

DOI: 10.16861/j.cnki.zggc.2025.0769

辣椒风味研究热点与前沿的知识图谱分析

石自彬¹, 杜 鹃¹, 吴茂钊², 刘永飞²

(1. 重庆商务职业学院 重庆 401331; 2. 贵州轻工职业大学 贵州贵安 561116)

摘要: 运用中国知网(CNKI)与 Web of Science(WOS)数据库,对 2010—2025 年间辣椒风味相关研究进行系统梳理与文献计量学分析,旨在揭示该领域的研究热点与前沿动态。通过 CiteSpace 与 VOSviewer 软件构建知识图谱,从发文量趋势、期刊分布、作者合作网络及关键词聚类维度展开研究。结果表明,辣椒风味研究总体呈现快速增长态势,尤其自 2019 年以来进入高产阶段,并在 2023 年达到峰值,显示出该领域已成为食品科学的热门方向。中文文献以应用研究为主,集中发表于《中国调味品》《食品科学》等期刊;英文文献更注重理论探索与国际交流,核心期刊包括 *Food Chemistry*, *Food Research International* 等。在作者合作方面,中文文献形成以蒋立文团队为核心的多团队网络,英文文献则以 He Qiang、Chi Yuanlong 等为代表,显示出研究群体逐步形成。关键词聚类揭示,研究重点主要集中在挥发性风味物质的解析、发酵过程调控、乳酸菌功能、加工工艺优化及检测技术创新等方面,中、英文文献均逐渐由单一品种或单因素研究向多维度、交叉学科拓展。整体来看,辣椒风味研究正从传统理化分析走向机制探讨与产业应用相结合,为辣椒制品的品质提升与产业化升级提供了数据支撑和方法参考。

关键词: 辣椒风味; 文献计量学; 可视化分析; CiteSpace; VOSviewer

中图分类号: S641.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-2871(2026)03-237-12

Knowledge map analysis of research hotspots and frontiers in chili flavor study

SHI Zibin¹, DU Juan¹, WU Maozhao², LIU Yongfei²

(1. Chongqing Business Vocational College, Chongqing 401331, China; 2. Guizhou Light Industry Polytechnic University, Gui'an 561116, Guizhou, China)

Abstract: Using the China National Knowledge Infrastructure (CNKI) and Web of Science (WOS) databases, this study systematically reviewed and conducted a bibliometric analysis of research related to chili flavor from 2010 to 2025, aiming to reveal research hotspots and frontier trends in this field. Knowledge maps were constructed using CiteSpace and VOSviewer software to analyze publication volume trends, journal distribution, author collaboration networks, and key words clustering. The results indicate that chili flavor research has experienced rapid growth overall, entering a high-output phase since 2019 and peaking in 2023, demonstrating its emergence as a prominent direction in food science. Chinese language literature predominantly focuses on applied research, concentrated in journals such as *Chinese Condiments* and *Food Science*. English language publications emphasized theoretical exploration and international exchange, with core journals including *Food Chemistry* and *Food Research International*. Regarding author collaboration, Chinese literature forms a multi-team network centered around Jiang Liwen's team, while English literature features representatives like He Qiang and Chi Yuanlong, indicating the gradual formation of distinct research communities. Key words clustering reveals research focuses primarily on the analysis of volatile flavor compound, fermentation process regulation, lactic acid bacteria functionality, processing optimization, and detection technology innovation. Both Chinese and English literature are shifting from single-variety or singlefactor studies toward multidimensional, interdisciplinary approaches. Overall, chili flavor research is evolving from traditional physicochemical analysis toward mechanism exploration combined with industrial applications, providing data support and methodological references for quality enhancement and industrial upgrading of chili pepper products.

Key words: Chili flavor; Bibliometrics; Visualization analysis; CiteSpace; VOSviewer

收稿日期: 2025-11-11; 修回日期: 2026-01-11

基金项目: 重庆商务职业学院项目(2023XJZX02); 贵州省教育厅项目(黔教合 KY 字(2016)332 号); 重庆市教委科学技术研究计划重点项目(KJZD-K202504402)

作者简介: 石自彬,男,副教授,研究方向为烹饪与食品科学、职业教育。E-mail: 270059898@qq.com

通信作者: 吴茂钊,男,高级实验师,研究方向为烹饪与食品科学、黔菜产业。E-mail: 125703547@qq.com

辣椒作为我国种植面积最大、消费量最高的蔬菜之一,在食品工业和日常饮食中发挥着重要作用,辣椒风味研究逐渐成为食品科学的重要议题^[1]。随着消费者对健康饮食、低盐饮食和风味多样化需求的不断增加,辣椒及其制品的研究已从传统的辛辣感,延伸至挥发性风味物质的形成机制、加工工艺调控及功能性成分开发^[2]。特别是在火锅底料、辣椒酱、辣椒油等食品中,辣椒的独特风味已成为决定市场竞争力的关键因素^[3]。辣椒是一种营养丰富、应用广泛的重要作物,含有辣椒素、类胡萝卜素、氨基酸、有机酸,富含多种挥发性化合物,在食品调味和加工中具有重要意义。在绥阳子弹头干椒中检测到 80 种挥发性物质,其中香橙烯、柠檬烯是主要香气成分,总辣椒素含量(w , 后同)达 $632.5 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ (约 9753 SHU), 显示出优良的辛辣和营养品质^[4]。3-甲基丁醛($\text{ROAV}=40$)被鉴定为干辣椒油关键风味物质,对不同品种如二荆条和小米辣赋予其香气与辛辣感的差异^[5]。另外,青辣椒在熬制过程中挥发性风味物质由 54 种增加至 71 种,其中芳樟醇含量提升近一倍,成为区分不同熬制阶段的重要指标^[6]。

加工方式对辣椒风味具有影响。电烤、炭烤与油炸制成的烧椒酱中共检测到 52 种挥发性物质,感官品质评分顺序为炭烤>电烤>油炸^[7]。在辣椒酱发酵过程中,辅料和功能性成分的添加也会显著改变其风味特征。添加花椒的糍粑辣椒在发酵过程中由 81 种风味物质增加到 111 种,并新出现萜类化合物,赋予其复合风味特征^[8];而铁皮石斛的加入则使发酵辣椒酱中多糖、总黄酮和总酚的含量显著提高,并检测到 32 种差异挥发物,其中 11 种被鉴定为关键风味物质,使整体风味更为协调^[9]。此外,苦藟木姜子也被发现对发酵辣椒酱的挥发性物质结构具有显著调控作用,为传统发酵工艺的优化提供了新思路^[10]。在发酵工艺方面,低盐条件下接种乳酸菌和酵母能显著改善辣椒产品风味,乙酸异戊酯含量提升超过 150 倍,增强了果香与醇厚感^[11]。遵义泡辣椒二次发酵发现,样品中共检出 62 种挥发性风味物质,其中酯类、酸类和烷烃类比例显著提升,品质优于传统一次自然发酵^[12]。糍粑辣椒发酵过程中酯类和烷烃类含量随时间延长而下降,而酸类和醇类逐渐增加,进一步验证了发酵对风味物质动态演化的显著作用^[1]。

