气强度、#4 儿童和 #15 香料调味料。新兴主题有 #2 音猬因子表达、#5 花椒精油、#13 消费者偏好、#14 减钠策略和 #18 低钠, 其中减钠不减咸味的研究正是当前研究的热点。#7 盐替代物、#11 水中乳液和 #19 遗传能力曾是重要主题。

综上所述, 基础性主题和新兴主题均涉及食品科学、食品风味、生物化学与分子生物学、分析化学等学科领域, 而且计算机辅助的分子模拟技术、传感器等先进技术已在味觉研究中发挥重要作用。

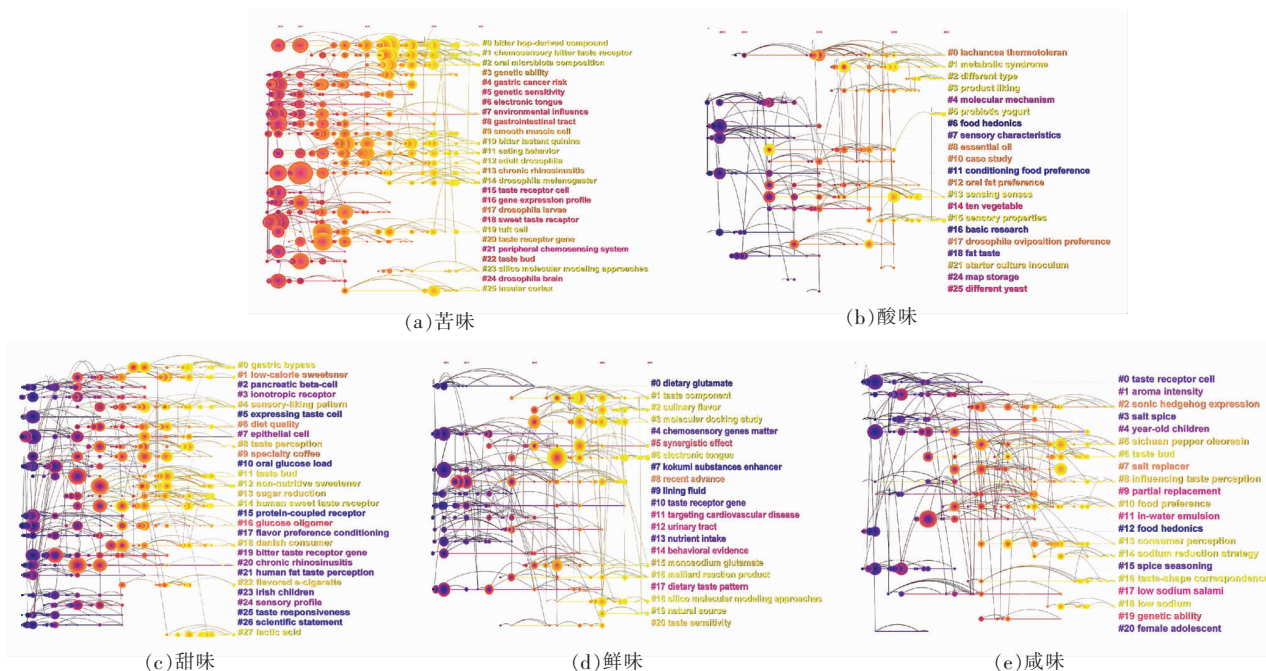


图 8 2012—2021 年期间各基本味觉研究的文献共被引聚类图谱

Fig.8 The document co-citation clustering map of five basic taste research between 2012 and 2021

2.4 不同味觉组合研究热点的演化趋势分析

目前不同味觉间的交互研究的整体现状还不明朗, 本文对此做一些探索性分析。考虑很难精准获得不同味觉间交互研究的文献, 本文以味觉间

两两组合的文献进行数据分析。

2.4.1 Top10 高被引文献分析 通过分析不同味觉组合的文献可知, 苦味-甜味领域被引频次最高的文献为《Tuft cells, taste-chemosensory cells,

2.4.3 关键词突现分析 采用 Citespace 软件绘制了不同味觉组合文献突现强度前 20 关键词的突现词图谱(图 10),呈现出味觉组合主题的发展趋势。许多关键词早在 2012 甚至更早就出现了突现,并持续到 2017 年,比如苦味与不同味觉间交叉研究在早期就有大量突跃。所有关键词的突现强度不高(<7),远小于麻辣味(<42),说明相关主题可能比较分散。甜味-苦味或酸味领域交叉研究关键词的突现强度普遍较高,说明这些领域是目前味觉研究的热点。不同味觉组合的突现关键词中包含其它味觉,比如苦味-酸味中存在鲜味,咸味和甜味中存在苦味,说明在早期研究中多种味