目前的研究中,一方面多集中于单一品种或单一工艺,缺乏跨品种、跨工艺的系统比较;另一方面,部分研究停留在感官或理化指标分析层面,缺

乏对关键风味物质与微生物代谢、环境因子和加工条件交互作用的深入探讨。因此,有必要综合运用 GC-IMS、GC-MS、电子鼻、电子舌等现代分析技术,结合 CiteSpace、VOSviewer 等文献计量与可视化工具,对辣椒风味研究的热点与发展趋势进行系统梳理,揭示不同原料、工艺及发酵条件下的风味形成规律,探索关键物质与环境因子的内在联系,从而为辣椒制品的产业化升级与特色化发展提供科学依据和数据支持。

1 材料与方法

1.1 文献来源

以中国知网(China National Knowledge Infrastructure, CNKI)和 Web of Science(WOS)数据库进行检索。以 CNKI 数据库作为中文文献数据库,使用高级检索,以主题词“辣椒风味”精确检索,设置时间跨度为 2010—2025 年,共得到 268 条结果,筛选得到 227 篇中文文献,结果以 Refworks 格式导出。在 Web of Science 核心合集文献中,以检索式($\text{TS}=(\text{chili flavor})$) AND $\text{PY}=(2010-2025)$ AND $\text{DT}=(\text{“Article”})$ 得到 254 条结果,筛选后获得 180 篇英文文献,来自 39 个国家 336 个机构的 960 个作者,发表在 90 种期刊上,引用了来自 2116 种期刊的 6369 篇论文。

1.2 分析方法概述

利用 CiteSpace V6.3.R1 软件将这些文本文件转化为 WOS 格式开展文献计量分析,并从机构、作者、关键词等多个维度展开深入研究。为更直观全面地呈现结果,还结合 CNKI 的可视化功能以及 Excel 2016 软件,对近 10 年与辣椒风味相关的文献在年度发文量、发文期刊、作者及其所属机构、关键词等方面进行了统计与可视化分析。研究工具 CiteSpace(引文空间)由陈超美教授基于 Java 开发,能够将发文作者、发文机构、文献关键词等之间的关系通过可视化图谱的方式呈现,清晰揭示某一领域的发展脉络^[13]。本研究选用 CiteSpace 6.2.R4 高级版软件进行知识图谱分析,以期揭示辣椒风味研究的热点与前沿。VOSviewer1.6.20 软件则运用基于概率论的数据标准化方法,提供包括关键词、合作机构、合作作者在内的多种可视化图表,其特点是可视化操作简便且图表美观^[14-15]。通过这些工具的应用,本研究能够宏观地掌握辣椒风味在中英文献中的研究现状和研究焦点,旨在为未来相关研究的深入分析提供有价值的参考和指导。

2 结果与分析

2.1 发文量趋势分析

发文量分析通过对某一研究主题或领域的文献进行计量统计,用以揭示其研究动态与发展趋势,并识别其中的热点问题^[6]。在 Excel 表格中导入 2010—2025 年辣椒风味相关研究期刊文献逐年发文量,以文献发表年份为横坐标,发文量为纵坐标绘制文献年代分布图(图 1)。辣椒风味研究热度呈现爆发增长趋势,近年进入高产阶段。从 2010 年总发文量仅 5 篇,到 2023 年达到峰值 66 篇(中文 39 篇+英文 27 篇),增长超过 12 倍。2024—2025 年虽略有回落,但依然维持在 50 篇左右的高位(2024 年 59 篇,2025 年 49 篇),远超早期水平。具体可分为三个阶段:缓慢发展期(2010—2018),年总发文量在 20 篇以下波动,研究处于萌芽和积累阶段。快速增长期(2019—2023),自 2019 年(29

篇)起,发文量开始迅猛攀升,尤其在 2021—2023 年,增长斜率极为陡峭。高位稳定期(2024—2025),发文量从顶峰小幅下降,但仍维持在高位,表明该领域可能正从爆发期过渡到成熟稳定期。这一趋势清晰地表明,辣椒风味已从一个相对小众的研究主题迅速发展成为食品科学、园艺学或风味化学领域的一个热门方向。背后的驱动因素可能包括:全球对特色饮食、地方风味和食品创新的关注度提升;消费者对“辣味”体验和健康功效的需求增长;气相色谱-质谱(GC-MS)联用、电子舌、电子鼻等分析技术的进步,使得风味物质研究更加深入和可行^[7]。分析中英文文献增长路径,可以发现:在早期(2010—2019),主要由中文文献主导。在 2019 年之前,中文文献发文量除个别年份(2017 年、2018 年)外,多数年份高于英文文献。这表明研究初期主要由中国学者推动,可能与辣椒在中国饮食文化中的重要地位及国内科研投入有关。英文文献在

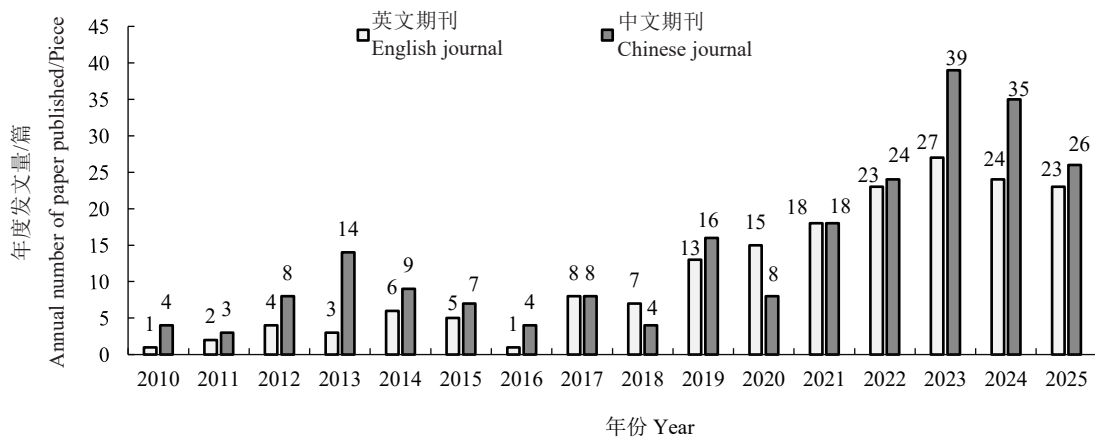


图 1 辣椒风味研究文献 2010—2025 年 CNKI 和 WOS 发文量情况

Fig. 1 Publication trends of chili pepper flavor research in CNKI and Web of Science from 2010 to 2025