觉交叉研究较为频繁。这些突跃词中,小鼠和苦味受体持续了 5 年;谷氨酸钠、小鼠和涩味持续了 4 年;涩味、鲜味、小鼠、胃肠道、人类、细胞、辨别、味觉受体、食物喜好、形体、转导、蔗糖、挥发性化合物和电子舌持续了 3 年,这些主题均是研究的热门领域。目前各味觉组合研究领域的热点主题是生活品质、多样性、抗氧化活性、剖面、发酵、聚酚、膳食摄入、色泽、萃取、挥发物、喜好、感官特征、形体、辨别、感官分析、芳香、蛋白质、游离氨基酸、温度、质构和受体细胞等,说明味觉研究较为关注感官的综合评价、组成分析、味觉机理、风味过程监控、消化吸收和健康效应等。

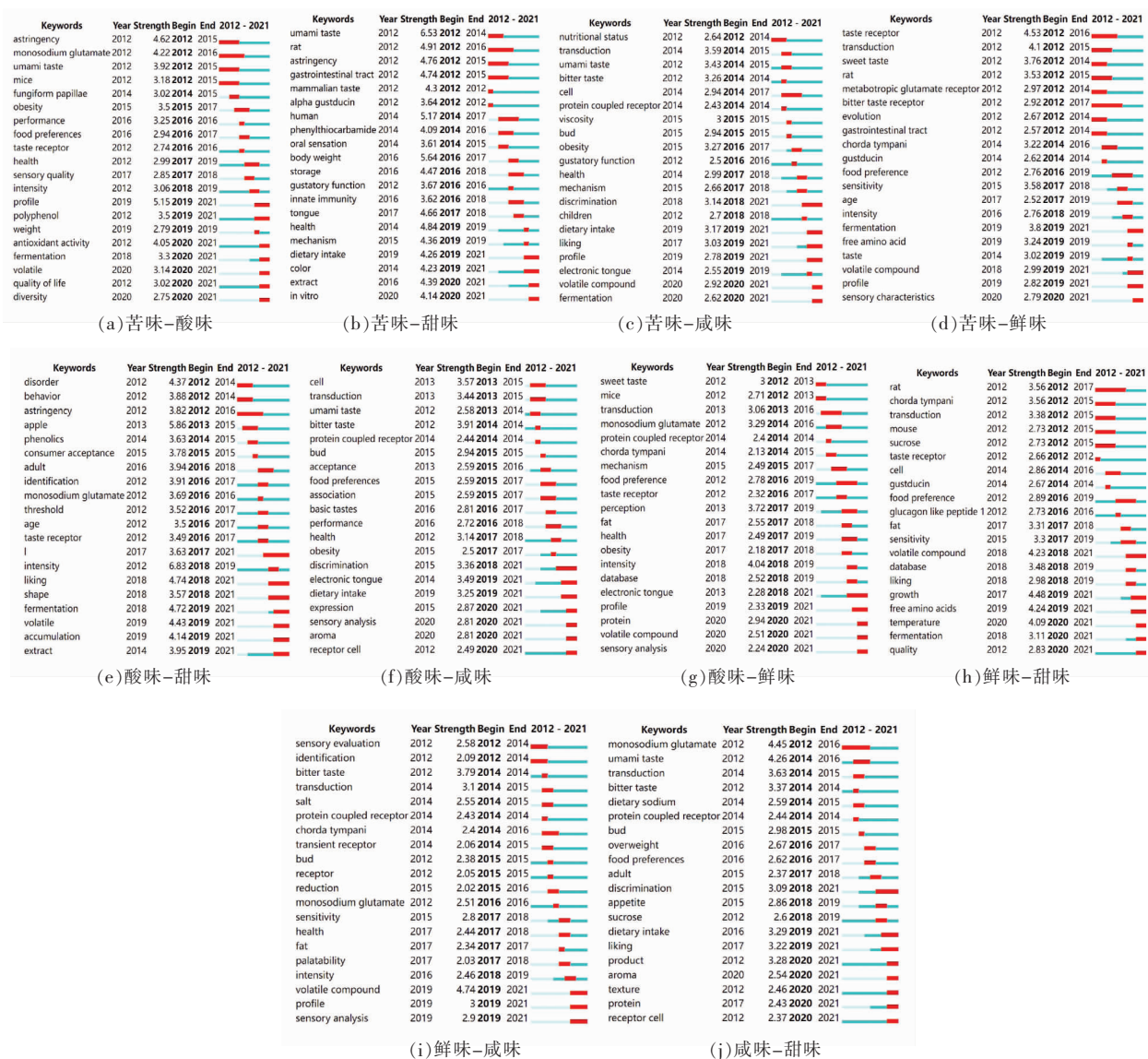


图 10 2012—2021 年期间 5 类基本味觉组合研究的关键词突现词图谱

Fig.10 The jump keywords map of the cross-over study of five different basic tastes between 2012 and 2021

3 结论

本文对近十年食品基本味觉研究领域的文献进行了计量分析。结果表明:食品基本味觉研究逐年呈递增趋势,其中,甜味的研究热度最高,其次,依次为酸味、苦味、鲜味和咸味。不同国家、机构和作者间的合作较为频繁,发文量前五的国家依次为美国、中国、巴西、意大利和日本;酸味、苦味、甜味、鲜味和咸味发文量最多的机构分别为印度农业研究理事会、莫奈尔化学感官研究中心、加州大学、莫奈尔化学感官研究中心和法国国家农业食品与环境研究院;发文量前十的作者来自德国、巴西、美国、荷兰和英国。我国的基本味觉研究与上述国家间尚有差距,目前发文量仅在鲜味领域进入前十,然而我国研究潜力强劲,整体发文量鲜味排名第1,酸味、甜味和苦味排名第2,咸味排名第3。食品基本味觉研究关键词的时序分析和演化路径分析明确了各味觉的基础性主题和新兴主题,揭示了较为明显的学科交叉融合趋势,其主要涉及生物化学、分子生物学、神经科学、食品科学与工程、植物科学、化学合成、药物、传感器、计算机科学、心理学、医学、健康与营养等领域,且不同味觉的高频关键词有较大的差异。此外,还分析了10种食品基本味觉组合研究热点的演化趋势,发现大量工作报道了味觉交互与组合研究,高频次关键词主要为味觉、感知、质量、风味、蛋白质、感官和受体。关键词突现分析表明,味觉研究较为关注感官的综合评价、组成分析、味觉机理、风味过程监控、消化吸收和健康效应等,然而所有关键词的突现强度不高,说明相关主题研究可能比较分散,其中甜味-苦味或酸味领域是目前味觉研究的热点。

综上文献计量分析研究结果,我国还需进一步加强基本味觉的原创基础研究,保持鲜味研究的优势与力度,侧重味觉交互与协同研究,围绕研究热点,加强学科交叉融合和国内外合作,助力解决食品、药品等生产过程中众多风味的科学共性问题。

【致谢】

本文得到“四川省川菜发展研究中心项目(CC22Z03)”的支持。

参考文献

- [1] CHEN K X, XUE L L, LI Q Y, et al. Quantitative structure-pungency landscape of sanshool dietary components from *Zanthoxylum* species[J]. Food Chemistry, 2021, 363: 130286.