2018 年和 2020 年反超中文文献,此后 2 年英文文献也是高速增长。英文文献的激增,其中可能的一大原因就是国内学者发表更多的英文期刊。2023 年是数据范围内的绝对顶峰,总发文量达 66 篇,其中中文文献贡献了主要增量(39 篇)。峰值可能是多年积累的集中爆发,或是受到某些特定政策、大型科研项目或行业热点的强力驱动。而近两年的连续回调是一个非常重要的信号,它可能预示着:最容易挖掘的“低垂果实”已被摘取,研究进入更深、更专的精耕细作阶段,发文速度自然放缓。领域内的核心科学问题和方法论逐步建立,粗放式的数量增长转变为追求高质量、创新性的研究。总体来看,辣椒风味研究在中英文文献中均受到持续关

注,尤其在 2020 年后随着食品风味分析技术^[18]、健康饮食需求^[19]和特色食品产业化发展^[20]的推动,研究热度显著提升。未来该领域的研究可能进一步向风味形成机制、跨品种比较和产业化应用等方向深化。

2.2 期刊分布情况

为了解辣椒风味研究成果的优质发表平台,对发文期刊进行统计分析^[21],结果见表 1。通过对辣椒风味研究领域文献的期刊分布进行文献计量学分析发现,该领域研究成果的发表平台呈现明显的集中性与差异性。中文文献发文高度集中于《中国调味品》(11.45%)、《食品与发酵工业》(5.73%)和《食品科学》(5.29%)等食品工业与应用技术类期

表1 辣椒风味研究文献发文量排名前10的期刊
Table 1 Top 10 journals by publication volume of chili pepper flavor

排名 Rank	中文文献 Chinese literature			英文文献 English literature		
	期刊 Journal	发文量 Number of publications	占比 Percentage/ %	期刊 Journal	发文量 Number of publications	占比 Percentage/ %
1	中国调味品 <i>China Condiment</i>	26	11.45	<i>Food Research International</i>	13	7.22
2	食品与发酵工业 <i>Food and Fermentation Industries</i>	13	5.73	<i>Food Bioscience</i>	13	7.22
3	食品科学 <i>Food Science</i>	12	5.29	<i>Foods</i>	10	5.56
4	中国食品学报 <i>Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology</i>	7	3.08	<i>Food Chemistry</i>	9	5.00
5	中国酿造 <i>China Brewing</i>	6	2.64	<i>Lwt-food Science and Technology</i>	9	5.00
6	食品研究与开发 <i>Food Research and Development</i>	6	2.64	<i>Molecules</i>	4	2.22
7	食品工业 <i>Food Industry</i>	6	2.64	<i>Journal of Food Science</i>	4	2.22
8	现代食品科技 <i>Modern Food Science and Technology</i>	6	2.64	<i>Journal of Food Composition and Analysis</i>	4	2.22
9	食品工业科技 <i>Science and Technology of Food Industry</i>	5	2.20	<i>Journal of the Science of Food and Agriculture</i>	4	2.22
10	食品安全质量检测学报 <i>Journal of Food Safety and Quality</i>	4	1.76	<i>Journal of Sensory Studies</i>	3	1.67

刊,前5种期刊累计占比达28.19%,反映了该研究方向在中文文献中具有较强的应用导向和技术开发特征。相较而言,英文文献发文则更为分散,首位期刊 *Food Research International* 与 *Food Bioscience* 并列(各占7.22%),前5种期刊累计占比为30.00%,表明英文发表平台分布更为多元。英文期刊中 *Food Chemistry* 和 *Lwt-Food Science and Technology* 等具有较高国际影响力的食品科学核心期刊均位列前5,显示出该领域研究在英文中更侧重于基础理论与高端学术交流。两类发表体系共同构成了辣椒风味研究的重要知识传播载体,为研究者追踪学科动态和选择投稿方向提供了明确依据。

2.3 作者分析

为了解辣椒风味研究领域的核心作者及其合作情况,全面了解辣椒风味研究领域的主要学术群体和高产作者,并对作者进行分析^[22]。其中中文文献涉及523位作者,英文文献涉及960位作者,采用VOSviewer软件绘制作者合作图谱结果见图2和图3。节点类型选择合作作者,中文文献形成节点51个、连线158条;英文文献形成节点54个、连线236条。采用普赖斯公式确定辣椒风味研究领

域的核心作者^[23],即 $Z \approx 0.749 \times t_{\max} / 2$, Z 表示核心作者最低发文量, t_{\max} 表示本领域发文量最多作者的发文量,辣椒风味中文文献发文量最多的作者是蒋立文,发文13篇,通过计算得到 $Z_{\text{中文文献}} \approx 3$ 。中文文献核心作者共33人,发文160篇,占总发文量的70.48%。通过图谱可看出,中文文献形成了9个主要的研究团队,蒋立文与7个团队有合作,蒋立文团队主要研究了辣椒发酵制品的品质与风味形成机制^[24-25]。通过分析品种、年份、空间层次等因素,结合GC-MS、高通量测序等技术,揭示其理化特性、微生物群落与挥发性组分的关联,筛选出适宜加工的优良品种与发酵条件,为传统发酵辣椒工业化生产提供理论依据与技术支撑,其长期在剁椒领域的深入研究奠定了其在该领域的核心地位。英文文献发文量由图3可知,Chen Ju的节点最大,说明其在该研究领域的发文量最多,是该领域的重要研究者之一。其次是Wang Min和Shi Lei,其节点规模也相对较大,表明他们在相关研究方向上具有较高的学术产出。从整体合作关系来看,各研究团队之间存在一定程度的合作联系,但合作网络整体仍较为分散,表明该领域的研究团队之间仍有进一步加

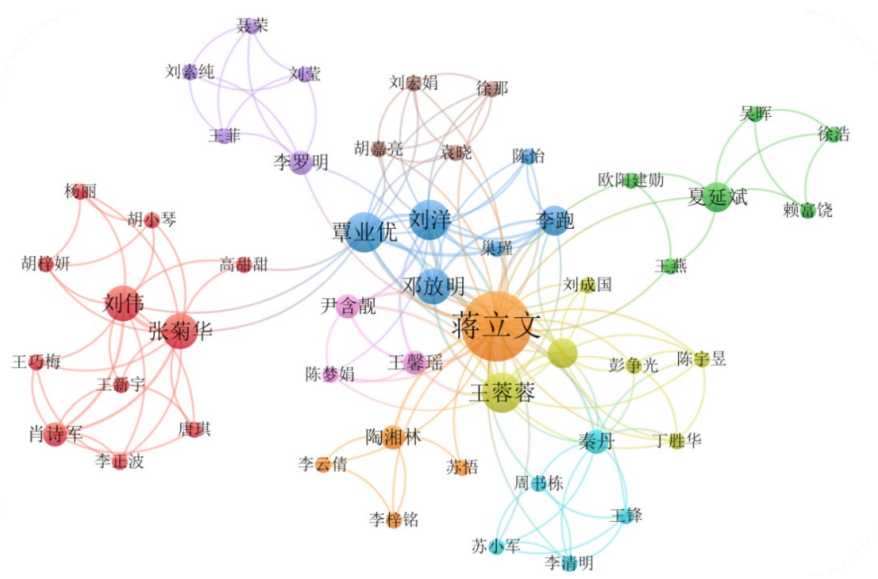


图 2 辣椒风味研究文献中文作者合作图

Fig. 2 Co-authorship network of Chinese authors in Chinese-language studies on chili pepper flavor