- [2] TAO W W, LI Q Y, CHEN K X, et al. Mechanistic elucidation of the oral pungency of capsaicin-related dietary components: Spatial structural insights[J]. Food Chemistry, 2021, 353: 129429.
- [3] AMINO Y, NAKAZAWA M, KANEKO M, et al. Structure-CaSR-activity relation of kokumi γ -glutamyl peptides[J]. Chemical and Pharmaceutical Bulletin, 2016, 64(8): 1181-1189.
- [4] TUCKER R M, MATTES R D, RUNNING C A. Mechanisms and effects of "fat taste" in humans[J]. Biofactors, 2014, 40(3): 313-326.
- [5] 毕继才, 崔震昆, 张令文, 等. 苦味传递机制与苦味肽研究进展[J]. 食品工业科技, 2018, 39(11): 333-338.
BI J C, CUI K Z, ZHANG L W, et al. Review in bitter taste transfer mechanism and bitter peptides[J]. Science and Technology of Food Industry, 2018, 39(11): 333-338.
- [6] 刘源, 朱忆雯, 李明阳, 等. 食品鲜味研究热点: 争议与功能[J]. 食品科学, 2022, 43(19): 8-16.
LIU Y, ZHU Y M, LI M Y, et al. Hot topics in umami research: Controversy and function[J]. Food Science, 2022, 43(19): 8-16.
- [7] 陕怡萌, 蒲丹丹, 张玉玉, 等. 食品减盐方法研究进展[J]. 食品科学, 2022, 43(13): 267-275.
SHAN Y M, PU D D, ZHANG Y Y, et al. A review of methods for salt reduction in foods[J]. Food Science, 2022, 43(13): 267-275.
- [8] LE B, YU B, AMIN M S, et al. Salt taste receptors and associated salty/salt taste-enhancing peptides: A comprehensive review of structure and function[J]. Trends in Food Science & Technology, 2022, 129: 657-666.
- [9] LIU B, LI N N, CHEN F S, et al. Review on the release mechanism and debittering technology of bitter peptides from protein hydrolysates[J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2022, 21(6): 5153-5170.
- [10] SHI Y G, PU D D, ZHOU X W, et al. Recent

- progress in the study of taste characteristics and the nutrition and health properties of organic acids in foods[J]. *Foods*, 2022, 11(21): 3408.
- [11] ZHU Y, LIU J, LIU Y. Understanding the relationship between umami taste sensitivity and genetics, food-related behavior, and nutrition [J]. *Current Opinion in Food Science*, 2023, 50: 100980
- [12] 张佳男, 王华阳, SUN-WATERHOUSE D, 等. 鲜味肽与增鲜肽及其加工特性研究进展[J]. *食品与生物技术学报*, 2022, 41(7): 12-23.
- ZHANG J N, WANG H Y, SUN-WATERHOUSE D, et al. Umami peptides and umami-enhancing peptides and their applications during food processing[J]. *Journal of Food Science and Biotechnology*, 2022, 41(7): 12-23.
- [13] WANG W, YANG L, NING M, et al. A rational tool for the umami evaluation of peptides based on multi-techniques [J]. *Food Chemistry*, 2022, 371: 131105.
- [14] DI PIZIO A, SHOSHAN-GALECZKI Y B, HAYES J, et al. Bitter and sweet tasting molecules: It's complicated [J]. *Neuroscience Letters*, 2019, 700: 56-63.
- [15] CHEN K X, SHEN Q Q, SHEN S Y, et al. In-silico prediction of the sweetness of aspartame analogues from QSPR analysis [J]. *Chinese Journal of Structural Chemistry*, 2018, 37(11): 1689-1702.
- [16] KIM M J, SON H J, KIM Y, et al. Umami-bitter interactions: The suppression of bitterness by umami peptides via human bitter taste receptor[J]. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 2015, 456(2): 586-590.
- [17] JUNGE J Y, BERTELSEN A S, MIELBY L A, et al. Taste interactions between sweetness of sucrose and sourness of citric and tartaric acid among Chinese and Danish consumers [J]. *Foods*, 2020, 9(10): 1425.
- [18] MIRANDA A M, INGRAM M, NUESSLE T M, et al. Factors affecting detection of a bimodal sour-savory mixture and inter-individual umami taste perception [J]. *Food Quality and Preference*, 2021, 89: 104147.
- [19] ETIENNE A, GÉNARD M, LONIT P, et al. What controls fleshy fruit acidity? A review of malate and citrate accumulation in fruit cells[J]. *Journal of Experimental Botany*, 2013, 64(6): 1451-1469.
- [20] ALEJO E, WILLIAM C C, DAVID M S. Nutrient-sensing mechanisms and pathways[J]. *Nature*, 2015, 517: 302-310.
- [21] HOWITT M, LAVOIE S, MICHAUD M, et al. Tuft cells, taste-chemosensory cells, orchestrate parasite type 2 immunity in the gut[J]. *Science*, 2016, 351(6279): 1329-1333.
- [22] AKIYUKI T, VALÉRIE V, MAKOTO O, et al. CALHM1 ion channel mediates purinergic neurotransmission of sweet, bitter and umami tastes [J]. *Nature*, 2013, 495(7440): 223-226.
- [23] MARY F, JIRI B, CRISTINA C, et al. Complementary feeding: A position paper by the european society for paediatric gastroenterology, hepatology, and nutrition (ESPGHAN) committee on nutrition[J]. *Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition*, 2017, 64(1): 119-132.
- [24] VENTURA A K, WOROBEY J. Early influences on the development of food preferences[J]. *Current Biology*, 2013, 23(9): 401-408.
- [25] LIMAN E R, ZHANG Y V, MONTELL C. Peripheral coding of taste[J]. *Neuron*, 2014, 81(5): 984-1000.
- [26] GARRIDO-ROMERO M, AGUADO R, MORAL A, et al. From traditional paper to nanocomposite films: Analysis of global research into cellulose for food packaging[J]. *Food Packaging and Shelf Life*, 2022, 31: 100788.
- [27] 刘彬, 陈柳. 食品科学高被引论文计量分析[J]. *中国食品学报*, 2020, 20(5): 308-318.
- LIU B, CHEN L. A bibliometric study on the highly cited papers of food science[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2020, 20(5): 308-318.
- [28] 郑江平, 程焕, 傅天珍, 等. 从文献计量看中外食品科学研究 [J]. *中国食品学报*, 2018, 18(11): 253-267.
- ZHENG J P, CHENG H, FU T Z, et al. Studies on food science from Chinese and foreign using bibliometrics method[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2018, 18(11): 253-267.
- [29] 贺宇玉, 曾子逸, 王卉, 等. 国内外辣味科学研究的文献计量分析 [J]. *中国食品学报* 2022, 22(1): 424-438.
- HE Y Y, ZENG Z Y, WANG H, et al. Bibliomet-