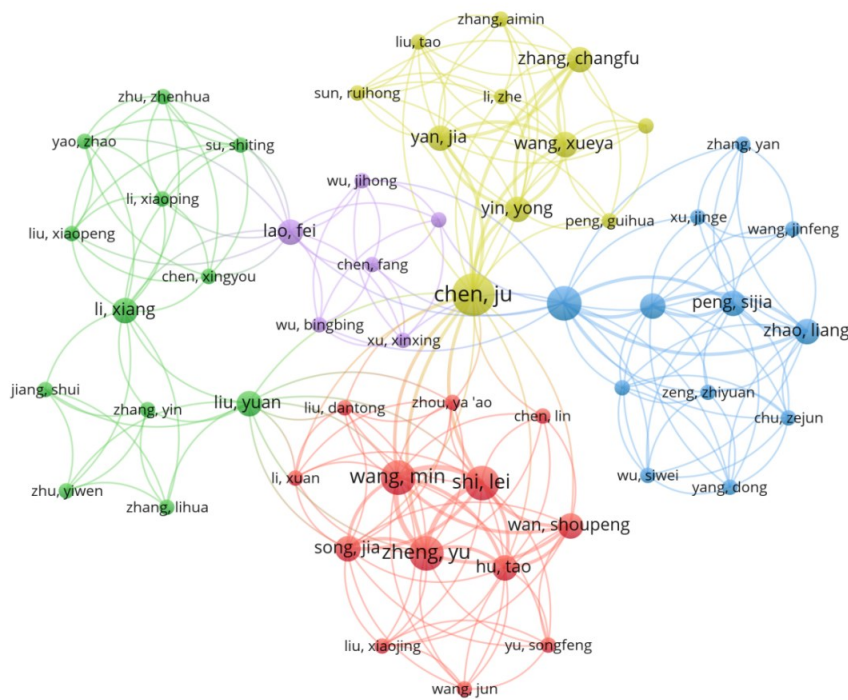


图 3 辣椒风味研究文献英文作者合作图

Fig. 3 Co-authorship network of English authors in English-language of chili pepper flavor

强合作与交流的空间。

2.4 关键词聚类分析

关键词作为文章核心内容的精炼表达,可高度概括主题,根据聚类的分布,预测未来辣椒风味领域研究的发展方向,为研究提供明确的聚类问题^[26]。频数排前 10 位的关键词见表 2。采用普赖斯公式确定关键词,即 $M \approx 0.749 \times n_{max} / 2$,其中 M

表示高频阈值, n_{max} 表示纳入文献关键词出现频次最高值^[27]。中文文献出现频次最多的关键词是辣椒(33 次),经计算 $M \approx 4$,由此确定,出现频次大于或等于 4 次的关键词为高频关键词;英文文献出现频次最多的关键词是 flavor 和 capsaicin,经计算 $M \approx 4$,因此出现频次 ≥ 4 次的关键词为高频关键词。

利用 VOSviewer 对 WOS 数据库检索出的辣椒

表2 辣椒风味研究文献频次排名前10的关键词

Table 2 Top 10 key words by frequency of chili pepper flavor

排名 Rank	中文文献 Chinese literature			英文文献 English literature		
	关键词 Key words	频次 Frequency	占比 Percentage/%	关键词 Key words	频次 Frequency	占比 Percentage/%
1	辣椒 Chili pepper	33	14.54	Capsaicin	30	16.67
2	风味 Flavor	22	9.69	Flavor	30	16.67
3	发酵 Fermentation	20	8.81	Capsaicinoids	26	14.44
4	辣椒油 Hili oil	20	8.81	Volatile compounds	26	14.44
5	挥发性风味物质 Volatile flavor compounds	19	8.37	Pungency	24	13.33
6	风味物质 Flavor compounds	19	8.37	Quality	20	11.10
7	乳酸菌 Lactic acid bacteria	18	7.93	Capsicum	19	10.56
8	挥发性成分 Volatile components	18	7.93	Acid	16	8.89
9	主成分分析 Principal component analysis	18	7.93	Food	16	8.89
10	品质 Quality	17	7.49	Chili pepper	14	7.78

风味相关文献的关键词进行聚类,结果见图4。根据图中颜色划分,中文文献中关键词可归为7个主要研究方向:(1)辣椒与风味(绿色),核心关键词包括“辣椒”“辣椒油”“辣椒素”“风味”“风味物质”等,研究聚焦于辣椒的辣味成分、香气特征及感官品质评价,常借助气相色谱、离子迁移谱等技术解析风味形成机制,并探讨不同品种、产地及加工方式对风味的影响。(2)挥发性成分与分析(紫色),涵盖“挥发性成分”“主成分分析”“风味品质”等,主要通过主成分分析、聚类分析等多变量统计方法,研究辣椒中挥发性化合物的组成、差异及其对风味与品质的贡献。(3)发酵与乳酸菌(蓝色),关键词“发酵辣椒”“乳酸菌”“挥发性物质”“鲜辣椒”,研究集中于发酵过程中的微生物群落变化及其对辣椒风味、口感和营养价值的提升作用,尤其关注乳酸菌的功能特性与代谢产物。(4)品质与加工工艺(红色),包括“品质”“工艺”“辣椒酱”“发酵”等,探讨不同加工工艺、发酵条件和原料配比对产品质量与安全性的影响,并结合现代检测技术进行标准化与优化。(5)挥发性风味物质(青绿色),涉及“挥发性风味物质”“有机酸”“生物多样性”等,关注发酵和贮藏过程中风味物质的动态变化及其调控途径。(6)实验检测技术(橙色),如“固相微萃取”“感官评价”等,应用于辣椒及其制品的风味、成分及质量检测,确保分析结果的科学性与可靠性。(7)成分解析与分离(黄色),关键词有“辣椒粉”“电子鼻”等,主要开展辣椒成分的分离、鉴定与定量分析,并借助电子鼻等仪器实现快速风味识别。七大聚类全面覆盖了辣椒研究从基础成分解析、风味物质变化,到发酵工艺优化、品质控制及检测方法创新的多层次研

究体系。

英文文献关键词聚类见图5,共生成7个聚类:(1)风味与质量(红色),核心关键词包括“flavor”“quality”“food”“identification”“fermentation”“microbial community”等,研究聚焦于辣椒及其制品的感官特征、风味识别方法、发酵过程及微生物群落结构变化,常结合代谢组学和电子鼻等技术提升品质评价的准确性。(2)挥发性化合物与分析(浅蓝色),涵盖“volatile compounds”“flavor compounds”“gas chromatography”等,主要通过气相色谱等分析手段研究辣椒挥发性物质的种类、含量及其对风味的贡献,同时关注贮藏、加工等环节的稳定性变化。(3)辣椒素及相关化合物(绿色),以“capsaicinoids”“*Capsicum annum*”“antioxidant activity”等为核心,探讨辣椒素类化合物的生物活性(如抗氧化作用)、品种差异以及与果实品质的关系。(4)辣椒素与辛辣特性(黄色),关键词有“capsaicin”“pungency”“taste”“intensity”等,研究集中在辣椒素的形成机制、辛辣感官评价以及影响辣味强度的因素。(5)辣椒物种与遗传(深蓝色),包括“capsicum frutescens”“*L. capsicum*”“biosynthesis”等,涉及辣椒不同物种的遗传背景、生物合成途径以及品种特异性成分的形成机制。(6)酸与微生物作用(橙色),如“acid”“bacteria”等,研究发酵过程中的酸性代谢产物、微生物群落变化及其对风味和品质的调控作用。(7)代谢组学与成分解析(粉色/橘红色),涵盖“metabolomics”“metabolites”“profile”等,利用代谢组学手段解析辣椒及其制品的化学组成变化,揭示不同加工与贮藏条件下的代谢特征。这7个聚类构成了辣椒研究的多维体系,从分子成分、感官特性到

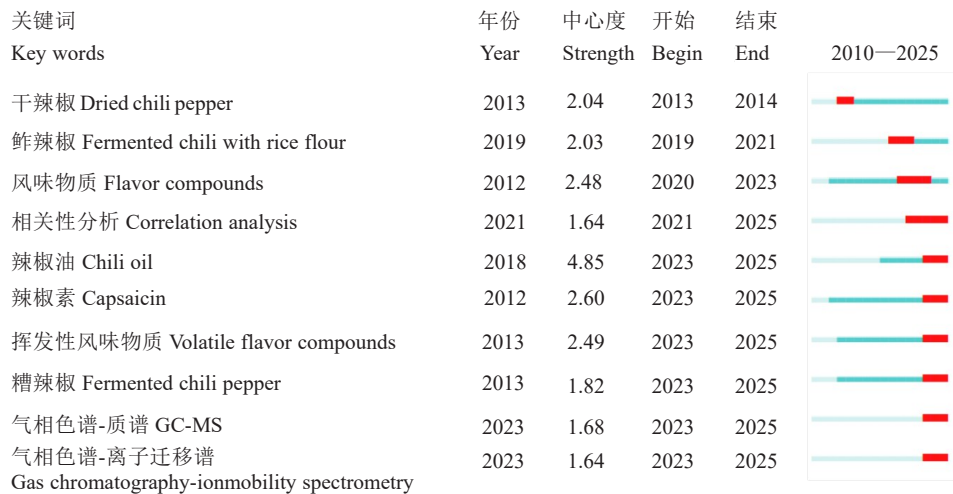


图6 辣椒风味研究中文文献关键词突现图谱

Fig. 6 Key words emergence map of Chinese literature of chili pepper flavor



图7 辣椒风味研究英文文献关键词突现图谱

Fig. 7 Key words emergence map of English literature of chili pepper flavor

等方面,在此阶段更多利用统计学与多维分析手段来揭示辣椒品质与成分间的关系。最新兴起的 research 热点(2023 年至今),辣椒油(4.85)为强度最高的突现词,凸显了辣椒油在风味物质解析、品质评价与产业化开发中的研究热潮;糟辣椒(1.82),凸显地方特色发酵制品的工艺改进与风味优化;气相色谱-质谱(强度 1.68)与气相色谱-离子迁移谱(强度 1.64),说明研究中越来越重视先进检测技术在风味物质识别与质量控制中的应用。

从整体时间序列来看(图7),辣椒相关英文文献的热点经历了由品种层面的关注向品质属性与方法学拓展的演变过程。早期阶段(2011—2017 年),annuum 1(1.71)的突现表明研究早期主要聚焦于辣椒属 *Capsicum annuum* 的特定品种或基因型,强调品种特征与遗传多样性。品种与感官属性研

究(2018—2021 年),capsicum(3.03)和 capsicum annuum 1(1.86)的出现显示了对辣椒种属及其代表性品种的集中研究,凸显了对物种分类、遗传背景及应用潜力的关注;pungency(1.74)与 chili(2.12)的突现,表明研究逐渐转向辣椒辛辣性及整体感官特征的探讨,涵盖风味物质解析与消费体验研究。社会与产业相关研究(2020—2022 年),community (2.15)提示学界对辣椒相关研究的网络与合作模式的兴趣增加,反映出科研群体和微生物群落特征在研究体系中的重要性;soy sauce(1.74)的短期突现则说明,研究已拓展至辣椒与其他发酵调味品的交叉应用,关注其在食品产业链中的复合风味与应用价值。最新兴起的 research 方向(2022 年至今),correlation analysis(2.6)凸显了方法学的发展,更多采用多元统计与相关性分析来解释辣椒品质与成分之间

的复杂关系;pepper(2.88)与 color(1.89)成为当前研究前沿,表明研究重心已从传统的品种描述与单一属性,逐步拓展到整体表征与感官品质特征,强调产品外观、消费偏好及市场导向的重要性。综上,英文文献辣椒研究热点呈现出由品种鉴定与辛辣性特征到向感官品质、产业交叉应用及方法学拓展的演进路径。特别是近年来对相关性与颜色表征的关注,反映出研究正从单一因子的考察转向多维度品质解析与综合评价,契合全球食品科学

向精准化、产业化与消费导向发展的趋势。

2.6 关键词时间线图

时区图通过垂直时区带构成,从时间维度展示知识图谱的演进,能清晰呈现文献关系、领域更新及不同时段间的传承强弱^[29]。为了解每个聚类的关键词时间关系,采用 CiteSpace-6.3.1 软件绘制关键词时间线图,结果见图 8、图 9。从图 8 可知,中文文献 2010—2025 年,辣椒相关研究热点呈现出多样化的趋势。2010—2015 年,研究主要集中在鲜