- ric analysis of the pungent scientific research from China and foreign countries[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2022, 22(1): 424–438.
- [30] 学术点滴, 文献计量. COOC 一款用于文献计量和知识图谱绘制的软件[CP/OL]. (2022–09–27). https://gitee.com/academic_2088904822/academic-drip. Academic Insights, Bibliometrics. COOC is a software used for bibliometrics and knowledge graph drawing. [CP/OL]. (2022–09–27). https://gitee.com/academic_2088904822/academic-drip.
- [31] BADER M, STARK T D, DAWID C, et al. All-trans-configuration in *Zanthoxylum* alkylamides swaps the tingling with a numbing sensation and diminishes salivation[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2014, 62(12): 2479–2488.

Bibliometric Analysis of the Basic Tastes of Food

Fan Shuwen¹, Li Yutong¹, Chen Zihang², Zhang Xinyi¹, Chen Kexian^{*}

(¹*School of Food Science and Biotechnology, Zhejiang Gongshang University, Hangzhou 310018*

²*School of Electronics and Information, Xi'an Polytechnic University, Xi'an 710000*)

Abstract The basic taste of food is closely related to our daily life and food research. Although a large number of landmark achievements have been achieved in this field, and a consensus on some mature mechanisms, laws, and applications has been formed, the present research status, main academic context and future development trends of this field have not been systematically analyzed and summarized. Therefore, 15 445 literature from the core database of the Web of Science from 2012 to 2021 have been selected as the source data, and the bibliometric analysis methods have been used to analyze the number and distribution of literature on the basic taste of food, as well as the evolution trend of the main academic context and keywords. The results indicate that the study of the basic taste in food not only involves in the food flavor and sensory perception, but also involves in the interdisciplinary and integrated fields such as the food texture, biochemistry, molecular biology, molecular simulation technology, sensors, biological activity, and psychology. The number of the taste publications is gradually evolving into the following pattern: sweetness>acidity>bitterness>umami>saltiness, and the first three types of tastes are still the mainstream tastes in the food studies. The United States, China, and Japan are among the top three countries in the basic taste research, and the cooperation between countries is relatively frequent. China ranks second in the world in terms of total publication number, H-index, and total citation frequency, but only in the field of umami, China ranks top ten in terms of total publication number, and the publication number of the individual institutions or authors. In addition, in this paper, the evolution trend and main emerging keywords of basic taste research hotspots in recent years have been analyzed through the literature analysis of the taste combination and keyword jump analysis. Therefore, this paper provides an important guidance for experts and scholars in the fields of food science and so on to grasp the scientific direction, development rules and research hotspots of food basic taste research as a whole, and also provides a theoretical support for the decision-making in the food flavor industry.

Keywords food flavor; basic taste; research hotspots; bibliometric analysis; science citation index