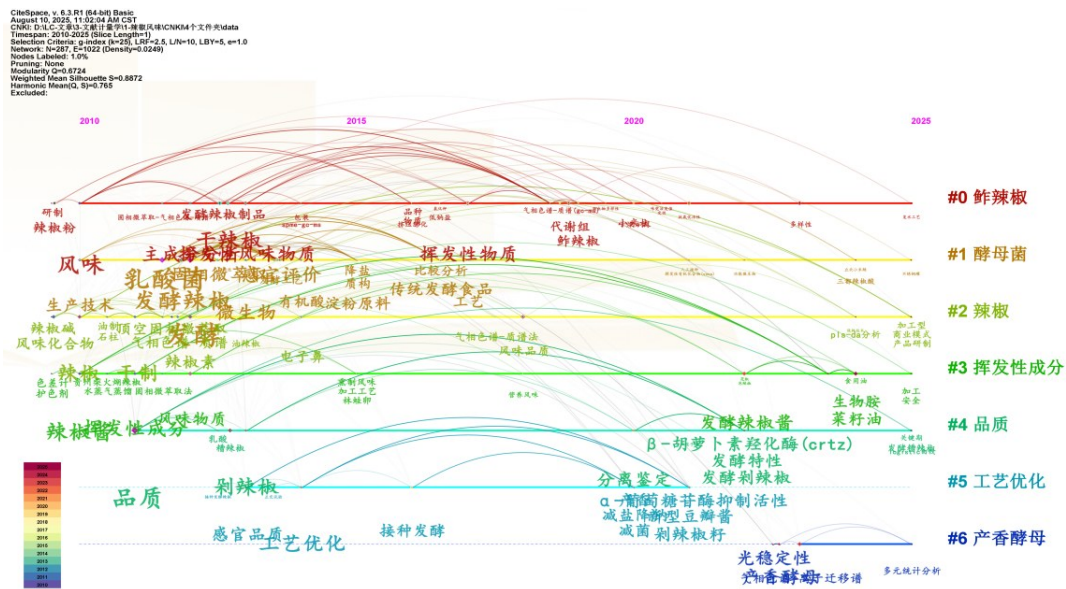


图 8 辣椒风味研究文献中文关键词时间线图

Fig. 8 Chinese key words timeline graph of chili pepper flavor

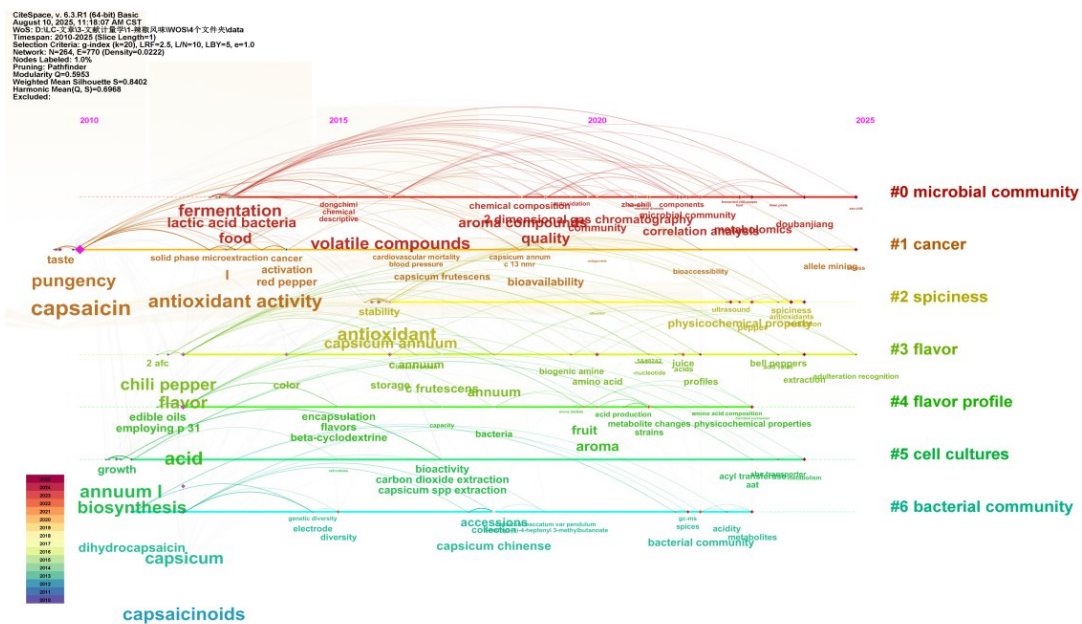


图 9 辣椒风味研究文献英文关键词时间线图

Fig. 9 English key words timeline map of chili pepper flavor

辣椒(#0)、酵母菌(#1)等领域,涉及鲜辣椒的品质、营养成分及微生物发酵等基础研究。2015—2020年,随着辣椒产业化发展,研究重心逐渐转向辣椒(#2)与辣椒发酵成分(#3),并深入探讨了发酵过程中微生物的作用及辣椒的功能性成分。2020年后,研究焦点向品质(#4)和工艺优化(#5)转移,表明对辣椒的加工工艺、风味质量控制及新品种开发等方向的关注。同时,产香酵母(#6)逐渐成为重要研究方向,表明辣椒在香料领域的潜力日益受到重视。总体来看,辣椒研究从基础学科逐步向产业化、产品开发与质量优化方向深入。

英文文献中辣椒相关研究的重点随着时间推移逐渐扩展,涵盖多个领域。2010—2015年,研究主要集中在 capsaicin(辣椒素)、*Capsicum*(辣椒)和 antioxidant activity(抗氧化活性)等基本成分与功能性研究上,重点探索辣椒的化学成分和生物活性。2015—2020年,研究逐步涉及 volatile compounds(挥发性化合物)和 microbial community(微生物群落),体现出辣椒发酵和微生物在风味和品质形成中的作用。2020—2025年,随着技术的进步,flavor profile(风味剖面)和 spiciness(辛辣度)成为重要的研究方向,探索辣椒风味、辣味成分及其在不同环境下的变化。癌症和细胞培养等方向的研究也逐渐增加,反映了辣椒在健康领域的潜力。辣椒研究由基础化学成分研究逐步拓展至功能性、微生物、风味剖面等多学科交叉领域,表现出辣椒多元化应用的发展趋势。

3 研究热点与前沿

基于2010—2025年中英文文献辣椒风味相关文献的关键词共现、聚类及突现分析结果,可以发现该领域的研究热点呈现出由风味物质组成解析向关键成分与调控机制,再向代谢组学驱动的系统认知逐步深化的演进趋势。当前辣椒风味研究已不再局限于感官描述或单一成分测定,而是围绕风味物质的类型构成、关键化合物及其形成机制展开多层次探索。

3.1 辣椒风味物质研究

辣椒风味是由多类化学物质协同作用形成的综合感官结果。结合高频关键词与聚类分析结果可知,现有研究普遍将辣椒风味物质划分为挥发性风味物质^[30]、辣椒素类物质^[31]以及非挥发性滋味物质^[32]三大类。

其中,挥发性风味物质是决定辣椒香气特征的

核心成分,是当前研究最为集中的领域^[2]。研究表明,辣椒及其制品中挥发性成分种类丰富,主要包括酯类、醛类、醇类、酮类、烃类及萜类化合物等。不同类别化合物在香气表达中分工明确:酯类和醇类多赋予果香、花香特征,醛类和酮类常与青香、脂香和焙烤香相关,萜类化合物则对清香和辛香特征具有重要贡献。关键词“挥发性风味物质”“volatile compounds”在中英文文献中均处于高频与突现状态,表明该类物质已成为解析辣椒风味差异的基础研究对象。

辣椒素及其同系物是构成辣椒辛辣感的关键成分,也是英文文献中长期占据核心地位的研究对象^[35]。研究显示,辣椒素、二氢辣椒素等辣椒素类物质不仅决定辣椒的辛辣强度,还通过与香气成分的协同作用影响整体风味平衡。关键词“capsaicin”“capsaicinoids”“pungency”在多个时间阶段持续突现,反映出研究已从单纯含量测定,逐步转向辣椒素形成机制、品种差异及其感官贡献的综合分析。

非挥发性滋味物质在辣椒风味中主要包括有机酸、游离氨基酸、糖类及酚类化合物等^[34]。这类物质虽不直接形成香气,但通过调节酸度、鲜味和醇厚感,对风味协调性和层次感具有重要影响。尤其在发酵辣椒制品中,有机酸和氨基酸的动态变化被认为是风味复杂化的重要物质基础。辣椒风味物质研究已形成以挥发性香气成分和辣椒素类物质为核心、非挥发性滋味物质为重要补充的研究框架。

3.2 辣椒风味重点研究领域

从关键词聚类与突现结果来看,当前辣椒风味研究的重点领域呈现出明显的集中趋势,主要体现在挥发性风味物质解析、发酵过程风味调控及加工工艺优化等方面。

挥发性风味物质的组成特征及关键香气成分筛选是研究最为集中的方向。大量研究通过 GC-MS、GC-IMS 及电子鼻等技术,对不同品种、不同加工方式辣椒中的挥发性成分进行系统分析,并结合 ROAV 值或多变量统计方法筛选关键风味物质。研究结果表明,不同辣椒品种和制品类型在香气轮廓上存在显著差异,而少数高贡献化合物往往决定了整体风味特征。

发酵辣椒制品风味形成机制成为近年来快速升温的研究热点。关键词“发酵”“乳酸菌”“microbial community”等在中英文文献中频繁出现,显示研究重心已由终点品质评价转向过程机制解析。现有研究普遍认为,乳酸菌及酵母等微生物通过糖

类、有机酸和氨基酸代谢,显著影响挥发性风味物质的生成与转化,从而赋予发酵辣椒制品更为复杂和协调的风味特征。

加工工艺对辣椒风味的影响也是当前研究的重要方向。烘烤、油炸、熬制及不同干燥方式均被证实会显著改变辣椒中挥发性成分的种类和含量,进而影响感官品质。相关研究逐渐由单一工艺比较,转向多工艺协同优化与品质评价的系统研究。当前辣椒风味研究正由“描述性研究”向“机制导向研究”转变,挥发性风味物质、发酵调控及工艺优化构成了该领域最为集中的研究重点。

3.3 代谢组学在辣椒风味中的应用

随着代谢组学技术的快速发展,辣椒风味研究正在进入系统化和精细化的新阶段。关键词聚类和时间线分析显示,“metabolomics”“metabolites”“profile”等相关术语在近年英文文献中逐渐出现并形成独立聚类,表明代谢组学已成为解析辣椒风味的重要前沿手段。

代谢组学通过对样品中大量代谢物的整体检测,突破了传统研究中仅关注少数风味成分的局限,使辣椒风味物质的组成网络更加清晰^[35]。相关研究已将非靶向代谢组学与挥发性成分分析相结合,系统揭示不同品种、加工阶段及发酵过程中风味代谢物的整体变化规律。研究表明,风味物质的形成并非孤立事件,而是多条代谢通路协同调控的结果^[36]。在发酵辣椒研究中,代谢组学常与微生物群落分析联用,用于阐明微生物代谢与风味物质生成之间的内在联系^[37]。这种“代谢组微生物组”联合分析模式,使关键风味物质的来源与形成路径更加明确,为风味精准调控和工艺优化提供了理论依据。代谢组学的引入推动了辣椒风味研究由“成分识别”向“机制解析”和“系统调控”转变,已成为当前辣椒风味研究的重要前沿方向。随着分析技术和数据处理方法的不断进步,辣椒风味物质的组成特征及其形成机制将得到更加全面和深入的揭示。

4 结论

通过对2010—2025年辣椒风味相关文献的系统梳理与知识图谱分析,可以发现该领域已进入快速发展与逐步成熟阶段。在研究规模上,中英文发文量均呈现显著增长,特别是在2019—2023年间实现突破性提升,反映出辣椒风味不仅是食品风味科学的重要组成部分,更成为推动特色食品产业发

展的关键议题。从研究内容看,中文文献多集中于工艺优化与风味品质提升,体现应用导向;英文文献则更强调风味形成机制、辣椒素及相关活性成分的解析,展现出较强的基础理论取向。两者结合,共同推动了辣椒风味研究体系的多层次构建。在研究方法上,GC-MS、GC-IMS、电子鼻、电子舌等现代检测技术广泛应用,显著提升了对复杂风味物质的解析能力。多元统计与代谢组学手段的引入,则推动了风味物质与微生物群落、加工环境间关系的系统化研究。此外,文献计量学工具的使用使研究热点与发展脉络更加直观清晰。

从发展趋势来看,辣椒风味研究将呈现三个深化方向:一是跨品种与跨工艺的比较研究,以揭示不同原料、地域及加工条件下的差异化规律;二是关键风味物质的形成机制及其与微生物代谢的交互作用研究,为风味精准调控提供理论支撑;三是面向产业化应用,推动传统发酵工艺优化与低盐健康化发展,结合功能性成分开发,满足消费者多样化和健康化的饮食需求。总之,辣椒风味研究已实现由“数量增长”向“质量提升”的转型。未来,随着检测技术与跨学科研究的深入,辣椒风味的科学认知与应用开发将更加全面,为推动辣椒产业的高质量发展及特色食品的国际化提供坚实的科学依据与技术支撑。

参考文献

- [1] 朱建仓,尤香玲,袁小钧,等. 糍耙辣椒发酵过程中挥发性风味变化研究[J]. 中国调味品, 2023, 48(4): 170-175.
- [2] 刘永飞,吴茂钊,严文俊,等. 酱香型白酒对贵州糟辣椒二次发酵风味和感官品质的影响[J]. 中国酿造, 2025, 44(12): 240-247.
- [3] 王斯源,白欣雨,高兴,等. 辣椒油脂对清油火锅风味特征的影响[J]. 食品与发酵工业, 2025, 51(20): 309-315.
- [4] 杨创创,何建文,张正海,等. 绥阳子弹头干椒风味品质分析[J]. 辣椒杂志, 2023, 21(1): 1-5.
- [5] 陈雨佳,易宇文,张浩,等. 多元化学计量法结合电子感官分析不同品种干辣椒对辣椒油风味特征影响[J]. 食品科学, 2025, 46(17): 244-253.
- [6] 张露,王修俊,陈颜红,等. 青辣椒酱熬制过程中挥发性风味物质的变化[J]. 中国食品学报, 2024, 24(11): 335-347.
- [7] 王思捷,李昶甫,袁灿,等. 基于GC-IMS、电子鼻和电子舌联用技术分析不同加工工艺辣椒对烧椒酱风味特性的影响[J]. 中国调味品, 2025, 50(8): 184-191.
- [8] 吴宝珠,邓静,易宇文,等. 花椒对糍耙辣椒发酵过程中挥发性风味物质影响的研究[J/OL]. 食品与发酵工业, 1-11[2025-09-03]. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.036562>.
- [9] 代晓桐,陈超,杨笙,等. 添加铁皮石斛对发酵辣椒酱活性成分及挥发性风味的影响[J]. 食品与发酵科技, 2022, 58(3):

- 34-41.
- [10] 李婧,任会,肖龙泉,等.苦藎木姜子对发酵辣椒酱风味品质的影响[J].中国调味品,2024,49(2): 36-41.
- [11] 贺子玉,黄娇丽,易有金,等.低盐接种发酵辣椒对其风味品质的提升作用[J].现代食品科技,2024,40(2): 273-283.
- [12] 许九红,王修俊,聂黔丽,等.遵义泡辣椒二次发酵过程中挥发性风味物质的变化[J].中国食品学报,2024,24(5): 415-427.
- [13] CHEN C M, HU Z G, LIU S B, et al. Emerging trends in regenerative medicine: A scientometric analysis in CiteSpace[J]. Expert Opinion on Biological Therapy, 2012, 12(5): 593-608.
- [14] 耿立,毕小茹,叶志森,等.基于 CiteSpace 分析近 10 年中国食用菌栽培基质研究热点与趋势[J].中国瓜菜,2025,38(8): 238-249.
- [15] GUO G Y, YU H Z, WANG H, et al. Visualized analysis of licorice research hotspots and trends in the field of traditional Chinese medicine resources based on VOSviewer and CiteSpace knowledge maps[J]. Food & Medicine Homology, 2024, 1(2): 9420011.
- [16] NINKOV A, FRANK J R, MAGGIO L A. Bibliometrics: methods for studying academic publishing[J]. Perspectives on Medical Education, 2022, 11(3): 173-176.
- [17] 陈菊,黄裕兵,王雪雅,等.基于 HS-SPME-GC-MS 解析糟辣椒发酵过程中关键香气物质变化[J].中国酿造,2025,44(7): 91-98.
- [18] LI H, LIU J M, WANG Z Z, et al. Process optimization of chili flavor beef tallow and analysis of its volatile compounds by GC-IMS[J]. International Journal of Food Engineering, 2021, 17(7): 507-516.
- [19] ZHOU L Q, LIU W Z. Pollution of four heavy metal elements in dried chili peppers in Guizhou Province and its health risk assessment[J]. Scientific Reports, 2024, 14(1): 17759.
- [20] ZUBAEDAH S Y. Agile strategy formation: Knowledge-creation capability for entrepreneurial success in bio-based commodities[C]//12th Gadjah Mada International Conference on Economics and Business (GAMAICEB 2024). Atlantis Press, 2025: 146-161.
- [21] LIANG H L, CHEN Z L, WEI F W, et al. Bibliometric research on radiomics of lung cancer[J]. Translational Cancer Research, 2021, 10(8): 3757-3771.
- [22] KOKOL P, BLAŽUN VOŠNER H, ZAVRŠNIK J. Application of bibliometrics in medicine: A historical bibliometric analysis[J]. Health Information & Libraries Journal, 2021, 38(2): 125-138.
- [23] 李进鹏,曹妍,赵奕雯,等.基于文献计量学的国内外药食同源及食疗领域研究热点分析[J].护理研究,2024,38(19): 3457-3467.
- [24] 葛帅,陈宇昱,彭争光,等.基于顶空-气相色谱-离子迁移谱法研究干燥方式对小米椒挥发性风味物质的影响[J].激光生物学报,2020,29(4): 368-378.
- [25] 王宏伟,刘宏娟,覃业优,等.不同年份陶坛剁椒在贮藏过程中的品质风味变化[J].食品科学,2025,46(3): 169-178.
- [26] MUKHERJEE D, LIM W M, KUMAR S, et al. Guidelines for advancing theory and practice through bibliometric research[J]. Journal of Business Research, 2022, 148: 101-115.
- [27] 葛莉,刘祎如,戴燕铃,等.基于 CiteSpace 的 2 型糖尿病药食同源食材干预研究的文献计量分析[J].福建中医药,2021,52(9): 12-15.
- [28] 罗阳,易子程,常腾文,等.基于文献计量学可视化分析发酵乳风味研究现状[J].食品与发酵工业,2024,50(22): 399-408.
- [29] 马海燕,李彩虹,葛谦,等.基于 CiteSpace 可视化分析葡萄酒产地溯源研究现状[J].食品与发酵工业,2024,50(18): 332-339.
- [30] 严利强,易宇文,熊怡玲,等.辣椒炒制时间对红油辣椒挥发性风味物质的影响[J].食品与机械,2025,41(11): 168-176.
- [31] 温馨,张正海,于海龙,等.辣椒素类物质生物合成研究进展[J].园艺学报,2025,52(11): 3103-3120.
- [32] 李艾蒙,吴东,杨建,等.基于 LC-MS/MS 分析发酵型与非发酵型火锅底料中非挥发性代谢物的差异[J/OL].食品与发酵工业, 1-15[2026-01-05]. <https://doi.org/10.13995/j.cnki.11-1802/ts.044311>.
- [33] WANG F Z, XUE Y, FU L, et al. Extraction, purification, bioactivity and pharmacological effects of capsaicin: A review[J]. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2022, 62(19): 5322-5348.
- [34] EGGINK P M, MALIEPAARD C, TIKUNOV Y, et al. A taste of sweet pepper: Volatile and non-volatile chemical composition of fresh sweet pepper (*Capsicum annum*) in relation to sensory evaluation of taste[J]. Food Chemistry, 2012, 132(1): 301-310.
- [35] LI C, ZOU Y L, LIAO G Z, et al. Identification of characteristic flavor compounds and small molecule metabolites during the ripening process of Nuodeng ham by GC-IMS, GC-MS combined with metabolomics[J]. Food Chemistry, 2024, 440: 138188.
- [36] AN F Y, WU J R, FENG Y Z, et al. A systematic review on the flavor of soy-based fermented foods: Core fermentation microbiome, multisensory flavor substances, key enzymes, and metabolic pathways[J]. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 2023, 22(4): 2773-2801.
- [37] LI Y M, LUO X Q, GUO H, et al. Metabolomics and metatranscriptomics reveal the influence mechanism of endogenous microbe (*Staphylococcus succinus*) inoculation on the flavor of fermented chili pepper[J]. International Journal of Food Microbiology, 2023, 406: 110371.